

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

DIEGO ARMANDO NACEVILLA PALLO

DIRECTOR DE TESIS:

Msc. EDISON SUNTASIG

TEMA:

**“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS, SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD DEL SUELO CON CACAO FINO DE AROMA (*Theobroma
cacao*) EN LA PARROQUIA AHUANO, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**

PUYO – ECUADOR

2016

PRESENTACIÓN DEL TEMA

“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS, SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO CON CACAO FINO DE AROMA (*Theobroma cacao*) EN LA PARROQUIA AHUANO, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Msc. Pedro Ríos

Dr. Edison Samaniego

Msc. Simón Leib

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a Dios por haberme guiado e impartido la fortaleza y sabiduría en los momentos más difíciles de mi vida, a mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental en mi vida, por sus continuos consejos muy valiosos y sabios, a la Universidad Estatal Amazónica, por haberme acogido y brindado la oportunidad de escalar un peldaño más en mi vida, al Departamento de Ciencias de la Vida y de forma particular a la carrera de Ingeniería Ambiental por haberse dotado de excelentes maestros que día a día transmitieron sus conocimientos durante mi formación como profesional, de igual forma un agradecimiento especial a mi cotutor y director de tesis por sus opiniones constructivas, durante el desarrollo de la presente tesis.

Diego Armando Nacevilla Pallo

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, ya que con sus consejos incansables, me han sabido guiar por la senda del bien, ya que con sus palabras de aliento han sido el principal estímulo para poder superarme y culminar con éxito mi formación profesional.

Diego Armando Nacevilla Pallo

RESPONSABILIDAD

Yo **Diego Armando Nacevilla Pallo**, autor y responsable de la tesis “Influencia de los factores ambientales y edáficos sobre la productividad del suelo con cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*) en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo”, declaro que el contenido de la presente tesis, está basada en una investigación exhaustiva, respetando fuentes de información de terceros, así como de pensamientos inéditos y que los derechos le corresponden a la **Universidad Estatal Amazónica** para hacer uso del contenido con fines académicos o de investigación.

Diego Armando Nacevilla Pallo

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Director de la tesis de investigación denominada: **“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS, SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO CON CACAO FINO DE AROMA (*Theobroma cacao*) EN LA PARROQUIA AHUANO, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”** del autor: Diego Armando Nacevilla Pallo, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

Msc. Edison Suntasig Negrete

Director de Tesis

ÍNDICE GENERAL

CARATULA	I
PRESENTACIÓN DEL TEMA	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESPONSABILIDAD	V
CERTIFICACIÓN	VI
CONTENIDO	
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE CUADROS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
I. RESUMEN	1
II. SUMMARY	3
III. INTRODUCCIÓN	4
IV. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4.3. HIPÓTESIS GENERAL	6
V. REVISIÓN DE LITERATURA	7
5.1. EL SUELO	7
5.1.1. EDAFOLOGÍA: LA CIENCIA DEL SUELO	7
5.1.2. DEFINICIÓN EDÁFICA	7
5.1.3. FORMACIÓN	7
5.1.4. COMPOSICIÓN	8
5.1.4.1. FRACCIÓN MINERAL	8
5.1.4.2. MATERIA ORGÁNICA	8
5.1.4.3. AGUA	9
5.1.4.4. AIRE	10
5.1.5. CALIDAD DEL SUELO	10
5.2. PRODUCTIVIDAD: FACTORES QUE INTERFIEREN Y PROPIEDADES ...	11
5.2.1. MONOCULTIVO	11
5.2.2. AGROFORESTERÍA	11
5.2.3. MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO	12
5.3. SOSTENIBILIDAD DEL CACAO:PRODUCTIVIDAD	12

5.3.1.	PRODUCCIÓN DEL CACAO EN EL ECUADOR	12
5.3.2.	RENDIMIENTO DEL CACAO	14
5.3.3.	PROPIEDADES EDÁFICAS DETERMINANTES PARA LA PRODUCTIVIDAD.....	14
5.3.3.1.	PROPIEDADES FÍSICAS.....	15
5.3.3.1.1.	TEXTURA	15
5.3.3.1.2.	DENSIDAD APARENTE (Da)	17
5.3.3.1.3.	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA (K_{sat})	18
5.3.3.1.4.	DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE POROS	19
5.3.3.1.4.1.	POROSIDAD TOTAL (Pt).....	19
5.3.3.1.4.2.	POROSIDAD DE AIREACIÓN (Pa)	20
5.3.3.1.4.3.	POROSIDAD DE RETENCIÓN (Pr).....	20
5.3.3.1.5.	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP).....	20
5.3.3.2.	PROPIEDADES QUÍMICAS.....	21
5.3.3.2.1.	POTENCIAL HIDROGENO (pH)	21
5.3.3.2.2.	CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)	22
5.3.3.2.3.	NITRÓGENO TOTAL (Nt).....	24
5.3.3.2.4.	FÓSFORO (P).....	24
5.3.3.2.5.	POTASIO (K)	25
5.3.3.2.6.	CALCIO (Ca).....	26
5.3.3.2.7.	MAGNESIO (Mg).....	27
5.3.3.3.	PROPIEDADES BIOLÓGICAS	28
5.3.3.3.1.	RESPIRACIÓN EDÁFICA (RE).....	28
5.3.3.3.2.	RESPIRACIÓN BASAL (RB).....	28
5.3.3.3.3.	CANTIDAD DE LOMBRICES	29
5.4.	FACTORES DE PRODUCCIÓN DE CACAO	30
5.4.1.	FACTORES AMBIENTALES QUE INTERFIEREN EN EL CULTIVO DE CACAO	30
5.4.1.1.	TEMPERATURA	31
5.4.1.2.	PRECIPITACIÓN.....	31
5.4.1.3.	VIENTO.....	31
5.4.1.4.	HUMEDAD	31
5.4.2.	FACTORES CRÍTICOS: SISTEMAS DE CULTIVO DE CACAO Y SU AMISTAD CON LA BIODIVERSIDAD	32
5.5.	PROBLEMÁTICA DE LA EMISIÓN DEL CARBONO.....	33
5.5.1.	CAMBIO CLIMÁTICO.....	33
5.5.2.	CONVENCIÓN SOBRE EL CLIMA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO.....	34
5.5.3.	CUMBRE DE PARIS 2015	34
5.6.	BIOMASA Y CARBONO.....	35
5.6.1.	PARÁMETROS TÉCNICOS PARA INVENTARIOS DE CARBONO.....	36
5.6.1.1.	BIOMASA VEGETAL ARRIBA DEL SUELO	36
5.6.1.1.1.	ESTIMACIÓN DE BIOMASA ARRIBA DEL SUELO.....	36
5.6.1.1.2.	ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL TOTAL.....	36

5.6.1.1.3.	ESTIMACIÓN DE CARBONO ARRIBA DEL SUELO.....	37
5.6.1.2.	MATERIA ORGÁNICA MUERTA.....	37
5.6.1.2.1.	MUESTREO DE HOJARASCA Y FASE DE LABORATORIO	37
5.6.1.2.2.	BIOMASA DE HOJARASCA.....	38
5.6.1.2.3.	ESTIMACIÓN DE CARBONO EN HOJARASCA	38
5.6.1.3.	SUELOS.....	38
5.6.1.4.	DETERMINACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO TOTAL.....	39
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
6.1.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	40
6.2.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	41
6.3.	MATERIALES Y EQUIPOS	42
6.4.	FACTORES DE ESTUDIO.....	45
6.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	45
6.6.	MEDICIONES EXPERIMENTALES.....	46
6.6.1.	MÉTODO DE MUESTREO.....	46
6.6.2.	METODOLOGÍA APLICADA PARA ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	47
6.6.2.1.	ESTIMACIÓN DE BIOMASA (HOJARASCA).....	47
6.6.2.2.	ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO.....	47
6.6.3.	DISPONIBILIDAD DE FACTORES AMBIENTALES.....	48
6.6.4.	METODOLOGIA APLICADA PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO	48
6.6.4.1.	METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO.....	48
6.6.4.2.	METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO EN MONOCULTIVO CON CACAO ...	51
6.6.4.3.	METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO EN BOSQUES TROPICALES	52
6.7.	MANEJO DEL EXPERIMENTO	52
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
7.1.	CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	54
7.1.1.	CONDICIÓN FÍSICA.....	54
7.1.1.1.	DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑO DE PARTÍCULAS (DTP) PARA 2 USOS DE SUELO Y BOSQUE EN LA PARROQUIA AHUANO	54
7.1.1.2.	PERFIL DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN BAJO 2 USOS DE SUELO Y BOSQUE EN LA PARROQUIA AHUANO	60
7.1.2.	CONDICIÓN QUÍMICA.....	62
7.1.3.	CONDICIÓN BIOLÓGICA	66

7.2.	DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO RELACIONADAS CON LOS FACTORES CLIMÁTICOS.....	69
7.3.	ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO	75
7.4.	RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS Y LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO	78
7.4.1.	RELACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y PRODUCTIVIDAD	78
7.4.1.1.	RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)	78
7.4.1.2.	RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO	79
7.4.2.	RELACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS Y PRODUCTIVIDAD.....	79
7.4.2.1.	RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)	79
7.4.2.2.	RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO	80
7.4.3.	RELACIÓN DE PROPIEDADES BIOLÓGICAS Y PRODUCTIVIDAD ...	81
7.4.3.1.	RELACION CON LA BIOMASA (HOJARASCA)	81
7.4.3.2.	RELACION CON EL RENDIMIENTO	81
7.4.4.	RELACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS Y PRODUCTIVIDAD.....	82
7.4.4.1.	RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)	82
7.4.4.2.	RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO	82
7.5.	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA).....	84
7.5.1.	OBJETIVO GENERAL	84
7.5.2.	CRITERIOS DEL DISEÑO DEL PMA	84
7.5.3.	ESTRUCTURA DEL PMA	84
7.5.3.1.	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES	85
7.5.3.2.	PLAN DE MANEJO DE DESECHOS.....	86
7.5.3.3.	PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL	86
7.5.3.4.	PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS	87
7.5.3.5.	PLAN DE CONTINGENCIAS	88
7.5.3.6.	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.....	89
7.5.3.7.	PLAN DE MONITOREO O SEGUIMIENTO.....	89
7.5.3.8.	PLAN DE REHABILITACIÓN	90
7.5.3.9.	PLAN DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA.....	90
VIII.	CONCLUSIONES	91
IX.	RECOMENDACIONES.....	92
X.	BIBLIOGRAFÍA	93
XI.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	101
XII.	ANEXOS	103

12.1.	FORMATO DE HOJA DE CAMPO APLICADA PARA ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD.....	103
12.2.	FORMATO DE HOJA DE CAMPO APLICADA PARA MUESTREO DE SUELO.....	104
12.3.	FORMATO DE HOJA DE CAMPO APLICADA PARA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO.....	105
12.4.	FORMATO DE REGISTRO DE ACTIVIDADES APLICADA EN EL LABORATORIO DE SUELOS	106
12.5.	INFORMACIÓN RESUMIDA DE FACTORES AMBIENTALES PROPORCIONADA POR LA ESTACIÓN BIOLÓGICA “JATÚN SACHA”	107
12.6.	SOLICITUD DE PERMISO DE INGRESO A LA ESTACIÓN BIOLÓGICA “JATUN SACHA”	108
12.7.	SOLICITUD DE REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN (FACTORES AMBIENTALES).....	109
12.8.	RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS UEA PROPIEDADES FÍSICAS.....	110
12.9.	RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS UEA PROPIEDADES QUÍMICAS.....	111
12.10.	RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS UEA PROPIEDADES BIOLÓGICAS	112
12.11.	IMÁGENES DEL MUESTREO DE SUELOS (FASE DE CAMPO).....	113
12.12.	IMÁGENES DEL MUESTREO DE ÁRBOLES	114
12.13.	IMÁGENES DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO (FASE DE LABORATORIO).....	115

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Composición del suelo	8
CUADRO 2. Descripción de las principales clases de partículas del suelo	15
CUADRO 3. Clases texturales del suelo y su densidad aparente crítica	17
CUADRO 4. Evaluación de la conductividad hidráulica saturada dependiendo de su velocidad de infiltración.....	19
CUADRO 5. Clasificación del pH del suelo	21
CUADRO 6. Clasificación del Carbono Orgánico del suelo.....	23
CUADRO 7. Clasificación del Nitrógeno total del suelo	24
CUADRO 8. Interpretación de Fósforo asimilable presente en el suelo	25
CUADRO 9. Criterios para determinar la cantidad de Potasio en el suelo	26
CUADRO 10. Criterios para determinar la cantidad de Calcio en el suelo.....	27
CUADRO 11. Criterios para determinar la cantidad de Magnesio en el suelo	28
CUADRO 12. Especies y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles encontrados en una parcela circular de 30m de radio.....	49
CUADRO 13. Número de árboles por clase de diámetro a la altura del pecho (DAP), o su equivalente en circunferencia (C)	49
CUADRO 14. Carbono almacenado ($t\ ha^{-1}$) por clase de diámetro a la altura del pecho (DAP) o su equivalente en circunferencia (C).....	50
CUADRO 15. Clasificación de parcelas de uso de suelo de SAF con cacao según su nivel de almacenamiento de carbono	51
CUADRO 16. Actividades y distribución de tiempo en el desarrollo de la tesis	53
CUADRO 17. Clase textural bajo 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	55
CUADRO 18. Índices estructurales físicos bajo 2 usos del suelo con cacao y bosque considerando 3 profundidades en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.....	57
CUADRO 19. Resistencia a la penetración bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque considerando profundidades de (2,5-40cm) en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.....	60

CUADRO 20. Parámetros químicos del suelo bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	64
CUADRO 21. Evaluación de la actividad biológica del suelo mediante la (RE),(RB) y el número de lombrices bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	67
CUADRO 22. Rendimiento y Biomasa (Hojarasca) en 2 usos de suelo con cacao y Bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	70
CUADRO 23. Valores promedio de los factores ambientales de la parroquia Ahuano	71
CUADRO 24. Carbono almacenado bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	76
CUADRO 25. Matriz de correlación de SPEARMAN de las variables edafoclimáticas de la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo	83
CUADRO 26. Plan de prevención y mitigación de impactos.....	85
CUADRO 27. Plan de manejo de desechos.....	86
CUADRO 28. Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental	86
CUADRO 29. Plan de relaciones comunitarias	87
CUADRO 30. Plan de contingencias.....	88
CUADRO 31. Plan de seguridad y salud ocupacional	89
CUADRO 32. Plan de monitoreo y seguimiento.....	89
CUADRO 33. Plan de rehabilitación.....	90
CUADRO 34. Plan de cierre, abandono y entrega del área.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Áreas de influencia de cacao en el Ecuador	13
FIGURA 2. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas	16
FIGURA 3. pH y disponibilidad de nutrientes	22
FIGURA 4. Efecto de la humedad del suelo sobre la ocurrencia de lombrices de tierra.....	29
FIGURA 5. Número de galerías de lombrices de tierra diámetro >1,5mm en suelos bajo sistema agroforestal y monocultivo	30
FIGURA 6. Cultivo de cacao bajo un sistema de monocultivo (una sola especie)	32
FIGURA 7. Cultivo de cacao bajo un sistema agroforestal (variación de especies).....	32
FIGURA 8. Componentes de almacenamiento de carbono.....	35
FIGURA 9. Localización y puntos de muestreo en la parroquia Ahuano	40
FIGURA 10. Factores climáticos de la parroquia Ahuano.....	41
FIGURA 11. Diseño de muestreo para diagnóstico Ambiental	46
FIGURA 12. Da 0-10cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	56
FIGURA 13. Da 10-20cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	56
FIGURA 14. Da 20-30cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	56
FIGURA 15. Perfil de K_{sat} en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	58
FIGURA 16. Perfil de P_a ; P_r (%), en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano.	59
FIGURA 17. Perfil de resistencia a la penetración (R_P ,KPa), bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	61
FIGURA 18. pH 0-10cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	63

FIGURA 19. pH 10-30cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	63
FIGURA 20. COT% 0-10cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano.....	65
FIGURA 21. COT% 10-30cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	65
FIGURA 22. RE en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano	68
FIGURA 23. Climograma de Ahuano 2015	69
FIGURA 24. Biomasa en términos de hojarasca en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta la precipitación de la parroquia Ahuano.....	71
FIGURA 25. Rendimiento de cacao en 2 usos de suelo tomando en cuenta la humedad de la parroquia Ahuano	72
FIGURA 26. Productividad del suelo con cacao en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta el viento de la parroquia Ahuano	73
FIGURA 27. Biomasa en términos de hojarasca en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta la temperatura de la parroquia Ahuano	74
FIGURA 28. Secuestro de carbono en el suelo (MgCHa^{-1}). Parroquia Ahuano	77
FIGURA 29. Secuestro de carbono en la biomasa aérea (MgCHa^{-1}). Parroquia Ahuano	77
FIGURA 30. Potencial secuestro de carbono (MgCHa^{-1}) en los compartimentos suelo y biomasa aérea en 2 usos de suelo y bosque en la parroquia Ahuano	77
FIGURA 31. Variables físicas vs biomasa en términos de hojarasca	78
FIGURA 32. Variables físicas vs rendimiento de cacao	79
FIGURA 33. Variables químicas vs biomasa en términos de hojarasca	80
FIGURA 34. Variables químicas vs rendimiento de cacao	80
FIGURA 35. Variables biológicas vs biomasa en términos de hojarasca	81
FIGURA 36. Variables biológicas vs rendimiento de cacao	81
FIGURA 37. Variables climáticas vs biomasa en términos de hojarasca	82
FIGURA 38. Variables climáticas vs rendimiento de cacao	82

I. RESUMEN

La presente tesis se llevó a cabo en la parroquia Ahuano, cantón Tena, en la provincia de Napo, Ecuador, se estudiaron 2 sistemas de uso de la tierra: cacao agroforestal y cacao como monocultivo tomando como referencia el bosque. Se evaluaron 4 variables generales de respuesta: índices estructurales del suelo, almacenamiento potencial de carbono, factores climáticos de la zona y productividad en los 2 sistemas de uso de la tierra y bosque de referencia.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas se evaluó para los 2 sistemas de cultivo con cacao y bosque: los índices físicos, resultaron los idóneos en los sistemas agroforestales y bosque en relación a los de monocultivo con cacao donde se pudo apreciar un comportamiento irregular, en los parámetros de P_a , K_{sat} ; determinado como potencial impacto la erosión hídrica, en su condición química se pudo apreciar que los suelos estudiados fueron de carácter ácido, su condición biológica reflejó mayores aportes de biomasa como era de esperarse en el bosque de referencia y sistema agroforestal. De forma general se puede decir que las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas sin considerar el uso del suelo se encuentra en el horizonte superficial por su relación directa con la biomasa (Materia orgánica).

La productividad en términos de biomasa resultó ser superior en el bosque de referencia (BN_JS: 2,52 TnHa⁻¹) y en los sistemas agroforestales entre ellos los de mayor aporte en cuanto al rendimiento y biomasa citamos al (CAF_AS: 2,04; CAF_AS: 0,34) respecto al monocultivo con cacao entre ellos los de menor contribución en cuanto a las 2 variables mencionadas (MC_CP: 1,14; 0,09), señalando que no hubo interferencia de los factores climáticos de la zona ya que son apropiados para el cultivo de cacao

El bosque de referencia presentó las mayores cantidades de potencial secuestro de C total almacenado (165,47 Mg C Ha⁻¹) y el cacao agroforestal entre las 2 fincas evaluadas citamos al de contenido mayoritario (CAF_AS: 101,22 Mg C Ha⁻¹) en los sistemas agrícolas. El componente con mayor aporte al almacenamiento de carbono en el bosque y cacao agroforestal es la biomasa aérea distribuyéndose de la siguiente manera: (BN_JS: 131,01 Mg Ha⁻¹; CAF_AS: 69,02Mg Ha⁻¹).

En lo fundamentado al diagnóstico de los índices estructurales se propone un plan de manejo ambiental del suelo con cacao y la promulgación de buenas prácticas de uso del suelo con cacao que permita tener impactos positivos al recurso suelo.

II. SUMMARY

This thesis was conducted in Ahuano, Canton Tena, in Napo Province, Ecuador. It studies the cocoa monoculture and cocoa agroforestry land use types in its relationship with the forest. The thesis analyzed structural indices as, soil carbon storage potential, climatic factors of the area and productivity in the 2 systems of land use compared to the forest 4 general response variables were evaluated.

The physical, chemical and biological properties were evaluated for two cropping systems and forest cocoa: physical indices were the ideal in agroforestry systems and forest in relation to the cocoa monoculture where you could see an irregular behavior of the parameters Pa, Ksat; determined as water erosion potential impact on its chemical condition it was observed that the studied soils were acidic, their biological condition reflecting higher contributions from biomass as expected in the reference forest and agroforestry. In general, it can be said that the best physical, chemical and biological conditions without considering the land use is in the topsoil by its direct relationship with biomass (organic matter).

The productivity in terms of biomass was superior in the forest reference (BN_JS: 2.52 TNHA-1) and in agroforestry systems including greater contribution in performance and biomass quoted at (CAF_AS: 2.04; CAF_AS 0.34) compared to monoculture cocoa including minor contribution in terms of two variables mentioned (MC_CP: 1.14; 0.09), indicating that there was no interference of climatic factors of the area as they are suitable for the cultivation of cocoa.

The reference forest had the highest amounts of total C sequestration potential stored (165.47 Mg C ha⁻¹) and between the 2 cocoa agroforestry farms evaluated quoted at major content (CAF_AS: 101.22 Mg C ha⁻¹) in agricultural systems. The component with the greatest contribution to carbon storage in the forest and cocoa agroforestry biomass is distributed as follows: (BN_JS: 131.01 Mg ha⁻¹; CAF_AS: 69,02Mg Ha⁻¹).

As informed, that it is proposed diagnosis of structural indices of environmental management plan ground cocoa and promulgation of good land use practices that allow cocoa to have positive impacts to soil resources.

III. INTRODUCCIÓN:

En los últimos años, el interés de la sociedad por los problemas ambientales dirigidos hacia el recurso suelo se ha incrementado, en especial, si los problemas van orientados hacia la degradación del suelo originadas por la deforestación (Cotler, 2003). Esta actividad de carácter antrópica es un proceso que tiene sus principales causas en el cambio de uso del suelo por actividades agrícolas; para lo cual si se pretende obtener un diagnóstico ambiental, es necesario recurrir a la evaluación de la calidad del suelo (Pla, 2009).

La evaluación de la calidad del suelo, es un proceso de aprendizaje de la dinámica que muestran las propiedades edáficas que existen en los suelos, por ello es necesario seleccionar indicadores, que proporcionen información útil para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre la funcionalidad del suelo durante un período de tiempo (Navarrete & Vela, 2011).

Las propiedades edáficas, pueden emplearse como mecanismos de análisis para detectar tendencias y determinar si los sistemas de manejo, ya sea productos agrícolas manejados bajo un sistema agroforestal o como monocultivo conservan, mejoran o degradan el suelo (Vallejo, 2013).

La producción agrícola, a nivel mundial, ha sido próspera durante los últimos 150 años alcanzando un crecimiento repentino en los años 1930 y 1940. El surgimiento de la revolución verde dio inicio a la producción de cultivos de café, cacao, maíz, soya, avena, banano y, a su vez, ocasionando degradaciones al suelo debido a malas prácticas agrícolas (Martínez *et al.*, 2010)

Según datos estadísticos, la producción de cacao en el Ecuador es del 4% a nivel mundial, siendo una de las ocho principales naciones en cultivar este producto para su exportación conjuntamente con Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil y Malasia (UNCTAD, 2012). Estos datos son corroborados en la cantidad de hectáreas sembradas de este producto que ascienden a 500.000 ha en Ecuador (Alcívar, 2011).

La Amazonia Ecuatoriana tiene una producción importante de cacao, y las provincias que están involucradas en esta actividad son Sucumbíos, Orellana y Napo, las cuales, en los últimos años, han duplicado el rendimiento de cacao mediante un manejo integrado de

enfermedades como monilia, mazorca negra y escoba de bruja (INIAP, 2011). Este manejo ha provocado la propagación de cantidad y calidad de cacao por estas provincias dando lugar a la ruta del cacao amazónico, que es la agremiación de zonas con varias hectáreas de cacao fino de aroma (Alcívar, 2011).

En la provincia de Napo, la conocida ruta del cacao, comprende tres cantones que son Arosemena Tola, Tena y Archidona, donde se estima que alrededor de 15000 productores se han involucrado en esta cadena productiva y que en sus tierras tienen sembradas alrededor de 10500 hectáreas bajo el sistema habitual de producción sostenible (ANDES, 2014).

Ahuano es una parroquia dedicada a la agricultura sostenible, y en particular al cultivo de cacao debido a la gran demanda de producto que existe, ya que sirve de materia prima para la fabricación del chocolate y su precio es atractivo. En estas tierras la labranza es en forma de monocultivo y como un sistema agroforestal; este último muy promovido y fomentado en la conservación (Ecociencia, 2015). Es precisamente por estas dos formas de cultivo y producción que se ha originado un interés personal, ya que esos suelos pueden tener variaciones de sus propiedades físicas, químicas y biológicas que hacen posible que una finca sea distinta de otra. Es por ello que se desea conocer cómo los diferentes tipos de manejo del suelo influyen en la productividad de cacao fino de aroma en 4 fincas ubicadas en la parroquia Ahuano, de las cuales dos de ellas estarán orientadas al monocultivo y las otras dos a un sistema agroforestal y compararlas con el bosque natural.

En este sentido, esta tesis se enmarca en el contexto del Proyecto Prometeo denominado: “Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales en las provincias de Pastaza y Napo” que se lleva a efecto en la actualidad bajo la dirección del Dr. Prometeo Carlos Bravo, quien promueve la presente investigación.

IV. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la influencia de los factores ambientales y edáficos sobre la productividad del suelo con cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*) en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Caracterizar las propiedades del suelo mediante la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en sistemas de producción con cacao fino de aroma (agroforestal, monocultivo) y en el bosque natural.
- ❖ Determinar la productividad del suelo con cacao fino de aroma a través del rendimiento, **biomasa (hojarasca) en relación a los factores ambientales.**
- ❖ Estimar el potencial secuestro de carbono en los sistemas de producción de cacao fino de aroma (agroforestal y monocultivo) y en el bosque.
- ❖ Establecer las relaciones entre los factores edafoclimáticos y la productividad del suelo con cacao fino de aroma.
- ❖ Formular un plan de manejo ambiental del suelo dirigido a los propietarios de las fincas y a los habitantes del área de influencia.

4.3. HIPÓTESIS GENERAL

Se espera que la productividad de cacao fino de aroma manejado bajo un sistema agroforestal, presente mejores condiciones ambientales en relación al cacao manejado como monocultivo.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. EL SUELO

Cuando se habla de agricultura, se refiere a la actividad productiva, que para efectivizarla se requiere de un conjunto de técnicas y conocimientos aplicables al cultivo donde se ve comprometido de una manera directa el recurso suelo, y sus formas de cultivar un producto (Casas, 2011).

A continuación se detallan y explican, conceptos claves para la comprensión de esta investigación.

La edafología tiene su fundamento en la ciencia del suelo, sobre la cual se basa la investigación; la productividad de cacao y las propiedades del suelo que la determinan bajo dos sistemas de producción (agroforestal y monocultivo).

5.1.1. EDAFOLOGIA: LA CIENCIA DEL SUELO

Para el estudio del suelo existen términos y dentro de las más conocidas, está la **pedología** que se encarga del estudio del suelo, desde el punto de vista de su formación, origen, características físicas, químicas para determinar su clasificación; mientras que la **edafología** es la ciencia que estudia el suelo, desde el punto de vista de su relación con el crecimiento de las plantas y animales/microorganismos, hongos, bacterias y se la estudia para obtener mejores rendimientos especialmente si están enfocados en el uso del suelo para fines agrícolas (CATIE, 1985). En ese sentido, el presente estudio se enmarca en esta última definición.

5.1.2. DEFINICIÓN EDAFICA

Dentro del contexto estratégico enfocado en la agricultura sustentable, la conceptualización para el recurso suelo según (Calderón *et al.*, 2002) es aquel que mantiene las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables, de tal manera, que mientras este requiere de una cantidad necesaria de agua y nutrientes, es capaz de proveer sostén mecánico a las plantas, así como su composición y forma son mecanismos influyentes, para predecir cuándo un suelo se encuentra apto para actividades agrícolas.

5.1.3. FORMACIÓN

El suelo es seguro que se forma por la desintegración de rocas, una vez que ha transcurrido varios años. Físicamente se desintegra por acción de factores como el viento, agua, aire, luz solar, y raíces de las plantas; químicamente se descompone por ácidos orgánicos (restos de animales muertos y plantas) y por el ácido carbónico diluido por el CO₂ del aire en las aguas de lluvia (Casanova, 2005).

5.1.4. COMPOSICIÓN

El suelo está compuesto por 3 fases, que son la parte sólida que corresponde a la fracción mineral y orgánica; líquida con presencia de agua y la gaseosa que comprende todo el aire, aunque pueden estar presentes otros gases (vapores, anhídrido carbónico, sulfuros). En las 3 fases sólidas, líquida y gaseosa existen diversos componentes, que de acuerdo a su volumen, se puede estimar el porcentaje del suelo **TABLA 1** (FAO, 1991).

CUADRO 1. Composición del suelo

COMPONENTE	Porcentaje del volumen del suelo	Porcentaje del peso seco (estufa) del suelo
Minerales	40	95-99
Materia orgánica incluyendo microorganismos	10	1-5
Aire	15	no aplicable
Agua	35	no aplicable

Fuente: FAO (1991).

5.1.4.1. FRACCIÓN MINERAL

Los minerales del suelo dependen del tipo de roca del que se ha constituido el suelo. En la mayoría de suelos, las fracciones de arena y limo están formadas por minerales primarios, y tienen su origen de rocas ígneas y metamórficas; es poco frecuente encontrar esta clase de minerales en suelos arcillosos; los minerales primarios son el cuarzo, feldespato, mica, piroxeno, anfíboles y olivino. La característica de los suelos arcillosos es presentar minerales secundarios, y son herederos de rocas sedimentarias o formadas por meteorización; los minerales más comunes son los carbonatos, sulfuros, sulfatos, arcillas silicatadas y un sinnúmero de óxidos (Adams, 1995).

5.1.4.2. MATERIA ORGÁNICA

Proviene de las plantas y animales, que viven sobre o en el interior del suelo. Estos cuerpos orgánicos llegan a formar parte de suelo dependiendo de 3 factores:

- A. **Tipo de plantas o de sustancias animales que se adhieren al suelo.** La naturaleza física y los componentes de diversas sustancias con que están formadas las plantas, los animales y los nutrientes contenidos en el suelo, juegan un rol fundamental. La materia orgánica se descompone por la flora y fauna asociada (insectos y lombrices) (Hodgson, 1987).

- B. **Clima.** La materia orgánica se descompone con cierta rapidez a temperaturas elevadas, mientras que en las temperaturas bajas los contenidos ricos en materia orgánica, se mantienen o su descomposición se desarrolla tardíamente (Hodgson, 1987).

- C. **Factores edáficos.** La cantidad de organismos que descomponen la materia orgánica, dependen de la condición del suelo en la que se encuentran. Ciertos organismos tienen menos actividad en suelos ácidos y secos en comparación con suelos húmedos y neutros; en suelos húmedos y oxigenados el proceso de descomposición es efectiva, ya que gran parte de los microorganismos se encuentran activos, en suelos húmedos y sin aireación, la descomposición se lleva a cabo de una manera pausada o hay descomposición anaerobia (Hodgson, 1987).

5.1.4.3. AGUA

Los espacios que dejan las partículas del suelo constituyen macroporos o microporos, los cuales se encuentran conectados unos a otros para constituir una red de canales, que sirven para contactar la superficie del terreno con las fisuras internas del suelo. El agua que cae sobre la superficie, parte de ella se escurre y la otra parte se infiltra gracias a la gravedad, hasta perfiles del suelo más profundos dando lugar a la capa freática. El agua que atraviesa los poros del suelo recibe el nombre de agua gravitacional, y la que se encuentra bajo el nivel freático se denomina agua freática. Cuando no existe movimiento del agua gravitacional, parte de ella se almacena en los poros y la otra parte en la zona superficial debido a las fuerzas de tensión superficial y adsorción (Crespo, 2004).

5.1.4.4. AIRE

La aireación del suelo, es el intercambio gaseoso de O₂ y CO₂ entre el aire del suelo y el aire atmosférico; con la respiración de las plantas a través de las raíces se consume el O₂, haciendo que este disminuya y aumente la concentración del CO₂ en el suelo. A través de estas condiciones los pequeños organismos que habitan en el suelo compiten con las raíces de las plantas por el O₂, para descomponer la materia orgánica. Para el constante funcionamiento de estas actividades, que desempeñan las raíces y los microorganismos del suelo, se requiere de un mecanismo de renovación de O₂ para lograr optimizar estas funciones (Casanova, 2005).

5.1.5. CALIDAD DEL SUELO

La sostenibilidad ambiental, puede ser alcanzada mediante el mantenimiento y la mejora continua de la calidad del suelo, dicha calidad, puede entenderse como la capacidad del suelo para funcionar, y puede ser evaluado determinando datos correspondientes a propiedades físicas, químicas y biológicas (Vallejo, 2013).

La preocupación por la calidad del suelo no es nueva, ya que en épocas remotas el concepto de calidad fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación entre manejo de tierras y suelo (Bautista & Etchevers, 2004).

La definición de calidad del suelo se encuentra asociado con la sostenibilidad, sin embargo este último tiene sus repercusiones ya que se encuentra ligado a un factor principal, el uso del suelo, el mismo que debe sustentarse en la capacidad del suelo para proporcionar elementos esenciales, ya que podrían limitar su productividad (Bautista & Etchevers, 2004).

Esta definición ha sido muy acogida por diversos autores, ya que se encuentra relacionada con la capacidad del suelo para funcionar incluyendo atributos como calidad ambiental, sostenibilidad y productividad.

• INDICADORES DE CALIDAD:

Para evaluar los cambios en la calidad del suelo, es necesario recurrir a variables que sirvan para llegar a diagnosticar la condición del suelo. Estas variables son conocidas como indicadores, que no son más que instrumentos de análisis que simplifican, cuantifican, y

comunican fenómenos complejos, los indicadores pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas (Bautista & Etchevers, 2004).

Existen 3 elementos incluidos en la definición de sostenibilidad, que son las dimensiones económica, social y ecológica. La dimensión económica implica la producción a una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo; la social aspira a que la forma de manejo permita a la organización social, un grado aceptable de satisfacción de sus necesidades y la ecológica involucra las características principales para la supervivencia que deben mantener los ecosistemas a través del tiempo, en relación a los componentes e interacciones (Hünne Meyer, 1997).

5.2. PRODUCTIVIDAD: FACTORES QUE INTERFIEREN Y PROPIEDADES

La productividad en el marco de la edafología, se puede definir como la capacidad del suelo para producir biomasa vegetal o semilla de cosecha (Yang *et al.*, 2003).

En el marco de la productividad del suelo se encuentran involucrados 2 factores: la producción y el rendimiento; en el factor producción intervienen las formas de producir (agroforestería y monocultivo); para su entendimiento y diferenciación se las conceptualizara.

5.2.1. MONOCULTIVO

El monocultivo, es la siembra repetida conforme transcurren los años, de una misma especie donde todos los años el mismo cultivo persiste o es plantado en el mismo campo, sin encontrar especies alternadas (Puignau, 1995).

5.2.2. AGROFORESTERÍA

La agroforestería, es un sistema de manejo sostenido de la tierra, que aumenta el rendimiento de esta, combinando la producción de cultivos y plantas forestales, continuamente en el mismo terreno aplicando prácticas de manejo, que son compatibles con las prácticas culturales de la población (Cardenas, 1998).

- **CONTRIBUCIONES DE LA AGROFORESTERIA AL RECURSO SUELO**

Las diversas técnicas aplicadas en sistemas agroforestales permiten el retorno de mayor biomasa al agroecosistema, esta biomasa es de calidad, lo que permite el despliegue eficiente de nutrientes incluyendo hasta capas más profundas del suelo (Cardenas, 1998).

Por estas razones la estructura del suelo tiende a mejorar generando agregados más estables, y con ello se evita los efectos perjudiciales como la exposición directa al sol, vientos y precipitaciones (Restrepo, 2000).

5.2.3. MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO

Se entiende por sostenibilidad, al suelo que aumenta el rendimiento integral mediante la combinación de cultivos con especies arbóreas y/o animales, ya sean de forma simultánea o secuencial en la misma unidad de terreno (Cardenas, 1998).

La sostenibilidad de producción, se enmarca en el contexto de la capacidad de satisfacción del hombre sin afectar el recurso suelo ya que de este depende el sistema agrícola (Cardenas, 1998).

Un manejo sostenible mantiene o aumenta la productividad en el tiempo produciendo y conservando o viceversa (Jiménez & Muschler , 2001).

5.3. SOSTENIBILIDAD DEL CACAO: PRODUCTIVIDAD

Los rendimientos de la producción pueden verse disminuidos por la baja productividad, muchos de los agricultores tienen pocos conocimientos de las nuevas técnicas que pueden emplearse en sus cultivos para el mejoramiento de la producción, así también la disponibilidad de recursos económicos para acceder a insumos de calidad (Flores, 2007).

5.3.1. PRODUCCIÓN DEL CACAO EN EL ECUADOR

El cacao, se ha convertido en el cultivo más tradicional del Ecuador, por su trayectoria como generador de ingresos económicos para los productores. Esta planta se la cultiva en asocio con otras especies maderables, frutales, alimenticias y cítricas distribuidas en casi toda la superficie de terreno (Flores, 2007).

Siempre han existido interrogantes acerca de los sistemas de producción agroforestal y monocultivo, si realmente contribuyen a la sostenibilidad o al incremento de los recursos

económicos, aunque desde una visión conservacionista se puede decir que su producción cacaoera con especies forestales a su alrededor se encuentra garantizada (Flores, 2007).

Según el último censo agropecuario, se registraron 96829 unidades de producción agropecuaria (UPAS) equivalentes a 434418ha distribuidas de la siguiente manera: 243146ha aparecieron en forma de monocultivo y 191272ha con cultivos asociados (sistemas agroforestales) (Flores, 2007).

Estos datos, se distribuyen de forma porcentual por regiones en las siguientes proporciones: La región costera con el 66,8% y el 33,19 para la región andina y amazónica **FIGURA 1** (Flores, 2007). Cabe mencionar que para la actualidad las áreas representativas de cultivo de cacao se han incrementado por la demanda del producto muy utilizado en la fabricación del chocolate en otras provincias que no están representadas en el presente mapa, como lo son las provincias de Orellana y Pastaza (ECORAE, 2014)



FIGURA 1. Áreas de influencia de cacao en el Ecuador. **Fuente:** INIAP (1993).

En el Ecuador, se produce un aproximado de 80000 y 90000 toneladas al año de cacao, ya sea en grano o como productos semielaborados. Su producción se la puede estimar pesando

en kilogramos las almendras de las mazorcas físicamente maduras y sanas multiplicado por 0,40 que es un factor de conversión para obtener su peso seco (Zambrano, 2000).

$$P = PHASM * 0,40$$

Dónde:

P= Producción de cacao por superficie muestreada
PHASM (kg)= Peso húmedo de almendras en la superficie muestreada

0,40= factor de conversión (transformación de almendras húmedas a secas)

- **CULTIVOS DE CACAO: AGROFORESTERIA VS MONOCULTIVO**

En los cultivos de cacao con agroforestería, se obtiene ventajas como el aporte de microclima moderado, ya que con la ayuda de árboles se obtiene sombra, se atenúa temperaturas elevadas; mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico por los árboles que rodea los cultivos, recupera suelos degradados, se obtiene mayor producción y calidad del cacao, reduce la diseminación de plagas y enfermedades como monilia y mazorca negra. Pero el agricultor no considera estos beneficios pues su interés radica en la producción de cacao en cantidad, más no en calidad lo que ha conllevado que en su mayoría, se incline hacia una producción de cacao como monocultivo (Flores, 2007).

5.3.2. RENDIMIENTO DEL CACAO

Para registrar el rendimiento de cacao, es necesario estimar el peso seco de las semillas de cacao por hectárea, que se las obtiene multiplicando el peso fresco de las semillas por 0,40 que es el factor de conversión de semilla de cacao fresco a seco y posteriormente multiplicando por la cantidad de plantas por hectárea (Zambrano, 2000).

$$R = P * sup\ muestreada$$

Dónde:

R= Rendimiento por superficie muestreada

P= producción en superficie muestreada

sup muestreada = superficie muestreada

5.3.3. PROPIEDADES EDÁFICAS DETERMINANTES PARA LA PRODUCTIVIDAD

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Su apropiada relación determina la disponibilidad de nutrientes suficientes y el crecimiento oportuno de la planta,

lo cual conlleva a una calidad de suelo aceptable o en condiciones propicias. Dentro de los elementos de la calidad del suelo relacionadas con la productividad, se involucra a las propiedades físicas, químicas y biológicas (FAO, 2015).

5.3.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Los indicadores físicos se relacionan con el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas del suelo. Dentro de las más destacadas se menciona a la **textura, densidad aparente, resistencia a la penetración y conductividad hidráulica saturada**; estos indicadores de carácter físico evidencian ciertas limitaciones, en el crecimiento de las raíces, movimiento del agua en los perfiles del suelo, retención de nutrientes e intercambio de gases (Luters & Salazar, 1999).

5.3.3.1.1. TEXTURA

Es la conformación de componentes inorgánicos como lo son la arena, arcilla y limo que pueden llegar a presentarse con diferentes formas y tamaños; esta propiedad es de vital importancia ya que influye en la habilidad de retención de agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y como factor de productividad (FAO, 2015). De manera general, la textura se refiere a la proporción relativa en las que se hallan las clases de partículas, con un diámetro menor a 2mm en un volumen de suelo determinado. Estas clases de partículas pueden ser 3 y se describen a continuación.

CUADRO 2. Descripción de las principales clases de partículas del suelo

PARTÍCULA		DIÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Arena	2,00 – 0,05 mm	Sus partículas individuales son observables a simple vista. Por su gran tamaño y forma irregular, el contacto entre partículas de arena es limitado, lo que dificulta la formación de agregados estables en el suelo.	
Limo	0,05 – 0,002 mm	Su tamaño hace que sean observables al microscopio. Por la combinación de su área superficial y el tamaño de sus poros, esta partícula tiene la más alta capacidad retentiva de agua disponible	
Arcilla	<0,0002 mm	Son observables solo a través de microscopios electrónicos. Cuando se humedecen, forman agregados que al secarse son bastante duros. El grado de cohesión y adhesión varía según la clase de arcilla; cuanto más fina, más duro el terrón que se forma	

Fuente: Zavaleta (1992).

De acuerdo a los porcentajes de arena, limo y arcilla los suelos pueden agruparse en 12 clases de textura según (SSDS, 1993) y cada una de ellas puede tener un comportamiento físico, químico y mecánico diferente; de tal manera que la proporción de partículas tiene consecuencias en distintos aspectos del suelo como retención de humedad, capacidad de aireación, permeabilidad, disponibilidad de nutrientes, retención y liberación de iones y sensibilidad a la erosión (Jaramillo, 2002). Una textura se denomina equilibrada si presenta contenidos óptimos para la mayoría de cultivos es decir con contenidos de 40 a 45% de arena; 30 a 35% de limo y un 25% de arcilla (Casas, 2011).

La clase de textura también se la puede representar mediante el triángulo de la textura (**FIGURA 2**). Su nomenclatura se encuentra establecida por el USDA (SSDS, 1993). Los porcentajes de las tres partículas (arena, limo y arcilla) se determinan en laboratorio a través de un análisis granulométrico, el mismo que se trata de un proceso de segregación de estas tres fracciones (Porta *et al.*, 2003). Una vez obtenidos los porcentajes de laboratorio se procede a colocarlos en los ejes de la fracción correspondiente del triángulo de la textura, y se proyectan de acuerdo a las líneas guías del interior. El punto donde intersecan las tres clases de partículas, corresponde a la clase de textura del suelo que es analizado (Jaramillo, 2002).

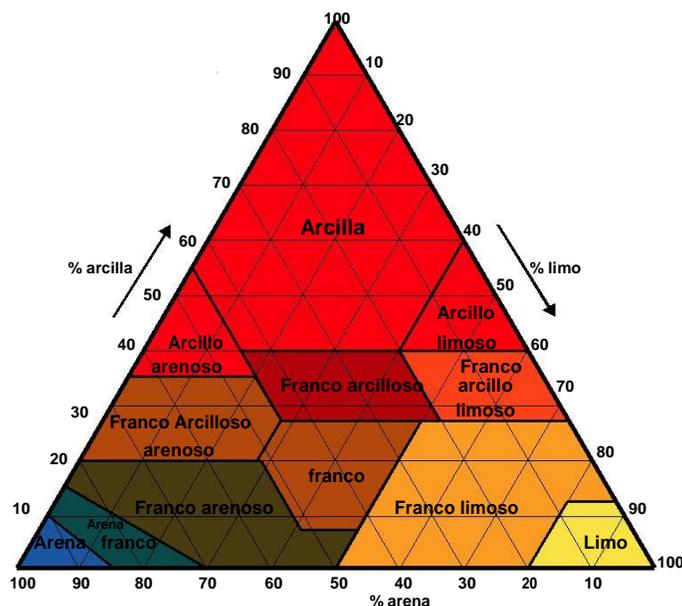


FIGURA 2. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas de acuerdo con el USDA. **Fuente:** SSDS (1993).

5.3.3.1.2. DENSIDAD APARENTE (Da)

Es la densidad del suelo, para efectuar su cálculo es necesario considerar el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo, motivo por el cual depende de la organización que presente la fracción sólida del mismo y está afectada por su estructura, textura, contenido de materia orgánica, humedad y grado de compactación (Jaramillo, 2002). La fórmula que expresa la densidad aparente de acuerdo con (Jaramillo, 2002) es la siguiente:

$$Da = \frac{Ms}{Vt}$$

Dónde:

Da = Densidad aparente del suelo

Ms = Masa de solidos

Vt = Volumen de solidos

Un suelo con condiciones porosas tiene valores de densidad aparente (Da) inferior a 1,3 g/cm³. Un suelo de textura fina, suele presentar una densidad igual o superior a 1,3g/cm³, mientras que uno de textura media igual o superior a 1,4 g/cm³, y por ultimo aquellos de estructura gruesa suelen presentar valores superiores a 1,6 g/cm³ (De la Rosa, 2008). Estos valores críticos de Da se distribuyen de la siguiente manera dependiendo de la clase textural del suelo **CUADRO 3**.

CUADRO 3. Clases Texturales del suelo y su densidad aparente critica

CLASE TEXTURAL	Da g/cm³
Arcillosos	≥1,3
Franco arcillosos	≥1,3
Franco	≥1,4
Franco limoso	≥1,4
Franco arenosos	≥1,6

Fuente: SSDS (1993).

De acuerdo con los valores de (Da), se puede llegar a estimar el nivel de compactación del suelo. Un suelo que está preparado para la etapa de siembra presenta valores más bajos de densidad aparente; mientras que ese mismo suelo pero en periodo de cosecha tiene valores más altos. Un suelo que presente valores muy elevados de densidad aparente indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y escasa capacidad de infiltración por el grado de compactación fuerte del suelo (FAO, 2009).

5.3.3.1.3. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA (K_{sat})

La conductividad hidráulica, describe la facilidad en la que los poros del suelo permiten el flujo del agua. Cuando un suelo se satura, todos los poros pueden dirigir el agua y la conductividad está en su máxima expresión, y es conocida como conductividad hidráulica saturada. Esta última es una de las propiedades importantes para describir los procesos de infiltración y redistribución de agua en el suelo (Gabriels *et al.*, 2013).

En el caso de la Conductividad Hidráulica Saturada (K_{sat}) depende del tamaño, número, orientación, distribución y continuidad de poros en especial en los de retención, tipo de fluido, tamaño de partículas, cantidad relativa de fluido presente en el suelo (Reichardt & Timm, 2004).

Para suelos de cultivo, se considera adecuados, aquellos cuya permeabilidad toma valores comprendidos entre 2 y 6 cm/h; valores inferiores a los 0,5 cm/h son propios de suelos pesados, con problemas de asfixia radicular mientras que valores superiores a los 25 cm/h son característicos de suelos con abundante arena, incapaces de retener agua y poco fértiles por el continuo lavado de nutrientes (Casas, 2011).

La fórmula que expresa la (K_{sat}) mediante el método de carga variable es la siguiente:

$$K_{sat} = \frac{A_1}{A_2} * \frac{L}{(t_1 - t_2)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Dónde:

K_{sat} = Conductividad hidráulica saturada

L = Longitud de la columna del suelo (L)

A_1 = Área de la sección transversal del tubo por encima del suelo (L²)

A_2 = Área de la sección transversal del suelo (L²)

t_1 = Intervalo de tiempo inicial

t_2 = Intervalo de tiempo final

h_1 = Nivel inicial de agua sobre el punto de salida del agua percolada (cm)

h_2 = Nivel final desagua sobre el punto de salida

Dependiendo de la velocidad de infiltración es posible evaluar en qué condiciones ambientales se encuentra un suelo **CUADRO 4**.

CUADRO 4. Evaluación de la conductividad hidráulica saturada dependiendo de su velocidad de infiltración

EVALUACIÓN	Ksat (cm h⁻¹)
Muy lenta, alto riesgo de erosión	<0,1
Lenta. Riesgo de erosión. Problemas de exceso de humedad	0,1 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,0
Moderadamente rápida. Baja eficiencia del riego, pérdida de nutrientes por lavado	6,0 – 12,5
Rápida	12,5 – 25,0
Muy rápida	>25,0

Fuente: Clapp & Hornberger (1978).

5.3.3.1.4. DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE POROS

Un suelo con excelente estructura presenta una adecuada distribución de poros, lo cual garantiza la entrada de aire, agua, circulación, almacenamiento, redistribución entre las capas del suelo y el óptimo aprovechamiento de nutrientes. Para el análisis de estas funcionalidades es necesario distinguir entre la porosidad total, aireación y retención (Wilson & Paz, 2007).

5.3.3.1.4.1. POROSIDAD TOTAL (Pt)

A partir de la densidad aparente y la densidad real de las partículas se determina la porosidad total del suelo; así un suelo de 1,3g/cm³ de densidad aparente y 2,6 g/cm³ de densidad real, tendría una porosidad propia del horizonte superficial de un suelo de textura media (De la Rosa, 2008). Un suelo ideal debe tener el espacio poroso total dividido entre macroporos y microporos, un suelo con estas condiciones tiene suficiente aeración, permeabilidad y capacidad de retención para los cultivos (Bazán, 1975).

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100\%$$

Dónde:
Pt = Porosidad Total
Da = Densidad aparente
Dr = Densidad real

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Dónde:
Dr = Densidad real
Ms = Peso de sólidos
Vs = Volúmen de sólidos

5.3.3.1.4.2. POROSIDAD DE AIREACIÓN (P_a)

También conocida como espacio poroso no capilar; y es la suma del volumen de los macroporos, que no retienen agua por capilaridad; normalmente contienen aire y son responsables de la capacidad de aeración y de percolación del agua a través del suelo. Para una aeración satisfactoria del suelo el espacio poroso no capilar debe ser más del 10% del volumen (Bazán, 1975).

$$P_a = P_t - P_r$$

Dónde:

P_r = Porosidad de aeración

P_t = Porosidad total

P_r = Porosidad de retención

5.3.3.1.4.3. POROSIDAD DE RETENCIÓN (P_r)

También conocida como porosidad capilar, es la suma de los volúmenes de los poros pequeños que retienen agua por capilaridad y son responsables de la capacidad de retención del agua por el suelo (Bazán, 1975).

$$P_r = I_t * D_a$$

Dónde:

P_r = Porosidad de retención

D_a = Densidad aparente

I_t = Índice de textura

$$I_t = P_{adh} - 1/5 \text{ de arena}$$

Dónde:

I_t = Índice de textura

P_{adh} = Punto de adherencia

5.3.3.1.5. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (R_p)

Es una medida usada para diagnosticar el estado estructural del suelo desde el punto de vista del desarrollo radicular. Las principales propiedades que interactúan sobre la resistencia a la penetración son: contenido de humedad, velocidad de secado, manejo agrícola y propiedades a las penetraciones; por lo tanto constituye un elemento útil para diagnosticar el suelo en cuanto a su susceptibilidad de enraizamiento (IICA, 1991). Por otra parte (Hamza & Anderson, 2005) consideran como crítico el valor de 1000 KPa, el mismo que representa problemas de restricción en el desarrollo radicular. También es un indicador del nivel de compactación de suelo la cual, limita la cantidad de agua y aire que disponen las raíces haciendo posible que esta propiedad tenga relación con la porosidad y densidad aparente del suelo (Henríquez & Ortiz, 2011).

5.3.3.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas del suelo permiten reconocer las cualidades del suelo cuando se presentan reacciones químicas que alteran su composición y funcionamiento. Su descripción es importante para interpretar las relaciones entre suelo – planta (Fassbender, 1975).

5.3.3.2.1. POTENCIAL HIDROGENO (pH)

Hace referencia al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo; es un parámetro muy apreciado en los análisis de suelos debido a su influencia en la mayoría de procesos biológicos incluyendo el crecimiento de plantas. El pH está dado por la relación entre iones hidrones (H^+) y oxidrilos (OH^{-1}); y químicamente se expresa como el logaritmo de valor inverso de la concentración del ion hidrón (H^+) bajo la forma hidronio (H_3O^+) presentes en el recurso suelo. Su fórmula es la siguiente (Jaramillo, 2002): $pH = \log \frac{1}{H_3O^+} = -\log H_3O^+$

Cuando existe mayor predominio de iones hidrogeno la reacción el suelo es acida lo cual indica que el pH es menor que 7; si existe mayor concentración de iones oxidrilos la reacción del suelo es alcalina es decir mayor a 7 y si la concentración de ambos iones se encuentran equilibradas la reacción es neutra o sea igual a 7 (Liu & Hanlon, 2012). Los rangos de pH varían entre 3,5 a 9; la razón por la que no se encuentra entre los valores extremos de 0 ó 14 se debe a que el recurso suelo no corresponde a una solución verdadera sino que forma parte de una solución coloidal (MINAG, 2011). Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), existe una clasificación de valores pH determinados en una cantidad de suelo; su relación agua: suelo está en equilibrio 1:1 (Jaramillo, 2002).

CUADRO 5. Clasificación del pH del suelo

VALOR	CLASIFICACIÓN
<3,5	Ultra acido
3,5 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente Alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
>9,0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Jaramillo (2002).

Es apropiado para los cultivos agrícolas rangos de pH que oscilan entre 5 a 7,5; esto debido a la presencia de nutrientes que conllevan a un desarrollo eficaz de los sembríos. En suelos con alto índice de acidez en su pH se pueden encontrar elementos como el aluminio, hierro y manganeso; mientras que en los alcalinos se encuentran calcio magnesio, sodio y potasio (FIGURA 3) (MINAG, 2011).

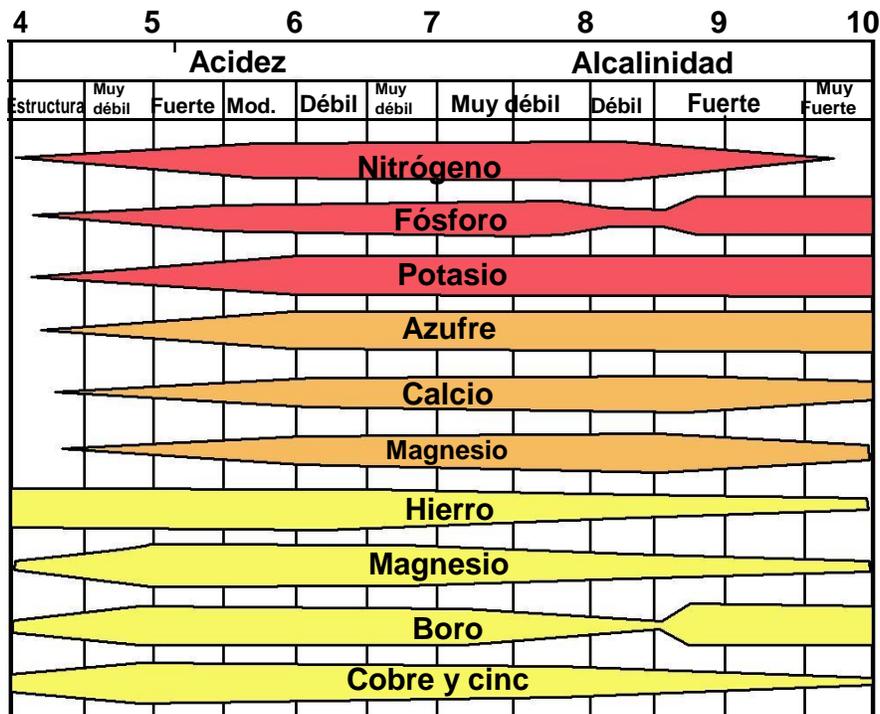


FIGURA 3. pH y disponibilidad de nutrientes. Fuente: MINAG (2011).

5.3.3.2.2. CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

Este componente principal de los seres vivos representa cerca del 50% del peso seco de la materia orgánica (contiene carbono). Tanto plantas como animales, al morir se desintegran por acción de microorganismos presentes en el recurso suelo, quienes se encargan de regresarlo al ambiente como CO₂. La materia orgánica, es una fracción orgánica que involucra restos de animales y vegetales en diferentes etapas de descomposición que a su vez por encontrarse en este estado producen diferentes sustancias. (Fernandez & Rojas, 2006).

En base a los resultados obtenidos en laboratorio es posible interpretar los resultados de Carbono orgánico del suelo mediante rangos establecidos por (Merino, 2003) (**CUADRO 6**).

CUADRO 6. Clasificación del Carbono Orgánico del suelo

VALOR	CLASIFICACIÓN
<1%	Muy Bajo, suelo muy mineralizado
1 – 1,9%	Bajo, suelo mineralizado
2 – 2,5%	Medio, normal, suelo mineral-orgánico
> 2,5%	Alto, suelo orgánico

Fuente: Merino (2003).

En relación a los sistemas agroforestales son capaces de remover cantidades importantes de carbono disponible de la atmosfera, ya que los arboles asociados a cultivos (agroforestales) retienen carbono por un tiempo prolongado en su madera, conllevando a que este tipo de sistema contenga más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de suelo (monocultivo); se puede decir que los suelos de un sistema agroforestal contienen cerca del 40% del carbono total. En un bosque natural el carbono del suelo se encuentra en equilibrio (Andrade & Muhammad , 2003)

Para estimar el contenido de carbono orgánico total (%) se utiliza la siguiente formula (Walkley & Black, 1938).

$$\%C = \frac{\%MO}{1,724}$$

Dónde:

%C = Carbono orgánico total
%MO = porcentaje de materia orgánica
1,724= Factor Van Benmelen

Para determinar el contenido de carbono orgánico total se utiliza la siguiente formula (González & Etchevers, 2008).

$$COS = Da * Pr + \%C$$

Dónde:

COS = Fracción de carbono orgánico en el suelo (g/cm²)
Da = Densidad aparente (g/cm³)
Pr= Profundidad del suelo (cm)
%C= Porcentaje de carbono orgánico en el suelo

5.3.3.2.3. NITRÓGENO TOTAL (Nt)

El nitrógeno está presente en el suelo gracias al aporte constante de la materia orgánica y a la fijación de las bacterias a partir del aire; una vez que ingresa en el suelo este nitrógeno resulta beneficioso para las plantas, animales y pequeños organismos que se encargan de incorporarlo a sus tejidos (Perdomo, 1998).

Es importante para el desarrollo de las hojas y se localiza en el protoplasma celular como uno de los componentes fundamentales de aminoácidos, proteínas, nucleoproteínas, enzimas, ácidos nucleicos. En las plantas también es constituyente de las paredes celulares, así como de su clorofila; su asimilación ocurre en forma de anión nitrato (NO_3^-) y de catión amonio (NH_4^+) (Perdomo, 1998).

Para calcular la concentración de nitrógeno total presente en el suelo utilizando valores determinados en el laboratorio mediante el método de Kjeldahl se requiere de la siguiente fórmula (Fernandez & Rojas, 2006).

$$Nt = \frac{(T-B) * N * 1,4}{S}$$

Dónde:

Nt = Nitrógeno Total

T = ml de H_2SO_4 valorado gastados en la muestra

B = ml de H_2SO_4 valorado gastados en el blanco

N = Normalidad exacta del H_2SO_4

S = Peso de la muestra de suelo

Según el porcentaje de nitrógeno presente en los suelos existe una calificación para suelos dependiendo de su textura (Bremner, 1960) **CUADRO 7.**

CUADRO 7. Clasificación del Nitrógeno Total del suelo

VALOR	CLASIFICACIÓN
<0,45%	Bajo
0,45 – 0,7%	Adecuado
0,7 – 2,00%	Alto
> 2,00%	Exceso

Fuente: Bremner (1960).

5.3.3.2.4. FÓSFORO (P)

El fósforo en las plantas es importante porque ayuda a la formación de raíces, semillas, flores, frutos; es el principal constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos y coenzimas (Stanier & Ingrahan, 1992). El fosforo en el suelo se presenta como ortofosfato. En

condiciones acidas del suelo se encuentra en forma de anión fosfato monoácido (HPO_4) y en condiciones alcalinas del suelo se presenta en forma de anión fosfato diácido (H_2PO_4) (Busman, 2002).

Para calcular la concentración de fósforo presente en el suelo, se requiere de la siguiente formula (Salinas & García, 1985).

$$P = P_{muestra} * 70,2$$

Dónde:

P = disponibilidad de fósforo en suelo ppm
Pmuestra= cantidad de fósforo extractado en la muestra en ppm
70,2= Factor de dilución

De acuerdo a los valores registrados en el laboratorio es posible interpretar el potasio obtenido y estimar una calificación de acuerdo a su contenido (**CUADRO 8**) (Molina, 2002).

CUADRO 8. Interpretación de Fósforo asimilable presente en el suelo

CALIFICACIÓN	P (ppm)
MUY BAJO	0 – 6
BAJO	6 – 12
NORMAL	12 – 18
ALTO	18 – 30
MUY ALTO	> 30

Fuente: Molina (2002).

5.3.3.2.5. POTASIO (K)

Es importante en las plantas ya que le otorga cierta fortaleza para resistir a enfermedades, plagas y cambios bruscos de temperatura. Actúa en la fotosíntesis y cumple funciones importantes como la activación de enzimas y síntesis de proteínas para el mejoramiento de la calidad del fruto (Rehm & Schmitt, 2002).

Para calcular la concentración de potasio presente en el suelo se requiere de la siguiente formula (Salinas & García, 1985).

$$K (meq/100g\ suelo) = K_{muestra} * 0,051$$

Dónde:

K = disponibilidad de potasio en suelo
Kmuestra= cantidad de potasio extractado en la muestra en ppm
0,051= Factor de dilución

De acuerdo a los valores registrados en el laboratorio es posible interpretar el potasio obtenido y estimar una calificación de acuerdo a su contenido **CUADRO 9** (Molina, 2002).

CUADRO 9. Criterios para determinar la cantidad de Potasio en el suelo

CALIFICACIÓN	K (meq/100gr)
MUY BAJO	0,00 – 0,30
BAJO	0,30 – 0,60
NORMAL	0,60 – 0,90
ALTO	0,90 – 1,50
MUY ALTO	1,50 – 2,40

Fuente: Molina (2002).

5.3.3.2.6. CALCIO (Ca)

En el suelo se encuentra en forma de catión divalente Ca^{++} y puede constituirse en zonas áridas cerca del 5% en peso de un suelo salino y apenas el 0,01% en peso de un suelo en zonas tropicales húmedas. En zonas templadas húmedas su porcentaje de acumulación es del 1 al 2%. Mantiene una relación fundamental con el pH y con la disponibilidad de varios nutrientes; la cantidad de calcio suele descender al aumentar la acidez del suelo y aumenta cuando el suelo se torna alcalino (Thompson & Troeh, 1988).

El calcio se agota en la región del suelo que rodea la raíz en crecimiento, este fenómeno resulta del agotamiento del recurso agua en el suelo (Thompson & Troeh, 1988).

Para calcular la concentración de calcio presente en el suelo se requiere de la siguiente formula (Salinas & García, 1985).

$$\text{Ca (meq/100g suelo)} = \text{Ca muestra} * 1$$

Dónde:

Ca = disponibilidad de calcio en el suelo
Camuestra= cantidad de calcio extractado en la muestra en ppm
1= Factor de dilución

De acuerdo a los valores registrados en el laboratorio es posible interpretar el calcio obtenido y estimar una calificación de acuerdo a su contenido **CUADRO 10** (Molina, 2002).

CUADRO 10. Criterios para determinar la cantidad de Calcio en el suelo.

CALIFICACIÓN	Ca (meq/100gr)
MUY BAJO	0 – 3,5
BAJO	3,5 – 10
NORMAL	10 – 14
ALTO	14 – 20
MUY ALTO	> 20 Muy alto

Fuente: Molina (2002).

5.3.3.2.7. MAGNESIO (Mg)

En el suelo se encuentra presente en tres fracciones; la primera en la solución suelo y es el que se encuentra en íntima relación con las plantas; la segunda fracción, es el magnesio intercambiable que es el que se encuentra acumulado en las partículas de arcilla y materia orgánica y la tercera fracción, es la no intercambiable que es cuando el magnesio resulta ser un componente más de los minerales primarios en el suelo. El magnesio es bastante polifuncional en las plantas por su continua participación en procesos como la fotofosforilación, síntesis de proteínas, formación de clorofila, fijación fotosintética de CO₂, recarga de floema; cuando las hojas maduras suelen ser amarillentas es síntoma de carencia de magnesio en la planta (Cakmak & Yazini, 2010).

Para calcular la concentración de magnesio presente en el suelo se requiere de la siguiente formula (Salinas & García, 1985).

$$\mathbf{Mg} \text{ (meq/100g suelo)} = \mathbf{Mg} \text{ muestra} * 1,67$$

Dónde:

Mg = disponibilidad de magnesio en el suelo

Mgmuestra= cantidad de magnesio extractado en la muestra en ppm

1,67= Factor de dilución

De acuerdo a los valores registrados en el laboratorio es posible interpretar el magnesio obtenido y estimar una calificación de acuerdo a su contenido **CUADRO 11** (Molina, 2002).

CUADRO 11. Criterios para determinar la cantidad de magnesio en el suelo

CALIFICACIÓN	Mg (meq/100gr)
MUY BAJO	0,0 – 0,6
BAJO	0,6 – 1,5
NORMAL	1,5 – 2,5
ALTO	2,5 – 4,0
MUY ALTO	> 4,0

Fuente: Molina (2002).

5.3.3.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Se refiere a la materia orgánica y las diferentes formas de vida animal presentes en el suelo ya sean microorganismos, insectos y lombrices que ayudan a predecir la vulnerabilidad del suelo y su capacidad de uso; estas pequeñas formas de vida contribuyen a mejorar las condiciones del suelo, ya que mineralizan y descomponen la materia orgánica de una forma acelerada. La vida en el suelo se da de una manera sinérgica y antagónica, que ayudan a mantener un equilibrio entre las poblaciones impidiendo las arremetidas de ciertas plagas a la planta (FAO, 2008).

5.3.3.3.1. RESPIRACIÓN EDÁFICA (RE)

Tiene un rol importante en el accionar de fenómenos ecológicos que abarcan desde la funcionalidad individual de las plantas hasta la retención de CO₂ atmosférico. La respiración edáfica se encuentra regulada por factores bióticos y abióticos como la temperatura, agua, nutrientes, actividad fotosintética, biomasa de raíces y microbiana. Este tipo de respiración tiene cierta relación directa con la productividad y producción de hojarasca en ecosistemas forestales (Moore, 1986).

5.3.3.3.2. RESPIRACIÓN BASAL (RB)

Es una medida de la actividad microbiana, materia orgánica en descomposición, calidad de carbono en el suelo, que resultan afectadas por el sustrato disponible, condiciones ambientales y sistemas de manejo del suelo (Wyszkowska, 2002).

5.3.3.3. CANTIDAD DE LOMBRÍCES

Estos organismos impulsan las actividades de microorganismos del suelo ya que con la función de desintegrar la materia orgánica crean nuevas áreas para el acceso de hongos y bacterias; también se encargan de estimular las raíces en el subsuelo mediante la creación de macroporos y canales que facilitan la aeración en el suelo y la infiltración de agua. Las lombrices de tierra, que viven en el interior del suelo (endógeas) pueden ser compactadoras o descompactadoras que de manera general las más pequeñas se encargan de consumir la materia fecal de las lombrices de tamaño grande separando los aglomerados del suelo compactado. Algunos desechos fecales, se combinan con partículas de suelo de menor tamaño (fragmentación del suelo) para servir de alimento de las lombrices grandes (Zúñiga & Palacio, 2005).

Las lombrices compactadoras tienen participación en la retención del agua; mientras que las descompactadoras influyen en la porosidad del suelo y la infiltración (Zúñiga & Palacio, 2005).

La presencia de lombrices de tierra en el suelo, se debe al factor humedad ya que cuando la cobertura del suelo es conservada la evaporación del suelo se reduce, aumentando de esta forma la materia orgánica la misma que permite que el suelo conserve su agua. Las condiciones de vida óptimas para las lombrices de tierra en cuanto a la humedad del suelo oscilan entre 78 y 80%. **FIGURA 4.** Población de lombrices de tierra en cuanto a la presencia de Humedad (Gassen & Gassen, 1996).

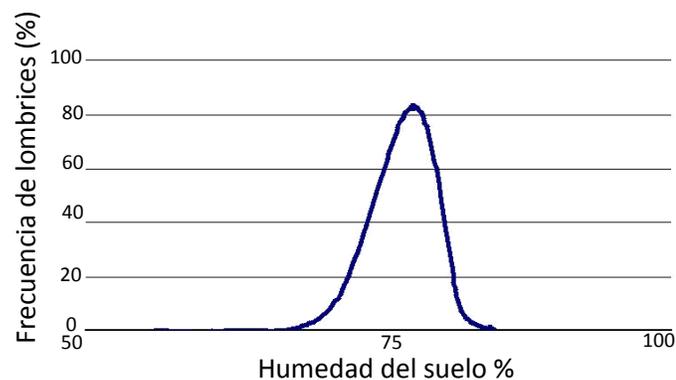


FIGURA 4. Efecto de la humedad del suelo sobre la ocurrencia de lombrices de tierra. **Fuente:** Gassen & Gassen (1996).

En cuanto a la agricultura conservacionista como los sistemas agroforestales, aumentan la población de lombrices de tierra, estos organismos escasamente suben hacia la superficie del suelo porque mantienen una aversión a la luz (fotofobia) lo que indica que las lombrices tiene gran aprecio a ser huéspedes debajo de la superficie de la tierra donde son resistentes al CO₂ presente en el suelo y a periodos largos de lluvia **FIGURA 5** (Pauletti, 1999).

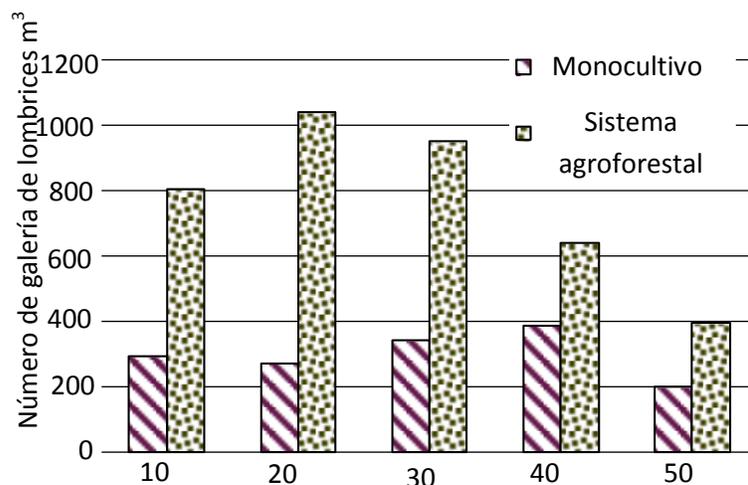


FIGURA 5. Número de galerías de lombrices de tierra diámetro >1,5mm en suelos bajo sistema agroforestal y monocultivo. **Fuente:** Pauletti (1999).

5.4. FACTORES DE PRODUCCIÓN DE CACAO

Los factores climáticos y nutricionales, son fundamentales al momento de instalar una plantación de cacao y de ella depende la productividad; factores críticos como la temperatura, precipitaciones y suelo (factores ambientales) influyen en el desarrollo de la planta (Gabriel, 2001).

5.4.1. FACTORES AMBIENTALES QUE INTERFIEREN EN EL CULTIVO DE CACAO

El cacao es una planta que corresponde al estrato bajo de los bosque tropicales, su región de cultivo es restringida con cierta preferencia hacia la línea ecuatorial. La temperatura, precipitación, viento, humedad relativa y condiciones edáficas son considerados como factores ambientales para su desarrollo (IICA, 1982).

5.4.1.1. TEMPERATURA

El grado de oscilaciones y los cambios abruptos influyen en los procesos fisiológicos del cacao afectando su rendimiento. Para que el cultivo de cacao sea provechoso, es decir sin afectar su productividad se puede considerar como optimas temperaturas promedio anuales de 24 a 26⁰C. En cuanto al suelo, su temperatura no debe exceder los 25⁰C (Hernández, 1991).

5.4.1.2. PRECIPITACIÓN

Para un excelente desarrollo del cacao, es necesaria una buena distribución del agua anual considerando el tipo de suelo del terreno (IICA, 1982). El cacao es muy sensible a la falta de agua, ya que su escasez conllevan a que los estomas de la planta se cierren y con ello impiden su capacidad para realizar la fotosíntesis afectando de esta manera su producción; y si la falta de agua es prolongada podría ocasionar caída de hojas de la planta y por ende su muerte. El exceso de agua (3.500 mm/año) beneficia la erosión del suelo, desarrollando enfermedades del cacao como moniliasis y mazorca negra; en suelos con acumulación de agua (mal drenaje) se impide el normal desenvolvimiento de la relación suelo-planta (respiración, compartimento de nutrientes) y con ello la muerte de la planta. Las precipitaciones adecuadas oscilan entre 1.200 y 3.500 mm anuales, la interrupción de precipitaciones por un lapso de 3 meses en los cultivos limita su producción, sin importar que en el resto de meses la pluviosidad aumente (IICA, 1982).

5.4.1.3. VIENTO

Los fuertes vientos superiores a los 4 m/seg podrían ser perjudiciales para la parte física de la planta de cacao ya que estos vientos podrían ocasionar caídas de árboles permanentes o temporales provocando daños a la planta; vientos con escasa velocidad pero permanentes podrían provocar que las hojas pierdan humedad y con ello el marchitamiento. La velocidad del viento favorable para el cultivo de cacao es de 1 m/seg (Enríquez & Paredes, 1989).

5.4.1.4. HUMEDAD

Para que la producción sea efectiva en una plantación de cacao, es de gran importancia considerar a la humedad ya que tiene cierta influencia en la actividad fisiológica de la planta de cacao; la humedad apropiada para un cultivo de cacao oscila entre 70 a 80% (Hernández, 1991).

5.4.2. FACTORES CRITICOS: SISTEMAS DE CULTIVO DE CACAO Y SU AMISTAD CON LA BIODIVERSIDAD

El cultivo de cacao según (Bolívar *et al.*, 2009) tiene importancia ecológica y ambiental por su principio conservacionista (siempre y cuando se lleve a cabo buenas prácticas agrícolas), ya que es reservorio de nutrientes por el reciclaje procedente de restos de frutos, tallos, hojarasca de las propias plantas de cacao y de especies forestales contiguas.

Cada una de las actividades en el manejo del cacao, por parte de los productores de cada finca determina, si su cultivo tiene cierta semejanza o diferencia a un bosque en cuanto a la formación y funcionalidad de la finca. El abuso de químicos, la existencia de biomasa de una sola especie (**FIGURA 6. monocultivo**), el mal suministro de agua son actividades que afectan la estructura y composición química de un suelo cultivado, frente al suelo de referencia (Larrea, 2008).

Existen prácticas agrícolas, que pueden ser empleadas para tener un cultivo de cacao amigable con el ambiente y pueden ser las siguientes: Evitar la transformación del bosque, incrementar la biodiversidad de árboles (**FIGURA 7. variedad de árboles**), evitar en lo posible el uso de agroquímicos, proteger la fauna asociada y mantener labores de cultivo adecuadas; todas estas prácticas de agricultura se ven asociadas de una forma directa a la agroforestería (Larrea, 2008).



FIGURA 6. Cultivo de cacao bajo un sistema de monocultivo (**una sola especie**) Fuente: FHA (2004).

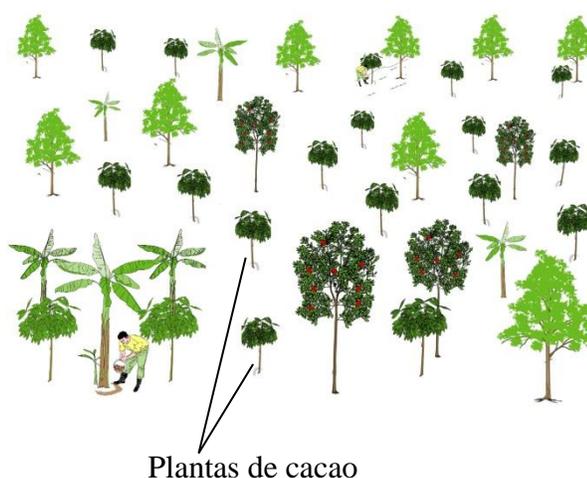


FIGURA 7. Cultivo de cacao bajo un sistema agroforestal (**variación de especies**) Fuente: FHA (2004).

5.5. PROBLEMÁTICA DE LA EMISION DEL CARBONO

5.5.1. CAMBIO CLIMÁTICO

Es cualquier cambio de clima a través del tiempo, ya sea como resultado de la variabilidad natural o por acciones de la humanidad. La principal causa es el incremento de la concentración de C en la atmosfera en forma de CO₂; en ese sentido los ecosistemas forestales juegan un papel importante ya que actúan como reservorios de carbono (fijan carbono a través de la fotosíntesis) (Crowley & North, 1988). Los flujos de CO₂ entre océanos, bosques y atmosfera, siempre y cuando no haya intervención del hombre, acontecen de forma natural; pero las emisiones que ocurren por la quema de combustibles fósiles, alteran el balance natural, ya que por esta actividad aumenta la concentración de CO₂ en la atmosfera (IPCC, 2007). El impacto antropogénico sobre los bosques y suelos es un factor clave en la degradación del suelo y de los ecosistemas; la restauración de ecosistemas boscosos remueve el CO₂ atmosférico conforme la vegetación crece dando lugar a un proceso denominado secuestro o fijación de carbono. Cuando el hombre con su accionar planta especies forestales, ya sean para su aprovechamiento de madera, protección de áreas, recuperación de tierras degradadas o el fortalecimiento de prácticas agroforestales contribuyen a contrarrestar el efecto invernadero, ya que estas especies plantadas en un área determinada actúan como mecanismos de captación de CO₂ aliviando la presión sobre los bosques naturales preservándolos como depósitos de carbono (Ciesla, 1996).

- **EFEECTO INVERNADERO**

Es un fenómeno natural que ha permitido el desarrollo de la vida en el planeta; se presenta por la acumulación de gases en la atmosfera ya sea en forma de vapor de agua o gas carbónico, haciendo posible la retención de energía calórica excesiva proveniente del sol manteniendo una temperatura ideal, lo cual ha hecho viable la existencia de vida en el planeta (Centeno, 1992). Los gases efecto invernadero permiten el paso de radiaciones solares de onda corta, calentando de esta forma la superficie de la tierra, a su vez absorben parte del calor que emana en forma de radiaciones infrarrojas de mayor magnitud manteniendo una temperatura estable aproximada de 15°C. Los gases producto de actividades antrópicas que contribuyen al efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), gas metano (CH₄), óxido nitroso (NO₂), clorofluorocarbonos (CFCL), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), y ozono troposférico (O₃) (Andrasko, 1990).

5.5.2. CONVENCION SOBRE EL CLIMA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

En 1992 en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), los países a nivel mundial reconocen al calentamiento global como un problema y se llegó a un consenso para reducirlo. El objetivo general de la convención es estabilizar los gases efecto invernadero (GEI) en la atmosfera, de tal manera que impida la interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten de forma natural al cambio climático, asegurando de esta forma que la producción de alimentos no se encuentre amenazada y permitiendo que el desarrollo económico continúe de manera sostenible (Guzmán *et al.*, 2006). Los países que adheridos al CMNUCC, acordaron llevar a cabo acciones contra el cambio climático en sectores como la agricultura, industria, energía y recursos naturales; además de ello se acordó desarrollar programas para reducir el cambio climático. Estos países involucrados en el CMNUCC ofrecieron reportar de forma regular sus emisiones mediante inventarios de los gases efecto invernadero con el objetivo de lograr la estabilización de estos gases (Salinas & Hernández, 2008). El protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) donde se propuso reducir al menos un 5% de los gases efecto invernadero desde los periodos comprendidos entre 2008 a 2012 en relación a las emisiones del año 1990 a escala global (UNFCCC, 1998).

5.5.3. CUMBRE DE PARIS 2015

En esta conferencia participaron 195 países cuyo objetivo principal es conseguir que las temperaturas se mantengan debajo de los dos grados centígrados, comprometiendo a los países que firmaron a realizar esfuerzos para limitar el aumento de las temperaturas a 1,5 grados en relación a la era pre-industrial. Para ello se establecieron principales puntos de acuerdo, entre ellos se pueden resaltar (UNFCCC, 2015):

- El aumento de la temperatura debe estar debajo de los 2 grados centígrados.
- El acuerdo es jurídico para los países que firmaron.
- Se otorgara fondos económicos cercanos a los \$100 000 para los países en vías de desarrollo a partir del 2020.
- Se supervigilara cada 5 años.

5.6. BIOMASA Y CARBONO

La biomasa es la sumatoria total de la materia viva dentro de un ecosistema, y se la expresa en términos de peso seco, masa o volumen. Su estudio es fundamental para entender el estado actual de los ecosistemas, ya que permite conocer la distribución de la materia orgánica en el sistema y a su vez evaluar los efectos de una intervención antrópica respecto al equilibrio ecosistémico (Somarriba & Beer, 1986). Por otra parte (Lapeyre *et al.*, 2007) mencionan que las especies forestales que son plantadas, a medida que transcurren los años son más vigorosas y por ende tienen mayor acumulación de biomasa; en pocas palabras se puede decir que los sistemas con mayor crecimiento e incremento de biomasa, presentan valores altos de carbono almacenado. El fuste de un árbol almacena la mayor cantidad de biomasa aérea con un porcentaje entre el 55%-77%; seguido de las ramas con el 5-37%; luego las hojas entre 1-15% y por último la corteza del fuste entre 5 a 16%; estos datos de biomasa total de un árbol pueden variar dependiendo de la especie, sitio, edad o tratamiento de agroecosistema (Pardé, 1980).

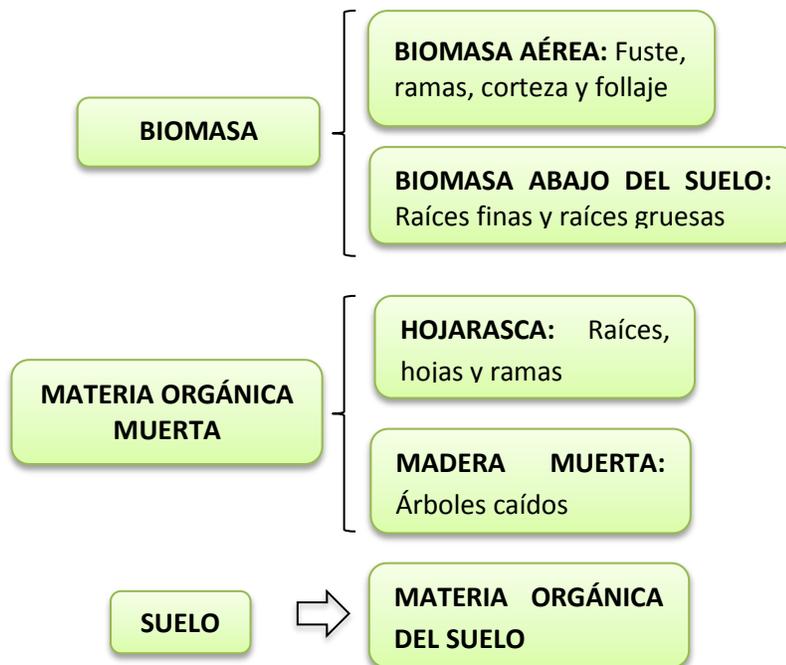


FIGURA 8. Componentes de almacenamiento de carbono. **Fuente:** IPCC (1996).

Los factores de sitio, son variables ambientales que establecen la calidad del suelo y el potencial productivo del lugar para un cultivo ya sea agrícola o forestal ya que permite estimar la productividad un ejemplo de ello es la biomasa (Herrera & Alvarado, 1998)

5.6.1. PARÁMETROS TÉCNICOS PARA INVENTARIOS DE CARBONO

Los parámetros a tomar en cuenta cuando se habla de secuestro de carbono en diferentes especies forestales son la biomasa aérea, hojarasca y suelo, todos ellos dependen de diferentes factores ambientales y localización de la especie (Andrade *et al.*, 2008).

5.6.1.1. BIOMASA VEGETAL ARRIBA DEL SUELO

La biomasa aérea está conformada por la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea esta última es conocida como su principal componente; en estudios realizados por (Márquez, 2000); la maleza por su baja contribución respecto a la fijación de carbono puede dejar de muestrearse a menos que en el sistema a ser evaluado conste de una considerable vegetación herbácea (Andrade *et al.*, 2008).

5.6.1.1.1. ESTIMACIÓN DE BIOMASA ARRIBA DEL SUELO

La medición de longitud de circunferencia para estimar biomasa arbórea, se la puede efectuar tomando el diámetro de todos los árboles en una hectárea a una altura de 30cm del suelo y posteriormente dividirlo para 3,14 obteniendo de esta forma el diámetro (d_{30}) (Andrade *et al.*, 2008).

Este dato es fundamental para la aplicación de la ecuación logarítmica recomendada por (Andrade *et al.*, 2008).

$$BA(\text{Kg/árbol}) = 10^{(-1,625+2,63*\log(d_{30}))}$$

Dónde:

BA (Kg/árbol)= Biomasa arbórea arriba del suelo Kg/árbol

d_{30} = Diámetro del tronco a 30cm de altura

Vt = Volúmen de solidos

La unidad obtenida de la ecuación logarítmica, se la puede transformar a Tn/árbol dividiéndola para 1000 (Andrade *et al.*, 2008).

5.6.1.1.2. ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL TOTAL (Tn/ha)

Para estimar la biomasa vegetal total se lo puede obtener sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados en la subparcela de 1ha (Andrade *et al.*, 2008).

$$BV(\text{tn/ha}) = (BA1 + BA2 + \dots + BAN)/1000$$

Dónde:

BV= Biomasa vegetal total en tn/ha

BA =Biomasa arbórea en kilogramos

Factor 1000 = Conversión de Kg a tn

5.6.1.1.3. ESTIMACIÓN DE CARBONO ARRIBA DEL SUELO

Para la estimación de carbono arriba del suelo en la biomasa vegetal se puede utilizar el factor propuesto por el (IPCC, 1996), el mismo que es de 0,5.

$$\text{CBV}(\text{tn/ha}) = \text{BVT} * 0,5$$

Dónde:

CBV= Carbono en la biomasa vegetal total (tn/ha)

BVT =Biomasa vegetal total (tn/ha)

0,5 = Constante

5.6.1.2. MATERIA ORGÁNICA MUERTA

La materia orgánica muerta, representa la mayor parte de la energía presente en los ecosistemas, en cualquier eslabón de la cadena trófica. Y una de ellas es la hojarasca que procede de la parte aérea de la vegetación que se deposita en el suelo exceptuando fustes caídos y ramas gruesas. La hojarasca incluye hojas, ramas menores de 1 diámetro ramillas flores y frutos teniendo de esta forma mucha relación con la productividad del suelo ya que de este elemento da origen al resto de componentes como hojas, flores y frutos (Salinas & Hernández, 2008). La estimación de biomasa en la hojarasca, puede ser realizada mediante un muestreo *in situ* y fase de laboratorio, que involucra su secado para aplicar ecuaciones específicas relacionadas con su espesor (Salinas & Hernández, 2008). La estimación del contenido de carbono se la puede calcular considerando fracciones de carbono específicas obtenidas de una recopilación minuciosa de bibliografía o a su vez basadas en estudios previos; los muestreo de hojarasca debe efectuarse en el mismo año que se realiza el estudio para evitar posibles variaciones climáticas (Alvarez & Naranjo, 2003).

5.6.1.2.1. MUESTREO DE HOJARASCA Y FASE DE LABORATORIO

Para la estimación de la biomasa en la hojarasca se puede realizar un muestreo al azar, dentro de una subparcela establecida utilizando un cuadrante de 0,50x0,50 m recogiendo en bolsas todo la hojarasca presente en el cuadrante de 0,25m², registrando el peso fresco de la hojarasca con una balanza reloj (Arevalo *et al.*, 2002).

Una vez obtenidas las muestras es conveniente pesarlas una vez mas en una balanza analítica de precisión para obtener su peso exacto, posteriormente es necesario quitar una submuestra de la submuestra total y nuevamente se procede a pesar. El secado de las

submuestras se lo lleva a cabo en una estufa a una temperatura constante caliente de 75⁰C hasta obtener un peso constante (Arevalo *et al.*, 2002).

5.6.1.2.2. BIOMASA DE HOJARASCA (Bh)

La estimación de biomasa en hojarasca se obtiene a partir de la siguiente ecuación propuesta por (Arevalo *et al.*, 2002).

$$Bh(\text{tn/ha}) = [(PSM/PFM) * PFT] * 0,004$$

Dónde:

Bh= Biomasa de la hojarasca
PSM =Peso seco de la muestra colectada (g)
PFM =Peso fresco de la muestra colectada (g)
PFT= Peso total de la hojarasca por m²
Factor 0,004= Factor de conversión a t/ha

5.6.1.2.3. ESTIMACIÓN DE CARBONO EN HOJARASCA (CBh)

La estimación de carbono en hojarasca se obtiene a partir de la siguiente ecuación propuesta por (Arevalo *et al.*, 2002).

$$CBh(\text{tn/ha}) = Bh * 0,5$$

Dónde:

CBh= Carbono en la biomasa de la hojarasca
Bh= Biomasa de hojarasca
Factor 0,5= constante

5.6.1.3. SUELOS

Los suelos son considerados grandes reservorios de carbono orgánico e inorgánico. El carbono edáfico puede determinarse mediante un muestreo compuesto que representa varias parcelas; así también es razonable la aplicación de la metodología propuesta por (Walkley & Black, 1938) para carbono orgánico total.

Su acumulación en el suelo es función de la densidad aparente la cual depende de otros parámetros como tasas de deposición, descomposición y traslocación (IPCC, 1996). Para estimar el contenido de carbono orgánico total (%) se utiliza las siguientes formulas (Walkley & Black, 1938).

$$\%C = \%MO/1,724$$

Dónde:

%C= Carbono orgánico total
%MO = porcentaje de materia orgánica
1,724= constante (Factor de Van Benmelen)

Para determinar el contenido de carbono orgánico total se utiliza la siguiente formula (González & Etchevers, 2008).

$$COS = Da * Pr + \%C$$

Dónde:

COS = Fracción de carbono orgánico en el suelo (g/cm²)
Da = Densidad aparente (g/cm³)
Pr = Profundidad del suelo (cm)
%C = Porcentaje de carbono orgánico en el suelo

Conversión de unidades de g/cm² de COS a tn/ha de COS

$$COS \text{ tn/ha} = \frac{g}{cm^2} * \frac{1Kg}{1.000g} * \frac{10.000cm^2}{1m^2} * \frac{1tn}{1.000Kg} * \frac{1.0000m^2}{1ha}$$

5.6.1.4. DETERMINACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO TOTAL

Al término de las estimaciones en la biomasa y carbono total aéreo, hojarasca y carbono orgánico total en el suelo se procede a sumar su contenido total mediante las siguientes ecuaciones (Arevalo *et al.*, 2002):

$$BT = BV + Bh$$

Dónde:

BT= Biomasa total (tn/ha)
BV= Biomasa vegetal (tn/ha)
Bh= Biomasa de hojarasca (tn/ha)

$$CT = CBV + CBh + COT$$

Dónde:

CT= Carbono total (tn/ha)
CBV= Carbono de la biomasa vegetal (tn/ha)
CBh= Carbono de la biomasa de hojarasca (tn/ha)
COT= Carbono orgánico total del suelo (tn/ha)

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente estudio se lo efectuó en la parroquia Ahuano, (**FIGURA 9**) ubicada en la provincia de Napo, aproximadamente a 35 Km de su capital Tena; su altitud se encuentra entre 600 y 1240msnm (MAE, 2007). El presente estudio tuvo una duración de 1 año para los trabajos de campo, laboratorio y gabinete.

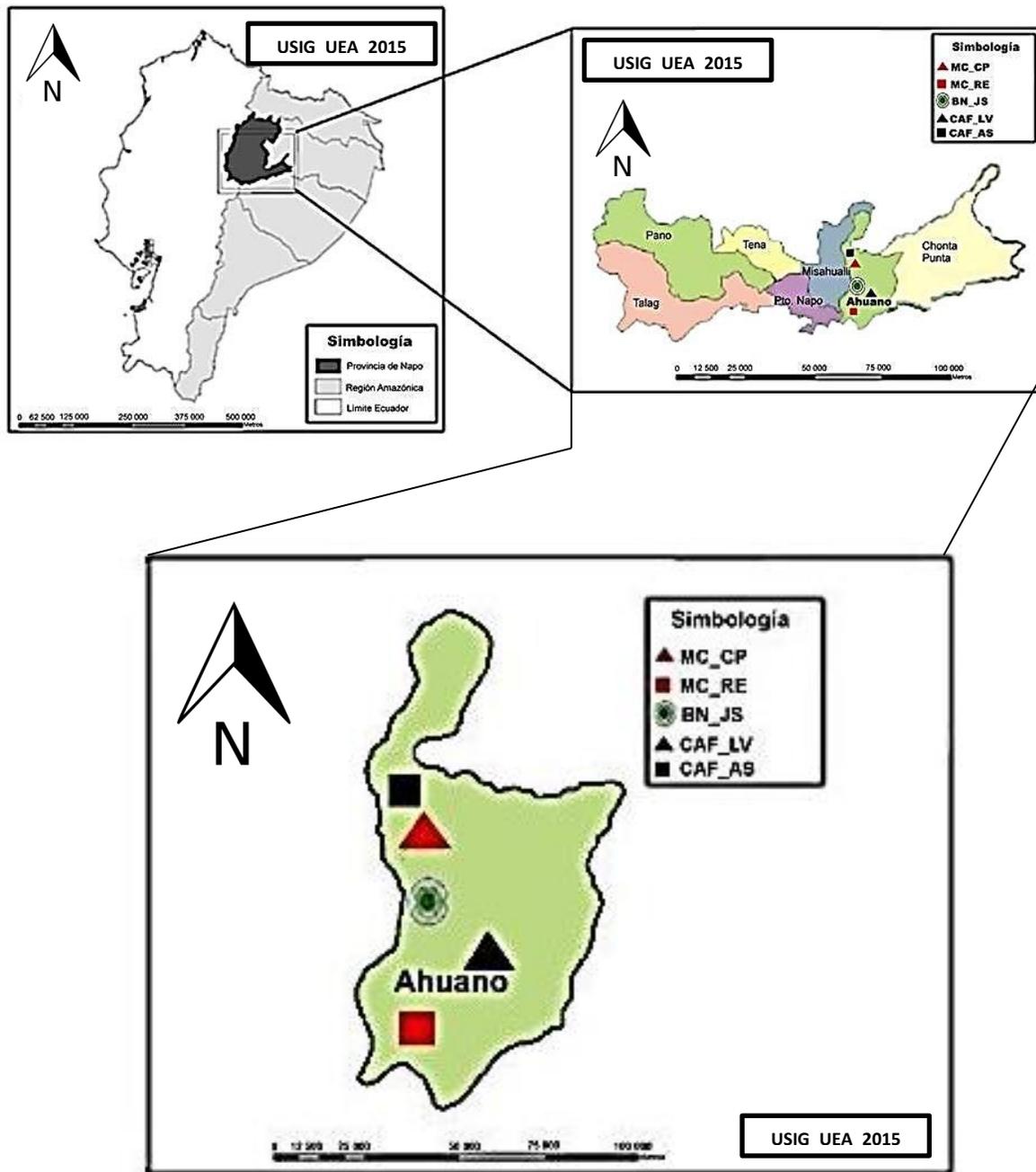


FIGURA 9. Localización y puntos de muestreo en la parroquia Ahuano.
Fuente: USIG_UEA_2015

6.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Ahuano se presenta con una humedad relativa del 90%; y se caracteriza por presentar dos formaciones vegetales la primera concierne a un bosque siempre verde pie montano que corresponde a las comunidades de la parroquia Ahuano y la segunda a un bosque siempre verde de tierras bajas que comprende la cabecera cantonal; esta última se encuentra a una altura de 600 msnm con temperaturas que oscilan entre 22 y 24 °C, precipitación promedio anual mayor a 4000mm (GADP Ahuano, 2010). (FIGURA 10).

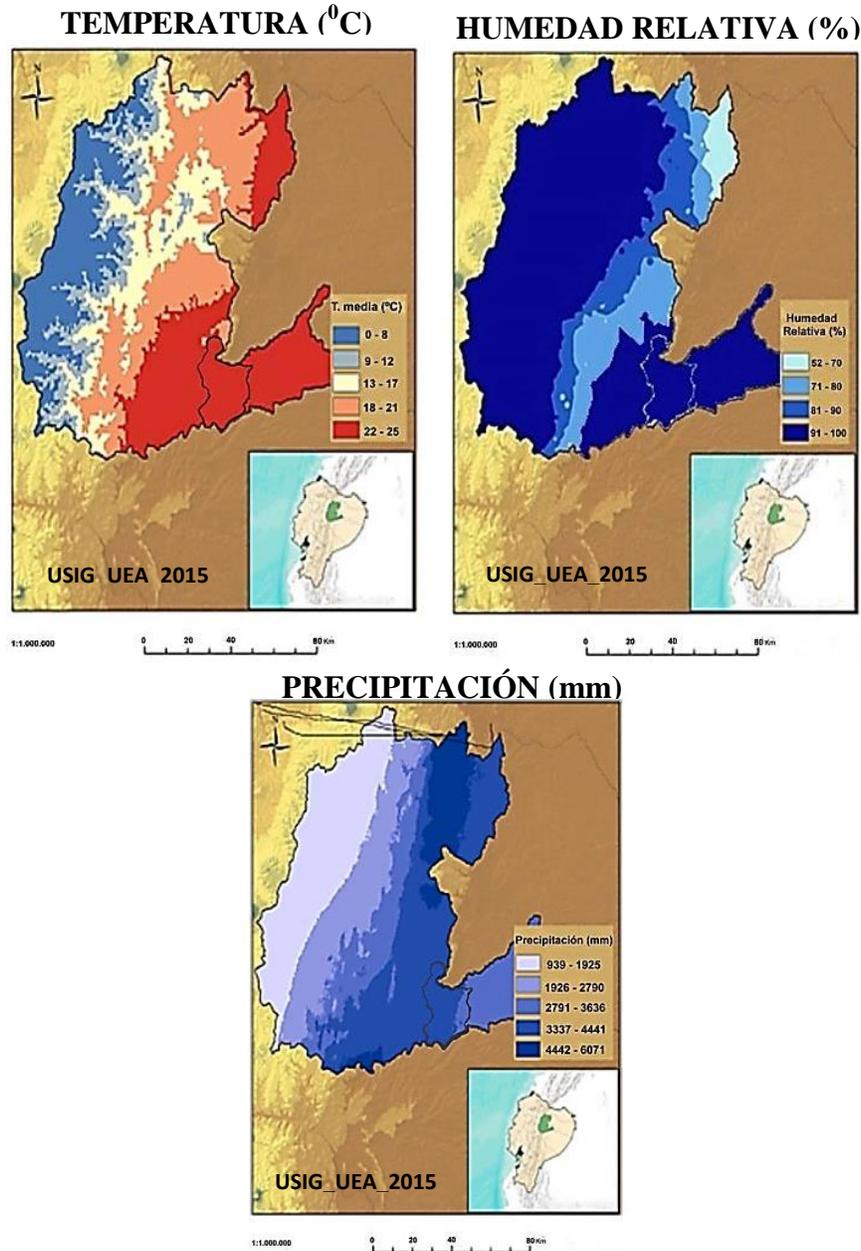


FIGURA 10. Factores climáticos de la parroquia Ahuano
Fuente: USIG_UEA_2015

6.3. MATERIALES Y EQUIPOS

Para realizar el estudio de las propiedades del suelo, productividad y secuestro potencial de carbono almacenado se emplearon los siguientes equipos y materiales que a continuación se describen.

UNIDAD	EQUIPO/MATERIAL/REACTIVO (TRABAJO DE CAMPO)	ACTIVIDAD
1	Palín	Tomar las muestras de suelo compuesta, para determinar propiedades químicas con profundidades de 0-10; 20-30cm
1	Barreno tipo uhland	Tomar las muestras del suelo no alteradas, para determinar propiedades físicas con profundidades de 0,10; 10-20; 20-30cm
9	Cilindros de 5cm	Almacenamiento de muestras de suelo para determinar propiedades físicas
1	Paquete de papel aluminio	Envolver los cilindros con muestras de suelo para determinar propiedades físicas
1	Gps	Ubicar la zona de estudio y puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas UTM
1	Cinta métrica	Medición de DAP de especies forestales
1	Paquete de piola	Formación de subparcelas
100	Fundas ziploc	Almacenamiento de muestras para determinar propiedades químicas
1	Cuaderno y lápiz	Apuntes en trabajo de campo y laboratorio
1	Marcador	Rotular información en fundas ziploc
1	Cámara digital	Capturar imágenes durante el trabajo de campo
6	Computas	Se utilizaron para determinar parámetro biológico en campo (respiración edáfica)
1	Balanza de reloj	Peso de hojarasca, mazorcas y semillas
1	Penetrómetro	Medir resistencia a la penetración
30	Estacas	Demarcar subparcelas
1	Cuadrata	Demarcar cuadrata de 0,5x0,5m para coleccionar hojarasca
2	Valdes de plástico	Colocar muestras de suelo para determinar propiedades químicas (0-10; 20-30cm)
15	Fundas de plástico	Almacenamiento de hojarasca
2	Sacos de yute	Transporte de materiales
30	Envases de plástico para pintura	Se utilizó para determinar respiración edáfica en campo (impedimento de remoción de computas)
1	Navaja	Se utilizó para cortes de piola y eliminación de suelo en exceso del cilindro
1	Probeta de 100ml	Medición de cloruro de Ba (BaCl ₂)
30ml	Cloruro de bario (bacl ₂)	Este reactivo se utilizó para parar la reacción de los microorganismos.
5	Bolsas plasticas transparentes grandes	Se utilizó para contabilizar las lombrices.
900ml	Hidróxido de sodio (NaOH)	Este reactivo se utilizó para determinar la respiración de la fauna del suelo.
1par	Botas de caucho	Utilizadas para el recorrido de las fincas y bosque.

MUESTRA	PROPIEDADES	EQUIPOS/MATERIALES (LABORATORIO)	REACTIVOS	
40-50g	PROPIEDADES FÍSICAS	Textura	Hexametafosfato de Sodio	
		Densidad aparente	Uhland, plato poroso, cilindro, estufa, balanza analítica	
Volumen en Uhland (100m ²)		Conductividad Hidráulica Saturada	Embudos, probetas, plato poroso, estufa, balanza analítica	No aplica
		Distribución de Tamaño de Poros (porosidad)	Plato poroso, estufa, balanza analítica	
		Resistencia a la penetración	Penetrómetro	
10g	PROPIEDADES QUÍMICAS	PH	Agua, Soluciones Buffer	
0,1 a 0,5g		Carbono orgánico total	Probetas, buretas	Dicromato de potasio, sulfato de hierro, ácido sulfúrico
0,2g		Nitrógeno Total	Equipo Kjeldahl	Pastillas Kjeldahl, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, ácido bórico, verde bromocresol
		Fosforo	Espectro UV visible	Extractante Olsen, Cloruro de bario, Estándar de 1000ppm de fósforo
2,5g		Potasio		Estándar de 1000ppm de potasio
		Calcio	Espectrofotómetro de absorción atómica	Estándar de 1000ppm de calcio
	Magnesio		Estándar de 1000ppm de magnesio	
50g	PROPIEDADES BIOLÓGICAS	Respiración Edáfica	Hidróxido de Sodio, Cloruro de Bario, ácido clorhídrico, fenolftaleína	
		Respiración Basal	Envase plástico, bureta, gotero, matraz, probeta, balón aforado, pipetas	
Área de 0,25m ²		Número de lombrices	No aplica	

• **MÉTODOS DE LABORATORIO**

Para el análisis de laboratorio de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se detalla a continuación las metodologías que fueron aplicadas.

PROPIEDADES		MÉTODO	LUGAR
PARÁMETROS FÍSICOS	Textura	Hidrómetro de BOUYOUCUS (Medina, Garcia, & Nuñez, 2007)	LABORATORIO DE SUELOS-UEA
	Densidad aparente	Método del cilindro de volumen conocido (Sanchez, Obrador, & Palma, 2003)	
	Conductividad Hidráulica Saturada	Método de carga variable (Gabriels <i>et al.</i> , 2013)	
	Porosidad Total	Mesa de tensión (Sasal & Andriulo, 2005)	
	Distribución de Tamaño de Poros		
Porosidad de aireación			
	Porosidad de retención		
	Resistencia a la penetración	Método del Penetrómetro (Henríquez & Ortíz, 2011)	CAMPO- Fincas y bosque de Ahuano
	pH	Método potenciométrico una solución 1 a 2,5 (por cada 10g de suelo se utiliza 25ml de agua) (Bravo, 2015)	
PARÁMETROS QUÍMICOS	Carbono orgánico total	WALKLEY &BLACK (CHEMILAB, 2014) KJELDAHL (CHEMILAB, 2014)	LABORATORIO DE SUELOS-UEA
	Nitrógeno total		
	Fósforo	Olsen modificado (Bravo, 2015)	
	Potasio		
	Calcio		
	Magnesio		
PARÁMETROS BIOLÓGICOS	Respiración Edáfica	Método de la cámara estática ANDERSON (Bravo, 2015)	LABORATORIO DE SUELOS-UEA
	Respiración Basal	Método de Alexander (Bravo, 2015)	
	Número de lombrices	Conteo cuadrata (0,25m ²) (Bravo, 2015)	CAMPO- Fincas y bosque de Ahuano

6.4. FACTORES DE ESTUDIO

Las variables dependientes e independientes del presente estudio se dan a conocer en la siguiente tabla.

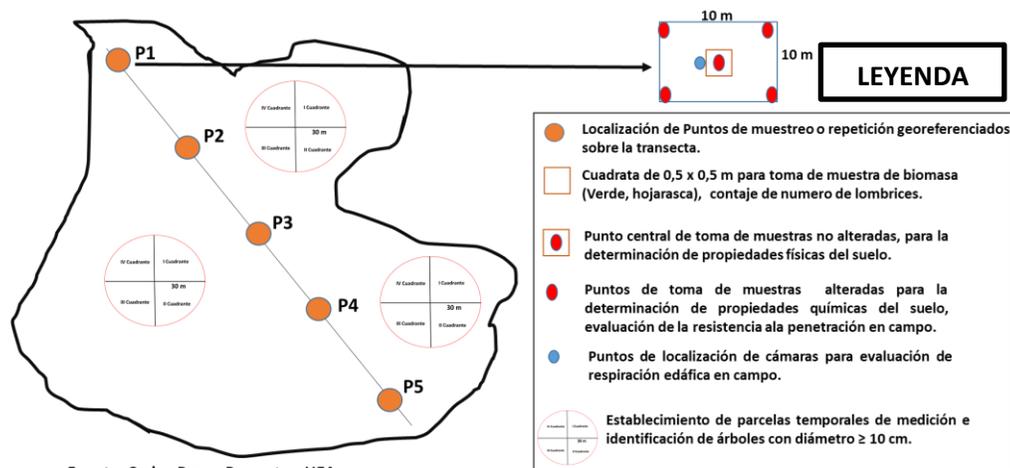
VARIABLES INDEPENDIENTES		USO DE LA TIERRA HUMEDAD PRECIPITACION VIENTO TEMPERATURA
	PROPIEDADES FÍSICAS	TEXTURA DENSIDAD APARENTE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE POROS RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN PH CARBONO ORGANICO TOTAL NITRÓGENO TOTAL FÓSFORO POTASIO CALCIO MAGNESIO
VARIABLES DEPENDIENTES	PROPIEDADES QUÍMICAS	Porosidad Total Porosidad de aireación Porosidad de retención
	PROPIEDADES BIOLÓGICAS	RESPIRACIÓN EDÁFICA RESPIRACION BASAL NÚMERO DE LOMBRICES RENDIMIENTO PRODUCCION DE BIOMASA (HOJARASCA) CANTIDAD TOTAL DE CARBONO ALMACENADO

6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el trabajo de campo el muestreo fue completamente aleatorio (Bravo, 2015) en 4 fincas productoras de cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*) y en el bosque natural; en cada sitio de muestreo se estableció una transecta mediante georreferenciación; y se ubicaron 5 puntos de muestreo y en cada punto de muestreo se estableció una subparcela al azar de 10 x 10m en cuyos ángulos se tomaron las muestras para determinar las propiedades químicas y en su punto central, se tomó las muestras para determinar las propiedades físicas y a su vez en cada subparcela se ubicó una cuadrata de 0,5 x 0,5m para la toma de muestras de biomasa (hojarasca) y lombrices. Estableciendo 5 Tratamientos T1 CAF_LV (Cacao agroforestal de Luis Verdesoto), T2 CAF_AS (Cacao agroforestal de Ángel Sánchez); T3: MC_RE (Monocultivo con cacao de Rómulo Escobar); T4: MC_CP (Monocultivo con cacao de Cesar Piedra) y T5: BN_JS (Bosque Natural de Jatun Sacha).

Las diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) se llevó a cabo considerando el factor uso de la tierra y como variables dependientes las propiedades edáficas, se realizó los análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparaciones de media TUKEY ($P \leq 0,05$), Para establecer las relaciones de las variables del suelo y ambientales se utilizó el coeficiente de correlación de SPEARMAN (Parámetros del suelo, parámetros productivos de cacao, factores ambientales). Tanto diferencias estadísticas, comparaciones y correlaciones se efectuó mediante el software SPSS versión 17.1.

A continuación se presenta un gráfico del muestreo ejecutado **FIGURA 11** basado en el Proyecto Prometeo: Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales de la región Amazónica Ecuatoriana. Estudio de caso: Provincias de Pastaza y Napo.



Fuente: Carlos Bravo-Prometeo-UEA

Proyecto Prometeo: Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales de la Región Amazónica Ecuatoriana. Estudio de caso: Provincia de Pastaza y Napo.

FIGURA 11. Diseño de muestreo para diagnóstico Ambiental. **Fuente:** Bravo (2015).

6.6. MEDICIONES EXPERIMENTALES

6.6.1. MÉTODO DE MUESTREO

- ❖ El muestreo para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los tratamientos fue *in situ* que tuvo como variables dependientes las diferentes propiedades edáficas las mismas que fueron tomadas mediante un barreno tipo Uhland con el cual se procedió a tomar las muestras de suelo, cuyas profundidades fueron de 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm para las propiedades físicas; mientras que para las propiedades químicas se lo efectuó con profundidades de 0-10cm y de 20 a 30cm; para la propiedades biológicas se ubicó una cuadrata de 0,5 x 0,5m dentro de la subparcela para la contabilización de

lombrices en la profundidad de 0-10cm, para el muestreo de respiración edáfica se colocó 30ml de NaOH en una compota (frasco sin sellar) y a su vez se ubicó un testigo con 30ml de NaOH en una compota (este frasco fue sellado) ambos frascos fueron controlados y estabilizados al día siguiente con 3ml de dicloruro de bario (BaCl₂) el mismo que fue trasladado hacia el laboratorio de suelos para su titulación y posterior registro de su cantidad consumida por la respiración de raíces, mesofauna y microorganismos edáficos (Bravo, 2015). En cuanto a los análisis químicos de las propiedades del suelo estudiadas se utilizó los métodos señalados con anterioridad.

6.6.2. METODOLOGÍA APLICADA PARA ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

6.6.2.1. ESTIMACIÓN DE BIOMASA (HOJARASCA)

- ❖ La estimación de hojarasca se lo efectuó registrando el peso fresco de la hojarasca en Kg de las 5 muestras colectadas de cada cuadrata de 0,5x0,5m, para los 5 tratamientos; luego el siguiente paso fue transformar la unidad de (Kg) a (g) el mismo que se consiguió multiplicando por 100 obteniendo el valor del peso fresco muestreado (**PFM**) en gramos, posteriormente se tomó en cuenta el área de la cuadrata que fue de (0,25m²), valor que resultado de la multiplicación de (0,5*0,5m), luego se dividió el **PFM** por (0,25m²) para determinar el peso fresco total (**PFT**); la hojarasca muestreada se colocó en estufa para determinar su peso seco muestreado (**PSM**) en gramos mediante una balanza analítica. Una vez que se aplica las operaciones matemáticas mencionadas se aplicó la siguiente ecuación propuesta por (Arevalo *et al.*, 2002).

$$\mathbf{Bh(tn/ha)} = [(PSM/PFM) * PFT] * 0,004$$

6.6.2.2. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO

- ❖ El rendimiento se lo obtuvo contabilizando las plantas de cacao y mazorcas de cacao buenas de cada subparcela de 10x10m, para posteriormente registrar el número de plantas y la cantidad de mazorcas presentes en el área muestreada (100m²). Tomando en consideración el promedio de almendras que contiene una mazorca que es de (30) así como su peso húmedo (0,000025 Tn) según (Sánchez *et al.*, 2014); se procedió a determinar el número de almendras en los 100m², así como su peso húmedo en Tn en la misma superficie, la producción se la obtuvo luego de multiplicar el peso húmedo de las almendras por el factor de conversión 0,4 que sirve para estimar el peso húmedo de las almendras a secas en Tn/100m². Finalmente el rendimiento en tn/100m² resultó de dividir las

producción sobre la superficie muestreada (100m²). Para obtener el rendimiento en Tn/ha simplemente se realizó una transformación de unidades multiplicando el rendimiento en tn/100m² por 10000m² que es la superficie que contiene una hectárea.

La fórmula aplicada para determinar la producción fue la siguiente (Zambrano, 2000).

$$P = PHASM * 0,4$$

La fórmula aplicada para determinar el rendimiento de cacao fue la propuesta por (Zambrano, 2000).

$$R = P * \text{sup muestreada}$$

6.6.3. DISPONIBILIDAD DE FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales como la precipitación, temperatura, humedad, viento correspondientes al año 2015 fueron aportados por la estación Biológica Jatún Sacha. Mencionada información es manejada con reserva por lo que se realizó una petición exhaustiva mediante oficio No. 002-DANP-EIAMB-2015 (**ANEXO 12.7**).

6.6.4. METODOLOGÍA APLICADA PARA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO

6.6.4.1. METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL CARBONO ALMACENADO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO

El sistema agroforestal por presentar alternabilidad entre cultivos de cacao con especies forestales tiene la capacidad de almacenar carbono en 3 compartimentos: el primer compartimento corresponde al suelo, en el segundo y tercer compartimentos concierne a tallos y dosel de los árboles respectivamente. Para estimar el potencial secuestro de carbono en estos compartimentos se utilizó la metodología propuesta por (Segura & Andrade, 2008) continuando con el siguiente proceso:

1. Se seleccionó un área representativa (CAF_Cacao agroforestal) de la subparcela de 10x10m que se constituyó para el muestreo de las propiedades del suelo y se estableció parcelas circulares temporales de 30m de radio la misma que sirvió para la medición e identificación de árboles con DAP \geq 10cm y se registraron los datos en el siguiente **CUADRO 12**.

CUADRO 12. Formulario. Especie y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles encontrados en una parcela circular de 30 m de radio. Únicamente se midió los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm o su equivalente en circunferencia ($C \geq 31,4$ cm).

Uso del suelo: _____ superficie total de la parcela: _____ ha					
Árbol No.	Especie	DAP (cm)	Circunferencia (cm)	Altura de medición (m)	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

2. Se calculó el carbono almacenado en los árboles mediante las siguientes acciones:

2.1. Se clasificó cada árbol en clases diamétricas de 5cm o su equivalente colocando una X para cada árbol en la clase correspondiente en la columna “Número de árboles” del **CUADRO 13**.

CUADRO 13. Formulario. Número de árboles por clase de diámetro a la altura del pecho (DAP), o su equivalente en circunferencia (C), encontrados en la parcela circular de 30m de radio.

CLASE (cm)		Número de árboles	Total de árboles	Carbono acumulado (t ha ⁻¹)
DAP	C			
10-14,9	31,4 - 47,0			
15-19,9	47,1 - 62,7			
20-24,9	62,8 - 78,4			
25-29,9	78,5 - 94,1			
30-34,9	94,2 - 109,9			
35-39,9	110,0 - 125,6			
40-44,9	125,7 - 141,3			
45-49,9	141,4 - 157,0			
50-54,9	157,1 - 172,7			
55-59,9	172,8 - 188,4			
60-64,9	188,5 - 204,1			
65-69,9	204,2 - 219,8			
70-74,9	219,9 - 235,5			
75-79,9	235,6 - 251,2			
≥ 80	$\geq 251,3$			
Constante por uso de suelo				17,2
TOTAL				

- 2.2. Se contabilizo el número de árboles por cada clase de DAP en la columna total de arboles
- 2.3. Se buscó en el **CUADRO 14**. El carbono almacenado por clase de DAP y número de árboles por clase (punto donde se entrecruzan) se colocó el valor encontrado en el **CUADRO 13** (carbono acumulado t ha⁻¹)

CUADRO 14. Carbono almacenado (t ha⁻¹) por clase de diámetro a la altura del pecho (DAP) o su equivalente en circunferencia (C), y número de árboles por clase, en sistema agroforestal con cacao.

Clase (cm)		Carbono almacenado									
DAP	C	Número de árboles por clase									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-14,9	31,4-47,0	0,5	1	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2
15-19,9	47,1-62,7	1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,2	7,2	8,2	9,3	10,3
20-24,9	62,8-78,4	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17
25-29,9	78,5-94,1	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4	22,9	25,5
30-34,9	94,2-109,9	3,6	7,1	10,7	14,2	17,8	21,3	24,9	28,5	32	35,6
35-39,9	110,0-125,6	4,7	9,5	14,2	18,9	23,7	28,4	33,2	37,9	42,6	47,4
40-44,9	125,7-141,3	6,1	12,2	18,3	24,3	30,4	36,5	42,6	48,7	54,8	60,9
45-49,9	141,4-157,0	7,6	15,2	22,8	30,4	38	45,6	53,2	60,8	68,4	76
50-54,9	157,1-172,7	9,3	18,6	27,9	37,2	46,5	55,8	65	74,3	83,6	92,9
55-59,9	172,8-188,4	11,1	22,3	33,4	44,6	55,7	66,9	78	89,2	100,3	111,5
60-64,9	188,5-204,1	13,2	26,3	39,5	52,7	65,9	79	92,2	105,4	118,6	131,7
65-69,9	204,2-219,8	15,4	30,7	46,1	61,5	76,8	92,2	107,6	122,9	138,3	153,7
70-74,9	219,9-235,5	17,7	35,5	53,2	70,9	88,6	106,4	124,1	141,8	159,6	177,3
75-79,9	235,6-251,2	20,3	40,5	60,8	81	101,3	121,6	141,8	162,1	182,3	202,6
≥ 80	≥ 251,3	22,8	45,6	68,4	91,2	114	136,8	159,5	182,3	205,1	227,9
Constante por uso del suelo		17,2									

- 2.4. Posteriormente se calculó el carbono total almacenado en la subparcela temporal circular sumando los datos de la columna carbono acumulado del **CUADRO 13** y la constante por uso del suelo que es 17,2 para SAF con cacao.
- 2.5. Por último se clasifico el carbono total de la subparcela según los niveles por uso del suelo de SAF con cacao presentados en el **CUADRO 15**.

CUADRO 15. Clasificación de parcelas de uso de suelo de SAF con cacao según su nivel de almacenamiento de carbono.

SISTEMA	Nivel de carbono almacenado (t C/ha)			
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
SAF con cacao	0 - 39,9	40 - 79,9	80 - 119,9	120 - 159,9

6.6.4.2. METODOLOGIA PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO EN MONOCULTIVO CON CACAO

El sistema de monocultivo puede alojar carbono en los compartimentos tallo y dosel de los árboles de la misma especie y en el compartimento suelo, por tal motivo para estimar su potencial secuestro de carbono en la parte aérea de los árboles de cacao se utilizó la ecuación alométrica propuesta por (Andrade *et al.*, 2008) la misma que se presenta a continuación:

$$BA(\text{Kg}/\text{árbol}) = 10^{(-1,625+2,63*\log(d_{30}))}$$

Dónde:
Biomasa aérea (Tn/ha)= Biomasa aérea (Kg/árbol)
Log (d₃₀)= Logaritmo neperiano del diámetro a 30cm

Previo a la aplicación de la ecuación fue necesario cuantificar los árboles de cacao en la subparcela establecida para el muestreo de los factores edáficos 10x10m (área = 100m²) para posteriormente medir el diámetro de los árboles de cacao a una altura de 30cm (D_{30cm}).

Una vez que se aplicó la ecuación alométrica indicada, se transformó la unidad de Kg/árbol a Tn/árbol, dividiéndola para 100. Los valores estimados en Tn/árbol se multiplicaron por el factor de conversión 0,5 que es una constante para determinar el carbono almacenado por árbol. Todos los valores de almacenamiento de carbono en Tn/árbol de cacao se sumaron de cada subparcela, dando como resultado el carbono almacenado por los arboles presentes en cada subparcela en un área de 100m², posterior a ello se procedió a multiplicar esta estimación por 10.000m² y luego dividirla por 100 para obtener finalmente la estimación del carbono almacenado por hectárea.

En cuanto al carbono almacenado en el compartimento suelo se usó los datos obtenidos en el laboratorio de suelos de la UEA de carbono orgánico del suelo que se los efectuó mediante la fórmula indicada en la revisión literaria de la presente tesis.

6.6.4.3. METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO EN BOSQUES TROPICALES.

Para estimar el carbono almacenado en el bosque de Jatún Sacha se tomó mediciones de $DAP \geq 10\text{cm}$ en una subparcela circular de área igual a 2.826 m^2 y a medida que se realizaba esta medición se reconocía por el nombre común o vulgar de las especies forestales. Estos datos sirvieron para aplicar la ecuación alométrica propuesta por (Chave *et al.*, 2005) la misma que consta de la siguiente manera:

$$\text{Biomasa aérea (Tn/ha)} = \exp^{(-1,864+2,608*\text{Ln}(D)+\text{LN}(P))}$$

Dónde:

Biomasa aérea (Tn/ha)= Biomasa aérea (Tn/ha)

Ln (D)= Logaritmo neperiano del $DAP \geq 10\text{cm}$

LN(P)= Logaritmo neperiano de la densidad básica de la madera

La densidad relativa o densidad básica de la madera se obtuvo del autor (Zane *et al.*, 2009); la misma que especifica la densidad relativa dependiendo de la especie, para ello se procedió a colocar el nombre científico de la especie presente en cada subparcela circular basándose en el nombre común o vulgar. Posteriormente se procedió a la aplicación de la ecuación alométrica indicada, para cada especie de cada subparcela circular, el siguiente paso fue sumar todas las estimaciones de biomasa aérea para cada árbol y su sumatoria correspondió a la biomasa aérea en $\text{Tn}/2.826\text{m}^2$, este valor fue multiplicado por 10.000 que es la superficie de una hectarea y posteriormente se dividió para 2.826 que fue la superficie muestreada, dando como resultado la biomasa aérea en Tn/ha . Este último valor fue multiplicado por el factor de conversión 0,5 que es la constante para obtener el almacenamiento de carbono.

En cuanto al carbono almacenado en el compartimento suelo se usó los datos obtenidos en el laboratorio de suelos de la UEA de carbono orgánico del suelo que se los efectuó mediante la fórmula indicada en la revisión literaria de la presente tesis.

6.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO

La toma de muestras para la fase de campo se lo efectuó durante el primer y segundo mes de trabajo ya sea para la caracterización de los factores edáficos en 2 sistemas de producción con cacao (2 fincas manejadas con monocultivo y 2 fincas manejadas bajo

sistemas agroforestales) y el bosque de referencia (bosque de Jatun Sacha); así también para determinar la productividad y secuestro potencial de carbono en plantaciones de cacao fino de aroma tomando en consideración para estas actividades 2 sistemas de producción con cacao (monocultivo, agroforestal); mientras que los restantes 10 meses se los utilizo para la fase de laboratorio en cuanto a la caracterización física, química y biológica del suelo y trabajo de gabinete mediante una búsqueda constante de revisión literaria (CUADRO16).

CUADRO 16. Actividades y distribución de tiempo en el desarrollo de la tesis

ACTIVIDAD	TIEMPO
Muestreo de suelos desarrolladas en las fincas cacaoteras de la parroquia Ahuano y bosque de referencia "Jatun Sacha"	Mes 1
Muestreo de árboles desarrolladas en las fincas cacaoteras de la parroquia Ahuano y bosque de referencia "Jatun Sacha"	Mes
Caracterización de suelos desarrollada en el laboratorio de suelos "UEA"	Meses 3-8
recopilación de información	Meses 9-10

Fuente: Elaborado por el autor

VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN.

7.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

7.1.1. CONDICIÓN FÍSICA

La condición física del suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, así también como la aireación, drenaje y almacenamiento de agua (Taboada & Alvarez, 2008). Estas propiedades pueden estar afectadas por los sistemas de manejo, sin embargo su influencia depende de los sistemas de cultivo, tipo de suelo y de las condiciones climáticas (Ferrerías *et al.*, 2000). En el caso de los parámetros físicos el ordenamiento y la ubicación de las partículas del suelo determinan la respuesta del suelo ante cualquier tipo de intervención como los generados por el laboreo del suelo y el impacto de las lluvias (Taboada & Alvarez, 2008). Estos comportamientos pueden ser diagnosticados mediante una serie de indicadores o índices estructurales como la densidad aparente (D_a), porosidad total (P_t), porosidad de aireación (P_a), porosidad de retención (P_r), conductividad hidráulica saturada (k_{sat}) que dependiendo de un sitio de referencia es viable llevar a cabo una evaluación de los diferentes sistemas de uso de la tierra en cuanto a su variabilidad física.

7.1.1.1. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS (DTP) PARA 2 USOS DEL SUELO Y BOSQUE EN LA PARROQUIA AHUANO.

La textura, es una propiedad que expresa la proporción de partículas de diferentes tamaños en el suelo influyendo sobre los índices estructurales de tal manera que los suelos arenosos y arcillosos contrastan en cantidad y tipo de porosidad (Medina *et al.*, 2006). En cuanto a los resultados para los diferentes sistemas de uso de la tierra con cacao en la parroquia Ahuano, presento diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), con un comportamiento textural para el horizonte superficial (profundidad 0-10cm) y subsuperficial (profundidad 10-30cm) con alto contenido de partículas finas (Limo) para los sistemas de monocultivo con cacao (MC_RE; MC_CP) a diferencia de los sistemas agroforestales con cacao (CAF_LV; CAF_AS) y el bosque de referencia (BN_JS) quienes presentaron una textura con partículas medianas (francas, franco arcillo arenosas) (**CUADRO 17**). En suelos con predominio de material fino como la arcilla o el limo son más susceptibles a procesos de degradación física del suelo como el sellado, encostrado, erosión y compactación (Pla, 2010). Estas clases de Textura combinadas con las características climáticas de la zona de estudio (**FIGURA 10**), caracterizadas por ser una zona con abundante precipitación permiten señalar que dependiendo del tipo de manejo del suelo, se puede fortalecer o reducir los procesos de

degradación. Por tal motivo, desde el punto de vista del uso del suelo se refuerza la idea de que la zona estudiada, debe estar siempre bajo protección y es aquí donde los sistemas agroforestales cumplen un rol multifuncional.

CUADRO 17: Clase textural bajo 2 sistemas de usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA

RESULTADOS TEXTURA DEL SUELO FACTOR USO DEL SUELO

USO DE SUELO	PROFUNDIDAD 0-10cm			CLASE TEXTURAL
	TEXTURA			
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
CAF_LV	43,20 (b)	34,80 (b)	22,00 (b)	FRANCO
CAF_AS	44,40 (b)	34,40 (b)	21,20 (b)	FRANCO
MC_RE	29,20 (a)	53,60 (c)	17,20 (a)	FRANCO LIMOSO
MC_CP	27,40 (a)	52,80 (c)	19,80 (a)	FRANCO LIMOSO
BN_JS	55,60 (c)	19,80 (a)	24,60 (c)	FRANCO ARCILLO ARENOSO

USO DE SUELO	PROFUNDIDAD 10-30cm			CLASE TEXTURAL
	TEXTURA			
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
CAF_LV	41,20 (b)	34,60 (b)	24,20 (b)	FRANCO
CAF_AS	41,60 (b)	32,80 (b)	25,60 (b)	FRANCO
MC_RE	25,20 (a)	53,40 (c)	21,40 (a)	FRANCO LIMOSO
MC_CP	24,20 (a)	54,40 (c)	21,40 (a)	FRANCO LIMOSO
BN_JS	51,60 (b)	20,20 (a)	30,20 (c)	FRANCO ARCILLO ARENOSO

Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de $P < 0.05$

Fuente: Elaborado por el autor

Al comparar los 2 usos del suelo y bosque de la zona de estudio (**CUADRO 18**) y las 3 profundidades consideradas (0-10; 10-20; 20-30cm) se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en todos los parámetros estructurales evaluados. De forma general los suelos de los sistemas agroforestales (CAF_LV; CAF_AS) y bosque de referencia (Bn_JS) muestran un buen comportamiento físico que se refleja en los índices estructurales evaluados (D_a , K_{sat} , P_t , P_a , P_r), con mejores valores en la parte superficial en relación a la subsuperficial. Un caso contrario sucedió con los sistemas de Monocultivo con Cacao (MC_RE; MC_CP), donde sus propiedades físicas se encuentran muy cercanas a rangos de referencia establecidos como críticos.

La comparación de (D_a) en la zona de estudio (**FIGURA 12**) en cuanto a la parte superficial varió significativamente ($P < 0.05$), obteniéndose el menor valor en el sistema agroforestal con cacao (CAF_AS: $0,69 \text{ mg/cm}^3$) y en el Bosque de referencia (BN_JS: $0,65 \text{ mg/cm}^3$), mientras que las

mayores densidades se obtuvieron en el uso de monocultivo con cacao (MC_RE:0,96 mg/cm³). Los valores de (Da) se incrementaron a medida que el suelo se volvía profundo (FIGURAS 12, 13, 14).

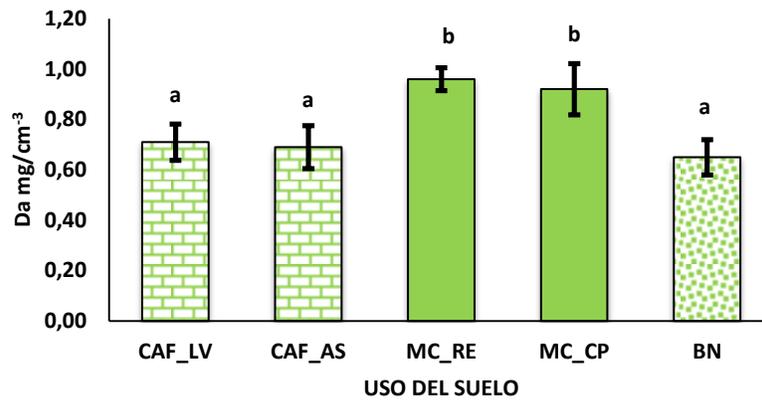


FIGURA 12. Da 0-10cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

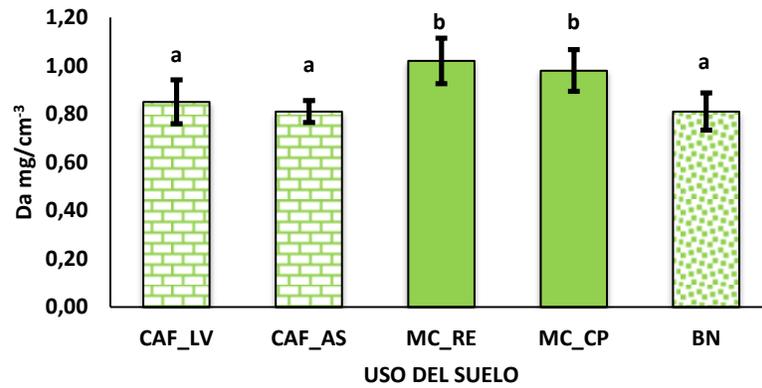


FIGURA 13. Da 10-20cm en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

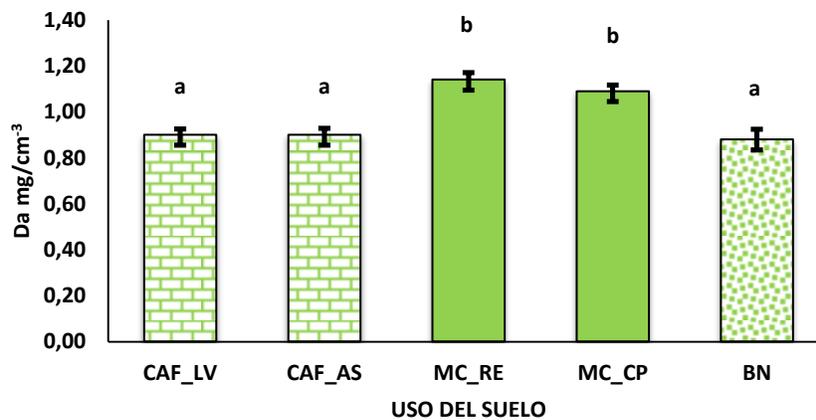


FIGURA 14. Da 20-30cm en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

Es necesario indicar en cuanto a la (Da) que tiene una fuerte influencia en el desarrollo de las raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua y la disponibilidad de nutrientes (Taboada & Alvarez, 2008). Los suelos de la zona de estudio bajo los 2 sistemas de uso del suelo y bosque presentaron un comportamiento textural de medio a fino (Franco Arcilloso, Franco, Franco Limoso) por lo tanto al comparar los valores de (Da) para cualquier profundidad con el valor señalado por (Pla, 1977) como crítico $1,3 \text{ mg/cm}^3$ para estos tipos de textura se puede diagnosticar que no existen problemas de compactación.

CUADRO 18. Índices estructurales físicos bajo 2 usos del suelo con cacao y bosque considerando 3 profundidades en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

 UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA					
RESULTADOS: Da, Ksat, Pt, Pa, Pr					
PROFUNDIDAD 0-10cm					
USO DE SUELO	Da	Ksat	Pt	Pa	Pr
	mg/cm^3	cm^3h^{-1}	(%)	(%)	(%)
CAF_LV	0,71 (a)	30,63 (a)	81,47 (b)	16,07 (b)	65,40 (b)
CAF_AS	0,69 (a)	32,56 (a)	82,02 (b)	17,70 (b)	64,32 (b)
MC_RE	0,96 (b)	19,76 (b)	70,54 (a)	12,18 (a)	58,36 (a)
MC_CP	0,92 (b)	17,92 (b)	71,22 (a)	12,14 (a)	59,08 (a)
BN_JS	0,65 (a)	34,30 (a)	87,28 (b)	18,54 (b)	68,74 (b)
PROFUNDIDAD 10-20cm					
USO DE SUELO	Da	Ksat	Pt	Pa	Pr
	mg/cm^3	cm^3h^{-1}	(%)	(%)	(%)
CAF_LV	0,85 (a)	21,52 (a)	75,97 (b)	13,57 (b)	62,40 (b)
CAF_AS	0,81 (a)	22,99 (a)	77,00 (b)	14,04 (b)	62,96 (b)
MC_RE	1,02 (b)	0,45 (b)	68,50 (a)	11,14 (a)	57,36 (a)
MC_CP	0,98 (b)	0,34 (b)	65,62 (a)	11,94 (a)	54,08 (a)
BN_JS	0,81 (a)	24,56 (a)	82,26 (b)	15,16 (b)	67,10 (b)
PROFUNDIDAD 20-30cm					
USO DE SUELO	Da	Ksat	Pt	Pa	Pr
	mg/cm^3	cm^3h^{-1}	(%)	(%)	(%)
CAF_LV	0,90 (a)	10,52 (a)	72,29 (b)	12,20 (b)	60,09 (b)
CAF_AS	0,90 (a)	11,24 (a)	71,48 (b)	12,26 (b)	59,22 (b)
MC_RE	1,14 (b)	0,33 (b)	64,00 (a)	08,44 (a)	56,56 (a)
MC_CP	1,09 (b)	0,24 (b)	62,96 (a)	08,88 (a)	53,68 (a)
BN_JS	0,88 (a)	13,36 (a)	78,82 (b)	13,42 (b)	65,40 (b)

Da=Densidad aparente; **Ksat**=Conductividad Hidráulica saturada; **Pt**=Porosidad Total; **Pa**=Porosidad de aireación ($Pr > 15 \mu\text{m}$); **Pr**=Porosidad de retención ($Pr > 15 \mu\text{m}$).

Letras distintas denotan diferencias estadísticas significativas a un nivel de $P \leq 0,05$.

Fuente: Elaborado por el autor

Las distintas formas que tienen los agregados determinan la distribución y tamaño de los poros. De allí que la caracterización de la entrada de agua al suelo mediante la tasa de infiltración es también reconocido indicador de su calidad (Gabriels *et al.*, 2013).

La conductividad Hidráulica del suelo (K_{sat}) asociada a la permeabilidad del suelo fue alta en los usos de cacao agroforestal (CAF_LV; CAF_AS) y bosque de referencia (BN_JS). No obstante en los usos de monocultivo con cacao (MC_RE; MC_CP) se puede apreciar valores bajos a medida que el suelo se vuelve profundo estableciendo una diferencia estadística significativa ($P < 0.05$). Esta diferencia al comparar con el valor señalado por (Pla, 2010) como crítico para la K_{sat} $0,5 \text{ cm.h}^{-1}$ el mismo que se encuentra relacionado con el comportamiento textural demuestran que dichos valores en las profundidades de 10-20cm (MC_RE: $0,45$; MC_CP: $0,34 \text{ cm/h}^{-1}$) y de 20-30cm (MC_RE: $0,33$; MC_CP: $0,24$) (**CUADRO 18**) estarían desfavoreciendo la penetración y movimiento del agua en el horizonte subsuperficial. Estos valores a su vez están asociados a las condiciones climáticas (precipitación elevada en la zona) que generan altos volúmenes de agua superficial en el uso de monocultivo con cacao (MC) siendo este sistema de uso un detonante para activar procesos de erosión hídrica.

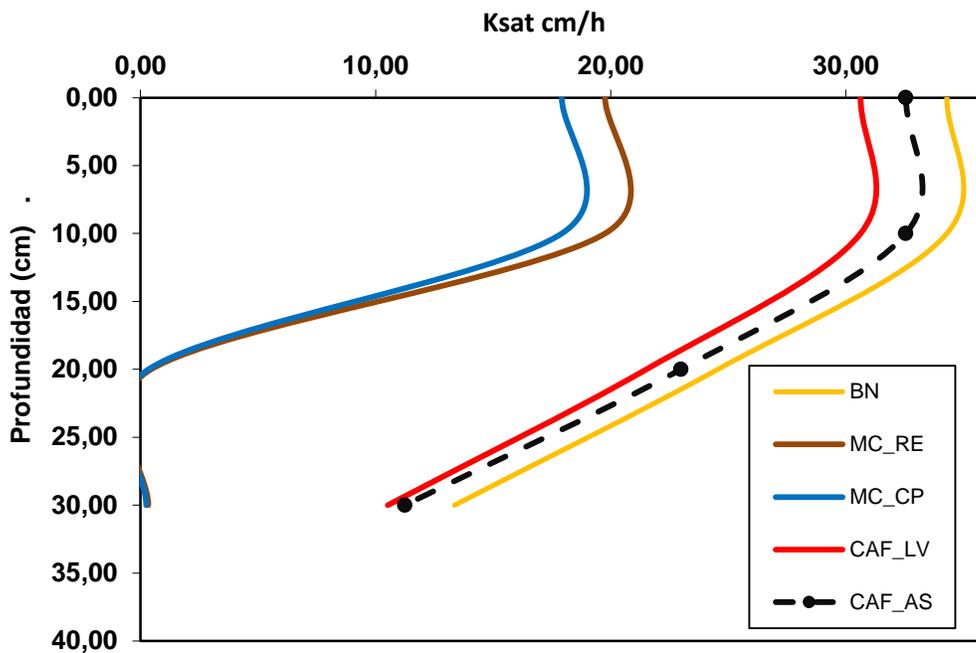


FIGURA 15. Perfil de K_{sat} en función de 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano
Fuente: Elaborado por el autor

En cuanto a la distribución y tamaño de poros fue afectada significativamente por el uso del suelo ($P < 0.05$). Los valores de porosidad total obtenidos estuvieron relacionados con la (D_a) ya que a medida que aumento la densidad disminuyo la porosidad total. La (P_t) oscilo entre el 70 y 87% de 0-10cm; 65 y 82% de 10-20cm; 62 y 78% de 20-30cm de profundidad (**CUADRO 18**) con una gran fracción de volumen representada por los poros de retención (P_r) confiriéndoles a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad indistintamente de su uso. Un caso contrario ocurre al analizar los volúmenes de poros de trasmisión (Macroporos (P_a) $> 15 \mu\text{m}$) que contribuyen de

forma activa al flujo de agua (Taboada & Alvarez, 2008), se observa para el horizonte superficial (0-10cm) los mayores datos porcentuales en el Bosque de referencia (BN_JS:18,54%) mientras que el menor valor fue para el monocultivo con cacao (MC_CP:12,14%). No obstante estos valores van cambiando a medida que el suelo se profundiza y los rangos van disminuyendo de 10-20cm (MC_RE:11,14; BN_JS:15,16%); 20-30cm (MC_RE:8,44; BN_JS:13,42) (**CUADRO 18**), lo cual significa un limitante a la penetración o flujo del agua en el suelo ya que se obtienen valores por debajo del 10%, señalado como valor crítico por (Pla, 2010), tal es el caso para los sistemas de monocultivo con cacao (MC_RE; MC_CP) para las profundidades de 10-20cm y de 20-30cm (**FIGURA 19**).

Estos cambios en la (Pa) están afectando la velocidad de transmisión de agua en el suelo, confirmando su alta dependencia de la dimensión del espacio poroso el mismo que puede ser modificado por manejos de labranza (Pla, 2010).

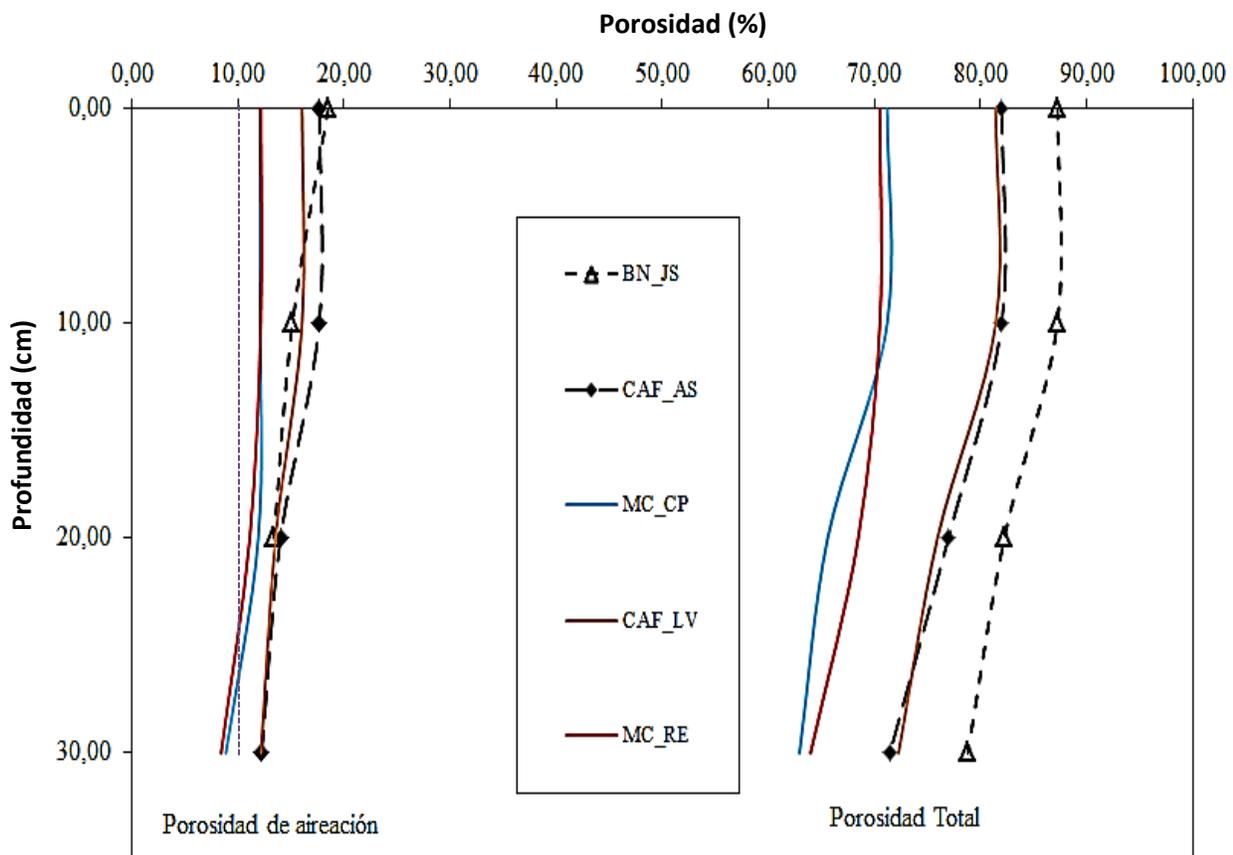


FIGURA 16. Perfil de Pa; Pt (%), en 2 usos de suelo y bosque en la parroquia Ahuano
Fuente: Elaborado por el autor

7.1.1.2. PERFIL DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN BAJO 2 USOS DE SUELO Y BOSQUE EN LA PARROQUIA AHUANO.

La resistencia a la penetración o mecánica (RMP) ha sido utilizada de forma frecuente como un parámetro que describe el estado físico del suelo en forma compleja. Este parámetro ha sido muy utilizado en estudios de compactación de suelos y en efectos de la labranza (Bravo *et al.*, 2004). Los requerimientos de profundización pueden variar, según el suelo, el manejo y nutrientes (riego, lluvia, fertilización) a las plantas (Pla, 2010). Así mismo el pisoteo tiene un efecto en las propiedades físicas del suelo, lo que incide indirectamente en el potencial de desarrollo de las raíces, reduciendo su profundidad de penetración de tal manera que disminuye el rendimiento y la productividad del cacao. En el caso de los SAF la profundidad de mayor actividad biológica y de reciclaje de nutrientes está alrededor de los primeros 10cm, por tal motivo es muy común encontrar raíces a esa profundidad (Bravo, 2015).

CUADRO 19. Resistencia a la penetración bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque considerando profundidades de (2,5-40cm) en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

 UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA					
RESULTADOS RP (Kpa) (PROPIEDAD FÍSICA)					
USO DE LA TIERRA	MC_RE	MC_CP	CAF_LV	CAF_AS	BP
UNIDAD	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
PROFUNDIDAD (cm)					
2,50	92,12 (a)	78,12 (a)	109,28 (a)	90,04 (a)	85,08 (a)
5,00	126,96 (a)	96,60 (a)	135,80 (a)	144,88 (a)	136,96 (a)
7,50	122,52 (a)	128,52 (a)	166,76 (b)	196,44 (b)	173,24 (b)
10,00	143,08 (a)	132,44 (a)	188,08 (b)	210,64 (c)	197,36 (b)
12,50	155,40 (a)	161,72 (a)	215,52 (b)	238,96 (c)	206,80 (b)
15,00	178,28 (a)	174,20 (a)	239,88 (b)	264,32 (b)	238,76 (b)
17,50	215,72 (a)	197,52 (a)	268,00 (b)	304,2 (b)	274,72 (b)
20,00	227,96 (a)	233,72 (a)	278,76 (b)	320,72 (b)	312,16 (b)
22,50	248,80 (a)	259,12 (a)	284,20 (b)	351,4 (b)	320,88 (b)
25,00	257,88 (a)	259,08 (a)	298,16 (b)	358,20 (b)	335,76 (b)
27,50	272,76 (a)	260,40 (a)	308,72 (b)	362,00 (b)	346,92 (b)
30,00	270,52 (a)	269,16 (a)	321,08 (b)	368,64 (b)	360,00 (b)
32,50	276,44 (a)	273,84 (a)	330,44 (b)	363,40 (b)	355,04 (b)
35,00	276,04 (a)	287,44 (a)	340,96 (b)	360,68 (b)	351,96 (b)
37,50	273,64 (a)	286,96 (a)	363,72 (b)	371,00 (b)	379,60 (b)
40,00	268,48 (a)	298,96 (a)	382,52 (b)	384,64 (b)	391,84 (b)

RP: Resistencia a la penetración (Kpa). Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$.

Fuente: Elaborado por el autor

En cuanto a los resultados la RMP como indicador de la compactacion del suelo fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) (**CUADRO 19**) para los 2 usos del suelo con cacao, se registraron los valores más bajos en los primeros 20cm incrementándose con la profundidad sin alcanzar valores límites para el crecimiento radical, estos valores están asociados a los bajos valores de (Da), a los altos contenidos de humedad que están sometidos permanentemente estos suelos y a los contenidos elevados de materia orgánica que le otorgan una buena condición física en cuanto a esta propiedad a los 2 usos del suelo y bosque estudiados en la parroquia Ahuano. Por ello al comparar los datos de resistencia a la penetración para los 2 usos de suelo y bosque con el valor de 1000KPa señalado como limitante por (Hamza & Anderson, 2005), se aprecia, que en ningún uso del suelo, la RMP se acercan a dicho valor (**FIGURA 17**). Por lo tanto la comparación de esta variable junto con los índices estructurales de (Da) (**FIGURAS 12, 13, 14**) indican que para los 2 usos de suelo y bosque en las zona de estudio la compactación del suelo no representa un punto crítico en los sistemas de producción de cacao, probablemente desde el punto de vista físico el mayor problema ambiental sea la erosión hídrica para los sistemas de monocultivo con cacao como se aprecia en la **FIGURA 15**

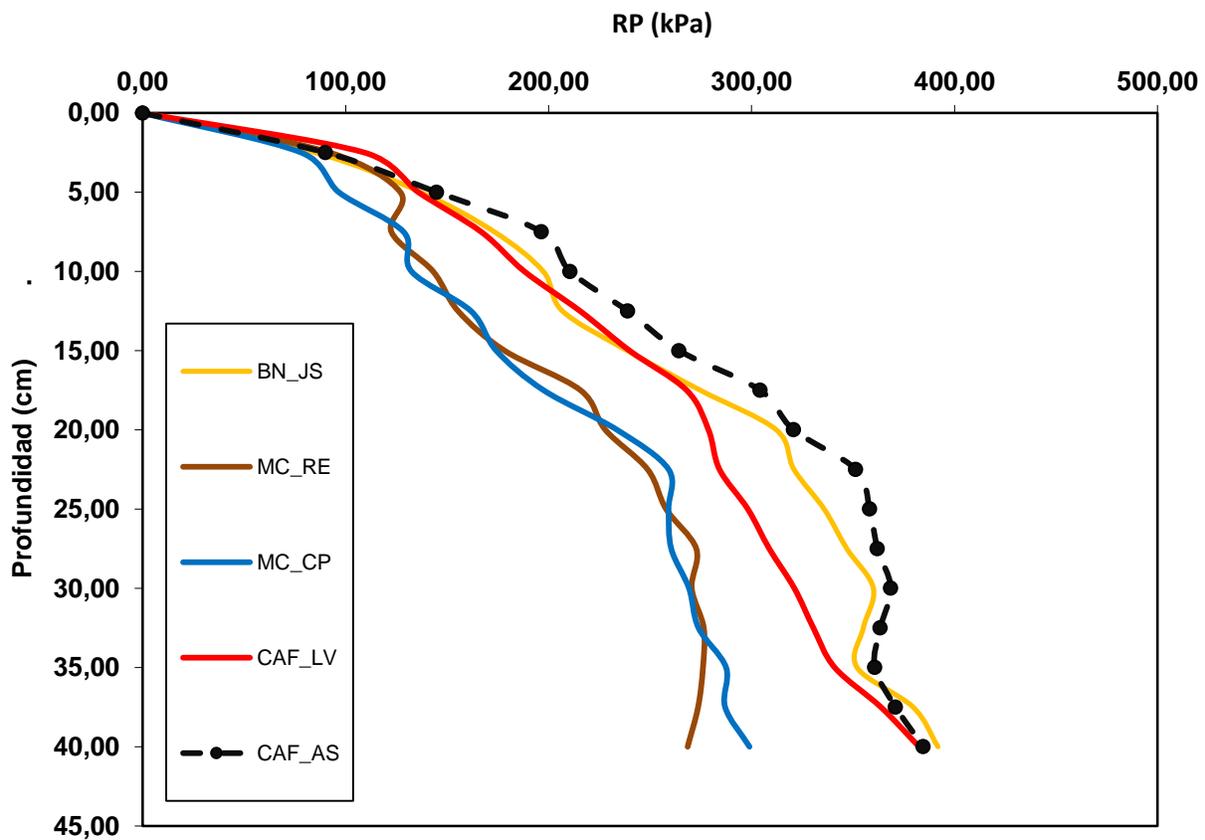


FIGURA 17. Perfil de resistencia a la Penetración (RP, KPa), bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

7.1.2. CONDICIÓN QUÍMICA

Es importante destacar el comportamiento de las propiedades químicas de los suelos en la región amazónica ecuatoriana ya que se encuentran muy marcados por los procesos de formación, donde el clima ha ejercido un papel importante en el proceso de enriquecimiento de hierro; este proceso está favorecido por las condiciones climáticas de la zona de estudio (altas precipitaciones) conllevando a una hidrólisis total de los materiales primarios alterables por lixiviación de las bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) lo que provoca un predominio de minerales poco alterables y de arcillas como el cuarzo, caolinita y de óxidos de hierro otorgándoles ciertas características morfológicas y el descenso de ciertos parámetros como el pH (Custode & Sourdat, 1986). Este punto de referencia es importante para entender el nivel de fertilidad de los suelos de esta región como elemento clave para el manejo y optimización de la fertilización cuando se cambia de un ecosistema natural a diferentes sistemas de cultivo como en el caso del cacao.

En cuanto a los resultados químicos para los 2 sistemas de uso de la tierra en la parroquia Ahuano se observó en el (**CUADRO 20**) que el pH aumentó a medida que el suelo se profundizaba ello se debe a que en la zona de estudio la precipitación es elevada, y sus aguas lluvia contienen cierto grado de acidez (5,7) esto ocurre debido a una reacción que mantiene la lluvia con el CO_2 en la atmósfera para formar ácido carbónico lo cual afecta en cierta medida la disponibilidad de nutrientes en los 2 sistemas de uso.

El pH del suelo es uno de los atributos que tiene mayor influencia en el crecimiento de las plantas ya que afecta la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y tóxicos, afecta la capacidad de intercambio catiónico en suelos con predominio de cargas variables y tiene influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo (Casanova, 2005).

En este sentido el pH en la capa superficial osciló en el (BN_JS: 4,81) (**CUADRO 20**) clasificado como muy fuertemente ácido (**VER CUADRO 5**) a (MC_CP: 5,91) clasificado de moderadamente ácido (**VER CUADRO 5**) al igual que el resto de usos, lo que indica que el pH del Bosque de referencia en la capa superficial es estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) para los 2 usos del suelo con cacao (**CUADRO 20**). Para la capa subsuperficial (10-30cm) se detectaron de igual manera diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) registrándose en el Bosque Natural, el menor valor 4,92 clasificado de igual forma como muy fuertemente ácido a valores catalogados como moderadamente ácidos (CAF_LV:5,99; CAF_AS: 5,81) y ligeramente ácidos (MC_RE:6,16;

MC_CP: 6,17). Los valores de pH ponen en relieve el carácter ácido (**FIGURAS 18, 19**) de estos suelos a todas las profundidades, lo cual está muy marcado por los materiales parentales ricos en hierro y el efecto de la precipitación que produce un lavado de las bases cambiables haciendo que predominen elementos que promueven una condición ácida (Fe y Al) (Bravo, 2015)

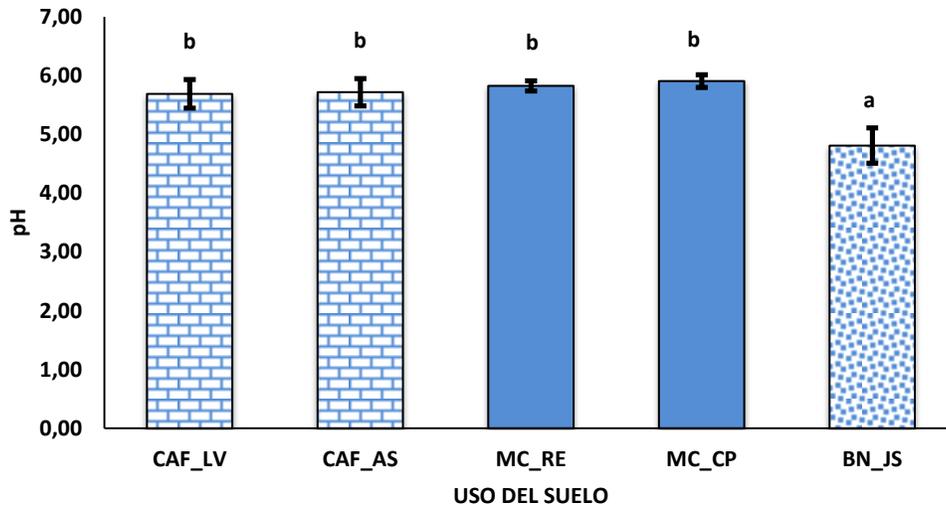


FIGURA 18. pH 0-10cm en función de los 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

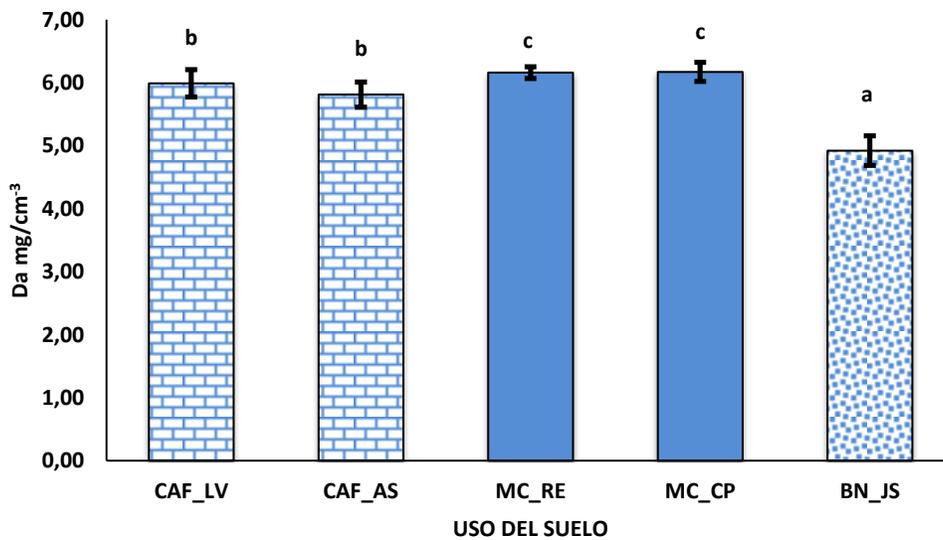


FIGURA 19. pH 10-30cm en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

Los menores valores de pH, en la capa superficial podrían deberse a la descomposición de los residuos en la superficie. La materia orgánica del suelo afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Martínez *et al.*, 2008).

CUADRO 20. Parámetros químicos del suelo bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA							
RESULTADOS: pH, COT, Nt, P, K, Ca, Mg							
RESULTADOS_PROPIEDADES_QUÍMICAS_FACTOR_USO DEL SUELO							
PROFUNDIDAD 0-10cm							
USO DE SUELO	pH	COT (%)	Nt (%)	P ppm	K	Ca meq/100ml	Mg
CAF_LV	5,69 (b)	2,72 (a)	0,81 (b)	6,00 (a)	0,13 (a)	6,87 (b)	0,88 (a)
CAF_AS	5,72 (b)	2,88 (a)	0,78 (b)	5,88 (a)	0,14 (a)	9,17 (b)	0,97 (a)
MC_RE	5,83 (b)	2,55 (a)	0,46 (a)	13,10 (b)	0,20 (b)	7,93 (b)	1,15 (a)
MC_CP	5,91 (b)	2,65 (a)	0,48 (a)	16,18 (b)	0,18 (b)	9,11 (b)	1,11 (a)
BN_JS	4,81 (a)	3,36 (b)	0,93 (b)	3,04 (a)	0,10 (a)	2,20 (a)	0,75 (a)
PROFUNDIDAD 10-30cm							
USO DE SUELO	pH	COT (%)	Nt (%)	P ppm	K	Ca meq/100ml	Mg
CAF_LV	5,99 (b)	2,26 (a)	0,52 (b)	2,58 (a)	0,05 (a)	3,71 (b)	0,50 (a)
CAF_AS	5,81 (b)	2,24 (a)	0,48 (b)	2,67 (a)	0,08 (a)	3,52 (b)	0,53 (a)
MC_RE	6,16 (c)	2,08 (a)	0,35 (a)	5,43 (b)	0,05 (a)	3,98 (b)	0,54 (a)
MC_CP	6,17 (c)	2,06 (a)	0,32 (a)	8,82 (b)	0,08 (a)	4,81 (b)	0,54 (a)
BN_JS	4,92 (a)	2,66 (b)	0,59 (b)	1,37 (a)	0,02 (a)	1,07 (a)	0,47 (a)

pH= Potencial Hidrogeno; COT=Carbono Orgánico Total; Nt= Nitrógeno total; R:CN= Relación Carbono Nitrógeno; P= Fósforo; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= magnesio. Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de P≤0.05.

Fuente: Elaborado por el autor

Al analizar el contenido de carbono orgánico del suelo (COT) se obtuvieron mayores valores en el horizonte superficial, sin embargo en la primera capa muestreada (0-10cm), los valores son categorizados como altos por encima del 2,5% (CUADRO 20); mientras que para el segundo horizonte variaron de contenidos medios a altos, como se aprecia en el (CUADRO 20), para ambas profundidades el suelo de referencia (BN_JS) y los usos agroforestales (CAF_LV; CAF_AS) fueron los que registraron el mayor contenido de carbono en el suelo con respecto al sistema de monocultivo (MC_RE; MC_CP) (FIGURAS 20, 21). Diferentes estudios mencionan que el mejoramiento de muchos parámetros químicos del suelo se debe principalmente al incremento de la materia orgánica del suelo (MOS). La materia orgánica en sistemas de manejo conservacionistas

(agroforestal) está relacionada con el periodo de tiempo bajo este sistema de manejo y con la cantidad y calidad de residuos que retornan al suelo (Lal, 2008; Bravo *et al.*, 2004).

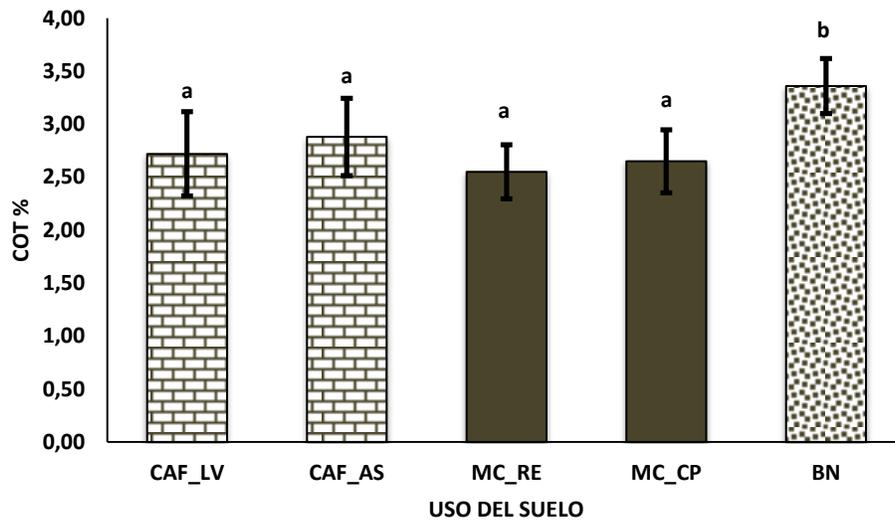


FIGURA 20. COT % 0-10cm en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

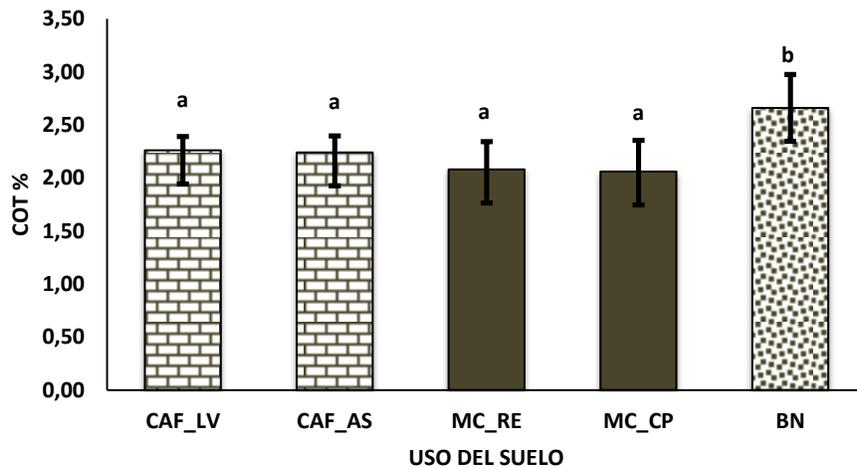


FIGURA 21. COT% 10-30cm en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

En cuanto al nitrógeno total del suelo (Nt), los contenidos de este elemento variaron en función del uso del suelo para el horizonte superficial oscilando de valores medios en los usos de monocultivo con cacao (MC_RE:0,46; MC_CP:0,48%) a altos para los sistemas agroforestales con cacao (CAF_LV:0,81; CAF_AS:0,78; BN_JS: 0,93%), lo cual indica que están asociado a los mayores contenidos de materia orgánica. Para el horizonte subsuperficial los contenidos variaron de medios para el uso agroforestal con cacao y bosque de referencia, a bajos para el uso de monocultivo con

cacao (**CUADRO 20**). Al analizar el contenido de materia orgánica con el contenido de Nitrógeno total para el horizonte superficial, tomando como referencia el bosque con los 2 usos de suelo con cacao, se vio que los sistemas de cultivo de cacao con enfoque agroforestal muestran los valores más altos. Estas diferencias son atribuibles a la cantidad de materia fresca que continuamente aportan las especies forestales presentes en este tipo de sistemas.

En relación al fósforo (P), si bien se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), los valores estuvieron de contenidos normales a bajos (horizonte superficial) y de bajos (< 10 ppm) en los 2 usos del suelo y bosque evaluados en el segundo horizonte. Los rangos en el horizonte superficial fueron (BN_JS:3,04ppm) a (MC_CP:16,18 ppm) y en el horizonte subsuperficial de (BN_JS:1,37ppm) a (MC_CP:8,82 ppm) (**CUADRO 20**). Las diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los usos de CAF y MC pueden estar relacionadas con la aplicación de fertilizantes para incrementar la producción de cacao, sin embargo esta aplicación no significaría daños hacia el recurso suelo ya que al comparar con los valores del (**CUADRO 8**) no son considerables ya que ninguno de ellos es considerado como alto. Al comparar los altos contenidos de materia orgánica de estos suelos con el contenido de este elemento, se podría señalar que el fósforo aportado por los residuos orgánicos inmediatamente es utilizado por las plantas, impidiendo su acumulación en el suelo en grandes cantidades.

La concentración de las bases intercambiables como potasio (K^{+1}), calcio (Ca^{+2}) y (Mg^{+2}), muestran en la zona de estudio, que independientemente del uso del suelo para el horizonte superficial y subsuperficial los niveles varían (**CUADRO 20**) de bajos a muy bajos (**CUADROS 9,10,11**), lo que indica una condición de baja fertilidad química, encontrando el único problema ambiental en esta condición la acidez del suelo que se ve muy relacionada por efectos de la precipitación (3425,8mm/año) muy común en la zona de estudio.

7.1.3. CONDICIÓN BIOLÓGICA

Los suelos desempeñan un papel importante en la regulación de procesos de los ecosistemas amazónicos, a través de su vinculación en los ciclos de nutrientes (N,P) que son limitantes en estos ecosistemas. Esta regulación tiene lugar por interferencia de los procesos biogeoquímicos, donde la biota terrestre se involucra con los componentes físicos y químicos del suelo (Gliessman, 2007). En este contexto, se destaca que los microorganismos influyen en la disponibilidad de nutrientes a través de la descomposición de detritos (residuos sólidos provenientes de la descomposición de fuentes orgánicas) mediante la cual fijan nitrógeno en el suelo. Las malas prácticas agrícolas como el arado, rastra degradan la estructura del suelo y las comunidades microbianas del suelo pero a su

vez una buena práctica agrícola (adición de especies forestales) pueden proteger el suelo y de esta manera reducir la erosión (Power, 2010). Es aquí donde los sistemas agroforestales por su fundamento ecológico cumplen un rol importante y representan el uso más adecuado en la región amazónica (Nieto & Vargas, 2012). Bajo esta perspectiva cualquier estudio para entender el funcionamiento del suelo, debe incluir formas directas o indirectas de evaluar la actividad biológica del suelo, ya que los parámetros biológicos son indicadores del efecto que puede generar un cambio de uso del suelo (Hernández *et al.*, 2008).

Las variables biológicas en este estudio fueron evaluadas mediante la respiración edáfica (RE), la respiración basal (RB) y la población de lombrices en la parroquia Ahuano bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque (**CUADRO 21**).

CUADRO 21. Evaluación de la actividad biológica del suelo mediante la (RE), (RB) y el número de lombrices bajo 2 usos de suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA			
RESULTADOS_RE_RB_LOMBRICES			
RESULTADOS_PROPIEDADES_BIOLÓGICAS_FACTOR_USO DEL SUELO			
PROFUNDIDAD 0-10cm			
USO DE SUELO	RE	RB	Lomb/m ²
	mgCO ₂ *dia ⁻¹ *Ha ⁻¹	mgCO ₂ *Kg ⁻¹ suelo*d ⁻¹	#
CAF_LV	241,70 (b)	543,69 (b)	11,40 (b)
CAF_AS	255,41 (b)	560,55 (b)	10,00 (b)
MC_RE	160,93 (a)	244,71 (a)	5,20 (a)
MC_CP	165,79 (a)	232,62 (a)	4,20 (a)
BN_JS	301,16 (b)	565,15 (b)	10,80 (b)

RE1= Respiración edáfica con contenido de CO₂; **RE2**= Respiración edáfica sin contenido de CO₂; **RB1**= Respiración Basal con contenido de CO₂; **RB2**= Respiración Basal sin contenido de CO₂; **Lomb**= Lombrices.
Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de P≤0.05.

Fuente: Elaborado por el autor

La respiración edáfica (RE: respiración de raíces, microorganismos, fauna del suelo) fue estadísticamente diferente (P≤0.05) en la profundidad superficial (0-10cm), categorizándose en 2 grupos **a**) alta actividad cuyos valores oscilaron de 241,70mgCO₂dia⁻¹Ha⁻¹ en el cacao agroforestal (CAF_LV) a 301,16mgCO₂dia⁻¹Ha⁻¹ en el suelo de referencia (BN_JS); y un segundo grupo de actividad intermedia **b**) 165,79mgCO₂dia⁻¹Ha⁻¹ en el (MC_CP) a 160,93mgCO₂dia⁻¹Ha⁻¹ en el (MC_RE), estos resultados pudieran estar relacionados con la cantidad de hojarasca de los sistemas agroforestales que proporcionan mayor sustrato para los microorganismos y por lo tanto se genera mayor actividad biológica. Para la respiración basal (RB: respiración de microorganismos) de igual

forma se registraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), obteniendo los mayores valores en los cacaos agroforestales (CAF_LV; CAF_AS y BN_JS) mientras que los valores más bajos se los obtuvo en los sistemas de monocultivo con cacao (MC_RE; MC_CP) (**FIGURA 22**), esta diferencia pudiera atribuirse a los contenidos de materia orgánica que conjuntamente con el suelo humificado generan mayor actividad de los microorganismos.

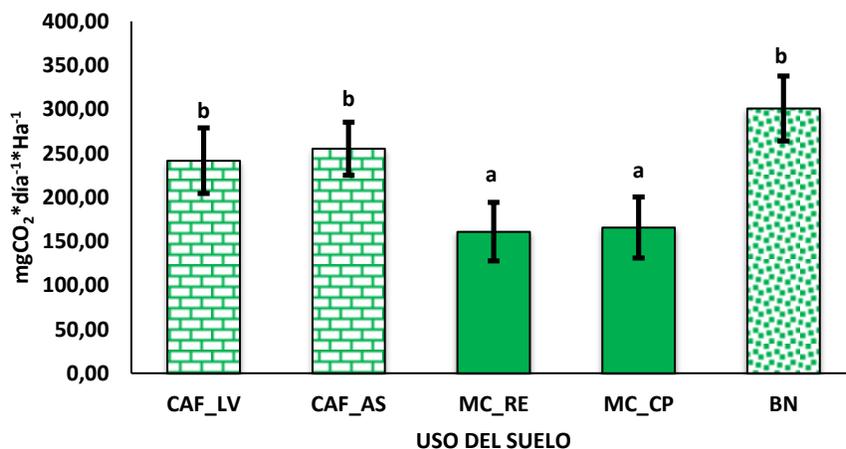


FIGURA 22. RE en función de los 2 usos del suelo con cacao y bosque en la parroquia Ahuano.

Fuente: Elaborado por el autor

Cabe destacar, que en la zona de estudio, los suelos están permanentemente en condiciones de alta humedad e incluso saturados por las características edafoclimáticas (altas precipitaciones y suelos con alta capacidad de retención) (**FIGURAS 10, 17**). Sin embargo, debido a las buenas condiciones físicas principalmente del horizonte superficial (Da) se logra estimular la actividad de los microorganismos del suelo.

En cuanto al número de lombrices se distinguió diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) (**CUADRO 21**). Los mayores registros fueron para los usos (CAF_LV:11,40; CAF_AS:10,00; BN_JS: 10,80 L/m²) a diferencia de los usos (MC_RE:5,20; MC_CP: 4,20 L/m²) que presentaron la densidad de lombrices más baja, estos registros son corroborados en la evaluación de la (Da) y (Pa) de la presente tesis (**CUADRO 18, FIGURA 17** respectivamente) ya que con sus movimientos estos anélidos facilitan la aireación de las raíces e infiltración del agua, desfavoreciendo de esta manera la compactación del suelo. Además de ello también pudieran atribuirse la mayor presencia de lombrices en los cacaos agroforestales y bosque a la descomposición de hojarasca, materia orgánica que continuamente aportan sus especies forestales.

7.2. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO RELACIONADAS CON LOS FACTORES CLIMATICOS

El desarrollo de la planta, así como la biomasa mantienen una íntima relación con los factores ambientales de la zona donde se va a cultivar, para el caso del cacao así como para otros productos agrícolas tienen sus condiciones ambientales ideales para que estas puedan expresar su óptimo potencial productivo. Factores climáticos como la temperatura, humedad, precipitación y vientos tienen un peso significativo en cuanto a su productividad (Fedecacao, 2013).

A continuación se presenta un climograma (**FIGURA 23**) de la zona estudiada con sus variables ambientales, considerando las medias para cada factor climático, el mismo que será utilizado para dar un breve preámbulo de su influencia sobre la productividad de cacao.

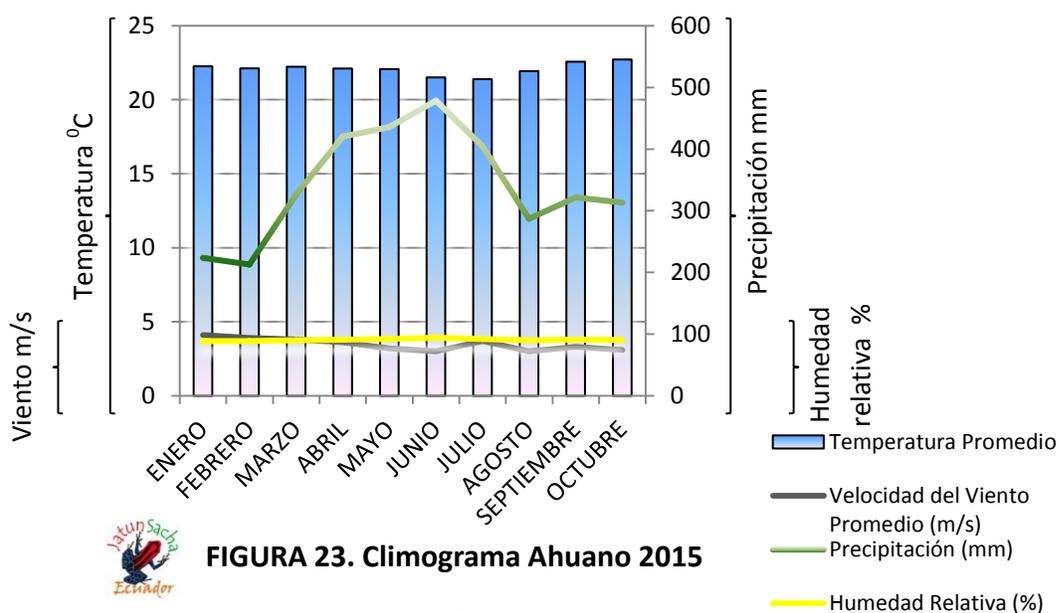


FIGURA 23. Climograma Ahuano 2015

Fuente: Estación Biológica Jatun sachá 2015

Una buena distribución de agua, en el suelo es importante para un excelente desarrollo del cacao, considerando el tipo de suelo en el cual se va a cultivar, esta clase de cultivos son muy sensibles ya que su suministro de forma excesiva o deficiente podrían repercutir en su rendimiento (Enríquez & Paredes, 1979). En caso de carecer de agua en el suelo, podría provocar el cierre de los estomas (localizados en el envés de las hojas) muy participativas en el proceso de la fotosíntesis afectando la producción de cacao; un caso opuesto sucede cuando hay demasiada precipitación más de 3500mm/año podrían incitar una erosión hídrica (INCA, 2015).

En relación a los resultados de rendimiento podemos decir que para los sistemas con cacao agroforestal fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) a los sistemas de monocultivo sin tener como referencia el bosque ya que este presenta una diversidad florística envidiable (**CUADRO 22**); si tomamos como referencia el rendimiento promedio de cacao a nivel nacional (0,40tn/ha) (FAO, 2010), podemos decir que los 2 sistemas de manejo (agroforestal y monocultivo) presentan un rendimiento inferior. Algunos autores mencionan que su bajo rendimiento puede deberse a la presencia de enfermedades comunes como la moniliasis y mazorca negra las mismas que se encuentran asociadas a los valores exorbitantes de precipitación y humedad (Enríquez & Paredes, 1979).

CUADRO 22. Rendimiento y Biomasa (Hojarasca) en 2 usos de suelo con cacao y Bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, Provincia de Napo.

 UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA RESULTADOS_RENDIMIENTO_BIOMASA						
USO DE LA TIERRA	RENDIMIENTO Tn/ha	BIOMASA Tn/ha	TEMPERATURA °C	VIENTO m/s	PRECIPITACION mm/año	HUMEDAD RELATIVA %
CAF_LV	0,28 (b)	2,02 (b)				
CAF_AS	0,34 (b)	2,04 (b)				
MC_RE	0,10 (a)	1,22 (a)	22,1	3,5	3425,8	91
MC_CP	0,09 (a)	1,14 (a)				
BN_JS	0	2,52 (b)				

Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$.

Fuente: Elaborado por el autor

En cuanto a la biomasa podemos mencionar que de igual forma fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) (**CUADRO 22**), en los cacaos agroforestales en relación al monocultivo esta diferencia estadística se atribuye a que en los sistemas agroforestales, se encuentran especies arbóreas maderables, cultivos agrícolas que ayudan a incrementar la biomasa (hojarasca en el suelo), estos valores de hojarasca pueden estar relacionados con las precipitaciones acompañados de vientos que permiten el desprendimiento de materia vegetal fresca (hojas, ramas) en proceso de abscisión foliar de manera anticipada (Zapata *et al.*, 2007).

Si tomamos en consideración la cantidad de biomasa del sistema monocultivo con cacao observamos que corresponde a una sola especie, un caso contrario ocurre con los sistemas agroforestales y bosque de referencia, denotamos que el valor de hojarasca corresponde a distintas especies forestales, pudiendo deberse en gran parte al menor impacto de aguas lluvia hacia las plantas productoras de cacao y suelo, por efecto de las especies forestales presentes en el cacao agroforestal, otorgándole mejores condiciones físicas y mayor aporte de nutrientes al suelo.

(Gliessman, 2007) menciona que la fuente principal del mayor reciclaje de nutrientes en el suelo ocurre cuando la materia orgánica presente en el suelo, es producto de la descomposición de hojas y ramas de una diversidad de especies forestales.

En la zona de estudio, la precipitación media anual fue de 3428,8 mm/año, este comportamiento se encuentra muy cercano al valor considerado como crítico para el desarrollo del cacao (3500mm/año) (FIGURA 24). El mencionado valor se encuentra relacionado con la K_{sat} de los monocultivos con cacao (FIGURA 15) que indican que existen problemas de erosión hídrica.

CUADRO 23. Valores promedio de los factores ambientales de la parroquia Ahuano.



ESTACIÓN BIOLÓGICA JATUN SACHA
DATOS CLIMÁTICOS DE LA PARROQUIA AHUANO

RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL					
2015 ANUAL		PRECIPITACIÓN	VIENTO	Humedad relativa (%)	91,0
Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas (°C)		Precipitación Anual (mm)	Velocidad del Viento (Km/h)	Velocidad del Viento (m/s)	
Máxima	Mínima				
28,1	16,6	3425,8	12,5	3,5	
Temperaturas Promedio (°C)			Precipitación Media (mm)		
Máxima	Mínima	Media			
27,1	17,1	22,1	342,6		

Fuente: Estación Biológica Jatun Sacha 2015

Los resultados de biomasa (hojarasca) en los usos agroforestales con cacao y bosque (FIGURA 24) hacen pensar que la biomasa presente en el suelo está sirviendo de sustrato a microorganismos que favorecen la descomposición de materia orgánica, los mismos que tienen mayor actividad en zonas lluviosas generando mayor reciclaje de nutrientes para el suelo, en contrariedad a lo que sucede en el uso de monocultivo con cacao, ya que la biomasa presente en el suelo hacen denotar que la actividad de microorganismos es menor proporción tal como lo refleja la (FIGURA 22) por el sustrato que aporta este sistema a los microorganismos edáficos.

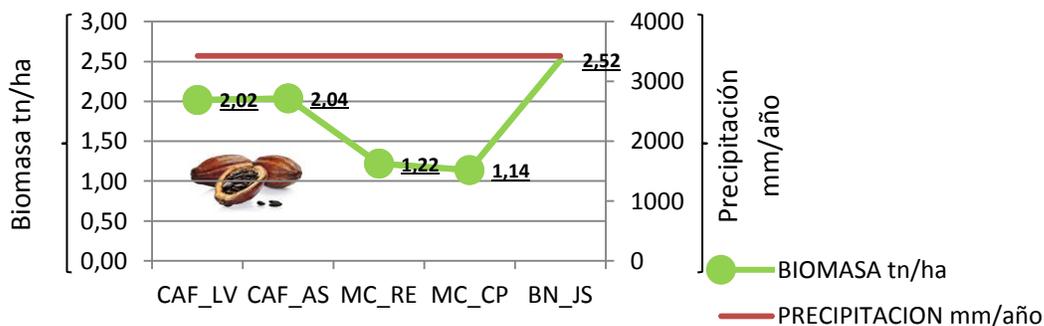


FIGURA 24. Biomasa en términos de hojarasca en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta la precipitación de la parroquia Ahuano.

Fuente: Elaborado por el autor

La humedad relativa de la zona de estudio presento un 91% (FIGURA 25), mencionado valor se encuentra ligeramente superior al valor considerado como ideal 70 a 80% (IICA, 2006).

En el caso del rendimiento del cacao requieren de este valor ya que ayudan a disminuir riesgos en su desarrollo debido a aumentos en la evapotranspiración (cantidad de agua que vuelve al aire por efectos de la evaporación del suelo y transpiración de las hojas) (Cubillos *et al*, 2008); sin embargo esta evaporación (eliminación de agua del suelo en forma de vapor) se estaría desarrollando de forma eficiente en el sistema de cacao agroforestal por las condiciones ideales en sus propiedades físicas (Da, Ksat,Pt, Pa, Pr) (CUADRO 18). Un caso inverso sucede con el sistema de monocultivo con cacao ya que su rendimiento estaría asociado a los resultados de los índices estructurales físicos (CUADRO 18) donde en algunos parámetros indican valores críticos como sucede con la conductividad hidráulica saturada y porosidad de aireación, es decir en este sistema de manejo del suelo se estarían desarrollando la evaporación de agua de una forma desmedida por la irrupción de agua a horizontes subsuperficiales.

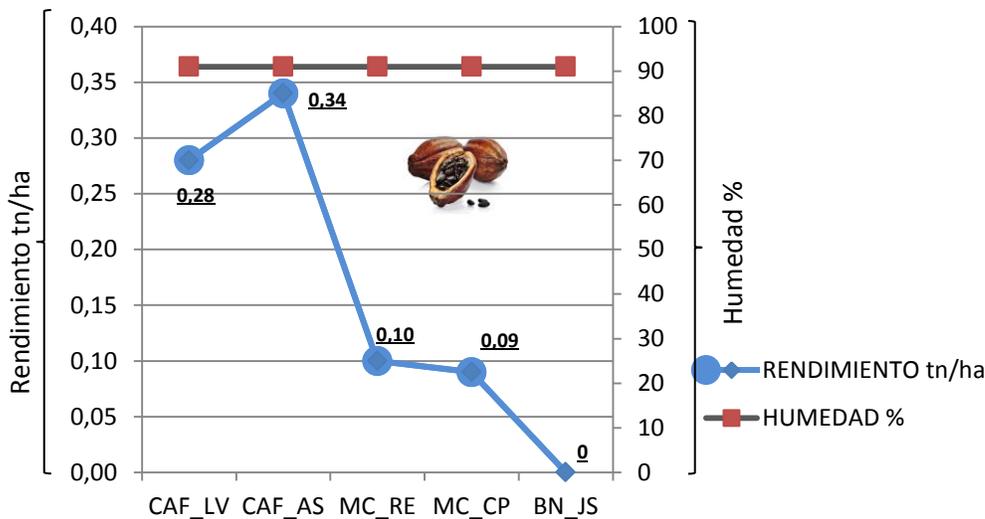


FIGURA 25. Rendimiento de cacao en 2 usos de suelo tomando en cuenta la humedad de la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

El viento de la zona presento un promedio de 3,5m/s (FIGURA 26), dicho valor si es comparado con el crítico para cultivos de cacao 4m/s (CATIE, 2011), podemos decir que el viento se encuentra ligeramente inferior al señalado. Por otra parte (Batista, 2009) menciona que vientos fuertes (superiores a los 6m/s) provocan el desprendimiento de hojas, frutos y ruptura de ramas en procesos de desarrollo afectando de esta forma el rendimiento y biomasa del cultivo.

Este comportamiento podría estarse llevando a cabo en mediana forma en los sistemas de monocultivo con cacao ya que en relación a su rendimiento y biomasa vemos que es bajo (**FIGURA 26**) a diferencia de los sistemas agroforestales donde relativamente es superior, esta diferencia pudiera deberse a que en los sistemas agroforestales con cacao forman cortinas rompevientos con sus especies forestales, impidiendo que la velocidad del viento mantenga una relación directa con las mazorcas y biomasa vegetal del cacao (Palomeque, 2009).

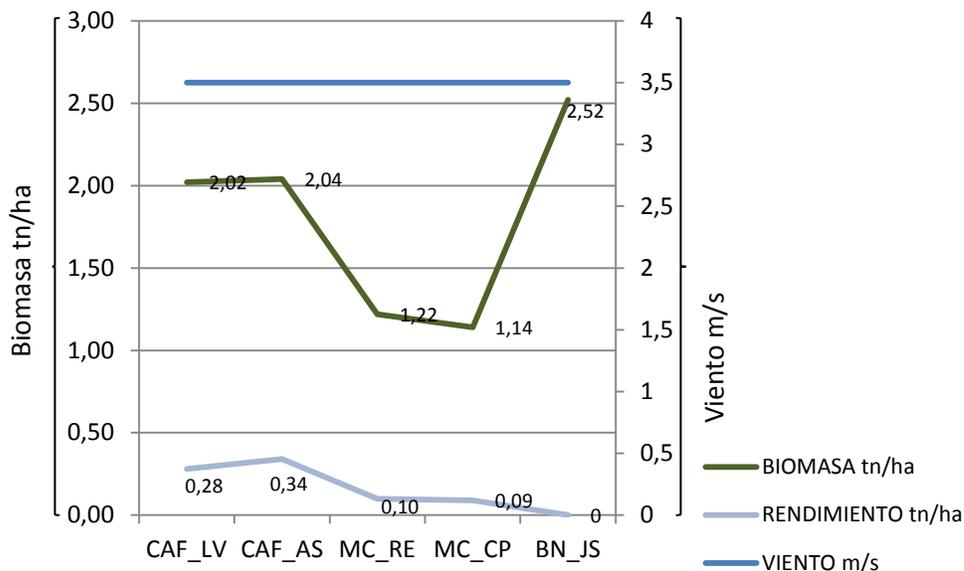


FIGURA 26. Productividad del suelo con cacao en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta el viento de la parroquia Ahuano.

Fuente: Elaborado por el autor

La temperatura es un factor que cumple un rol importante en el desarrollo foliar del cacao, la temperatura considerada como ideal por (Gómez & Azócar, 2002) es de 24⁰C. De su parte (Schutz, 1990) sostiene que la hojarasca aparte de cumplir la función de reciclar nutrientes, también actúa como un estrato aislante que protege al suelo de cambios extremos de temperatura. Por otra parte (Moretto *et al.*, 2005) afirman que la temperatura del aire, inducen el aumento de la temperatura del suelo ejerciendo un importante efecto en el proceso de compactación de campo, estos cambios climáticos son más acentuados en sistemas de un solo cultivo donde se dan las mayores radiaciones solares.

Los resultados de biomasa recolectadas en los sistemas agroforestales con cacao (**FIGURA 24**) dejan entrever que estarían cumpliendo una función protectora de la capa superficial del suelo conjuntamente con las especies forestales de este sistema, a más de aportar nutrientes; en relación a los sistemas de monocultivo con cacao se estaría desarrollando un caso inverso, por la cantidad de hojarasca recolectada ya que si bien estaría cumpliendo funciones de protección pero en menor

medida si comparamos con la cantidad de hojarasca recolectada en los sistemas agroforestales con cacao y bosque de referencia. De forma general podemos decir que la hojarasca presente en el suelo en los dos sistemas de cultivo y bosque tiene cierta influencia positiva, ya que las proporciones de hojarasca presente en el suelo estarían cumpliendo funciones de protección.

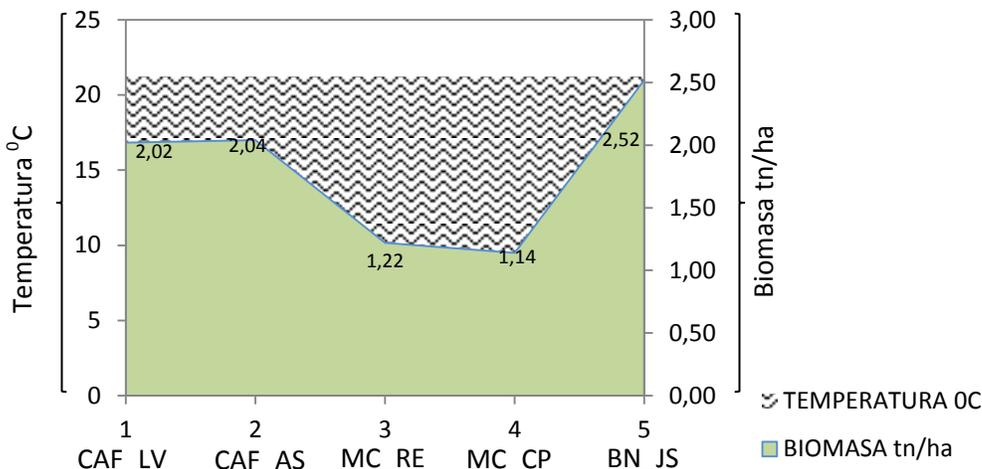


FIGURA 27. Biomasa en terminos de hojarasca en 2 usos de suelo y bosque tomando en cuenta la temperatura de la parroquia Ahuano.

Fuente: Elaborado por el autor

De forma general hacemos un énfasis en el componente de productividad más importante en lo que al ámbito ecológico se refiere: La biomasa, expresada en términos de hojarasca varió en los 2 usos de suelo y bosque (**CUADRO 22**) mostrando las siguientes tendencias: para el uso de cacao bajo un sistema agroforestal (CAF_LV; CAF_AS) y el sitio de referencia (BN_JS) fueron los sistemas agroforestales y bosque los que mayores valores presentaron, lo cual se asocia con un mayor aporte de materia orgánica y a su vez se traduce en un mejoramiento de algunos índices estructurales como las Da, Ksat, Pa (**CUADRO 18**), constituyendo de esta forma un potencial tanto para el sustrato y alimentación de microorganismos y para la reposición de nutrientes en el sistema agroforestal y bosque. En este sentido, radica la importancia de la hojarasca para la estabilidad y funcionamiento del ecosistema, ya que constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo (Gliessman, 2007).

También es conocida su utilidad como mejoradora de las condiciones físico-químicas y en la regulación del régimen de fluctuación diaria de la temperatura del suelo. Aunque existen numerosos factores bióticos, abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca de la diferentes especies vegetales que componen los ecosistemas, el clima modifica notablemente la naturaleza y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, de modo que ejerce una importante influencia en el tipo y la abundancia de la materia orgánica (Gliessman, 2007).

7.3. ESTIMACION DEL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO

Después de la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso del suelo es la segunda causa mundial de emisiones CO₂, y algunos de estos cambios se corresponden con la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas. Bajo esta perspectiva, la agricultura unos de los principales motores de la deforestación es señalada como la actividad responsable para reducir las zonas boscosas (IPCC, 2007). Sin embargo, bajo la intensificación de agricultura se puede promover estrategias productivas, ecológicas para el manejo de sus cultivos. En este contexto, una alternativa para reducir la degradación de los recursos naturales por cambios de uso del suelo es la implementación de sistemas agroforestales, definidos como formas de uso de la tierra donde los árboles o arbustos interactúan biológicamente en una misma superficie con la biota del suelo (Farrell & Altieri, 1997). Bajo este manejo se espera que al fomentar la intensificación de la agroforestería, sea más atractiva y genere mayores ingresos que el manejo en forma de monocultivo que conllevaría a su vez a una reducción de la deforestación. El propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible además de generar bienes y servicios ecosistémicos, como el aumento de las reservas de carbono en la biomasa aérea y en el suelo (Nair, 2004).

La cantidad de carbono almacenado en diferentes componentes se cuantifico en 2 sistemas de uso de la tierra localizado en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo, considerando 2 sistemas de cultivo con cacao (agroforestal y monocultivo), tomando como referencia el bosque. (**CUADRO 24**). En dicho estudio, la biomasa aérea total resulto estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) (**FIGURA 29**), en función del uso del suelo, estableciendo 3 grupos, uno que incorpora al bosque natural (BN_JS: 262,02 MgCha⁻¹) que almacenó (C) en su biomasa aérea un total de 131,01 MgCha⁻¹, el segundo grupo que reúne a los sistemas agroforestales (CAF_AS: 138,04 Mgha⁻¹; CAF_LV: 131,66 MgCha⁻¹), quienes almacenaron carbono en su biomasa aérea entre 69,02 MgCha⁻¹ y 65,83 MgCha⁻¹ respectivamente, y en tercer lugar el grupo de los monocultivos (MC_RE: 57,4 Mgha⁻¹; MC_CP: 52,2 Mgha⁻¹) que almacenaron (C) en su biomasa aérea entre 28,7 MgCha⁻¹ y 21,1 MgCha⁻¹ respectivamente. El componente de carbono en el suelo bajo los 2 usos de suelo y bosque, no presento diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) (**FIGURA 28**), sin embargo se evidencia un patrón de comportamiento similar al C almacenado en la biomasa aérea total, resultando el bosque (BN_JS: 34,46 Mgha⁻¹) y el cacao agroforestal (CAF_AS: 32,2) entre los de mayor valor de almacenamiento de carbono, mientras que con valores inferiores a los citados resulto el cacao en forma de monocultivo (MC_CP: con 23,3 Mgha⁻¹).

En total, sumando los dos componentes considerados para obtener el carbono total almacenado (CAT), se aprecia diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (**FIGURA 30**) y en general la mayor contribución para la fijación es aportada por la biomasa aérea total (**CUADRO 24**). La cantidad total de carbono almacenado por hectárea en los 2 usos de suelo y bosque osciló de 49 a 165 Mg ha^{-1} registrándose las mayores fijaciones de carbono en el (BN_JS) y (CAF_AS) (**CUADRO 24**). Si bien el componente de carbono en el suelo no registro diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) para ninguna profundidad y uso considerando (**FIGURA 28**), se evidencia que el potencial de secuestro de carbono viene dado por el aporte de la biomasa aérea, resaltando la importancia de la misma en la contribución de distintos servicios ecosistémicos. Es aquí donde los sistemas agroforestales como una práctica multifuncional puede conservar el carbono en el suelo y reducir su degradación en la capa superficial y su valor agregado proporcionar otro servicio ecosistémico ya que puede conservar la estructura y fertilidad del suelo, captación de agua y control de la erosión (Lal, 2008).

CUADRO 24. Carbono Almacenado bajo 2 usos de suelo con cacao y Bosque en la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo.

 UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA				
RESULTADOS SECUESTRO DE CARBONO				
Localidad Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo				
USOS DEL SUELO	C Biomasa aérea	Carbono orgánico del suelo (COS)	Carbono Total (CAT)	Biomasa aérea total
	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg C ha^{-1}	(Bt) ha^{-1}
CAF_LV	65,83 $\pm 13,65$ (b)	31,02 $\pm 15,47$ (a)	96,85 $\pm 19,75$ (b)	131,66 $\pm 32,18$ (b)
CAF_AS	69,02 $\pm 14,52$ (b)	32,2 $\pm 16,38$ (a)	101,22 $\pm 18,23$ (b)	138,04 $\pm 33,42$ (b)
MC_RE	28,7 $\pm 8,22$ (a)	25,2 $\pm 4,28$ (a)	53,9 $\pm 7,14$ (a)	57,4 $\pm 16,17$ (a)
MC_CP	26,1 $\pm 7,33$ (a)	23,3 $\pm 3,36$ (a)	49,4 $\pm 6,52$ (a)	52,2 $\pm 14,21$ (a)
BN_JS	131,01 $\pm 23,65$ (c)	34,46 $\pm 25,42$ (a)	165,47 $\pm 28,76$ (c)	262,02 $\pm 47,31$ (c)

Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$.

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados obtenidos concuerdan por lo señalado por varios autores, quienes indican que los sistemas agroforestales que integran la producción de árboles con cultivos tienen mayor potencial para secuestrar (C) que en cultivos netamente agrícolas. Esta afirmación se basa en el pensamiento de que la incorporación de árboles en los sistemas de cultivos se traduciría en un mayor potencial de captura de carbono en el suelo (Nair, 2004). Igualmente, los resultados de potencial de carbono

almacenado en los sistemas agroforestales, está dentro de los rangos señalados para los distintos componentes de carbono como la biomasa aérea ($70 \text{ Mg ha}^{-1} - 120 \text{ Mg ha}^{-1}$) y el suelo (25 Mg ha^{-1}) (Mutuo *et al.*, 2005).

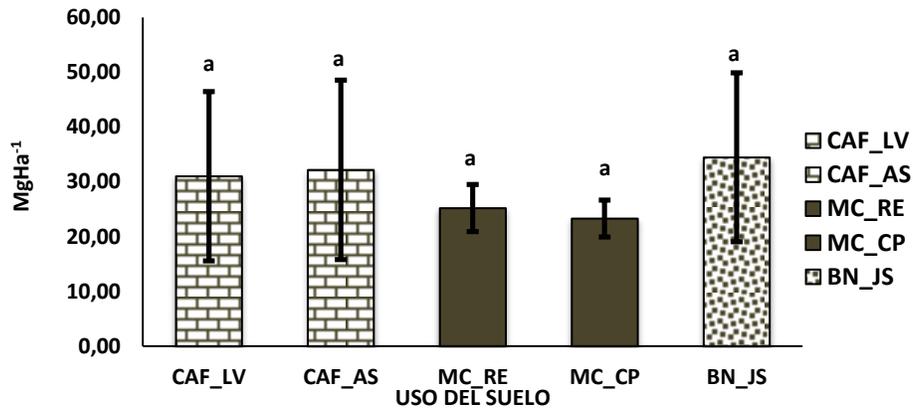


FIGURA 28. Secuestro de carbono en el suelo (MgCha^{-1}). Parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

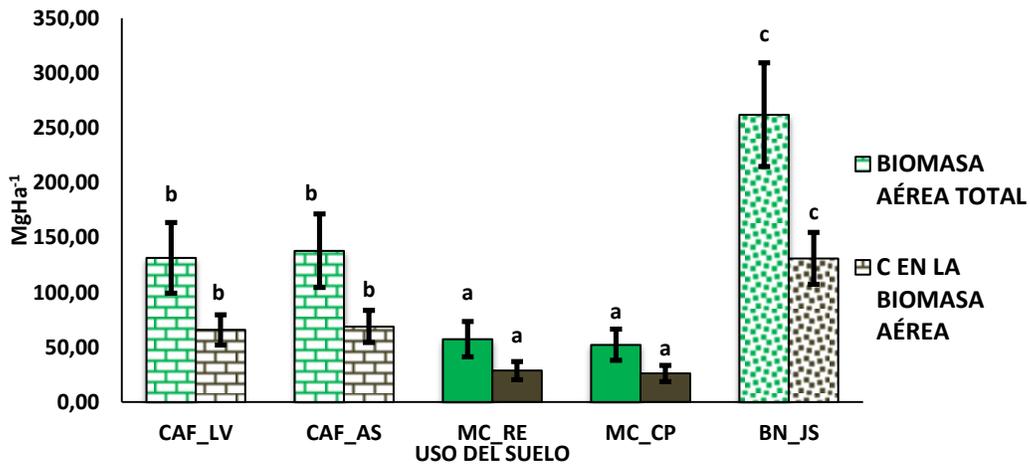


FIGURA 29. Secuestro de carbono en la biomasa aérea (MgCha^{-1}). Parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

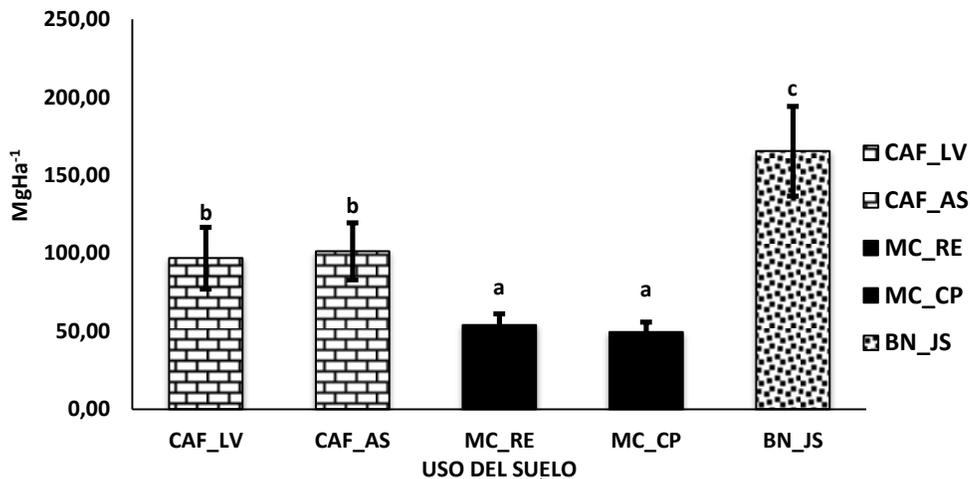


FIGURA 30. Potencial secuestro de carbono (MgCha^{-1}) en los compartimentos suelo y biomasa aérea en 2 usos de suelo y bosque en la parroquia Ahuano

Fuente: Elaborado por el autor

7.4. RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES EDAFOCLIMATICOS Y LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

Para determinar la relación a un nivel (0,05) entre los factores edafoclimáticos y la productividad del suelo, se realizó un análisis de correlación de Spearman, para lo cual se creó una matriz (CUADRO 25) donde se incluyeron todos los promedios de las variables estudiadas.

7.4.1. RELACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y PRODUCTIVIDAD

7.4.1.1. RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)

Para la variable biomasa en términos de hojarasca se relacionó con la arena ($r=0,692^{**}$), arcilla ($r=0,588^{**}$), representando una relación directa fuerte, sugiriendo que el contenido mayoritario de arena y la presencia de arcilla de los sistemas agroforestales con cacao y bosque, tiene influencia positiva en la descomposición de hojarasca en el suelo (MO resultante de su descomposición); a diferencia del limo ($r=-0,757^{**}$) con una relación inversa fuerte, determinó que la supremacía de esta variable, como sucede en el caso de los sistemas de monocultivo con cacao (CUADRO 17) no es considerada beneficiosa para la descomposición de hojarasca, probablemente esta diferencia puede ser atribuida al tamaño de las partículas que presenta (0,05-0,02mm) (Zavaleta, 1992), que impiden la presencia de organismos descomponedores. La relación de la biomasa con la PT ($r=0,489^{**}$), Pa ($r=0,309^{**}$), Pr ($r=0,445^{**}$) (FIGURA 31) reflejan una correlación directa débil, insinuando que la distribución de poros de los sistemas agroforestales (PT fue superior a los sistemas de cultivo con cacao (CUADRO 18) favorecen la descomposición de hojarasca, dado que al momento de convertirse en materia orgánica, es posible su penetración hacia capas más profundas.

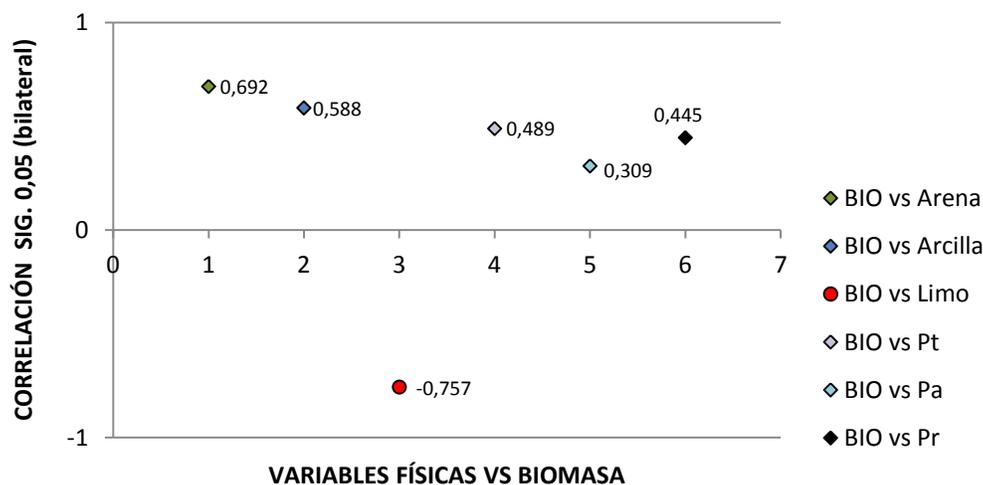


FIGURA. 31 Variables Físicas vs biomasa en terminos de hojarasca

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.1.2. RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

Si bien el rendimiento de un cultivo de cacao puede depender de muchos factores, las deducciones de los índices físicos obtenidos indican que pueden incidir en el mismo, manteniendo una correlación inversa débil con la variable Da ($r=-0,436^{**}$); lo que indica que cuando el suelo es más denso ($>Da$) como sucede en los sistemas de monocultivo, el rendimiento de cacao disminuye pudiendo ser atribuido a un grado superior de compactación del suelo (en relación a los sistemas agroforestales) que impiden el desarrollo absoluto de las raíces. Para el caso de la Pa ($r=0,23^{**}$); Pr ($r=0,369^{**}$); mantuvo una correlación directa débil, lo cual demuestra que a medida que los poros del suelo son más grandes (macroporos en los sistemas agroforestales) el rendimiento de cacao aumenta por la percolación del agua del horizonte superficial a capas más profundas y contenido de humedad eficiente en los estratos subsuperficiales, otorgando un mayor aporte de nutrientes provenientes de la materia orgánica descompuesta y eficiente suministro de agua para las raíces (FIGURA 32).

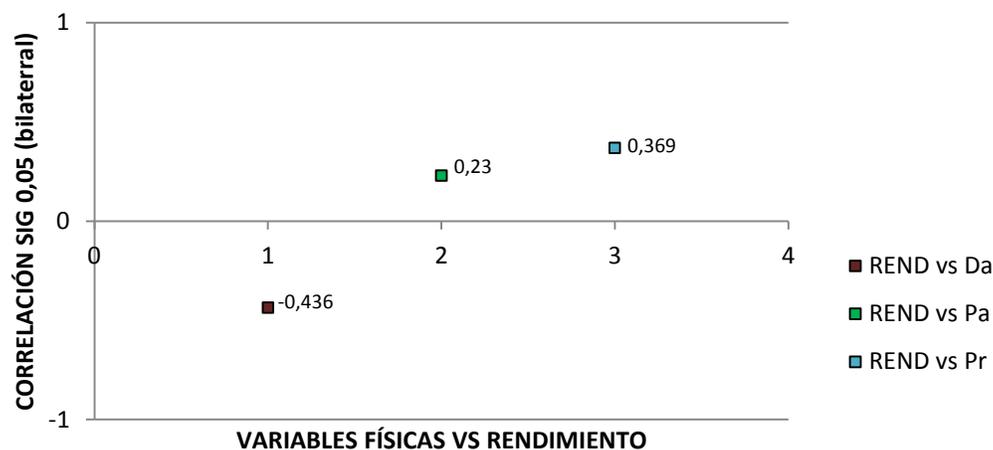


FIGURA 32. Variables Físicas vs rendimiento de cacao

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.2. RELACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS Y PRODUCTIVIDAD

7.4.2.1. RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)

En relación a las variables químicas tomando en cuenta la biomasa (hojarasca) presentó una correlación inversa fuerte (FIGURA 33) para la variable pH ($r=-0,559^{**}$), como insinuando que el contenido de pH obtenido en los sistemas de monocultivo con cacao ($pH > CAF$ CUADRO 20) disminuyen la concentración de biomasa en el suelo (MO proveniente de hojarasca); según (Sierra & Rojas, 2001) cuando la materia orgánica (producto de la descomposición de la hojarasca) aumenta el pH disminuye, ya que la MO tiende a acidificar el suelo. Un caso contrario sucede con

el COT (0,797**), donde se dio una correlación directa fuerte lo que significó que la cantidad mayoritaria de hojarasca recolectada en los sistemas agroforestales con cacao (**CUADRO 22**) produjeron más carbono orgánico en el suelo. Según (Fassbender, 1993) los contenidos de carbono orgánico en el suelo tienen como fuente principal a los residuos vegetales que ingresan al suelo.

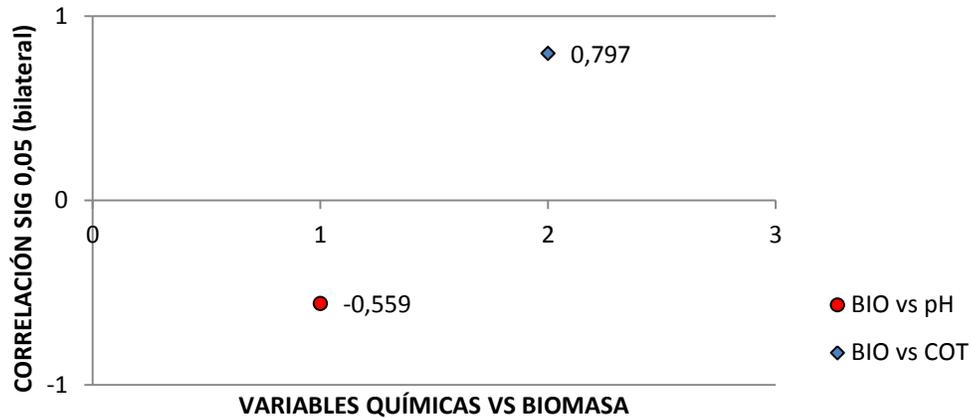


FIGURA 33. Variables Químicas vs biomasa en términos de hojarasca

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.2.2. RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

En relación a las propiedades químicas y el rendimiento mantuvo una correlación con el COT (0,451**) expresando una relación directa fuerte lo que significa que el suelo a medida que contiene más materia orgánica como sucede en el caso de los sistemas agroforestales con cacao mayor fue el rendimiento de cacao, ya que la materia orgánica según (De las Heras & Fabeiro, 2003) es la base de la fertilización. (**FIGURA 34**)

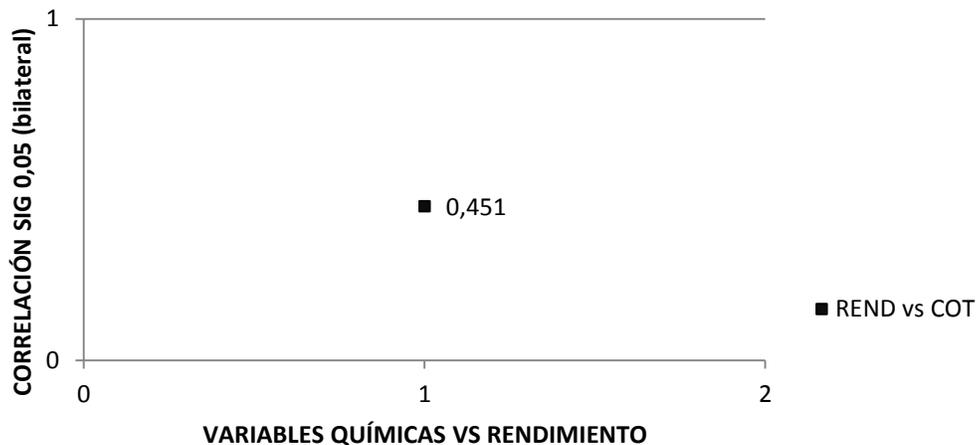


FIGURA 34. Variables Químicas vs rendimiento de cacao

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.3. RELACIÓN DE PROPIEDADES BIOLÓGICAS Y PRODUCTIVIDAD

7.4.3.1. RELACIÓN CON LA BIOMASA (HOJARASCA)

La biomasa muestreada presentó una correlación directa débil para 2 variables biológicas las mismas que se distribuyeron de la siguiente manera: RE ($r=0,451^{**}$), RB ($r=0,397^{**}$) (**FIGURA 35**), lo que significó que las cantidades mayoritarias de hojarasca recolectada en los usos de cacao agroforestal aportaron con mayor sustrato a la fauna del suelo. Según (Lodge, Hawksworth, & Richie, 1996) la hojarasca es el medio en el que se desarrollan diversos microorganismos, cuanto mayor sea su volumen mayor será su actividad.

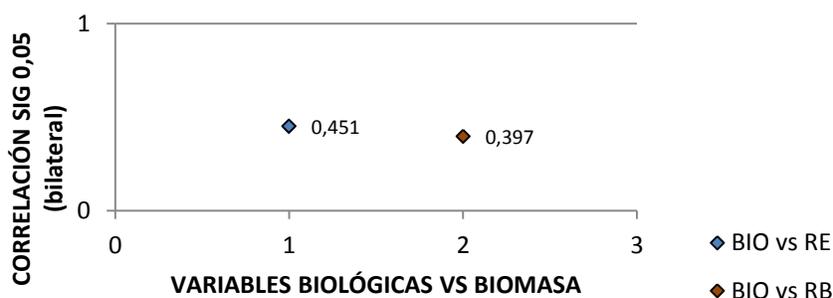


FIGURA 35. Variables biológicas vs biomasa en terminos de hojarasca

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.3.2. RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

En relación al rendimiento con las propiedades biológicas se obtuvo una correlación directa fuerte para las variables RE ($r=0,513^{**}$); RB ($r=0,505^{**}$) lo que indica que a medida que aumenta la respiración de raíces y fauna microbiana del suelo (valores superiores a los de monocultivo con cacao (**CUADRO 21**) mayor será el rendimiento de cacao, por el alto grado de actividad que los organismos poseen en el suelo para descomponer la materia orgánica, otorgando de esta manera un mayor reciclaje de nutrientes a las raíces para el desarrollo del cacao (Bravo, 2015) (**FIGURA 36**).

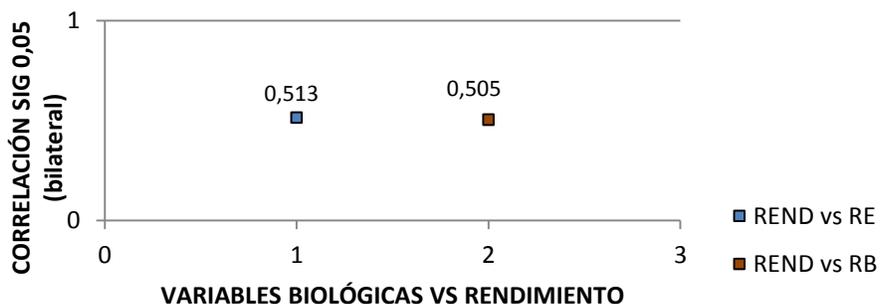


FIGURA 36. Variables biológicas vs rendimiento de cacao

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.4. RELACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS Y PRODUCTIVIDAD

7.4.4.1. RELACIÓN CON LA BIOMASA

El comportamiento de la biomasa en relación al factor precipitación, y viento represento una correlación directa débil y se distribuyó de la siguiente manera PREC ($r=0,505^{**}$); VIENTO ($r=0,599^{**}$), indicando que las lluvias que se presentan en la zona acompañadas de vientos, favorecen la caída de hojas al recurso suelo por los impactos directos del viento y lluvias a las plantas de cacao. (FIGURA 37).

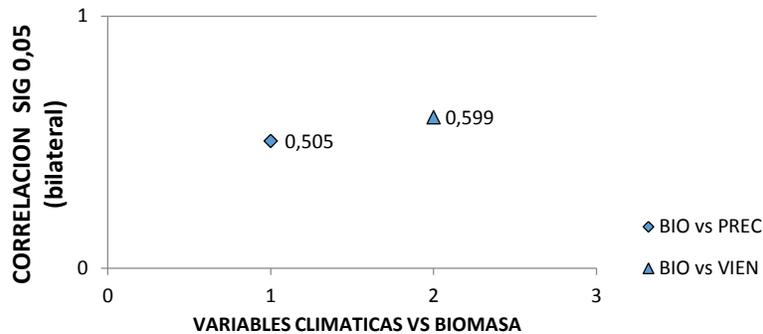


FIGURA 37. Variables Climáticas vs biomasa en términos de hojarasca

Fuente: Elaborado por el autor

7.4.4.2. RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

Las relaciones de los diferentes factores climáticos de la parroquia Ahuano con el rendimiento de cacao representó una correlación inversa débil PREC ($r=-0,453^{**}$) (FIGURA 38); indicando que cuando las precipitaciones de la zona aumentan los rendimientos de cacao disminuyen ya que los exceso de lluvia favorecen el desarrollo de enfermedades como la pudrición negra de la mazorca (IICA, 1982).

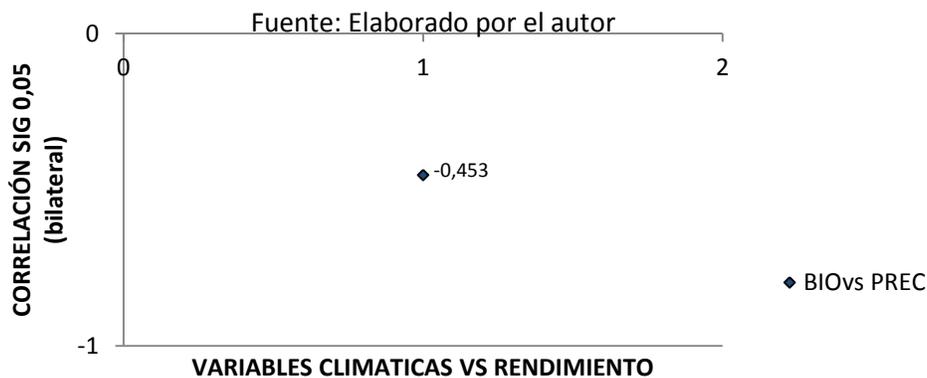


FIGURA 38. Variables Climáticas vs rendimiento de cacao

Fuente: Elaborado por el autor

A continuación se presenta una matriz de SPEARMAN, (CUADRO 25) la misma que se utilizó para establecer las relaciones y análisis de los distintos factores climáticos y edáficos evaluados de la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo. Cabe mencionar que por

CUADRO 25. Matriz de correlación de SPEARMAN de las variables edafoclimáticas de la parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo

Rho de Spearman	Arena	Limo	Arcilla	Da	Ksat	PT	Pa	Pr	pH	COT	Nt	P	K	Ca	Mg	RE	RB	LOMB	PREC	HUM	VIEN	TEMP	HOJAR	REND	
Arena	1,000																								
Limo	-,955**	1,000																							
Arcilla	,356*	-,596**	1,000																						
Da	-,099	,102	-,165	1,000																					
Ksat	-,116	,149	-,014	-,455**	1,000																				
PT	,491**	-,499**	,358*	-,302**	,184	1,000																			
Pa	,366**	-,348*	,215	-,300**	,562**	,522**	1,000																		
Pr	,404*	-,436**	,346*	-,099	-,248*	,750**	-,080	1,000																	
pH	-,595**	,597**	-,331*	,152	-,193	-,736**	-,687**	-,480**	1,000																
COT	,167	-,080	-,141	-,672**	,196	,491**	,375**	,330*	-,396**	1,000															
Nt	,113	-,017	-,194	-,611**	,200	,494**	,402**	,328*	-,401**	,920**	1,000														
P	-,603**	,697**	-,622**	,021	-,103	-,155	-,324*	-,064	,299*	,228	,232	1,000													
K	-,212	,330*	-,453**	-,362**	,005	,187	,031	,155	-,041	,682**	,724**	,610**	1,000												
Ca	-,536**	,629**	-,570**	-,356**	,121	-,128	-,167	-,147	,297*	,505**	,528**	,737**	,743**	1,000											
Mg	-,216	,320*	-,427**	-,364**	,085	,315*	,146	,236	-,145	,719**	,760**	,655**	,846**	,814**	1,000										
RE	,312	-,275	-,169	-,005	-,257	-,072	-,058	-,065	-,202	,253	,312	-,003	,142	,051	,212	1,000									
RB	-,077	,144	-,230	-,356**	,066	,299*	,283*	,181	-,224	,599**	,606**	,294*	,451**	,397**	,529**	,072	1,000								
LOMB	,444*	-,431*	,215	-,031	-,185	,170	,201	,123	-,344	,292	,311	-,392	,085	-,089	-,042	,237	-,109	1,000							
PREC	,491**	,196	,187	-,672**	,737**	,505**	,529**	,737**	-,103	-,396**	,149	-,324*	-,147	-,128	,005	,200	,346*	,328*	1,000						
HUM	,397**	,187	,155	,005	,494**	,402**	,491**	,505**	,253	,491**	-,017	,200	,005	-,167	-,194	,346*	,358*	,491**	,451**	1,000					
VIEN	,187	-,103	-,224	-,128	-,167	-,065	-,224	-,017	-,128	,005	-,128	-,167	-,042	,072	-,089	,237	,330*	,299*	,328*	,155	1,000				
TEMP	-,224	-,147	,215	,494**	,085	,187	-,224	-,224	-,128	,505**	,005	,146	-,167	-,194	,005	,236	-,331*	-,248*	-,194	,005	-,128	1,000			
HOJAR	,692**	-,757**	,588**	-,126	,095	,489**	,309**	,445**	-,559**	,797**	,114	,154	-,259	,155	,155	,451**	,397**	,072	,505**	-,194	,599**	-,128	1,000		
REND	-,163	,177	-,160	-,436**	,070	,123	,230**	,369**	,253	-,455**	,214	,181	,236	,398**	,084	,513**	,505**	,223	-,453**	-,194	,237	-,167	-,078	1,000	

** La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor

7.5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA)

Se denomina plan de manejo ambiental (PMA), al instrumento de gestión destinado a dotar de una guía de programas, medidas, acciones, procedimientos y acciones que se requieren para prevenir, mitigar, eliminar o controlar los posibles impactos ambientales o sociales negativos significativos, de igual manera el PMA busca maximizar aquellos aspectos identificados como beneficiosos (MAE, 2014). El presente PMA dotara a la plantación de cacao de la finca “Mis tres Hermanos” como una herramienta de trabajo y gestión que se encuentra basado en una serie de actividades o medidas que permitan la reducción, mitigación de impactos significativos que fueron identificados durante el muestreo de suelos. El PMA deberá ser actualizado a medida que la operación de cultivo de cacao lo amerite, de tal manera que el propietario de la finca mantenga un compromiso con el mejoramiento continuo de su sistema de reducción de los impactos.

7.5.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer mecanismos de manejo que minimicen los impactos significativos sobre los componentes ambientales o sociales.

7.5.2. CRITERIOS DEL DISEÑO DEL PMA

El presente PMA se lo diseñó basado en la percepción de los impactos potenciales identificados resultantes del muestreo de suelos. Con estas observaciones se procedió a elaborar el presente Plan de Manejo en el cual se han determinado los programas a implementarse puntualizando objetivos, procedimientos, medios verificable, tiempo.

7.5.3. ESTRUCTURA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA)

- Plan de Prevención y Mitigación de Impactos (PPM)
- Plan de Manejo de Desechos (PMD)
- Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental (PCC)
- Plan de Relaciones Comunitarias (PRC)
- Plan de Contingencias (PDC)
- Plan de Seguridad y Salud Ocupacional (PSS)
- Plan de Monitoreo y Seguimiento (PMS)
- Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas (PRA)
- Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área (PCA)

7.5.3.1.PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

CUADRO 26. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS
Programa de prevención y control de impactos ambientales

OBJETIVO: Minimizar la incidencia sobre el medio físico, biótico del área de influencia del cultivo de cacao

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PPM-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Generación de efluentes	Alteración del estero por arrastre de sedimentos y nutrientes	Mantener los márgenes del estero que atraviesa las plantaciones de cacao, con especies nativas de la zona	Plantas nativas sembradas	Factura de adquisición de especies nativas Registro fotográfico	Seis (6)
Generación de residuos	Contaminación del suelo	Gestionar al municipio que la recolección de la basura sea al menos 3 veces por semana recogiendo desechos generados por el cultivo (bolsas plásticas, sacos de yute), así como de la vivienda del agricultor (envases, residuos domésticos)	Carro recolector transitando por la vía cercana a la finca	Oficio dirigido al alcalde de Tena Registro fotográfico	Dos (2)
Generación de efluentes	Erosión y pérdida de fertilidad	Usar prácticas de conservación de suelos mediante el uso de cobertura vegetal como sembrío de árboles maderables, mantener residuos vegetales (evitar quemar), usar herramientas adecuadas (evitar en lo posible el uso del azadón)	Constatación <i>in situ</i> Plantas maderables sembradas	Factura de adquisición de especies maderables Registro fotográfico	Todo el tiempo de operación

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.2.PLAN DE MANEJO DE DESECHOS

CUADRO 27. PLAN DE MANEJO DE DESECHOS
Programa de manejo de residuos sólidos

OBJETIVO: Prevenir los impactos ambientales por generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, mediante un manejo eficientemente y clasificado.

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PMD-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Generación de residuos	Contaminación del suelo	Recolectar, clasificar y almacenar los desechos orgánicos (residuos del agricultor), inorgánicos (bolsas plásticas) y reciclables (botellas de plástico) en un área establecida para residuos (implementación de recipientes)	Recipientes identificados y etiquetados (orgánicos e inorgánicos).	Factura adquisición de recipientes. Registro fotográfico	Tres (3)

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.3.PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

CUADRO 28. PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL
Programa de capacitación y educación ambiental

OBJETIVO: Proporcionar pautas de comportamiento ambiental, que permitan mantener el equilibrio eco sistémico, dirigido al agricultor y trabajadores

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PCC-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Falta de capacitación ambiental.	Desconocimiento de manejo de residuos sólidos (contaminación del suelo)	Concientizar a trabajadores y obreros sobre manejo de residuos, primeros auxilios, salud ocupacional y seguridad industrial	Agricultor y trabajadores capacitados	Informes de capacitación Registro de participantes. Registro fotográfico	Semestral

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.4.PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS

CUADRO 29. PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS
Programa de relaciones comunitarias

OBJETIVO: Informar oportunamente a la población aledaña sobre las acciones a desarrollar en la Finca “Mis tres Hermanos”

LUGAR DE APLICACIÓN: Entorno a la Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PRC-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Falta de socialización a la población aledaña	Conflictos en la población	Capacitación a la población y posterior recopilación, análisis e incorporación de recomendaciones de la población cercana al área de influencia de las plantaciones de cacao	Población informada sobre el proyecto.	Registro de recomendaciones. Registro fotográfico	Uno (1)

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.5.PLAN DE CONTINGENCIAS

CUADRO 30. PLAN DE CONTINGENCIAS
Programa de contingencias

OBJETIVO: Establecer un sistema de respuesta efectivo y oportuno, para controlar y mitigar incidentes en situaciones emergentes que eventualmente y de manera inesperada pudieran ocurrir durante las actividades de operación en el cultivo de cacao.

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

PDC-01

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
	Riesgo de accidentes, Afectaciones a la integridad física de los trabajadores	Realizar simulacros ante eventuales situaciones de emergencia como incendios, desastres naturales de forma periódica	Numero de simulacros planificados	Registro fotográfico.	Seis (6)
Falta de un adecuado plan de atención de emergencias	Afectación a la salud de los trabajadores	La finca deberá contar con un botiquín de primeros auxilios equipado ante cualquier situación de emergencia	Botiquín de emergencia instalado	Registro fotográfico	Ejecución inmediata
	Riesgo de accidentes	Publicar en un área visible, el listado con el número de contactos para solicitar ayuda en caso de emergencia: Policía Nacional, Cruz Roja, Cuerpo de bomberos, SNGR	Listado con números telefónicos de emergencia instalado	Registro fotográfico	Ejecución inmediata

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.6.PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

CUADRO 31. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL
Programa de seguridad y salud ocupacional

OBJETIVO: Proporcionar seguridad industrial al personal que labora en el proyecto con el fin de reducir los riesgos de accidentes.

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PSS-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Falta de medidas de seguridad y salud ocupacional.	Riesgo de accidentes/riesgo en la salud	Dotar de equipos de protección personal (EPP) adecuado a los trabajadores encargados de la aplicación de plaguicidas Afilación al IESS a los trabajadores	Carnet del IESS de los trabajadores. Número de personal con EPP adecuado	Factura de adquisición de equipo de protección personal de trabajo. Fotografías de los trabajadores con EPP	Todo el tiempo de operación

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.7.PLAN DE MONITOREO O SEGUIMIENTO

CUADRO 32. PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO
Programa de monitoreo, control y seguimiento

OBJETIVOS: Verificar el cumplimiento de las medidas contempladas en el plan de manejo ambiental.

LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”

RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PMS-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Cumplimiento al PMA	Contaminación del suelo Alteración del paisaje	Con la finalidad de monitorear el cumplimiento del PMA de forma anual se realizara un reporte interno donde se consideraran las diferentes actividades realizadas en el año enfatizando los cambios que se produjeron.	Número de actividades implementadas	Reporte anual	Doce (12)

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.8.PLAN DE REHABILITACIÓN

CUADRO 33. PLAN DE REHABILITACIÓN
Programa de rehabilitación de áreas intervenidas

OBJETIVOS: Establecer estrategias y tecnologías a aplicarse en caso de que el proponente decida concluir con las actividades de cultivo de cacao
LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”
RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PRA-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Generación de desechos, emisión de partículas	Intervención de áreas e intromisión de elementos ajenos al paisaje	Limpiar el lugar de acuerdo a los estándares requeridos por la regulación ambiental. Remediación de suelos mediante revegetación (siembra de especies maderables)	Constatación <i>in situ</i> . Limpieza realizada. Número de especies reforestadas	Factura de adquisición de especies nativas Fotografías de áreas reforestadas	SEIS (6) meses después de la aprobación del Plan Cierre y Abandono

Fuente: Elaborado por el autor

7.5.3.9.PLAN DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA

CUADRO 34. PLAN DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA
Programa de cierre, abandono y entrega del área

OBJETIVOS: Desarrollar actividades tendientes al proceso de restauración del área, mediante el retiro de los elementos que no formen parte integral del paisaje
LUGAR DE APLICACIÓN: Finca “Mis tres Hermanos”
RESPONSABLE: Proponente del proyecto.

PCA-01

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
Inestabilidad del terreno, generación de desechos, generación de partículas	Intervención de áreas e intromisión de elementos ajenos al paisaje	Recuperación de las áreas afectadas por las instalaciones propias de la actividad (eliminación de infraestructura para el almacenamiento y secado de almendras de cacao)	Constatación <i>in situ</i> Infraestructura retirada	Registro fotográfico	DOS (2) meses

Fuente: Elaborado por el autor

VIII. CONCLUSIONES

- Los índices estructurales de los suelos estudiados sugieren un adecuado comportamiento físico, sin evidencias de compactación, con una distribución de porosidad que favorece los procesos de aireación, infiltración y a su vez un ambiente favorable para el crecimiento de raíces y de los microorganismos, por tanto se puede afirmar que el mayor impacto desde el punto de vista ambiental está representada por la erosión hídrica desarrollada en los monocultivos con cacao; en cuanto al comportamiento químico se refleja que los suelos son ácidos, de baja fertilidad y alta presencia de hierro y aluminio, por tanto un cambio de uso de suelo implica el uso de distintas alternativas de fertilización como elemento de intensificación para mejorar el cultivo de cacao; en relación a las propiedades biológicas se manifiesta un mejor comportamiento en los sistemas agroforestales con cacao que puede ser atribuido a la cantidad mayoritaria de hojarasca recolectada que le otorgan condiciones ideales al microhábitat.

Indiferente del uso del suelo, el horizonte superficial de los sistemas agroforestales con cacao son los que presenta una mejor condición física, química y biológica, la cual se ve favorecida por los contenidos de materia orgánica, a partir de los 20cm se deteriora la porosidad de aireación y la velocidad de infiltración del agua, que aumenta los riesgos de encharcamiento en zonas planas y de erosión laminar, generando un incremento de los gases efecto invernadero.

- La productividad de los dos usos de suelo relacionadas con las variables climáticas insinúan un comportamiento idóneo de los factores ambientales en la zona de estudio ya que algunos de ellos se acercan o se encuentran dentro de los rangos climáticos ideales para el cultivo de cacao.
- Se confirma el potencial secuestro de carbono de los sistemas de manejo cacaotero con enfoque agroforestal, el cual favorece otros servicios ecosistémicos asociados a la alta presencia de materia orgánica como la fertilidad y la estructura del suelo.
- Se ratifica la influencia positiva para la productividad del suelo de ciertos factores edáficos como la supremacía de arena, presencia de arcilla, distribución del tamaño de poros, COT, respiración edáfica y basal evaluados en los sistemas agroforestales, y de factores ambientales ideales de la zona de estudio lo cual se traduce en mejores condiciones edafoclimáticas respecto al cacao manejado como monocultivo

- La adopción de un cultivo cacaotero bajo un sistema agroforestal junto a buenas prácticas ambientales propuestas en el plan de manejo ambiental, puede aumentar el potencial secuestro de carbono, reducir la tasa de emisión de CO₂ y tener impactos positivos sobre la calidad del suelo y el medio ambiente.

IX. RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos se recomienda que el estudio de la calidad del suelo debe abordarse desde una perspectiva sistémica donde necesariamente debe incluirse parámetros físicos, químicos y biológicos y sus distintas relaciones funcionales que permitan hacer un diagnóstico integral de la misma.
- Dadas las condiciones edafoclimáticas (suelo, clima) de la zona en estudio, se recomienda que cualquier sistema de manejo con cacao debe ser lo más análogo al uso potencial (bosque) y en este punto los sistemas agroforestales con cacao son los más idóneos.
- En las dos fincas bajo sistemas de monocultivo con cacao, se recomienda enriquecer con especies maderables, con utilidades ecológicas de tal manera que acumulen y fijen carbono por su rápido crecimiento y formidable biomasa. También sería beneficioso para los productores ya que podrían percibir un pago por servicios ambientales por el almacenamiento de carbono que las fincas podrían suministrar a la sociedad.
- Debido a la importancia de la materia orgánica (MO) en estos suelos y su papel en la calidad del suelo se recomienda realizar un estudio más profundo considerando su fraccionamiento, actividades enzimáticas y sus relaciones con otros parámetros del suelo que permitan establecer y definir servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales con cacao.
- Se recomienda la fertilización orgánica ya que la aplicación de este insumo agrícola de carácter ecológico incrementa los valores de nitrógeno y fósforo del suelo que ayudarían a incrementar la fertilidad del suelo.
- Para neutralizar la acidez del suelo se recomienda la aplicación de cal y con ello se incrementaría los valores de las bases cambiables como el Mg, Ca, K que ayudarían a aumentar el rendimiento de los cultivos de cacao.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M.** (1995). Fundamentos de química de suelos. Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV
- Alcívar, B.** (22 de Noviembre de 2011). 5 Mayores cultivos del Ecuador. Recuperado el 25 de Febrero de 2015, de 5 Mayores cultivos del Ecuador: <http://entre-tintas.blogspot.com/2011/11/5-mayores-cultivos-del-ecuador.html>
- Alvarez, J., & Naranjo, E.** (2003). Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de Mexico. Veracruz: Instituto de Ecología.
- ANDES.** (2014). Ecuador potenciará la Ruta del Cacao y del Chocolate en la Amazonía. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de Ecuador potenciará la Ruta del Cacao y del Chocolate en la Amazonía.
- Andrade, H. J., Segura, M., Somarriba, E., & Villalobos, M.** (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas*, 45-50.
- Andrade, H., & Muhammad, I.** (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 109-116.
- Andrasko, K.** (1990). El recalentamiento del globo terraqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasylva*, 41.
- Arevalo, L., Alegre, J., & Callo-Concha, D.** (2002). Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú IV congreso de Brasileño de sistemas agroforestales. Brasil.
- Batista, L.** (2009). Guía Técnica el cultivo de cacao. Santo Domingo, República Dominicana: CEDAF.
- Bautista, A., & Etchevers, J.** (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 90-97.
- Bazán, R.** (1975). Los suelos del proyecto Alcoa. Turrialba: CATIE.
- Bolívar, A., Toro, M., Sandoval, M. F., & López, M.** (2009). Importancia y socioeconómica de las micorrizas en el cultivo de cacao caso: hacienda cata, municipio Ocumare costa de oro, estado Aragua Venezuela. *Agronomía Tropical*, 491-509.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández, R. M., Piñango, L., & Moreno, B.** (2004). Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro*.
- Bravo, C.** (2015). Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales de la Región Amazónica Ecuatoriana. Estudio de caso: Provincia de Pastaza y Napo. Pastaza.
- Bremner, J. M.** (1960). Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl. *Agricultural Science*, 11-33.
- Busman, L.** (2002). The nature of phosphorus in soils. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de The phosphorus cycle: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/phosphorus/the-nature-of-phosphorus/>

- Cakmak, I., & Yazini, A.** (2010). Informaciones Agronomicas. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de Magnesio: El elemnto olvidado en la produccion de cultivos.
- Calderón, M. A.,** Moreno, M. M., & Barra, J. E. (Septiembre-Octubre de 2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 35(5), 605-620.
- Cardenas, F.** (1998). Desarrollo sostenible en los andes de Colombia. Bogotá: IDEADE.
- Casanova, E.** (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas.
- Casas, R.** (2011). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas . Madrid: Paraninfo.
- CATIE.** Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza (1985). Conceptos metodologicos sobre investigacion y desarrollo de tecnologia para sistemas de produccion de cultivos. Turrialba.
- CATIE.** Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza (2011). "Guia técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas". San Salvador.
- Centeno, J. C.** (1992). El efecto Invernadero. *Planiuc*, 75-96.
- Chave, J.,** Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., y otros. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecología*, 87-99.
- CHEMILAB.** Chemical Laboratory (2014). Ànàlisis de suelos. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de Ànàlisis de suelos.
- Ciesla, W.** (1996). Cambio climatico bosques y ordenamiento forestal, una visión de conjunto. Roma: FAO. 146
- Clapp, R., & Hornberger, G.** (1978). Empirical Equations for some soil hidraulic properties. *Water Resources Research*, 14(4), 601.
- Cotler, H.** (Julio de 2003). El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. *Gaceta Ecológica*(68), 33-42.
- Crespo, C.** (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. Mexico: Limusa.
- Crowley, T., & North, G.** (1988). Abrupt climate change and extinction events in Earth history. *Science* 240, 996-1002.
- Cubillos, G.,** Merizalde, G., & Correa, E. (2008). Manual de beneficio de cacao. Medellin.
- Custode, E., & Sourdat, M.** (1986). Paisajes y suelos de la Amazonica ecuatoriana: entre la conservacion y explotacion. Banco Central del Ecuador, 325-339.
- De la Rosa, D.** (2008). Evaluacion Agro-ecologica de los suelos para un desarrollo rural sostenible. Madrid: Mundi-Prensa.
- De las Heras, J., & Fabeiro, C.** (2003). Fundamentos de Agricultura Ecológica. Castilla: Universidad de Castilla.

- Ecociencia.** (2015). Catálogo iniciativas para el manejo sostenible de la biodiversidad en la amazonia Ecuatoriana. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de Catálogo iniciativas para el manejo sostenible de la biodiversidad en la amazonia Ecuatoriana.
- ECORAE.** Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazonico (2014). ECORAE Y GIZ fomentaran producción de cacao en Pastaza. Obtenido de Desarrollo Amazonico: <http://www.desarrolloamazonico.gob.ec/ecorae-y-giz-fomentaran-produccion-de-cacao-en-pastaza/>
- Enríquez, G., & Paredes, A.** (1979). Curso sobre el cultivo de cacao. Turrialba.
- Enríquez, G., & Paredes, A.** (1989). El cultivo de cacao. San José: UENED.
- FAO.** Organización de las Naciones para Agricultura y la Alimentación (1991). Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Roma.
- FAO.** Organización de las Naciones para Agricultura y la Alimentación (2008). Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de Materia orgánica y actividad biológica.
- FAO.** Organización de las Naciones para Agricultura y la Alimentación (2009). Guia para la descripcion de suelos (4 ed.). Roma.
- FAO.** Organización de las Naciones para Agricultura y la Alimentación (2010). Ecuador the land of fine cocoa "Arriba". Quito.
- FAO.** Organización de las Naciones para Agricultura y la Alimentación (2015). Portal de suelos de la FAO. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de Degradacion del suelo.
- Farrell, J., & Altieri, M.** (1997). Sistemas agroforestales. Agroecologia, 229-243.
- Fassbender.** (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba.
- Fassbender, H.** (1975). Química de suelos: Enfoque en América Latina. Turrialba: IICA.
- Fedecacao.** (2013). Guia Ambiental para el cultivo de cacao. Bogotá.
- Fernandez, L. C., & Rojas, N. G.** (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Mexico.
- Ferreras, L., Costa, J., García, F., & Pecorari, C.** (2000). Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampa» of Argentina. Soil Till, 31-39.
- FHA.** (2004). Guía técnica cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales. Honduras: La Lima.
- Flores, M.** (2007). La proteccion jurídica para el cacao fino y de aroma del Ecuador. Quito: Abya-Yala.
- Gabriel, E.** (2001). Manual de Cacao Orgánico: guía para productores Ecuatorianos. Quito.
- Gabriels, D., Lobo, D., & Púlido, M.** (2013). Métodos para determinar la conductividad hidraulica saturada y no saturada de los suelos. Venesuelos, 14, 7-22.

- GADP Ahuano.** Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial Ahuano (2010). Plan del Buen Vivir y ordenamiento territorial 2012-2025 parroquia Ahuano. Recuperado el 22 de Febrero de 2013, de Plan del Buen Vivir y ordenamiento territorial 2012-2025 parroquia Ahuano.
- Gassen, D., & Gassen, F.** (1996). *Plantio Direto o caminho do futuro*. Fortaleza: Aldeia Sul.
- Gliessman, S. R.** (2007). The ecology of sustainable food system. *Agroecology*, 384.
- Gómez, A., & Azócar, A.** (2002). Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el Estado Mérida. *Agronomía Tropical*.
- González, I., & Etchevers, J.** (2008). Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio e el tiempo. *Agrocoencia*, 741-751.
- Guzmán, A., Laguna, I., & Martínez, J.** (2006). Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K.** (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till*, 121-145.
- Hardy, F.** (1961). *Manual de cacao*. Turrialba: Antonio Lehmann.
- Henríquez, C., & Ortíz, O.** (2011). Determinacion de la resistencia a la penetración al corte tangencia, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero. *Agronomía costarricense*, 175-184.
- Hernández, R. M.,** Ramirez, E., Castro, I., & Cano, S. (2008). Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y Eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). 253-266: *Agrociencia*.
- Hernández, T.** (1991). Principales sistema de producción de cacao en la amazonia Peruana . Tingo María: UNFDAC - PNUD/OSP.
- Herrera, B., & Alvarado, A.** (1998). Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de centroamerica. *Agronomía Costarricense*, 97-117.
- Hodgson, J. M.** (1987). *Muestreo y descripción de suelos*. Barcelona: Reverté.
- Hünemeyer, A. J.** (1997). *Ánalisis del desarrollo sostenible en Centroamérica indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. San José: AGRIS.
- IICA.** Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (1982). *El cacao*. Managua: AGRIS.
- IICA.** Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (1991). *TURRIALBA: Revista Interamericana de Ciencias Agriocolas*. San José: CODEN.
- IICA.** Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (2006). *Protocolo estandarizado de oferta tecnológica para el cultivo del cacao en el Perú*. Lima: AGRIS.

- INCA.** Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (2015). Caracterización Agroclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua, en función de la zonificación agroecológica para el cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agroecology*, 23-28.
- INIAP.** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (1993). Manual de cultivo de cacao. Quito.
- INIAP.** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (2011). El manejo integrado del cultivo de cacao en la Amazonía, duplica los rendimientos. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de El manejo integrado del cultivo de cacao en la Amazonía, duplica los rendimientos.
- IPCC.** Intergovernmental panel on climate change (1996). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Reino Unido.
- IPCC.** Intergovernmental panel on climate change (2007). Informe de síntesis. Contribución de los grupos de Trabajo I, II y III, al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra.
- Jaramillo, D. F.** (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Recuperado el 08 de Abril de 2015, de Introducción a la ciencia del suelo: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jiménez, F., & Muschler, F.** (2001). Introducción a la agroforestería. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Módulos de enseñanza agroforestal.
- Lal, R.** (2008). Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European ecoregions. *Cycling Agroecosyst*, 525-536.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L.** (2007). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina. Ecología Aplicada*, 75-82.
- Larrea, M.** (2008). El cultivo de cacao nacional: Un bosque generoso. Quito: CORPEI-ECOCIENCIA.
- Liu, G., & Hanlon, E.** (2012). Soil pH Range for Optimum Commercial Vegetable Production. Florida: IFAS.
- Lodge, D. J., Hawksworth, Y., & Richie, B. J.** (1996). Microbial diversity and tropical forest functioning. *Ecological Studies*, 71-100.
- Luters, A., & Salazar, J. C.** (Agosto de 1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.
- MAE.** Ministerio del Ambiente (2007). Plan de Manejo del Parque Nacional Napo-Galeras. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Plan de Manejo del Parque Nacional Napo-Galeras.
- MAE.** Ministerio del Ambiente (2014). Acuerdo Ministerial 006. Quito.
- Márquez, L.** (2000). Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Guatemala.
- Martínez, C. R., Dibut, C. M., & Ríos, Y.** (2010). Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *SciELO*, 31(3), 9.

- Martínez, E.,** Fuentes, J., Silva, P., Valle, S., & Acevedo, E. (2008). Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soill Till*, 232-244.
- Medina, H.,** Garcia, J., & Nuñez, D. (2007). El metodo del hidrométo: base teorica para su empleo en la determinacion de la distribución del tamaño de partículas del suelo. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 19-23.
- Medina, J.,** Volke, V. H., González, J., Galvis, A., & Santiago, M. J. (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. *Agrociencia*, 175-189.
- Merino, E.** (2003). Analisis de suelo y consejos de abonado. Valladolid: INEA.
- MINAG.** Ministerio de Agricultura (2011). Cadena agroproductiva de papa. Recuperado el 08 de Abril de 2015, de Cadena agroproductiva de papa.
- Molina, R.** (2002). Apuntes de fitotecnica general. Ciudad Real: E.U.I.T.A.
- Moore, T.** (1986). Carbon dioxide evolution from subarctic peatlands in eastern Canada. *Arctic and Alpine Research*, 189-193.
- Moretto, A.,** Lázari, A., & Fernández, O. (2005). Calidad y cantidad de nutrientes de la hojarasca y su posterior mineralización en bosques primarios y bajo manejo con distintos sistemas de regeneración.
- Mutuo, P.,** Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C. A., & Verchot, L. (2005). Potencial of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Cycling in Agroecosystems*, 43-54.
- Nair, P.** (2004). Trees in support of sustainable agriculture . Elsevier, 35-44.
- Navarrete, A., & Vela, G.** (2011). Naturaleza y Utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Ecosistemas*, 29-37.
- Nieto, C., & Vargas, C. C.** (2012). El desarrollo rural de la region Amazonica Ecuatoriana, RAE, no se basara unicamente en la produccion agropecuaria: un analisis reflexivo que lo sustenta. Quito-Ecuador: INIAP.
- Palomeque, E.** (2009). Sistemas Agroforestales. Chiapas.
- Pardé, J.** (1980). Forest Biomass Forestry products abstract. Commonwealth Forestry Bureau, 343-361.
- Pauletti, V.** (1999). A importância da palha e da atividade biológica na fertilidade do solo. Passo Fundo.
- Perdomo, C.** (1998). Área de suelos y aguas: Cátedra de fertilidad. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Nitrogeno.
- Pla, I.** (2009). Problemas de degradacion del suelo en el mundo: causas y consecuencias. España: Departamento de Medio Ambiente: Ciencias del Sol. Universidad de Lleida.

- Pla, I.** (1977). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay.
- Pla, I.** (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Suelos Ecuatoriales*, 75-93.
- Porta, J., López, M., & Roquero, C.** (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3 ed.). Madrid: Mundi Prensa.
- Power, A.** (2010). Ecosystem services and agriculture: trade offs and synergies. *Philosophical Transactions*, 2959-2971.
- Puignau, J.** (1995). *Avances en siembra directa*. Montevideo: AGRIS, 211
- Rehm, G., & Schmitt, M.** (2002). Potassium for crop production. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de Role in plant growth.
- Reichardt, K., & Timm, L. C.** (2004). *Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações*. Brasil: Manole.
- Restrepo, J.** (2000). *Agricultura orgánica: como preparar caldos minerales para controlar deficiencias nutricionales y enfermedades en los cultivos*. Cali.
- Salinas, J., & García, R.** (1985). *Metodos quimicos para el analisis de suelos ácidos y plantas forrajeras*. Cali: CIAT.
- Salinas, Z., & Hernández, P.** (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Sánchez, F., Zambrano, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F., & Vásquez, G.** (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional del bosque Húmedo tropical de la provincia de Los RÍOS. *Ciencia y Tecnología*, 33-41.
- Sanchez, G., Obrador, J., & Palma, D.** (Junio de 2003). Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas. *Interciencia INCI*, 28(6), 347-341.
- Sasal, M. C., & Andriulo, A.** (2005). Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus Sativus* Nabo forrajero. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*, 31-150.
- Schutz, C. J.** (1990). Site relationships for *Pinus patula* in the Eastern Transvaal Escarpment Area. 128.
- Segura, M., & Andrade, H.** (2008). ¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica? *Agroforestería en las Americas*, 97-103.
- Sierra, C., & Rojas, C.** (2001). La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Santiago.
- Somarriba, E., & Beer, J.** (1986). *Dimensiones, volúmenes y crecimiento de la Cordia Alliodora en sistemas agroforestales*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza.

- SSDS.** Soil Survey Division Staff (1993). "Examination and Descriptions of Soils". Washington: Soil survey manual.
- Stanier, R., & Ingrahan, J.** (1992). The microbial world. Barcelona: REVERTÉ.
- Taboada, M., & Alvarez, C.** (2008). Fertilidad física de los suelos. Buenos Aires: Facultad Agronomía.
- Thompson, L., & Troeh, F.** (1988). Los suelos y su fertilidad. New York: REVERTÉ.
- UNCTAD.** (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) (11 de Noviembre de 2012). Parte de los principales países productores del grano de cacao. Recuperado el 28 de Febrero de 2015, de Parte de los principales países productores del grano de cacao.
- UNFCCC.** United Nations Framework Convention on Climate Change (1998). Protocolo de Kyoto de la convencion marco de las naciones unidas sobre el cambio climatico.
- UNFCCC.** United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). Aprobación del acuerdo de Paris. Paris.
- Vallejo, V. E.** (2013). Importancia y utilidad de la evaluacion de la calidad de suelos mediante el componenete microbiano:Experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal, 16(1), 83-99.
- Walkley, A., & Black, C.** (1938). An examination of the Degtajareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 29-38.
- Wilson, M., & Paz, J.** (2007). distribución de poros en un suelo vertisólico de uso arrocero. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, 207-220.
- Wyszkowska, J.** (2002). Effect of Cadmium and Magnesium on Microbiological Activity in Soil. Polish Journal of Environmental Studies, 585-591.
- Yang, J., Hammer, R. D., Thompson, A. L., & Blanchar, R. W.** (2003). Predicting soybean yield in a dry and wet year using a soil index. Plant and Soil, 175-182.
- Zambrano, J.** (2000). Caracterizacion fenologica de 67 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L) Tipo Nacional y de otros origenes en la coleccion de la estacion experimental tropical Pichilingue-INIAP. Manta.
- Zane, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., y otros.** (2009). Global wood density database.
- Zapata, C. M., Ramirez, J., León, J. D., & González, M. I.** (2007). Produccion de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. Facultad de ciencias agrarias y ambientales, 3771-3784.
- Zavaleta, A.** (1992). Edafologia: el suelo en relacion con la produccion. Lima.
- Zúñiga, F., & Palacio, Á.** (2005). Caracterizacion y manejo de los suelos de la peninsula de Yucatán.

XI. GLOSARIO DE TÉRMINOS

PALABRAS CLAVE

- **Diagnóstico ambiental:** Consiste en un conjunto de estudios y análisis que sintetizan el estado medioambiental
- **Pedología:** Ciencia del suelo que encarga del estudio del suelo desde el punto de vista de su formación, origen, características físicas, químicas.
- **Edafología:** Ciencia del suelo que se encarga desde el punto de vista de su relación con el crecimiento de las plantas, y se la estudia para obtener mejores rendimientos en campo agrícola.
- **Rocas ígneas:** Rocas que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica.
- **Rocas metamórficas:** Resultan de la transformación de rocas preexistentes que han sufrido ajustes estructurales y mineralógicos bajo ciertas condiciones físicas o químicas.
- **Meteorización:** Conjunto de procesos externos que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmosfera.
- **Capa freática:** Es la acumulación de agua subterránea que se encuentra que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo.
- **Productividad agrícola:** Capacidad que tiene el suelo para producir biomasa vegetal (hojas, ramas, frutos)
- **Sostenibilidad:** Cualidad de sostenible, especialmente las características del desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer las necesidades del futuro
- **Agroecosistema:** Se caracteriza por ser un ecosistema sometido por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos.
- **Drenaje:** Capacidad para dejar que pase la infiltración de agua a través de él o para retenerla
- **Permeabilidad:** Capacidad que presenta un material de permitirle a un flujo que lo atraviesa sin alterar su estructura interna.
- **Fotofosforilación:** Proceso de síntesis de ATP a partir de ADP y fosfato llevado a cabo por las ATP-sintasas de la membrana del tilacoide, en los cloroplastos.
- **Fotofobia:** intolerancia a la luz solar de parte de algunos organismos edáficos.
- **Laboreo del suelo:** Cultivo de la tierra o del campo
- **Sellado:** Delgada capa compacta de unos pocos milímetros de espesor que se forma debido a la fuerza cinética de las gotas de lluvia o riego al caer sobre la superficie.
- **Encostrado:** Se produce cuando un suelo es seco, se relaciona con el sellado ya que al producirse este fenómeno y la humedad contenida en el suelo desaparece, da origen a costras que impiden el crecimiento vegetal.
- **Erosión:** Desgaste del suelo por acción del viento y agua, suele incrementarse por la deforestación, desertización y otros procesos que degradan mucho la calidad del suelo
- **Compactación:** Proceso por el cual las partículas del suelo son obligadas a estar en contacto las unas con otras mediante una reducción del índice de vacíos (Porosidad de aireación), puede ser producida por el paso de tractores, camiones, personas y ganado.
- **Hidrolisis:** formación de un ácido y una base a partir de una sal por interacción del agua

- **Lixiviación del suelo:** Fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus) causado por el movimiento de agua en el suelo y por lo tanto un proceso característico de climas húmedos.
- **Fertilidad del suelo:** Capacidad del suelo para mantener una cobertura vegetal, en la cual intervienen todas las características físicas, químicas y biológicas
- **Arado:** Herramienta de labranza utilizada para la agricultura para abrir surcos y remover el suelo antes de sembrar las semillas
- **Anélidos:** Son gusanos cilíndricos segmentados, de cuerpo blando y sin esqueleto, entre las más conocidas la lombriz de tierra.
- **Estomas:** Orificios o poros de las plantas localizados en el envés de las hojas
- **Abscisión foliar:** Caída de hojas de forma anticipada.

ABREVIATURAS

- **Da:** Densidad aparente del suelo
- **Ksat:** Conductividad hidráulica del suelo
- **Pt:** Porosidad total del suelo
- **Pa:** Porosidad de aireación del suelo
- **Pr:** Porosidad de retención del suelo
- **RP:** Resistencia a la penetración del suelo
- **USDA:** Departamento de agricultura de los Estados Unidos
- **CMNUCC:** Convención Marco de la Naciones Unidas Cambio Climático
- **GEI:** Gases efecto invernadero
- **CAF_LV:** Finca con sistema de manejo agroforestal con cacao de propiedad de Luis Verdesoto
- **CAF_AS:** Finca con sistema de manejo agroforestal con cacao de propiedad de Ángel Sánchez
- **MC_RE:** Finca con sistema de manejo monocultivo con cacao de propiedad de Rómulo Escobar
- **MC_CP:** Finca con sistema de manejo monocultivo con cacao de propiedad de César Piedra
- **BN_JS:** Bosque de referencia correspondiente a la Estación Biológica Jatun Sacha
- **DAP:** Diámetro a la altura del pecho
- **SAF:** Sistema Agroforestal
- **CAT:** Carbono Almacenado Total
- **PMA:** Plan de Manejo Ambiental
- **PPM:** Plan de Prevención y Mitigación de Impactos
- **PMD:** Plan de Manejo de Desechos
- **PCC:** Plan de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental
- **PRC:** Plan de Relaciones Comunitarias
- **PDC:** Plan de Contingencias
- **PSS:** Plan de Seguridad y Salud Ocupacional
- **PMS:** Plan de Monitoreo y Seguimiento
- **PRA:** Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas
- **PCA:** Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área

XII. ANEXOS

12.1. FORMATO DE HOJA DE CAMPO APLICADA PARA ESTIMACION DE PRODUCTIVIDAD



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA "UEA"

TESIS: INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDAFICOS DEL SUELO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE CACAO FINO DE AROMA EN 2 FINCAS CACAOTERAS DE LA PARROQUIA AHUANO, CANTON TENA, PROVINCIA DE NAPO

HOJA DE CAMPO PRODUCTIVIDAD

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

1.1. DATOS EN CAMPO PARA ESTIMACIÓN DE BIOMASA (Hojarasca)

USO DE LA TIERRA_PROPIETARIO	Subparcela	Área de la cuadrata m ²	Peso fresco de la hojarasca
CAF_LV (cacao agroforestal Luis Verdesoto)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
CAF_AS (cacao agroforestal Ángel Sánchez)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
MC_RE (Monocultivo con cacao Rómulo Escobar)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
MC_CP (Monocultivo con cacao Cesar Piedra)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
BN_JS (Bosque de referencia Jatún Sacha)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

1.2. DATOS EN CAMPO PARA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO

Área de la subparcela m ²	# plantas de cacao en 100m ²	# Mazorcas buenas que contiene los 100m ²

12.2. FORMATO HOJA DE CAMPO APLICADA PARA EL MUESTREO DE SUELO



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA "UEA"

TESIS: INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDAFICOS DEL SUELO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE CACAO FINO DE AROMA EN 2 FINCAS CACAOTERAS DE LA PARROQUIA AHUANO, CANTON TENA, PROVINCIA DE NAPO

HOJA DE CAMPO MUESTREO DE SUELOS

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

1.1. DATOS EN CAMPO PARA MUESTREO DE SUELO

USO DE LA TIERRA_PROPIETARIO	Subparcela	COORDENADAS		Altura	Pendiente	Drenaje	Textura	Cantidad de Lombrices
		X	Y					
CAF_LV (cacao agroforestal Luis Verdesoto)	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
CAF_AS (cacao agroforestal Ángel Sánchez)	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
MC_RE (Monocultivo con cacao Rómulo Escobar)	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
MC_CP (Monocultivo con cacao Cesar Piedra)	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
BN_JS (Bosque de referencia Jatún Sacha)	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

12.3.

FORMATO DE HOJA DE CAMPO APLICADA PARA ESTIMAR POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA "UEA"



TESIS: INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDAFICOS DEL SUELO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE CACAO FINO DE AROMA EN 2 FINCAS CACAOTERAS DE LA PARROQUIA AHUANO, CANTON TENA, PROVINCIA DE NAPO

HOJA DE CAMPO PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

1.1. DATOS EN CAMPO PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SECUESTRO DE CARBONO

Parcela	Árbol No.	Nombre Común	Especie	CAF_LV	CAF_AS	MC_RE	MC_CP	BN_JS	Altura de medición (m)	Observaciones
				DAP \geq 10cm (cm)	DAP \geq 10cm (cm)	(Diámetro para arboles de cacao) D _{30cm}	(Diámetro a 30cm para arboles de cacao) D _{30cm}	DAP \geq 10cm (cm)		
1	1									
	2									
	3									
	4									
	5...									
2	1									
	2									
	3									
	4									
	5...									
3	1									
	2									
	3									
	4									
	5...									

12.4. FORMATO DE REGISTRO DE ACTIVIDADES APLICADA EN EL LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA "UEA"

LABORATORIO DE SUELOS

REGISTRO DE USO DE LABORATORIO

CÓDIGO:
VERSION. 001
FECHA:
Página:

FECHA	NOMBRE	TRABAJO REALIZADO	EQUIPO-MATERIAL USADO	HORARIO DE USO	INVESTIGADOR/DOCENTE/TESISTA /VISITA	FIRMA RESPONSABLE

**12.5. INFORMACION RESUMIDA DE FACTORES AMBIENTALES
PROPORCIONADA POR LA ESTACIÓN BIOLÓGICA “JATUN SACHA”**
Fuente: Estación Biológica Jatun sacha 2015

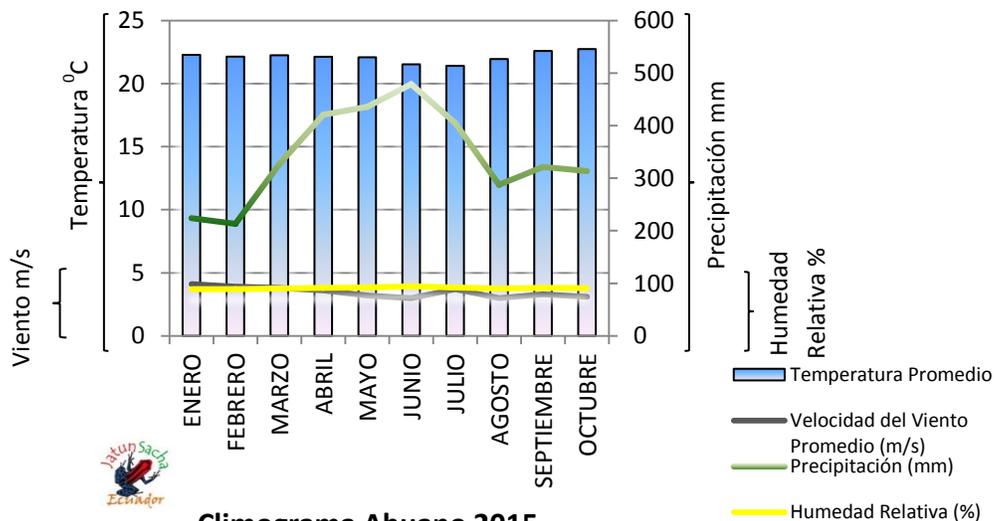


**ESTACIÓN BIOLÓGICA JATUN SACHA
DATOS CLIMÁTICOS DE LA PARROQUIA AHUANO**

RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL						
2015 ANUAL		PRECIPITACIÓN		VIENTO	Humedad relativa (%)	91,0
Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas (°C)		Precipitación Anual (mm)		Velocidad del Viento (Km/h)	Velocidad del Viento (m/s)	
Máxima	Mínima					
28,1	16,6	3425,8		12,5	3,5	
Temperaturas Promedio (°C)			Precipitación Media (mm)			
Máxima	Mínima	Media				
27,1	17,1	22,1	342,6			

Fuente: Estación Biológica Jatun sacha 2015

DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA JATUN SACHA									
MES	#	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Precipitación Acumulada (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Velocidad del Viento (Km/h)	Humedad Relativa %
		Máxima	Mínima	Media					
ENERO	1	27,3	17,3	22,27	223,90	3425,8	4,1	14,84	88,84
FEBRERO	2	27,1	17,2	22,13	213,1		3,9	14,21	89,32
MARZO	3	27,2	17,3	22,24	326,7		3,8	13,77	90,3
ABRIL	4	26,9	17,3	22,12	420,3		3,6	12,83	91,3
MAYO	5	26,7	17,5	22,08	435,9		3,2	11,58	92,0
JUNIO	6	26,1	16,9	21,52	478,6		3,0	10,83	94,3
JULIO	7	26,2	16,6	21,4	404,7		3,7	13,32	92,1
AGOSTO	8	27,2	16,6	21,94	287,4		3,0	10,90	90,1
SEPTIEMBRE	9	28,0	17,1	22,58	321,6		3,3	11,90	91,1
OCTUBRE	10	28,1	17,3	22,73	313,6		3,1	11,25	90,8



**12.6. SOLICITUD DE PERMISO DE INGRESO A LA ESTACIÓN BIOLÓGICA
“JATUN SACHA”**



Tena, 22 de junio del 2015

Oficio No. 001-DANP-EIAMB-2015

Abg.

Jaime Abril

DIRECTOR DE LA ESTACIÓN BIOLÓGICA JATUN SACHA

Presente.-

De mi consideración:

Luego de enviarle un atento y cordial saludo y mis sinceros deseos de que su gestión frente a tan importante función, tenga el éxito esperado, me permito dar a conocer que me encuentro realizando una tesis denominada **“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS, SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO CON CACAO FINO DE AROMA (*THEOBROMA CACAO*) EN LA PARROQUIA AHUANO, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**, y por involucrar en dicha tesis un muestreo de suelo en la estación biológica **“JATUN SACHA”** me permito solicitar de la manera más comedida se digne en autorizarme el permiso de ingreso a dicha reserva la misma que se efectuara durante el mes de Julio del presente año.

Sin otro particular, anticipo mi agradecimiento por la favorable acogida que le dé al presente y me suscribo.

Atentamente,

Sr. Diego Armando Nacevilla Pallo

**ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD ESTADAL AMAZÓNICA**

12.7. SOLICITUD DE REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN (FACTORES AMBIENTALES)



Tena, 22 de octubre del 2015

Oficio No. 002-DANP-EIAMB-2015

Abg.

Jaime Abril

DIRECTOR DE LA ESTACIÓN BIOLÓGICA JATUN SACHA

Presente.-

De mi consideración:

Luego de enviarle un atento y cordial saludo y mis sinceros deseos de que su gestión frente a tan importante función, tenga el éxito esperado, me permito dar a conocer que me encuentro realizando una tesis denominada **“INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS, SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO CON CACAO FINO DE AROMA (*THEOBROMA CACAO*) EN LA PARROQUIA AHUANO, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**, y por involucrar en dicha tesis **FACTORES AMBIENTALES** de la parroquia Ahuano, me permito solicitar de la manera más comedida se me conceda la mencionada información, la misma que será utilizada para el análisis estadístico, contribuyendo de esta manera al desarrollo positivo de la tesis.

Sin otro particular, anticipo mi agradecimiento por la favorable acogida que le dé al presente y me suscribo.

Atentamente,

Sr. Diego Armando Nacevilla Pallo

**ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**

12.8. RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS UEA PROPIEDADES FÍSICAS

			UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA REGISTRO DE DATOS LABORATORIO DE SUELOS RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO: Da, Ksat, POROSIDAD Y TEXTURA									
PROPIETARIO	PUNTO DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (cm)	Da	Ksat	POROSIDAD			TEXTURA			CLASE TEXTURAL	
			(g/cm ³)	cm ³ h ⁻¹	Pt (%)	Pa (%)	Pr (%)	PROFUNDIDAD (cm)	PORCENTAJE %			
									ARENA	LIMO	ARCILLA	
LUIS VERDESOTO	PUNTO 1	0-10	0,76	21,75	82,1	14,7	67,4	0-10	43	36	21	FRANCO
		10-20	0,91	18,60	77,4	11,5	65,9	10-30	42	32	26	FRANCO
		20-30	0,91	0,12	74,6	10,9	63,6					
	PUNTO 2	0-10	0,73	26,02	80,0	15,7	64,2	0-10	44	33	23	FRANCO
		10-20	0,87	16,50	75,8	12,4	63,4	10-30	40	36	24	FRANCO
		20-30	0,91	48,78	72,8	12,0	60,8					
	PUNTO 3	0-10	0,71	32,55	86,5	17,4	69,1	0-10	43	38	19	FRANCO
		10-20	0,81	29,17	76,7	15,5	61,3	10-30	41	35	24	FRANCO
		20-30	0,86	3,27	73,0	13,9	59,0					
	PUNTO 4	0-10	0,64	38,24	81,8	14,1	67,8	0-10	44	38	18	FRANCO
		10-20	0,85	24,52	76,1	12,9	63,2	10-30	42	35	23	FRANCO
		20-30	0,90	0,10	73,3	11,8	61,5					
	PUNTO 5	0-10	0,76	32,61	76,9	18,3	58,5	0-10	42	32	26	FRANCO
		10-20	0,82	18,80	73,8	15,6	58,2	10-30	41	35	24	FRANCO
		20-30	0,93	0,34	69,4	13,9	55,5					
JATÚN SACHA	PUNTO 1	0-10	0,62	19,74	88,8	17,7	71,1	0-10	56	22	22	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		10-20	0,88	16,07	82,4	13,3	69,1	10-30	51	19	30	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		20-30	0,92	14,07	77,4	11,8	65,6					
	PUNTO 2	0-10	0,80	20,50	83,9	17,5	66,4	0-10	59	19	22	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		10-20	0,90	19,43	80,2	14,7	65,5	10-30	49	20	31	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		20-30	0,93	15,01	77,6	13,2	64,4					
	PUNTO 3	0-10	0,54	23,68	93,5	18,1	75,4	0-10	52	20	28	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		10-20	0,81	17,24	89,4	15,2	74,2	10-30	51	19	30	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		20-30	0,90	12,01	77,1	12,6	64,5					
	PUNTO 4	0-10	0,74	75,67	84,6	20,1	64,5	0-10	57	20	23	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		10-20	0,77	51,57	80,0	17,8	62,2	10-30	53	20	27	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		20-30	0,87	15,52	73,2	15,8	57,4					
	PUNTO 5	0-10	0,59	31,91	85,6	19,3	66,3	0-10	54	18	28	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		10-20	0,69	18,47	79,3	14,8	64,5	10-30	52	16	32	FRANCO ARCILLO ARENOSO
		20-30	0,80	11,18	73,8	13,7	60,1					
RÓMULO ESCOBAR	PUNTO 1	0-10	1,00	22,34	69,6	12,1	57,5	0-10	24	58	18	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,99	0,10	67,2	10,3	56,9	10-30	22	58	20	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,04	0,04	65,1	8,6	56,5					
	PUNTO 2	0-10	0,89	19,66	71,9	13,2	58,7	0-10	27	57	16	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,87	0,89	70,0	12,1	57,9	10-30	23	53	24	FRANCO LIMOSO
		20-30	0,99	0,01	66,6	9,4	57,2					
	PUNTO 3	0-10	0,96	20,83	67,7	10,3	57,4	0-10	31	51	18	FRANCO LIMOSO
		10-20	1,02	0,19	66,3	9,8	56,5	10-30	27	51	22	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,12	1,58	64,7	8,8	55,9					
	PUNTO 4	0-10	0,99	18,53	69,9	13,9	56,0	0-10	34	50	16	FRANCO LIMOSO
		10-20	1,24	0,67	67,3	12,7	54,6	10-30	25	56	19	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,47	0,03	61,0	6,9	54,1					
	PUNTO 5	0-10	0,95	17,46	73,9	11,7	62,2	0-10	30	52	18	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,98	0,42	71,7	10,8	60,9	10-30	29	49	22	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,10	0,02	67,6	8,5	59,1					
ÁNGEL SANCHEZ	PUNTO 1	0-10	0,72	35,12	79,90	17,90	62,00	0-10	42	35	23	FRANCO
		10-20	0,79	27,30	75,90	14,00	61,90	10-30	42	35	23	FRANCO
		20-30	0,96	10,54	70,80	12,70	58,10					
	PUNTO 2	0-10	0,71	56,66	80,20	17,20	63,00	0-10	44	33	23	FRANCO
		10-20	0,79	39,36	76,14	13,24	62,90	10-30	42	32	26	FRANCO
		20-30	0,82	12,02	69,40	11,30	58,10					
	PUNTO 3	0-10	0,56	20,04	77,90	15,40	62,50	0-10	49	31	20	FRANCO
		10-20	0,81	16,88	73,70	13,80	59,90	10-30	46	31	23	FRANCO
		20-30	0,90	11,01	69,60	11,50	58,10					
	PUNTO 4	0-10	0,66	30,46	88,10	18,60	69,50	0-10	41	39	20	FRANCO
		10-20	0,80	24,81	82,50	15,20	67,30	10-30	39	35	26	FRANCO
		20-30	0,91	12,29	75,40	12,90	62,50					
	PUNTO 5	0-10	0,78	20,50	84,00	19,40	64,60	0-10	46	34	20	FRANCO
		10-20	0,88	14,81	76,70	13,90	62,80	10-30	39	31	30	FRANCO
		20-30	0,93	10,35	72,20	12,90	59,30					
CÉSAR PIEDRA	PUNTO 1	0-10	0,90	21,68	69,00	11,30	57,70	0-10	28	50	22	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,96	0,14	63,70	11,20	52,50	10-30	27	55	18	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,04	0,19	60,80	8,90	51,90					
	PUNTO 2	0-10	0,96	20,99	68,10	9,10	59,00	0-10	27	53	20	FRANCO LIMOSO
		10-20	1,03	0,23	66,10	8,90	57,20	10-30	29	52	19	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,19	0,24	65,50	8,60	56,90					
	PUNTO 3	0-10	0,90	10,80	66,50	11,10	55,40	0-10	25	55	20	FRANCO LIMOSO
		10-20	1,16	0,25	61,90	10,90	51,00	10-30	19	55	26	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,22	0,22	59,40	8,50	50,90					
	PUNTO 4	0-10	0,92	24,56	78,90	14,70	64,20	0-10	28	54	18	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,88	0,16	69,30	14,40	54,90	10-30	19	55	26	FRANCO LIMOSO
		20-30	0,98	0,13	63,40	8,60	54,80					
	PUNTO 5	0-10	0,95	11,56	73,60	14,50	59,10	0-10	29	52	19	FRANCO LIMOSO
		10-20	0,87	0,93	69,10	14,30	54,80	10-30	27	55	18	FRANCO LIMOSO
		20-30	1,05	0,41	63,70	9,80	53,90					

12.9. RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS UEA PROPIEDADES QUÍMICAS

		UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA LABORATORIO DE SUELOS REGISTRO DE DATOS RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO: pH, Nitrógeno Total, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Carbono Orgánico									
		PROPIETARIO	PUNTO DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (cm)	pH	NITRÓGENO TOTAL	FÓSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	CARBONO ÓRGANICO
						%	ppm	meq/100ml			%
						Nt	P	K	Ca	Mg	C.O
LUIS VERDESOTO	PUNTO 1	0-10	5,99	0,52	8,01	0,26	6,24	0,86	2,70		
		10-30	6,19	0,42	4,10	0,10	3,64	0,51	2,30		
	PUNTO 2	0-10	5,88	0,89	6,33	0,13	6,5	0,85	2,60		
		10-30	6,08	0,53	2,43	0,04	3,83	0,58	2,10		
	PUNTO 3	0-10	5,46	0,82	5,96	0,07	6,54	0,95	2,60		
		10-30	5,85	0,49	1,31	0,03	3,92	0,52	2,20		
	PUNTO 4	0-10	5,69	0,91	3,91	0,07	6,24	0,83	2,40		
		10-30	5,99	0,72	2,43	0,05	3,43	0,45	1,90		
	PUNTO 5	0-10	5,45	0,92	5,78	0,13	8,84	0,91	3,30		
		10-30	5,85	0,46	2,61	0,03	3,74	0,45	2,80		
JATÚN SACHA	PUNTO 1	0-10	5,15	0,97	2,05	0,14	2,71	0,73	3,20		
		10-30	5,28	0,68	0,94	0,05	1,49	0,58	2,80		
	PUNTO 2	0-10	5,14	1,12	1,87	0,11	3,04	0,82	3,30		
		10-30	5,02	0,64	0,38	0,02	1,07	0,52	2,40		
	PUNTO 3	0-10	4,61	0,79	3,54	0,09	1,51	0,75	3,50		
		10-30	4,74	0,52	1,87	0,02	1,03	0,49	2,80		
	PUNTO 4	0-10	4,58	0,83	2,98	0,09	1,88	0,69	3,40		
		10-30	4,82	0,44	0,75	0,02	1,13	0,46	2,70		
	PUNTO 5	0-10	4,56	0,93	4,78	0,06	1,87	0,74	3,40		
		10-30	4,73	0,69	2,89	0,01	0,65	0,32	2,60		
RÓMULO ESCOBAR	PUNTO 1	0-10	5,81	0,52	11,40	0,17	10,02	1,34	2,30		
		10-30	6,25	0,39	4,78	0,04	4,64	0,64	1,80		
	PUNTO 2	0-10	5,85	0,51	13,20	0,25	8,82	1,22	2,90		
		10-30	6,24	0,38	4,61	0,06	4,54	0,57	2,10		
	PUNTO 3	0-10	5,91	0,41	14,20	0,20	6,12	1,14	2,70		
		10-30	6,19	0,31	6,84	0,06	3,53	0,57	2,04		
	PUNTO 4	0-10	5,75	0,43	12,0	0,15	6,8	0,97	2,60		
		10-30	6,09	0,33	5,30	0,06	3,11	0,41	2,32		
	PUNTO 5	0-10	5,83	0,41	14,7	0,21	7,91	1,10	2,30		
		10-30	6,03	0,32	5,64	0,04	4,07	0,51	2,16		
ÁNGEL SANCHEZ	PUNTO 1	0-10	5,69	0,72	5,12	0,10	8,88	0,97	2,90		
		10-30	5,71	0,49	3,41	0,08	3,69	0,60	2,20		
	PUNTO 2	0-10	5,58	0,77	4,27	0,13	6,95	0,98	2,70		
		10-30	5,78	0,53	2,89	0,04	3,71	0,54	2,10		
	PUNTO 3	0-10	5,76	0,85	5,30	0,17	8,06	0,99	2,80		
		10-30	5,82	0,51	1,17	0,08	3,62	0,41	2,20		
	PUNTO 4	0-10	5,83	0,72	7,18	0,13	11,66	0,96	3,20		
		10-30	5,93	0,47	3,15	0,10	3,07	0,49	2,60		
	PUNTO 5	0-10	5,75	0,86	7,53	0,18	10,28	0,95	2,80		
		10-30	5,81	0,42	2,72	0,11	3,49	0,61	2,10		
CÉSAR PIEDRA	PUNTO 1	0-10	5,92	0,49	15,2	0,19	7,96	1,01	2,60		
		10-30	6,05	0,39	7,53	0,04	3,59	0,32	2,00		
	PUNTO 2	0-10	5,93	0,67	11,0	0,18	7,33	0,98	2,70		
		10-30	6,02	0,32	6,64	0,04	3,04	0,48	2,20		
	PUNTO 3	0-10	5,73	0,47	21,4	0,15	7,79	1,05	2,80		
		10-30	6,12	0,31	10,1	0,09	5,20	0,43	2,20		
	PUNTO 4	0-10	6,02	0,36	20,1	0,19	13,22	1,36	2,70		
		10-30	6,30	0,27	11,8	0,17	7,63	0,95	2,10		
	PUNTO 5	0-10	5,94	0,41	13,2	0,18	9,25	1,15	2,50		
		10-30	6,36	0,29	8,04	0,06	4,58	0,51	1,80		

12.10. RESULTADOS DEL LABORATORIO DE SUELOS UEA DE PROPIEDADES BIOLÓGICAS

		UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA REGISTRO DE DATOS LABORATORIO DE SUELOS RESULTADO DEL ANÁLISIS BIOLÓGICO: RB, RE, LOMBRICES					
		PROPIETARIO	PUNTO DE MUESTREO	CANTIDAD DE LOMBRICES		RESPIRACION EDÁFICA	RESPIRACIÓN BASAL
				PROFUNDIDAD (cm)	CANTIDAD (0,25m ²)	mgCO ₂ *día ⁻¹ *Ha ⁻¹	mgCO ₂ *Kg ⁻¹ suelo*d ⁻¹
LUIS VERDESOTO	PUNTO 1	0-10	3	251,57	247,81		
	PUNTO 2	0-10	2	225,46	583,33		
	PUNTO 3	0-10	2	230,70	665,49		
	PUNTO 4	0-10	3	245,34	582,45		
	PUNTO 5	0-10	4	255,41	639,37		
JATÚN SACHA	PUNTO 1	0-10	2	292,31	580,89		
	PUNTO 2	0-10	2	321,12	470,56		
	PUNTO 3	0-10	5	307,57	639,86		
	PUNTO 4	0-10	3	321,65	617,02		
	PUNTO 5	0-10	2	263,15	517,40		
RÓMULO ESCOBAR	PUNTO 1	0-10	1	190,27	259,21		
	PUNTO 2	0-10	0	154,79	218,78		
	PUNTO 3	0-10	1	116,63	257,91		
	PUNTO 4	0-10	1	198,53	253,74		
	PUNTO 5	0-10	3	144,42	233,92		
ÁNGEL SANCHEZ	PUNTO 1	0-10	3	257,99	607,55		
	PUNTO 2	0-10	3	256,93	498,18		
	PUNTO 3	0-10	2	274,31	640,18		
	PUNTO 4	0-10	2	239,22	468,33		
	PUNTO 5	0-10	3	248,59	588,53		
CÉSAR PIEDRA	PUNTO 1	0-10	1	161,22	227,64		
	PUNTO 2	0-10	0	181,05	205,71		
	PUNTO 3	0-10	2	204,05	245,46		
	PUNTO 4	0-10	1	162,68	218,95		
	PUNTO 5	0-10	2	119,97	265,32		

12.11. IMÁGENES DEL MUESTREO DE SUELOS (FASE DE CAMPO)



Establecimiento de parcelas

Recolección de Hojarasca

Peso de Hojarasca

Muestreo propiedades Físicas



Respiración Edáfica

Respiración Edáfica

Pendiente del terreno

Resistencia a la Penetración



Homogenización de muestras

Muestreo Propiedades Químicas

Textura del suelo

Almacenamiento de muestras (químicas)



Recolección respiración edáfica

Testigo y Muestra respiración edáfica

Testigo (Blanco-respiración edáfica)

Contabilización de lombrices

12.12. IMÁGENES DEL MUESTREO DE ÁRBOLES (FASE DE CAMPO)



Diametro_{30cm} (Sistema de Monocultivo)

Mazorcas enfermas (Monocultivo)



Dap (Sistema Agroforestal)



Dap (Bosque de Referencia)

12.13. IMÁGENES DEL ANALISIS DE MUESTRAS DE SUELO (FASE DE LABORATORIO)



Determinación de pH



Determinación de MO



Determinación de Nt: Digestión y Destilación



Determinación de Ca, K, Mg



Determinación de P



Determinación de Textura



Determinación de Ksat



Determinación de Pt, Pa, Pr



Determinación de Da



Molienda de Hojarasca



Preparación de muestras análisis químico: Tamizado



Determinación de RE



Determinación de RB

