

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

TEMA:

**IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE
LOS PARÁMETROS EDÁFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA
SUMACO, PROVINCIA DE NAPO.**

AUTOR: ALEX GARY DÍAZ VILLARRUEL

DIRECTOR DE TESIS: MSC. MARCELO LUNA

PASTAZA-ECUADOR

2016

PRESENTACIÓN DEL TEMA

“IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO”.

.....
Msc. Marcelo Luna

DIRECTOR DE TESIS

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

.....
Dr. Carlos Bravo , Ph.D.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

.....
Dr. Eliza López , Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

.....
Msc. Marco Heredia

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia en especial a mis PADRES que con su apoyo total e incondicional. Por esa entrega y lucha en cada día de vida para enseñarme con el ejemplo, el valor de la decación, perseverancia y paciencia para lograr mi objetivo siendo ellos el pilar fundamental para conseguir este logro.

De una manera especial quiero agradecer al Dr. Carlos Bravo y a la Msc. Alexandra Torres por permitirme ser parte de su equipo de trabajo brindándome el mayor apoyo y solidaridad para poder culminar con mi meta.

Alex Díaz

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis PADRES de manera especial quienes nunca dejaron de creer en mi, por ser las personas mas trabajadoras y luchadoras que yo conocido, por saber demostrarme con el ejemplo que las perseverancia, la entrega, la constancia y decasi3n son las mejores armas para conseguir lo qu se propone en la vida, por ser las personas que con cari3o y amor me supieron guiar y apoyar en momentos difciles.

A mis hermanos y a las personas cercanas que de una u otra manera pudieron ayudarme y brindarme su apoyo para poder culminar con este trabajo.

Alex D3az

RESPONSABILIDAD

Yo, Alex Gary Díaz Villarruel con numero de cédula 160065586-2 tengo que manifestar que los criterios emitos en el informe investigativo con el tema “IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO”, así como también contenidos mostrados, análisis, recolección de datos, formulación de resultados son únicos y exclusivamente responsabilidad de mi persona, como autor de este proyecto de investigación.

AUTOR

Alex Gary Díaz Villarruel

160065586-2

ÍNDICE

CAPITULO I.....	11
1.1 INTRODUCCIÓN	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo general:	13
1.2.2 Objetivos específicos:	13
1.3 HIPÓTESIS.....	14
1.3.1 Hipótesis general.....	14
CAPITULO II.....	9
2. REVISION DE LITERATURA.....	15
2.1. Estudio de suelos.....	15
2.2. Plan De Manejo Del Parque Nacional Sumaco.....	15
2.3. La calidad del suelo y sus indicadores	15
2.4. Degradación física y química de dos suelos	16
2.5. Cambio climático, afectaciones	16
2.6. Estado del suelo.....	16
2.7. Determinación del grado de erosión actual y potencial de los suelos.....	17
2.8.Situación de los Bosques del Mundo	17
2.9.deforestación	17
2.10. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios	18
2.11. Influencia del uso de la tierra sobre el almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario.....	18
2.12. Implementación de métodos para mitigar impactos negativos en el suelo....	14
2.13. Evaluación de métodos microbianos como indicadores potenciales de la calidad del suelo en los campos agrícolas históricos	19
2.14. Propiedades del suelo.....	20

2.15. Textura	20
2.16. Densidad aparente	20
2.17. La conductividad hidráulica.....	22
2.18. Distribución de tamaño de poros.....	23
2.19. pH.....	23
2.20. Carbono Orgánico del Suelo en Sistemas de Pasturas	23
2.21. Importancia del nitrógeno en el suelo	24
2.22. Estimación de la disponibilidad de fosforo en el suelo.....	24
2.23. Calcio, magnesio y potasio en el suelo	25
2.24. Evaluación de la abundancia y diversidad de lombrices de tierra	26
2.25. Materia orgánica.....	26
2.26. Producción de hojarasca.....	27
CAPITULO III.....	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1.Localización y duración del estudio.....	28
3.2. Características meteorológicas.....	28
3.3. Materiales y equipos	29
3.4 Factores de estudio.....	31
3.4.1 Las variables dependientes están relacionadas	31
3.4.2 Las variables independientes son los parámetros edáficos que tiene influencia o determinan algunos procesos, las cuales se detalla a continuación:	32
3.5 Diseño experimental.....	32
3.6. Procedimientos.....	33
3.6.1. Análisis físicos	33
3.6.2. Análisis Químicos.	34
3.6.3. Parámetros Biológicos	34

3.6.4. Muestreo de Biomasa.....	35
3.7 Sustentación estadística.....	35
CAPITULO IV.....	36
RESULTADO I.....	30
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	36
4.1. Propiedades físicas, químicas y biológicas bajo distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.	36
4.2. Propiedades físicas	36
4.2.1. Densidad aparente (Da).....	36
4.2.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat).....	38
4.2.3. PT (%).....	38
4.2.4. Porosidad de aireación (Pa).....	39
4.2.5. Porosidad de retención (Pr).....	40
4.3. Propiedades Químicas.....	41
4.3.1. Potencial de Hidrógeno (pH)	41
4.3.2. Aluminio (AL+H) y Aluminio intercambiable (Al)	42
4.3.3. Nitrógeno Total (Nt)	42
4.3.4. Carbono Orgánico (Co).....	43
4.3.5. Relación Carbono/Nitrógeno	44
4.3.6. Fosforo (P)	44
4.3.7. Potasio (K^+).....	45
4.3.8. Calcio (Ca^{+2})	46
4.3.9. Magnesio (Mg^{+2}).....	46
4.4. Propiedades biológicas.....	47
RESULTADO II	49

4.5. Potencial de almacenamiento de carbono bajo distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.	49
4.6. Interpretación de carbono almacenado en diferentes usos de suelo.....	49
RESULTADO III.....	51
4.7. Relaciones entre la materia orgánica y los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y la biomasa bajo los distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.	51
4.7.1. Densidad aparente y Materia orgánica.....	53
4.7.2. Materia orgánica y Porosidad Total.....	53
4.7.3. Materia orgánica y pH.....	53
4.7.4. Materia orgánica y Aluminio	54
4.7.5. Materia orgánica y Nitrógeno	54
4.7.6. Materia orgánica y Fosforo	54
4.7.7. Materia orgánica y Potasio, Calcio, Magnesio.....	54
4.7.8. Nitrógeno y Magnesio.....	55
4.7.9. Porosidad de retención y Porosidad total	55
RESULTADO IV.....	55
4.8. Alternativas propuestas para el manejo sustentable del recurso suelo bajo las condiciones del área estudio en la reserva de Biosfera Sumaco, Provincia de Napo.	55
4.8.1. Naranjilla en sistema taungya	56
4.8.2. La rotación:	56
4.8.3. La asociación de cultivos:	57
4.8.4. Sistemas agroforestales:	58
4.8,5. Abonos orgánicos:.....	60
4.8.6. Incremento de la cobertura vegetal viva o muerta:	60
CAPITULO V	62

5. CONCLUSIONES	62
6. RECOMENDACIONES	64
7. RESUMEN.....	65
8. SUMMARY	66
9. BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	74
Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.	74
Anexo 2. Rango de interpretación de pH.	74
Anexo 3. Rango de interpretación para parámetros químicos	74
Anexo 4. Finca con pasto gramalote con arboles.....	75
Anexo 5. Toma de muestras en campo para análisis físicos del suelo tipo Uhland.	75
Anexo 6. Conteo de lombrices para análisis biológico del suelo.....	76
Anexo 7. Toma de muestra en campo con pala para análisis químico del suelo. .	76
Anexo 8. Medición de árboles para análisis de secuestro de carbono.	77
Anexo 9. Sistema con naranjilla.....	77
Anexo 10. Análisis de parámetros físicos en laboratorio.....	78
Anexo 11. Pesado de muestras para análisis químicos (Ph, Al, Al+H)	78
Anexo 12. Determinación de pH en laboratorio.	79
Anexo 13. Determinación de Carbono orgánico en laboratorio.	79
Anexo 14. Determinación de Aluminio y Aluminio intercambiable en laboratorio.	80
Anexo 15. Determinación de Fosforo, Calcio y Magnesio en laboratorio.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores con relación a la textura y la densidad aparente.....	17
Tabla 2. Equipos y materiales para el análisis físico del suelo.....	24
Tabla 3. Equipos y materiales para el análisis químico del suelo.....	25
Tabla 4. Valores promedios de parámetros físicos del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.....	31
Tabla 5. Valores promedios de parámetros químicos del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.....	35
Tabla 6. Valores promedios de parámetros biológicos del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.....	42
Tabla 7. Carbono almacenado bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco Provincia de Napo.....	45
Tabla 8. Correlaciones de la materia orgánica con propiedades y biomasa.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Parroquia Pacto Sumaco.....	22
Figura 2. Esquema de muestreo para las evaluaciones y toma de muestra en campo de los distintos usos de la tierra.....	27
Figura 3. Plantación con sistema taungya.....	52
Figura 4. Rotación de diferentes cultivos.	53
Figura 5. Cultivo de morera asociado a leucaena.....	54
Figura 6. Sistema silvopastoril intensivo, con leucaena <i>Leucaena leucocephala</i> y pastos mejorados.....	55
Figura 7. Sistema silvopastoril intensivo con leucaena <i>Leucaena leucocephala</i> , pastos mejorados y árboles maderables.....	55
Figura 8. Hojarasca con bacterias y hongos en las hojas.....	56
Figura 9. <i>Acacia mangium</i> , <i>Tithonia diversifolia</i> y pasto <i>Brachiaria humidicola</i>	57

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La reserva de biosfera Sumaco, por su diversidad biológica, alto endemismo y elevada productividad hídrica hacia la baja Amazonia, pasó a formar parte del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP) desde 1994, con una superficie de 931.930 hectáreas y a ser administrado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2007).

se encuentra distribuida geográficamente en tres provincias de la Amazonia Ecuatoriana, Napo, Orellana y Sucumbíos, ubicándose al pie de la rama oriental de la cordillera de los Andes, que va desde el páramo andino hasta la selva tropical, con una altitud de 400m hasta 3732 m, en lo más alto que es el volcán Sumaco,. Incluye seis pisos térmicos y una precipitación que oscila desde los 2000 mm hasta los 6000 mm al año (MAE, 2013).

Existen dos cuencas hidrográficas importantes, la del río Napo y río Coca, en donde la mayor parte de sus aguas son de tipo turbias o “aguas blancas” debido la gran cantidad de sedimentos arcillosos arrastrados de las cuencas altas, fruto de la erosión de sistemas agroforestales con un mal manejo (Casanova, 2005).

Se estima que en el Ecuador alrededor de 400 hectáreas de suelo al año se pierden por causa de la erosión provocada por la intervención antropogénica descontrolada al momento de querer aprovechar el recurso suelo, mediante producciones agrícolas y agroforestales sin tener un manejo adecuado (De la Fuente *et al.*, 2008).

Esta investigación se enmarca dentro de dos proyectos, uno relacionado Ganadería sostenible y reconversión productiva en la Amazonía ecuatoriana, bajo un modelo de buenas prácticas y reducción de emisiones y otro con sustentabilidad y calidad de suelo del programa Prometeo, ambos en convenio con la Universidad Estatal Amazónica (UEA). Ambos proyectos tienen como objetivo central realizar un diagnóstico de la situación ambiental, que sirva de base para la elaboración de un plan de gestión a nivel de finca. Dentro del componente ambiental se incluye el

estudio de la calidad del suelo mediante la evaluación de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que permitan definir la influencia que puede tener el cambio de uso del suelo en un ecosistema tan frágil como el Amazónico.

Con este trabajo se espera lograr un mayor entendimiento de la influencia de que tienen los sistemas de manejo sobre la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de almacenamiento de carbono en la Reserva de Biosfera Sumaco y a la vez aportar un enfoque metodológico sobre la forma de abordar estos estudios.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general:

- Evaluar impacto ambiental del cambio del uso del suelo sobre los parámetros edáficos, en la reserva de biosfera Sumaco, Provincia de Napo.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Determinar los cambios que se producen en los parámetros edáficos bajo distintos usos del suelo (Pasto, Naranjilla, bosque intervenido).
- Determinar el potencial de almacenamiento de carbono bajo distintos usos de suelos: pasto miel (*Paspalum dilatatum*) sin árboles, pasto con árboles, naranjilla (*Solanum quitoense*) y bosque intervenido.
- Establecer las relaciones entre la materia orgánica y los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y la biomasa bajo los usos considerados.
- Proponer alternativas de manejo sustentable del recurso suelo bajo las condiciones del área estudio.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

- El cambio de uso del suelo a sistemas con: pasto miel (*Paspalum dilatatum*), pasto con árboles y naranjilla (*Solanum quitoense*) provocará alteraciones negativas en los parámetros edáficos (físicos, químicos y biológicos).

CAPITULO II

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Estudio de suelos

Desde el principio de la humanidad el hombre ha aprovechado los recursos naturales para sobrevivir y autoabastecerse. Entre ellos, el recurso más importante ha sido el suelo, donde se origina y se mantiene la vida vegetal, animal y humana. La actividad agrícola constituye la mayor fuente de ingresos en las poblaciones aledañas a las ciudades. Con el pasar del tiempo el hombre ha sembrado, modificado y manipulado el suelo para las diferentes actividades agrícolas y agroforestales, sin pensar en los daños ocasionados entre los que se encuentran pérdidas de la erosión, la fertilidad, la escasa disponibilidad de agua y la degradación progresiva, obligando en muchas ocasiones al abandono de tierras (Jiménez, 1998).

2.2. Plan De Manejo Del Parque Nacional Sumaco

La reserva de biosfera constituye en ecosistemas marítimos, terrestres, o una combinación de ambos donde son habitados por poblaciones en pequeña escala, lo cual busca promover las relaciones entre los humanos y el ecosistema para dar un manejo sostenible a los recursos de un sistema tan frágil. Las reservas de biosferas son declaradas a nivel internacional por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La reserva de biosfera Sumaco se encuentra en la amazonia Ecuatoriana y forma parte de tres provincias que son: Napo, Orellana y Sucumbíos, cuenta con una alta biodiversidad, alta producción hídrica y es conocido como el Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras, formando parte del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP) (MAE, 2007).

2.3. La calidad del suelo y sus indicadores

A nivel mundial la crisis económica, social y ambiental conlleva al aprovechamiento inadecuado de los recursos provocando asentamientos humanos en zonas muy frágiles, como es el caso de las reservas de biosfera, pudiendo

provocar pérdida de biodiversidad, contaminación de cuencas hídricas, deforestación, erosión del suelo y cambio climático. Las actividades humanas que se realizan para poder aprovechar los recursos naturales dependen de la calidad del suelo. El concepto de calidad del suelo está asociado a la sostenibilidad. Se basa fundamentalmente en diferentes atributos tales como calidad ambiental, fertilidad, productividad potencial, adicionalmente la calidad nos permite comprender la utilidad del suelo en sus funcionamientos naturales (Bautista *et al.*, 2004).

2.4. Degradación física y química de dos suelos

La degradación del suelo es un proceso donde se altera su capacidad para poder dar cumplimiento a sus funciones, es decir su calidad (Pla, 2010). Al respecto se ha señalado que el papel del suelo está anclado a los servicios que presta, entre ellos: **a)** Medio para el desarrollo de las plantas o producción de biomasa, **b)** componente del ciclo hidrológico y regulador de los suministros de agua, **c)** hábitat y proveedor de energía y reciclaje de nutrientes para organismos, **d)** agente almacenador, degradador, desintoxicador de sustancias, **e)** medio que provee soporte a estructuras tales como edificios, puentes, casas, caminos, **f)** Elemento de nuestra herencia cultural que contienen restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad (Andreu *et al.*, 2012).

2.5. Cambio climático, afectaciones

Un estudio realizado en América latina se identifica problemas ambientales globales que repercuten en impactos negativos en la tierra. El suelo es uno de las áreas con mayores problemas el 70% presenta limitaciones en su productividad, la desertificación alcanza un 14% en su territorio y condiciones degradantes (Erosión, Acidez, Baja fertilidad, Mal drenaje, Bajo contenido de materia orgánica, Degradación de la cubierta vegetal 5 millones de hectáreas (Milera, 2011).

2.6. Estado del suelo

En el Ecuador se enfatizaron los estudios sobre la degradación de los suelos debido a una intensa actividad agrícola y cambio uso de suelo, en especial en la

región Costa y Amazonia, estos estudios revelaron grandes afectaciones. Y pusieron de manifiesto que una de las mayores amenazas de los suelos es la pérdida de cobertura vegetal, vegetación nativa y bosque en general, la que altera las condiciones naturales de los ecosistema iniciando la degradación sistemática de los mismos (GEOECUADOR, 2008).

2.7. Determinación del grado de erosión actual y potencial de los suelos

La erosión hídrica constituye una de las condiciones más degradantes del suelo y en el Ecuador, como en cualquier parte del mundo, el factor climático; constituido por el viento y precipitaciones es parte de ello. Sin estos factores climáticos mencionados la erosión se produciría a menor escala, ya que el agua da origen a todos los procesos hídricos, En la Amazonia Ecuatoriana se registra una fuerte intensidad de precipitaciones que van de 2000 mm a 6000 mm anuales (Martín y Pérez, 2009), lo que ocasiona la penetración del agua a lo largo del perfil, dando como resultado los movimientos en masa. Esta situación es más frecuente en los relieves arcillosos de las regiones de Costa y Oriente que en la Sierra, una altura pluviométrica entre 800 mm y 1000 mm son sufrientes para provocar movimientos en masa (Vivanco, 2005).

2.8. Situación de los Bosques del Mundo

Entre los impactos ambientales ocasionados por la actividad humana se señala a la deforestación como uno de los más significativos, ya que genera la pérdida de bosque tropical, el cual posee un papel importante en la diversidad ecológica y tiene efectos directos con las emisiones de carbono. La tasa de deforestación a nivel mundial se estima de 0.20% entre las década del 1990 y 2000, 0.12% entre el 2000 y el 2005 y 0.14% entre el 2005 y el 2010, con una pérdida total de 5.2 millones de hectáreas entre los años del 2000 y 2010 (FAO, 2011).

2.9. Deforestación

La deforestación es otra de las causas de la degradación de los recursos y pérdida de la biodiversidad en la reserva de biosfera Sumaco. En América latina se ha dado un incremento de la deforestación para pasturas para ganadería (Harvey *et*

al., 2005) y actualmente continúa incrementándose, lo cual afecta de forma negativa a los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen el planeta (IPCC, 2001).

En este contexto se ha indicado que el Ecuador tiene una tasa de deforestación de 1.3%, llegando a ser la más alta de Latinoamérica. La tala ilegal y la apertura de nuevos lugares para la producción ganadera y agrícola son las principales causas del cambio de uso del suelo en lugares tan importantes como lo es la reserva de biosfera Sumaco (MAE, 2013).

En los últimos años se ha enfatizado los estudios sobre el suelo no solo por la producción de alimentos, si no por ser un componente fundamental en la biosfera que ayuda al mantenimiento de la calidad del medio ambiente (Doran & Zeiss, 2000).

2.10. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios

Como ejemplo se señaló un estudio realizado en Cuba nos indica que es importante implementar medidas agroecológicas para mitigar acciones a corto, mediano y largo plazo, ya que el 69.6% de los suelos tienen bajo contenido de materia orgánica y el 43.3 % presenta una erosión de fuerte a media, lo que limita su productividad. En este sentido, han sido numerosos los estudios realizados para poder mitigar de alguna manera el impacto que se le da al recurso suelo en los sistemas agrícolas y agroforestales utilizando abonos orgánicos, lo cual aumenta la fertilidad y proporciona un potencial desarrollo del suelo en beneficio de las personas (Sánchez, S *et al.*, 2011).

2.11. Influencia del uso de la tierra sobre el almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario.

En términos de producción sostenible, se señala que en ecosistemas de bosque húmedo y muy húmedo tropical como la Amazonia Ecuatoriana, el fomento de sistemas tradicionales como Chakras con cacao, café y otros cultivos a nivel de pequeños productores, pueden contribuir significativamente al secuestro y almacenamiento del carbono y al mismo tiempo como medida de mitigación y

adaptación al cambio climático (Jadan *et al.*, 2012). Sin embargo, para la Parroquia de Pacto Sumaco se ha venido introduciendo cultivos como pastos, naranjilla que generan graves problemas de degradación, que se manifiestan principalmente por erosión de los suelos.

2.12. Implementación de métodos para mitigar impactos negativos en el suelo.

Con este contexto, surge la necesidad de implementar métodos de mitigación de los impactos ambientales generados por el cambio de uso de suelo, permitiendo un manejo sustentable a los recursos naturales sin perjudicar el recurso suelo y el medio ambiente en general. Entre los principales objetivos, se puede identificar mantenimiento o restauración, la fertilidad del suelo de forma que se cree un balance o equilibrio del ecosistema con las necesidades humanas al momento de la explotación de los recursos (Doran y Zeiss, 2000).

La estimación de la salud o fertilidad del suelo, o los cambios que puedan pasar con el transcurrir del tiempo son los principales indicadores del manejo adecuado y sustentable de uso del suelo. La salud, la fertilidad determina la sustentabilidad agrícola, la calidad del medio ambiente, el deterioro de la capa vegetal, la salud animal y humana (Doran y Zeiss, 2000).

2.13. Evaluación de métodos microbianos como indicadores potenciales de la calidad del suelo en los campos agrícolas históricos

Se han llevado a cabo muchos estudios acerca de los parámetros físicos y químicos de suelo por varios grupos de trabajo. En los últimos años se han intensificado los estudios biológicos ya que describen los procesos metabólicos que se dan en el suelo, siendo de gran ayuda para evaluar la calidad edáfica pues cumplen un rol fundamental al indicar de la degradación o restauración temprana por consecuencia de los diferentes usos del suelo, tanto agrícolas como agroforestales, incluso antes que las propiedades físicas y químicas (Jordan *et al.*, 1995).

2.14. Propiedades del suelo

Las propiedades físicas del suelo, junto con las propiedades químicas y biológicas, nos permiten determinar la fertilidad del suelo y nos brindan un conocimiento adecuado en el desarrollo práctico de drenaje, fertilización y riego. La textura, densidad aparente (D_a), conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) y distribución de tamaño de poros, son parámetros físicos que nos permiten evaluar la capacidad de aireación, y drenaje, que está ligeramente ligada con la capacidad de la planta para la toma o absorción de agua, nutrientes y oxígeno (Casanova, 2005)

2.15. Textura

La textura es representada por el porcentaje que se encuentra de cada uno de sus elementos que son: arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que el suelo tiene una buena textura cuando permite o favorece el crecimiento radicular de las plantas y su nutrición.

Origen de la textura en el suelo: su origen comienza por la roca madre, el suelo tendrá una tendencia a ser arcilloso, arenoso o limoso dependiendo de las características de la roca siendo capaces de producir sedimentos o ser sedimentarias en el transcurso de su proceso de alteración. El humus aparece normalmente con varios factores como es el clima, vegetación y la zona donde se encuentre, el suelo puede enriquecerse con el humus cálcico o descalcificarse y formar lixiviado dependiendo plenamente de los factores antes mencionados. El humus es capaz de cambiar radicalmente la textura del suelo (Casanova, 2005).

2.16. Densidad aparente

Las partículas individuales del suelo hacen que al momento de organizarse en mayor volumen el suelo se convierta en un medio poroso. Dando paso a dos tipos de densidades la densidad de partículas (minerales y orgánicos) o densidad real, y la densidad de volumen o aparente (Porta *et al.*, 2008).

La densidad de las partículas o densidad real, corresponde al peso de la unidad de volumen de los sólidos del suelo. Se determina obteniendo el peso seco de la muestra del suelo y el volumen ocupado por los sólidos de la muestra, y el

procedimiento corresponde a la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determina qué volumen de líquido desplazan los sólidos al ser sumergidos.

Su cálculo sería el siguiente:

$$D.r. (g\text{ cm}^{-3} \text{ o } Mg/m^{-3}) = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}}$$

El valor que se obtiene al calcular depende de la función del tipo del mineral de la roca madre y de la cantidad de materia orgánica del suelo. Dado que la materia orgánica pesa mucho menos que una cantidad similar de volumen de sólidos minerales, afectando a un mayor rango a la densidad de las partículas. Dando como consecuencia que los suelos superficiales tenga una densidad más baja que la de los subsuelos (Buckman y Brady, 1977). La densidad de mucho de los minerales que conforman el suelo es muy parecidos. La mayoría de los suelos tienen un promedio aproximado de 2,65 g.cm⁻³ (Plaster, 2004) que corresponde al peso promedio de las partículas minerales más comúnmente ya un contenido bajo de materia orgánica.

Densidad aparente, se define como la cantidad de peso seco del suelo por la cantidad de volumen del suelo inalterado, tal como se encuentra en su sistema natural sin modificaciones incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000).

Se calcula con la siguiente formula:

$$D.a. (g\text{ cm}^{-3} \text{ o } Mg/m^{-3}) = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos} + \text{Volumen de los poros}}$$

Dependiendo del uso que se le vaya a dar a los cálculos se debe tomar en cuenta que existen dos diferentes tipos de densidad aparente que son: la densidad aparente global y la densidad aparente de la tierra fina.

La densidad aparente global corresponde al peso seco del volumen total del suelo tomando en cuenta e incluyendo a sus elementos que son: piedras, raíces y tierra fina. Estos valores tienen una mayor relevancia a trabajos relacionados netamente de ingenierías, movimientos de tierra y excavaciones.

La densidad aparente de la tierra fina. Se calcula con el volumen del peso tomado del campo, lo que exige tomar en cuenta la diferencia entre las fracciones minerales y orgánicas gruesas, la densidad aparente de la tierra fina tiene gran importancia en el manejo de la ecología del suelo y determinar evaluaciones de los ciclos biogeoquímicos del suelo que conforman el suelo (Muller & Hamilton, 1992).

Al momento de los cálculos de la densidad aparente puede variar por varios factores como: textura, la estructura y el contenido de materia orgánica en el suelo, así como el manejo que se le dé al mismo. Diferente a la densidad real que varía muy poco y se puede decir que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable debido a la cantidad y calidad del espacio poroso. Los suelos de textura fina, con buena estructura y con altos grados de materia orgánica presentan un contenido menor de densidad aparente que los suelos con textura gruesa, con bajos niveles de materia orgánica y sin una buena estructura.

Tabla 1: Valores con relación a la textura y la densidad aparente

Textura	Densidad Aparente
Fina (arcillosos)	1.00-1.30 Mg M ⁻³
Media (francos)	1.30-1.50 Mg M ⁻³
Gruesa (arenosos)	1.50-1.70 Mg M ⁻³

Fuente: Schargel & Delgado, 1990

2.17. La conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la propiedad que controla tanto la infiltración, la escorrentía superficial, el transporte de plaguicidas y la migración de contaminantes hacia las aguas subterráneas. Al momento de determinar se requiere de algunos aspectos al momento de saber la magnitud y la variación en el lugar seleccionado (Logsdon & Jaynes, 1996).

Los conocimientos de la conductividad hidráulica, sea saturada o no saturada, son importantes como dato inicial en modelos numéricos para descifrar el comportamiento del flujo o fluidos del agua a través del suelo, En la actualidad para determinar este parámetro existen métodos de campo como de laboratorio con la misma efectividad dependiendo del estudio del que se vaya a realizar (Bagarello *et al.*, 2004).

2.18. Distribución de tamaño de poros

La distribución de poros nos proporciona información acerca de la buena estructura del suelo que permitirá y garantizara la buena distribución de agua y aire, su circulación, su almacenamiento y distribución entre los horizontes proporcionado un óptimo aprovechamiento de los nutrientes. La estabilidad estructural del suelo hace referencia a la organización del espacio poroso al estar expuestos a diferentes tipo de manejo tanto agroforestales como agrícolas, de alguna manera mantener una estabilidad con los distintos productos que se usan de una forma u otra en el suelo (Kay, 1990).

2.19. pH

Al momento de hablar de pH nos damos cuenta que es un tema muy común e utilizado entre los agriculturas y las personas que utilizan fertilizantes, técnicos e investigadores, a lo largo del tiempo se han planteado numerosas discusiones acerca del pH que lleva a determinar que su análisis es importante. Las pruebas de laboratorio en varias ocasiones han demostrado que la reacción del suelo o pH del suelo afecta de modo significativo la disponibilidad y la asimilación de nutrientes y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del propio suelo (Ginés, 2002).

2.20. Carbono Orgánico del Suelo en Sistemas de Pasturas

El carbono orgánico es un complemento importante del suelo y de la biosfera pudiendo actuar como una fuente de reservorio dependiendo de su uso, diversos estudios han establecido que el almacenamiento de carbono en tierras de pastoreo

es mejor que en tierras con cultivos. De esta forma se puede afirmar que las tierras de pastoreo presenta una gran importancia en el almacenamiento de carbono y la lenta liberación de CO₂ lo cual da un balance general al planeta ayudando a reducir los gases de efecto invernadero, se debe mantener y dar una estabilidad con un manejo adecuado a los sistemas agrícolas para el bienestar de las generaciones presentes y futuras (Jiménez *et al.*, 2011).

2.21. Importancia del nitrógeno en el suelo

El nitrógeno es uno de los parámetros químicos del suelo, y es adsorbido por plantas y microorganismos y pueden encontrarse en distintas formas como nitrato (NO₃) o amonio (NH₄), también se encuentran en estados diversos de oxidación y reducción. El nitrógeno inorgánico puede ser utilizado porque se encuentra descompuesto, mientras que el nitrógeno orgánico debe ser primero mineralizado (A nitrógeno inorgánico) para que las plantas puedan utilizarlo. La mayor parte de fijación de nitrógeno es producida por bacterias que existen en el suelo (Acatzi *et al.*, 2009).

2.22. Estimación de la disponibilidad de fósforo en el suelo

La disponibilidad total del fósforo es de solo una fracción a la que contiene en todo el suelo y la que puede ser asimilada por las plantas. Al hablar del fósforo como compuesto decimos que es débilmente soluble con cationes divalentes y monovalentes esta es la razón por la cual solo una fracción de fósforo puede ser asimilable. La cantidad de fósforo no es una cantidad única, sino que es variada ya que depende de las condiciones ambientales que influye en el suelo y al desarrollo de las plantas. La falta y el exceso de fósforo en las plantas puede ser perjudicial produciendo síntomas como retraso en el crecimiento de la planta, retraso en el crecimiento en las raíces y el florecimiento, coloración púrpura en las hojas más antiguas de la planta. Por eso es recomendable saber y dar un equilibrio en los sistemas que utilizan fertilizantes con fósforo aplicando cantidades adecuadas (Rojas, 1993).

2.23. Calcio, magnesio y potasio en el suelo

Calcio (Ca), es el quinto componente más abundante de la corteza terrestre, con una concentración promedio que llega a representar hasta 3,6%. Procediendo principalmente de rocas y minerales, su contenido puede variar dependiendo de su origen en el suelo. En los suelos conocidos como no alcalinos llega a representar entre 0,1 y 0,2%, mientras que en los suelos considerados alcalinos puede llegar a representar hasta 25%. La concentración de calcio sobrepasa a los límites normalmente requeridos para un crecimiento adecuado de las plantas, pese a ello ejercen poco efecto ya que la absorción es genéticamente controlada, en este sentido la concentración calcio en la solución del suelo es de 10 veces mayor a la del potasio (K) pese a esto su toma es menor a la de este nutriente por lo mencionado anteriormente (Sadeghian, 2012).

Magnesio (Mg), es el octavo componente más común en la litosfera, con una concentración promedio a 2.1%, pese a lo anteriormente mencionado el magnesio es un compuesto muy soluble en el suelo por la meteorización de los minerales. El Mg^{+2} en el suelo puede constituirse en tres diferentes formas básicamente, en el intercambio de catión, como constituyente de minerales y la solución del suelo. Los valores varían dependiendo de factores como la humedad, precipitación. Como en suelos de textura gruesa que se da en regiones húmedas hay valores altos de magnesio y en suelos con textura finas, zonas áridas y semiáridas son lo contrario dependiendo mucho del factor en el que se encuentre la zona (Sadeghian, 2012)..

la concentración de potasio (K) en el suelo es de (1,2%), dado a la meteorización de los suelos jóvenes que contienen niveles altos de potasio, mientras que en los suelos orgánicos su nivel es muy poco con alrededor de 0,003% dado a su bajo nivel de minerales. La mayor parte de potasio se encuentra junto a los minerales primarios o están presentes en las arcillas secundarias, al momento de ser fijado en el suelo hace que se divida el porcentaje de potasio haciendo que sea lentamente asimilable por las plantas (Sadeghian, 2012).

2.24. Evaluación de la abundancia y diversidad de lombrices de tierra

Las lombrices marcan una diferencia en los suelos al estar con otros organismos edáficos, constituyendo una comunidad biológica siendo un conjunto de organismos que coexisten que a su vez están determinadas por las condiciones del espacio geográfico donde se encuentran. Las lombrices son llamadas “ingenieros del ecosistema edáfico” por la característica de poder modificar el suelo con sus actividades mecánicas, que al mismo tiempo puede cambiar la estructura y variar la disponibilidad o accesibilidad de algún recurso para otro organismo.

Su importancia no solo radica en lo antes mencionado, sino también en que son grandes reguladores de la actividad microbiana. Una de las características más importantes es que por su alta sensibilidad al cambio en el entorno edáfico se ha convertido en la forma más adecuada y esencial para evaluar la calidad del suelo (Masin *et al.*, 2011).

2.25. Materia orgánica

La materia orgánica de residuos de plantas (hojarasca) y resto de animales, está compuesta principalmente por carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismo actúan al descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono y los componentes más fuertes en humus, al momento de descomposición pueden atrapar nitrógeno en el suelo. La materia orgánica cumple muchas funciones en el suelo como: almacenar muchos nutrientes, mejorar la estructura del suelo, ayuda a prevenir la erosión y mejorar la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes en los suelos arenosos y toscos (Pascual y Venegas, 2011)..

La cantidad de materia orgánica varía por la vegetación, el clima, la textura fina presentan mayor cantidad que suelos con textura liviana, el contenido de materia orgánica aumenta con la humedad y disminución de temperatura por lo tanto los suelos húmedos contienen mayor cantidad (Pascual y Venegas, 2011)..

La descomposición de la materia orgánica al continuar con la mineralización producen productos simples, posteriormente sigue con el proceso o acción de los microorganismos de descomposición dando como resultado sustancias húmicas que son las que forman el humus siendo de composición complejas, en la primera etapa

de descomposición de los polímeros orgánicos que forman constituyentes monoméricos (fenoles, quinonas, aminoácidos y azúcares) permanecen los compuestos más fuertes o resistentes como la lignina pero son levemente cambiados para formar humus (Pascual y Venegas, 2011).

2.26. Producción de hojarasca

La hojarasca es la materia vegetal que se acumula sobre el suelo y tiene un papel esencial en la productividad de los ecosistemas forestales. El conocimiento de las variaciones estacionales es fundamental para la producción de hojarasca igualmente de importante es el rol que representa la materia orgánica. Las principales razones para la producción de biomasa se da por el clima y por los procesos biológicos que se puedan dar en los distintos usos del suelo dependiendo de los factores antes mencionados (Ballard *et al.*, 1981)

La producción de hojarasca es fundamental para los ecosistema ya que al momento de acumularse como especie de manto alrededor del suelo sirve de alimento y de hábitat para muchos organismos y microorganismo que conforma la red trófica compleja, es de vital importancia la transferencia de nutrientes desde el suelo hacia planta y sirve de igual manera a la alimentación de rumiantes en etapas del año que son escasas ayudándolos a sobrevivir (Soler *et al.*, 2008).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y duración del estudio



Figura 1. Ubicación de la Parroquia Pacto Sumaco

Fuente: Google Earth

Elaborado por: Alex Díaz

La zona de intervención donde se realizó el estudio es la parroquia de Pacto Sumaco que se encuentra ubicado al pie de la zona baja, a la entrada del Parque Nacional Sumaco-Napo-Galeras, que es el volcán Sumaco, con una altitud de 1500 m, es un bosque húmedo tropical (Henninger, 2003).

3.2. Características meteorológicas

La parroquia de Pacto Sumaco que se encuentra en la zona baja del volcán Sumaco, cuenta con un clima cálido húmedo, con una temperatura media en el día de 28°C y en la noche de 18°C, con precipitaciones que van desde los 2000 mm y 4000 mm anuales (MAE, 2007).

3.3. Materiales y equipos

✓ Materiales para toma de muestras.

- Palas
- Barrenos (30cm)
- Fundas ziploc
- Toma muestra de suelo Tipo Uhland
- Baldes pequeños y grandes
- Machetes
- Lápiz
- Marcador
- Libreta
- Cinta
- Flexómetro
- Tabla Munsell
- Frascos de compota
- Penetrómetro

Tabla 2. Equipos y materiales para el análisis físico del suelo.

EQUIPOS DE LABORATORIO			
CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS	PARÁMETROS	MATERIALES EQUIPOS	Y
Físicas	Densidad aparente (Da)	Estufa	
		Balanza	
		Plato poroso	
		Embudos	
		Probetas de 100ml	
		Cilindros	
	Ksat (conductividad hidráulica saturada)	Uhland	
		Estufa	
		Balanza	
		Plato poroso	
		Embudos	
		Probetas de 100ml	
		Cilindros	
	Distribución de tamaño de poros	Uhland	
		Estufa	
		Balanza	
		Plato poroso	
		Embudos	
		Probetas de 100ml	
		Cilindros	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Equipos y materiales para el análisis químico del suelo.

EQUIPOS DE LABORATORIO		
Características Edáficas	Parámetros	Materiales y Equipos
Químicas	pH	pH metro
	COT (carbono orgánico total)	Bureta
		Probetas
	Nt (nitrógeno total)	Equipo de Keldan
	P (fosforo)	Espectro visible
	K (potasio)	Espectrofotómetro de Absorción atómico
	Ca (calcio)	
	Mg (magnesio)	

Fuente: Elaboración propia

✓ **Reactivos químicos**

- Cloruro de bario - BaCl_2
- Ácido clorhídrico – HCl
- Hidróxido de sodio – NaOH
- Fenolftaleína al 0,1% en alcohol etílico

3.4 Factores de estudio

3.4.1 Las variables dependientes están relacionadas

- Impacto ambiental del recurso suelo.
- Capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo.
- Contenido de materia orgánica.
- Producción de Biomasa (Hojarasca)

3.4.2 Las variables independientes son los parámetros edáficos que tiene influencia o determinan algunos procesos, las cuales se detalla a continuación:

- Parámetros físicos del suelo
 - Índices estructurales (Densidad aparente, Conductividad hidráulica del suelo, distribución de tamaño de poros (Porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención).
- Parámetros químicos del suelo.
 - pH
 - Carbono orgánico total (COT)
 - Nitrógeno total (NT)
 - Fósforo (P)
 - Potasio (K)
 - Calcio (Ca)
 - Magnesio (Mg)
- Parámetros biológicos del suelo
 - Respiración edáfica
 - Respiración basal
 - Número de lombrices

3.5. Diseño experimental

Para la recolección de la información de campo se uso un esquema de muestreo sistemático que cubra toda la variabilidad de la unidad experimental (Uso del suelo). En cada uso del suelo se estableció cinco subparcelas de 10 x10 m para un área de 100 m², sobre las cuales se determinaron una serie de parámetros de suelo (física, química y biológica) y de cultivo, tal como se muestra en la figura 1. Se seleccionó los usos más representativos de la zona de estudio, entre ellos: Pasto miel (*Paspalum dilatatum*) sin árboles, pasto con árboles, naranjilla (*Solanum quitoense*) y bosque como uso de referencia de manera de comparar el impacto del

cambio de uso sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Una finca para cada uso de suelo mencionado dando un total de 4 fincas.

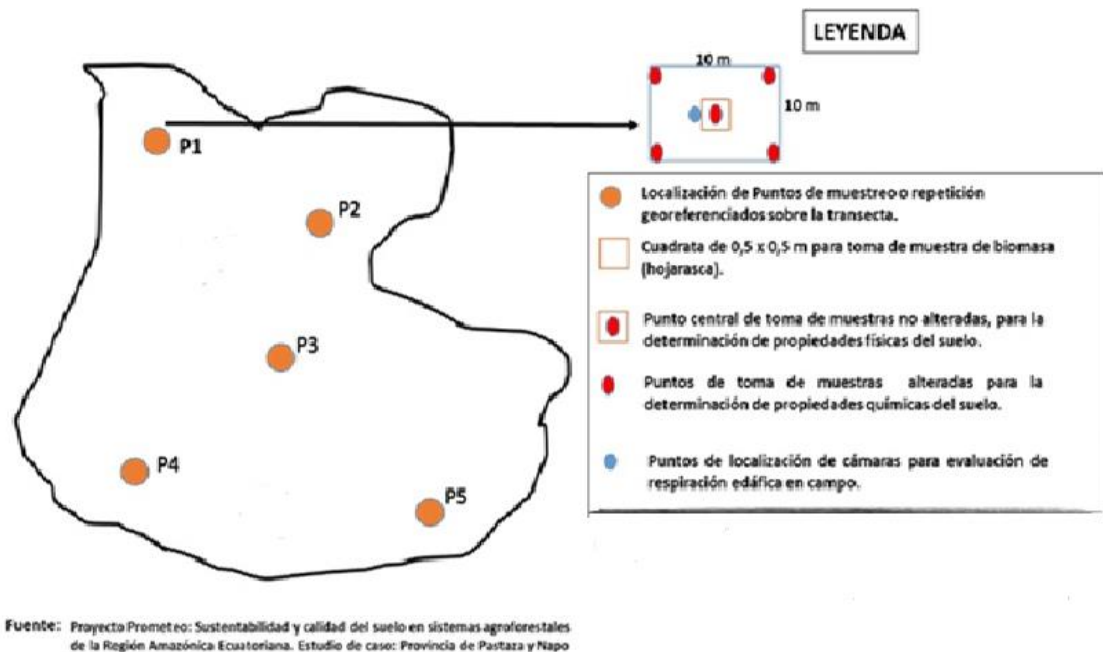


Figura 2. Esquema de muestreo para las evaluaciones y toma de muestra en campo de los distintos usos de la tierra.

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimientos

Análisis de Laboratorio

3.6.1. Análisis físicos

Se tomarán muestras a diferentes profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm una por cada punto de la subparcela dando 15 muestras por finca. Con un total de 60 por las 4 fincas mencionadas.

En la determinación de parámetros físicos del suelo se usará muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se medirán la siguientes variables: Densidad aparente (D_a) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986); la distribución de tamaño de poros (P_t : porosidad total), porosidad de aireación (P_a :

poros de radio $>15\ \mu\text{m}$) y porosidad de retención se medirá usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de $-10\ \text{kPa}$ (Blake y Hartge, 1986). La conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en Pla (2010).

3.6.2. Análisis Químicos.

El carbono orgánico total (COT) se determinó, mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommer, 1982). Para medir El pH se usará el método potenciométrico con una relación suelo-agua 1:2,5), el nitrógeno total será determinado por el método de Keldan y contenido de Fósforo (P), Azufre (S) y las bases cambiables (Ca, Mg, K), serán medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsch, 1995).

3.6.3. Parámetros Biológicos

Para determinar la **respiración basal** se usarán muestras de suelo tamizadas por una malla de 2 mm y luego se le será extraídas cuidadosamente las raicillas. Posteriormente se humedecerán entre el 40 - 60% de humedad a capacidad de (Alef & Nannipieri, 1995), las cuales se dejan incubar por un período de 24 horas antes de iniciar la prueba lograr su estabilización. Luego de transcurrido este tiempo, se pesa el equivalente a 50 g de peso seco y se coloca en un envase plástico de 100 g de capacidad y se coloca dentro de un envase de plástico más grande que servirá de cámara estática (0,5 a 1 L). Dentro del envase se suspende un vial que contiene 20 ml de NaOH 0,5 M, se tapa herméticamente y se deja incubando a 25°C por 24 horas. Paralelamente se preparan los blancos que serían los mismos frascos con las trampas de álcali pero sin suelo. Una vez terminada la incubación se detiene la reacción con 2 ml de BaCl_2 0,5 M a objeto de precipitar el CO_2 absorbido por el álcali y posteriormente se titula el NaOH que no reaccionó con HCl 0,5 M, para lo cual se añaden de 2 a 4 gotas del indicador fenolftaleína.

Para evaluar la **respiración edáfica** que incluye la respiración de raíces, microorganismos y de la fauna del suelo se usará la método de cámara estáticas que consiste en el uso de envases plásticos (PET) que se colocan enterrados a 1 cm de profundidad y dentro del cual se coloca en un envase de vidrio con 30 ml de una

solución de NaOH 1 M que atrapa el CO₂ producido por la actividad biológica. La prueba se llevara a cabo por un período de 24 horas tiempo en el cual se le agrega de 3 a 4 ml de cloruro de Bario (BaCl₂) para detener la reacción y posteriormente se titula con HCl 1 N.

Contaje del Número de Lombrices: El número de lombrices se cuantificara en los primero 10 cm de profundidad en una cuadrata de 0.5 m x 0,5 m para un área de 0.25 m².

3.6.4. Muestreo de Biomasa

Las muestras de biomasa serán tomadas usando una cuadrata de 0.5 m x 0,5 m para un área de 0.25 m². Se recolectaran muestra en cinco puntos de la transecta en cada uso de la tierra seleccionado, midiendo el peso fresco tanto del material verde como la hojarasca. En naranjilla y bosque maduro se tomaran muestras solo de hojarasca. Posteriormente, las muestras se colocarán en estufa por un periodo aproximado de 24 horas a 70 °C para la determinación del peso seco. Finalmente, se molerán para realizar las determinaciones del contenido de macro y micronutrientes.

3.7 Sustentación estadística

En relación al procesamiento de la información los datos serán analizados como un diseño completamente al azar, considerando cada una de los puntos de muestreo en las subparcelas como una repetición dentro de cada uso de la tierra. En el análisis estadístico de los datos se iniciará con la verificación de normalidad de los datos mediante la prueba de Will-Shapiro. Posteriormente se establecerán las diferencias significativas usando los análisis de varianza considerando el factor profundidad y uso del suelo. Luego de realizado este paso se establecerán los grupos usando la prueba de Tukey (P<0.05) para comparar las diferencias entre los tratamientos. El grado de asociación entre los diferentes parámetros evaluados se realizará mediante la prueba de correlación de Spearman (r_s) (P<0.05). Todos los análisis serán realizados con el programa SPSS, versión 21.0 (IBM SPSS, 2013)

CAPITULO IV

RESULTADO I

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. Propiedades físicas, químicas y biológicas bajo distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

4.2. Propiedades físicas

Las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo constituyen o representan indicadores para evaluar los cambios que se generan cuando existen cambios de uso del suelo, dichas propiedades están muy relacionadas con la estructura del suelo que a su vez se relaciona con algunos procesos como la compactación, aireación, movimiento de agua y la penetración de raíces en el suelo (Pla, 2010). Los resultados de las propiedades físicas del suelo bajo distintos usos de la tierra y las profundidades consideradas se muestran en la Tabla 4, cuya discusión se realiza en el siguiente orden:

4.2.1. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente del suelo (Da), solo presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para el horizonte superficial (0-10 cm), mostrando el siguiente orden $PMSA > NA > BI > PGCA$. Sin embargo indiferentemente de los usos y la profundidades los valores obtenidos estan por debajo del limite critico de 1.3 Mg m^{-3} señalado para texturas finas (Pla, 2010). La densidad aparente es una variable de gran significado agrícola ya que tiene gran influencia en la penetración de raíces y normalmente es usado como indicador de la compactación del suelo (Bravo *et al.*, 2004). Como se aprecia los valores son muy bajo y en ninguno de los casos se observa problemas de compactación hasta los 30 cm de profundidad. Tales resultados están asociados a la historia de manejo de la zona dedicada principalmente a bosque con una alta diversidad de árboles y amplia arquitectura radical, el cual ha generado una gran cantidad de materia orgánica que mejora las condiciones físicas del suelo (Bravo, 2014). Igualmente, los cambios de uso hacia sistemas de pasturas ofrecen una gran cantidad de raíces que ayudan a mejorar la

estructura y composición del suelo. Como ha sido señalado la materia orgánica impacta positivamente ya que se genera una estructura tipo granular que modifica la porosidad y disminuye la densidad aparente del suelo (Bravo, 2014). En un estudio con manejo de siembra directa y cobertura presento valores de D_a indicando que ningún valor estuvo por encima del límite crítico 1,60 (franco arenosa) y aumentando a medida de su profundidad. Y mostro valores más altos en la capa superficial 5cm por acción del pastoreo y baja disponibilidad de biomasa (Lozano *et al.*, 2010). El estudio mencionado fue similar al análisis de la D_a en la reserva de biosfera Sumaco.

Tabla 4. Valores promedios de parámetros físicos del suelo bajo diferentes usos de la suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

Profundidad	Uso de la tierra	D_a $Mg\ m^{-3}$	K_{sat} $cm\ h^{-1}$	PT (%)	$P_a > 15\ \mu m$ (%)	$P_r < 15\ \mu$ (%)
0-10cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	0,31c	32,82a	90,93a	12,79ab	78,13a
	Pasto miel sin arboles (PMSA)	0,43a	1,57a	71,92b	17,19a	54,73c
	Naranjilla (NA)	0,38b	1,24a	80,82ab	10,98b	69,84ab
	Bosque intervenido(BI)	0,37b	17,52a	76,43b	17,02a	59,40bc
10-30cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	0,49a	7,85a	85,09a	9,03a	76,06a
	Pasto miel sin arboles (PMSA)	0,49a	0,66a	85,20a	8,03a	77,16a
	Naranjilla(NA)	0,45a	1,26a	82,09a	8,19a	73,90a
	Bosque intervenido (BI)	0,44a	12,77a	85,11a	10,16a	74,95a

Fuente: elaboración propia

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). **D_a** : Densidad aparente del suelo; **K_{sat}** : Conductividad hidráulica saturada; **PT**: Porosidad total; **P_a** : Porosidad de aireación; **P_r** : Porosidad de retención

4.2.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

La conductividad hidráulica saturada (Ksat), no presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en sus dos perfiles (0-10cm y 10-30cm), indicando el siguiente orden PGCA>BI>PMSA>NA en la primera profundidad, mientras que en la segunda nos muestra un orden BI>PGCA>NA>PMSA. Sin embargo, los resultados obtenidos indiferentemente de su uso reflejan altos valores de Ksat, estando por encima de su límite crítico de $0,5 \text{ cm h}^{-1}$ (Pla, 1983). La conductividad hidráulica saturada es un factor muy importante debido a que está asociada a la facilidad de flujo del agua en el perfil del suelo, lo cual se vincula con los valores de porosidad de aireación. Una alta porosidad favorece a mayor penetración y movimiento de agua (Plan, 2010). Como se pudo apreciar los valores obtenidos están sobre el límite crítico y sus valores van disminuyendo con la profundidad. Si bien los valores en la segunda profundidad evaluada se consideran por encima del valor de referencia, la disminución brusca en algunos de los usos puede limitar la velocidad de infiltración en especial en zonas de alta pluviosidad. Por tanto, esos grandes volúmenes de agua se pueden convertir en un factor potencial de escorrentía y erosión en zonas de pendientes o encharcamiento en áreas planas. Tales resultados están asociados a la disminución de la porosidad de aireación y al cambio en el tipo de estructura que pasa de granular en superficie a blocosa débil en la segunda profundidad (Bravo *et al.*, 2015). Algunos estudios han señalado que la cobertura y la cantidad de biomasa mejora los índices estructurales y por consiguiente la conductividad, mientras que en la medida que disminuye los residuos la materia orgánica, la cantidad de raíces se van afectando los bioporos y su contribución al movimiento de agua en el perfil del suelo (Vera *et al.*, 2012).

4.2.3. PT (%)

Porosidad total (PT) del suelo, presento diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la capa superficial (0-10cm), mostrando el siguiente orden PGCA>NA>BI>PMSA. Los valores de PT en ambas profundidades son considerados adecuados muy por encima del valor de referencia de 45% para suelo de clase textural fina (Florentino, 1998). La porosidad total esta constituida por la suma de los valores de porosidad

de aireación y porosidad de retención (macro y microporos), no se han obtenido problemas de flujo y movimiento tanto como de agua, aire y solutos porque se han obtenido valores relativamente altos lo que ayuda a un buen manejo de suelo. En los sistemas de PGCA y PMSA sus valores disminuyen a medida de la profundidad mientras que en los sistemas de NA y BI ocurrió lo contrario aumento a medida de su profundidad, debido fundamentalmente a cambios en la porosidad de retención y contenido de arcilla. Se obtuvo una similitud en dos tratamientos (PGCA Y PMSA), en un estudio de *Urochloa dictyoneura* (UD) y *Centrosema macrocarpum* (CM) que se analizó la porosidad total obteniendo diferencias significativas en la capa superficial (0 a 15 cm) del suelo disminuyendo con relación a la profundidad a 30 cm además sus resultados estaban relacionados a los valores de Da. Por efecto del pastero y de cultivos de cobertura (Vera *et al.*, 2012)

4.2.4. Porosidad de aireación (Pa)

Porosidad de aireación (Pa) solo presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la primera profundidad en el horizonte superficial (0-10 cm), mostrando el siguiente orden PMSA>BI>PGCA>NA. El uso con pasto y bosque representaron el grupo con una mayor porosidad, lo cual está asociado a la alta cantidad de raíces. Para esta profundidad en todos los usos midieron valores por encima del umbral de 10% por debajo del cual se limita (Pla, 2010). En la primera profundidad no presenta problemas de aireación, manteniendo un grado de facilidad para el flujo de agua y aire. Sin embargo, para la segunda profundidad se aprecian valores <10%, afectando la velocidad de infiltración y la de aireación. Esto está asociado a la actividad intensiva de pastoreo por lo que el pisoteo de los animales influye en el potencial de desarrollo de las raíces reduciendo su capacidad de penetración, y disminuyendo la capacidad exploratoria en el suelo (Da Silva *et al.*, 2003). En un estudio realizado con tres tipos de sistemas como: *macrocarpum*, *sabana natural*, *dictyoneura* antes y después del pastoreo. Indican cierta similitud en algunos aspectos ya que sus valores disminuyen con la profundidad y en el sistema con pasto (*dictyoneura*), muestran los valores de macro porosidad asociado al pastoreo. Concluyen que tales resultados pueden estar asociados a su sistema radicular fibroso

dando paso la muerte de raíces pequeñas y al aumento de bioporos, y por consiguiente disminuyendo la Da (Bravo *et al.*, 2009).

4.2.5. Porosidad de retención (Pr)

La porosidad de retención (Pr) del suelo, presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para el horizonte superficial (0-10 cm), mostrando el siguiente orden PGCA>NA>BI>PMSA. Indiferentemente de la profundidad y su uso el límite crítico para porosidad de aireación no debe ser menor del 25% (Pla, 1983). Este parámetro es importante en el aspecto agrícola y no presenta problemas de retención de agua. En general, se observó un incremento de la porosidad, lo cual está relacionado con un incremento en el contenido de arcilla y una menor perturbación de este horizonte. De la distribución de tamaño de poros la porosidad de retención representa la mayor proporción, lo cual en términos prácticos denota suelos con alta capacidad de retención de humedad, importante en una zona de alta pluviosidad como en la Amazonia. En la alta retención junto a la adecuada macroporosidad permite el flujo y la retención minimizando el volumen de agua que potencialmente puede generar problema de erosión (Bravo, 2014).

De las evaluaciones físicas, se puede señalar que los resultados muestran una adecuada condición y por los antecedentes de manejo (bosque). El cambio de uso de la tierra no produce un efecto muy marcado en los índices estructurales, lo cual significa que no existen problemas de compactación. Desde el punto de vista físico la degradación de las pasturas, el cambio de pasto gramalote a pastos de ciclo corto o cultivos, dejan el suelo desnudo y hace que la erosión hídrica sea el proceso de mayor impacto ambiental (Bravo, 2015)

Tabla 5. Valores promedios de parámetros químicos del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco Provincia de Napo.

Profundidad	Usos de suelo	pH meq/100ml	Al+H meq/100ml	Al meq/100ml	NT %	CO %	RC/N	P Mg kg ⁻¹	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml
0-10cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	5.46 ^a	1,32b	1,24a	0,98a	8,76a	9,13ab	7,89a	0,28b	3,92a	0,90a
	Pasto miel sin árboles (PMSA)	5.33ab	1,36b	0,96a	0,77a	9,18a	12,28a	12,01a	0,54a	3,77a	0,93a
	Naranjilla(NA)	5.16bc	1,23b	1,54a	1,06a	10,32a	9,82ab	5,14a	0,36ab	4,03a	0,89a
	Bosque Intervenido(BI)	4.94c	2,43a	0,93a	1,03a	8,98a	8,68b	8,26a	0,26b	4,07a	0,83a
10-30cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	5,79 ^a	0,69a	-	0,36b	3,20b	9,28a	1,28b	0,07a	1,12b	0,39b
	Pasto miel sin árboles (PMSA)	5,32b	0,92a	-	0,41ab	4,90a	12,25	6,26a	0,12a	2,72a	0,56a
	Naranjilla(NA)	5,33b	0,65a	-	0,55a	5,00a	9,18	1,31b	0,09a	1,41b	0,45ab
	Bosque Intervenido (BI)	5,37ab	0,67a	-	0,48ab	3,88ab	7,96	1,64b	0,05a	1,66ab	0,40b

Fuente: elaboración propia

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). pH: Potencial de hidrogeno; Al+H: Acidez Intercambiable; Al: Aluminio Intercambiable; NT: Nitrógeno total; CO: Carbono Orgánico; R C/N: Relación Carbono/Nitrógeno; P: fosforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

4.3. Propiedades Químicas

4.3.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

El potencial de hidrogeno (pH), presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para el horizonte superficial (0-10cm), mostrando el siguiente orden PGCA>PMSA>NA>BI. De igual manera presento diferencias significativa ($p \geq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30cm) mostrando un orden de PMSA>NA>BM>PGCA, como se puede observar sus valores disminuyen según su profundidad. Como se puede apreciar el pH en el horizonte superficial varia de fuertemente acido (bosque) a ligeramente acido en el resto de los usos, mientras que en la segunda capa todos mostraron un comportamiento ligeramente acido. Las fuentes que generan dicha acidez estan representada por la presencia de Aluminio e hidrogeno (tabla 5), lo cual representa una limitacion para la produccion de

cultivos (pasto) ya que minimiza la absorcion de nutrientes (Bravo *et al.*, 2008). El pH óptimo para el crecimiento de las plantas va desde el 6-7 pero en cultivos de origen tropical crecen muy bien con un pH de 5,5-6, mientras que en suelos con pH menores 5,5 (muy ácidos) crecen de manera muy favorable arbustos y algunos arándanos (Casanova, 2005). Para suelos ácidos nos muestra que sus bases de calcio, magnesio, potasio son pobres. En otros estudios de siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) se observan valores de pH de ácidos en la capa superficial. Esto se puede dar por la mayor nitrificación del amonio proveniente de los distintos fertilizantes y la mineralización de los residuos en la capa superficial del suelo (Bravo *et al.*, 2008). Se aplicó encalado lo cual dio un ligero incremento en el pH alterando por cierto tiempo los valores pasando de moderadamente ácido a ligeramente ácido (Bravo *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos son similares al estudio mencionado

4.3.2. Aluminio (AL+H) y Aluminio intercambiable (Al)

Acidez intercambiable, presentó diferencias significativa ($p \geq 0.05$) para el horizonte superficial (0-10cm), mostrando el siguiente orden BI>PMSA>PGCA>NA, y cuyos valores disminuyen con su profundidad (30cm). Según su rango de interpretación todos los sistemas indican valores adecuados con excepción del BI en la capa superficial mostrando un valor de 2,43 (alto). Aluminio intercambiable, no presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$), mostrando el siguiente orden NA>PGCA>PMSA>BI. Según su rango de interpretación indico valores entre adecuados y altos. El aluminio intercambiable representa un elemento toxico para las plantas, que dificulta su normal crecimiento y limita la productividad del suelo (Casanova, 2005). El mayor valor de acidez intercambiable en el horizonte superficial puede estar relacionado con la descomposición de residuos y de ácidos proveniente de los altos contenidos de materia orgánica presente en el suelo (Lozano *et al.*, 2009; Bravo *et al.*, 2008).

4.3.3. Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno total (NT) es un elemento muy importante en el ámbito ambiental ya que actúa en la composición de las proteínas y clorofila de las plantas, solo presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30cm), mostrando el siguiente orden NA>BI>PMSA>PGCA. Sin embargo indiferentemente de las profundidades y usos del suelo, según el rango de interpretación para el nitrógeno nos indica que existen valores adecuados y altos. El contenido de Nitrógeno fue alto y adecuado pero disminuyó con la profundidad del suelo a los 30cm presento valores categorizados como medios en todos los usos (PGCA, PMSA) como se pudo observar dentro de los resultados obtenidos y su concentración es variable en el humus. El nitrógeno proviene de la descomposición de la materia orgánica por los macro y microorganismos y uno de los factores que influyen en el porcentaje de nitrógeno es el clima (Rincón *et al.*, 2012). Resultados similares han sido reportados por Castro *et al.*, 2010, quienes trabajaron con sistemas agroforestales, tala, quema y bosque secundario consiguieron mayores valores y adecuados en el sistema agroforestal con respecto al uso con tala y quema. Destacan que tales resultados obedecen a que los SAFs se dan por procesos biológicos, el aporte de cobertura y descomposición continúa de restos de residuos (maleza, arbustos, cultivos, biomasa de árboles) que mejoran la fertilidad, en especial el aporte de nitrógeno.

4.3.4. Carbono Orgánico (CO)

Carbono Organico (Co), solo presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30cm), mostrando el siguiente orden NA>PMSA>BI>PGCA. Indiferentemente de las profundidades y el uso del suelo según el rango de interpretación muestran valores altos en las dos profundidades con mayor valor en superficie. Debido al uso potencial de la zona como antecedente de manejo se caracterizan por una alta presencia de residuos en especial las zonas usadas para la siembra de naranjilla. El carbono organico al presentar valores óptimos permiten que mejoren muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas favoreciendo al crecimiento de las plantas y la actividad biológica hasta los 30cm profundidad. Los altos valores y la conservación de la materia

orgánica es deseable en los agroecosistemas tanto como en la producción de cultivos y la reducción de CO₂ al medio ambiente, su acumulación depende básicamente al restos de vegetales y animales (Núñez et al., 2011). En un estudio realizado con tratamientos *Brachiaria dictyoneura*(BDY), *Brachiaria decumbens* (BDE) con pasto que se utiliza para la siembra directa del maíz, estos dos tratamientos muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$), los mayores valores se presentaron en el tratamiento BDE con cobertura en la capa superficial mientras que en la segunda profundidad 15-30cm no mostraron diferencias significativas, la razón de mayores valores en el tratamiento BDE es debido a la introducción de cobertura lo cual aporta mayor cantidad de residuos en la capa superficial, y aumenta la descomposición de los mismos. Esto muestra cierta similitud con los sistemas de NA y BI por su mayor cantidad de residuos (Lozano et al., 2009)

4.3.5. Relación Carbono/Nitrógeno

Relación carbono nitrógeno (R C/N), solo presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30 cm), mostrando el siguiente orden PMSA>PGCA>NA>BI. El carbono y nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición para cualquier organismo, esta relación indica que una fracción del carbono orgánico es biodegradable frente a la biodegradación total del nitrógeno, En los datos obtenidos varía la relación C/N según el estado de composición y la profundidad del suelo (Martínez et al., 2008). Sin embargo, dado que la relación C:N está cercana y por debajo de valores de 10, sugiere que indiferentemente del uso en esta zona existe una adecuada liberación de nitrógeno al medio, tanto para suplir las necesidades de las plantas como para los microorganismos del suelo.

4.3.6. Fósforo (P)

Fosforo (P), presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30 cm), mostrando el siguiente orden PMSA>BI>NA>PGCA, indiferentemente del tratamiento y profundidad del suelo presento valores bajo según el rango el interpretación de fosforo para el suelo, mientras que en el horizonte superficial se obtuvo un valor medio en el uso de PMSA. El fosforo es un

elemento de vital importancia para el crecimiento óptimo de las plantas, valores adecuados de fósforo ayuda o favorece al desarrollo de las raíces, estimula el crecimiento de las plantas (Casanova, 2005). A diferencia del carbono y el nitrógeno, cuyas principales reservas están en la atmósfera el principal reservorio de P está en el suelo (Casanova, 2005). Por tanto, la principal fuente de fósforo es la meteorización del material parental (Gliessman, 2007). Al observar los bajos valores de fósforo en todo el perfil y para todos los usos evaluados se podría inferir que los materiales parentales donde proceden estos suelos son bajos en este elemento. Por otra parte el fósforo aportado por la descomposición de los residuos y la materia orgánica es usado por los cultivos y no permiten que se acumulen grandes cantidades en el suelo. Algunos autores han señalado que el uso de sistemas conservacionistas y la aplicación de residuos superficiales producen un incremento del P, atribuido a la naturaleza poco móvil del adecuado y la descomposición de residuos (Selles et al; Bravo et al 2006; Bravo et al 2008). Al respecto, en un estudio con tratamientos de siembra directa (SD) y labranza convencional (LC), mostrando valores más altos en la capa superficial (0-10cm) lo cual está relacionado por la baja movilidad de ion fosfato, a la aplicación superficial de fertilizantes fosforado no obstante, los valores disminuyen con la profundidad (Bravo *et al.*, 2008).

4.3.7. Potasio (K⁺)

El potasio es uno de los tres macronutrientes requeridos para el crecimiento óptimo de las plantas necesitado o siendo requerido en cantidades altas. Dicho elemento, presentó diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para el horizonte superficial (0-10 cm), mostrando el siguiente orden PMSA>NA>PGCA>BI. Siendo el tratamiento con PMSA con el valor más alto lo que se explica por este tipo de pasto que tiene la capacidad de extraer y liberar gradualmente dicho elemento. Se observa claramente los valores más altos en la capa superficial (0-10cm), Sin embargo a partir de los 10cm de profundidad disminuye drásticamente a valores considerados muy bajos los valores en la capa superficial pueden estar relacionados con la descomposición de la materia orgánica. Se encontró consideraciones similares en un estudio realizado en sistemas *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria*

brizantha que analizo el contenido de potasio (K^+) en épocas de lluvia y secas obteniendo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) mostrando valores mas altos en epoca seca. Se encontro valores altos y se establecio que la presencia de arboles en los potreros aumenta la cantidad de materia organica mejorando el microclima, lo cual favorece la actividad biologica de macro y microorganismos en el suelo, lo cual ayuda a la mineralizacion, movilidad y disponibilidad hacia los arboles de algunos elementos como: potasio (K), nitrogeno (N) y fosforo (P) (Razz *et al.*, 2006).

4.3.8. Calcio (Ca^{+2})

Calcio (Ca), presentò diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30 cm), mostrando el siguiente orden $PMSA > BI > NA > PGCA$. El calcio en el horizonte superficial mostro rangos considerados como medios, con mayores valores en BI y NA, mientras que para la segunda profundidad los valores disminuyen y fueron categorizados como bajos en la mayoria de los usos (Bersth, 1995). El calcio tiene una relación directa con el pH del suelo y como se reflejan estos suelos muestran pH no óptimos para el crecimiento de plantas. Igualmente la alta presencia de cationes ácidos en la función de intercambio como el aluminio y el hidrogeno hacen que las bases cambiables como el Ca sean desplazadas y lavados disminuyendo su disponibilidad. Los tratamientos con valores más altos son BI y NA se puede observar la descomposición de los residuos vegetales que producen en mayor cantidad en comparación con los otros tratamientos.

4.3.9. Magnesio (Mg^{+2})

El magnesio es un componente importante y desempeña un papel fundamental en la fotosíntesis siendo el encargado o el elemento basico en la clorofila la que da el color verde a las plantas. su disponibilidad y absorcion esta afectado por varios factores: el pH, temperatura y la disponiblidad de otras bases (potasio, calcio y aluminio). El contenido de magnesio mostro un comportamiento similar al Ca^{+2} , evidenciando diferencias signifcativa ($p \leq 0.05$) para la segunda profundidad (10-30 cm), con orden $PMSA > PGCA > NA > BI$. Los contenidos de Mg en el horizonte

superficial se categorizan como moderado, mientras que en la segunda capa presentaron valores clasificados como bajos (Berth, 1995). Al igual que Ca^{+2} , el Mg^{+2} esta sujeto a perdidas por lavados debido a la presencia de Al^{+3} en la fraccion de intercambio que hacen que disminuya la disponibilidad. En condiciones Amazonicas la magnitud de lixiviacion de estas bases cambiables esta muy marcada por las características climáticas predominantes de alta precipitación (Custode & Sourdo, 1983)

4.4. Propiedades biológicas.

El componente biológico del suelo constituye un buen integrador de los factores que afectan la calidad del suelo y sus indicadores dan respuesta rápida para medir el impacto de los cambios de uso de la tierra (García & Rivero, 2008). Indican que la evaluación de CO_2 es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual presenta una medición integral a través de respiración del suelo. La respiración edáfica incluye la respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono representando la actividad microbiana. No obstante la respiración basal solo incluye la respiración de los microorganismos.

Tabla 6. Valores promedios de parámetros biológicos del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

Profundidad	Usos de la tierra	Respiración basal $\text{mgCO}_2\text{kg}^{-1}$	Respiración edáfica $\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$	No_Lombrices/ m^2
0-10 cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	105,02b	272,42a	24,60a
	Pasto miel sin arboles (PMSA)	177,86ab	76,16b	5,55a
	Naranjilla(NA)	124,12b	276,31a	30,95a
	Bosque Intervenido(BI)	286,44a	306,33a	12,69a
10-30cm	Pasto gramalote con árboles (PGCA)	81,15b	-	-
	Pasto miel sin arboles (PMSA)	153,28ab	-	-
	Naranjilla(NA)	71,61b	-	-
	Bosque Intervenido(BI)	214,83a	-	-

Fuente: elaboración propia

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). RB:Respiracion Basel ; mg CO_2 : Respiración Edáfica; No_Lombrices: número de lombrices

Dentro de los valores del análisis de respiración basal se encontró diferencias estadísticamente significativas en la capa superficial (0-10cm) mostrando el siguiente orden BI>PMSA>NA>PGCA. Mientras, que para la capa subsuperficial la tendencia fue BI>PMSA>PGCA>NA en ambos horizontes el BI presento los valores más altos. Se analizó de igual manera la respiración edáfica ($\text{mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$) con el siguiente orden BI>NA>PGCA>PMSA. Mientras que el orden para el numero de lombrices fue el siguiente NA>PGCA>BI>PMSA. Lo indica que la respiración del suelo es altamente variable por la humedad y la temperatura donde se encuentre situado el muestreo. Además el color del suelo puede ayudar a interpretar el índice de respiración. Un suelo con color claro con elevado índice de respiración puede ser indicativo que está perdiendo su materia orgánica. Mientras que un suelo con un color más oscuro puede considerarse un suelo sano. El color oscuro del suelo es un indicador de materia orgánica, dentro de los sistemas de labranza y cultivación puede ocasionar perdida de carbono del suelo y el aumento del CO_2 liberado, el suelo es aflojado lo cual da una mejor accesibilidad para el oxígeno que es necesario para la respiración y la descomposición de la materia orgánica produciendo liberación de CO_2 (Reicosky y Lindstrom, 1995).

El bosque intervenido (BI) presenta los valores biológicos más altos (respiración basal, edáfica) y un bajo número de lombrices esto puede darse por la actividad biológica de macro y microorganismos que se encuentran en un bosque. Los elevados valores de la respiración es un indicador de la actividad biológica, indicando una rápida descomposición de residuos orgánicos hacia nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas de igual manera un índice de respiración elevada es atribuida a las raíces vivas de las plantas. Y refleja directamente la degradación de la materia orgánica en el suelo, indicando dos procesos: la pérdida de carbono del suelo y la entrega de nutrientes (Parkin *et al.*, 1996).

Podemos decir que la evaluación del número de lombrices no es el más adecuado para determinar biológicamente cada uno de los sistemas antes mencionados y es importante tomar en cuenta la macro fauna como nematodos o insectos etc., del entorno que brindan una mayor riqueza como es el caso del bosque (Agüero *et al.*, 2002).

RESULTADO II

4.5. Potencial de almacenamiento de carbono bajo distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

4.6. Interpretación de carbono almacenado en diferentes usos de suelo.

La cantidad de carbono almacenado en diferentes componentes y usos de la tierra se muestra en la Tabla 7. Se puede apreciar que en algunas fracciones asociadas al secuestro de carbono mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Para el C vinculado a la biomasa aérea total el bosque intervenido (**BI**, 312 Mg C ha⁻¹) fue muy superior al PGCA, lo cual se deben fundamentalmente a la relación directa entre la biomasa, la abundancia de especies y su dominancia, siendo mayor en el uso con bosque con respecto al sistema de manejo con pasto.

El término de “secuestro de C” que implica la toma del CO₂ atmosférico por las plantas y el almacenamiento del C fijado como materia orgánica (MO) del suelo, no presentó diferencias significativas. Resultados similares para la zona han sido reportados por otros investigadores (Jadan *et al.*, 2012), debido a que comparten un área o zona de vida (bosque muy húmedo tropical) por lo que no indican factores ambientales como la altitud (con un rango de 350 a 600 msnm), precipitación y temperatura; estos dos indican directamente en la descomposición de la hojarasca que aporta C al suelo (Jadan *et al.*, 2012). En dicho componente el uso con naranjilla, pasto miel y bosque mostraron los mayores valores de almacenamiento (33 a 42 Mg C ha⁻¹) con respecto a los sistemas de manejo con pasto gramalote.

Tabla 7. Carbono almacenado bajo diferentes usos de la tierra en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

Uso de la Tierra	C Biomasa aérea Mg ha ⁻¹ (A)	CO ₂ Mg ha ⁻¹ de la Biomasa aérea	Carbono orgánico del suelo (COS) Mg ha ⁻¹ (B)	C asociado a la Materia seca y/o hojarasca Mg ha ⁻¹ (C)	Carbono Total (CAT) Mg C ha ⁻¹ (A+B+C)
Pasto Gramalote con árboles(PGCA)	11,74 ± 5,74 b	43,08 ± 21,05 c	28,72 ±2,56 a	3,93 ± 1,08 a	44,39 ±6,35 b
Pasto miel sin árboles (PMSA)	-	-	34,06 ±5,56 a	1,44 ± 0,90 b	35,50 ±6,35 b
Naranjilla monocultivo	-	-	42,66 ± 9,97 a	2,34 ± 1,20 b	45,00 ± 8,69 b
Bosque Intervenido (BI)	312,19 ± 217, a	1145,75 ±799,57 a	33,81 ±2,80 a	4,58 ± 1,75 a	350,58 ±217,58 a

Fuente: elaboración propia

Letras distintas en la misma columna denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$.

El carbono asociado a la vegetación no arbórea (hojarasca y materia seca) representó el menor aporte, resultando en dos grupos, el primero BI y PGCA, mientras que en el segundo estuvo representado por los cultivos sin árboles (PMSA, NA). A pesar de ello, esto tiene una gran influencia sobre el carbono almacenado en el suelo ya que una mayor cantidad de biomasa genera una mayor cantidad de residuos que progresivamente van incorporando carbono al suelo.

El descenso del contenido de C es acentuado por la degradación de los suelos y exacerbado por el mal uso de la tierra y los sistemas de manejo inadecuado (Taboada et al., 2011). Por tanto, la selección de usos adecuados como la agroforestería en la región amazónica junto con buenas prácticas de manejo puede ayudar a reducir la tasa de enriquecimiento de CO₂ atmosférico y tener impactos

positivos en la seguridad alimentaria y su potencial para prestar servicios ecosistémicos (Lal, 2004, Bravo, 2014).

En relación al carbono total almacenado (CAT) la mayor contribución para el secuestro es aportada por la biomasa aérea total seguido por el carbono del suelo y la biomasa no arbórea sobre todo en aquellos usos con bosque y sistemas agroforestales. Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos en la zona por varios autores (Torres et al., 2014; Jada et al., 2012), quienes indican que los sistemas agroforestales que integran la producción de árboles con cultivos tienen un mayor potencial para secuestrar C que en sistemas agrícolas manejados bajo un esquema de monocultivo. También, la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos se traduce en una mayor área neta y por tanto en una mayor captura de carbono en el suelo (Nair et al., 2009). Los resultados del potencial de carbono almacenado por los sistemas agroforestales, está dentro de los rangos señalados para este tipo de sistema (12 a 228 Mg ha⁻¹, Dixon, 1995) y para los distintos componentes de carbono como la biomasa aérea (70 Mg ha⁻¹) y el suelo (25 Mg ha⁻¹) (Mutuo et al., 2005).

RESULTADO III

4.7. Relaciones entre la materia orgánica y los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y la biomasa bajo los distintos usos del suelo en la reserva de biosfera Sumaco provincia de Napo.

La materia orgánica es la suma de todo material orgánico de origen vegetal y animal que se encuentra en la superficie del suelo que se descompone por acción de los microorganismos para ser aprovechado para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se establecieron relaciones significativas entre la materia orgánica y las propiedades físicas, químicas, biológicas y biomasa ayudando a la estructura, al flujo y la retención de agua y aire en el suelo. Un aspecto importante de la materia orgánica es su influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. En la siguiente (tabla 7) se encuentran las correlaciones entre los parámetros mencionados apreciando valores significativos

Tabla 8. Correlaciones de la materia orgánica con propiedades y biomasa.

Correlaciones																				
	Da	Ksaticmh1	PTotal	Pa>15μ	Pr<15μ	pH	Al+H	Al	NT	CO	RCN	P	K	Ca	Mg	Respiración basal	Respiración edáfica	No_Lombrices m2	Verde	Hojarasca
DaMgm3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ksaticmh1	-0,39*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PTotal	-0,28	0,23	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pa>15μ	-0,31*	0,23	-0,50**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pr<15μ	-0,07	0,07	0,93**	-0,77**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	0,26	0,01	0,43**	-0,37*	0,46**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al+H	-0,40**	0,10	-0,37*	0,58**	-0,51**	-0,59**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	-0,15	-0,11	0,15	0,21	0,06	-0,01	,076	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NT	-0,65**	0,44**	-0,18	0,51**	-0,34*	-0,46**	0,56**	0,18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	-0,56**	0,22	-0,33*	0,56**	-0,47**	-0,44**	0,57**	-0,02	0,86**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RCN	0,24	-0,26	-0,18	-0,01	-0,13	0,12	0,01	-0,20	-0,29	0,16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-0,27	0,08	-0,43**	0,49**	-0,52**	-0,29	0,49**	-0,52*	0,49**	0,61**	0,15	1	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-0,32*	0,03	-0,42**	0,61**	-0,56**	-0,19	0,33*	-0,23	0,59**	0,80**	0,27	0,77**	1	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-0,36*	0,34*	-0,22	0,56**	-0,39*	-0,23	0,21	-0,15	0,62**	0,69**	0,12	0,43**	0,61**	1	-	-	-	-	-	-
Mg	-0,48**	0,33*	-0,28	0,60**	-0,45**	-0,25	0,37*	-0,28	0,77**	0,85**	0,11	0,70**	0,84**	0,87**	1	-	-	-	-	-
Respiración basal	-0,01	0,22	-0,32*	0,38*	-0,39*	-0,40*	0,34*	-0,07	0,22	0,12	-0,19	0,29	0,12	0,09	0,11	1	-	-	-	-
Respiración edáfica	-0,58**	0,28	0,30	-0,12	0,28	-0,40	0,26	0,20	0,32	0,09	-0,33	-0,25	-0,52*	0,24	0,02	-0,01	1	-	-	-
No_Lombricesm2	-0,38	0,16	0,34	-0,36	0,39	0,16	-0,24	0,42	0,21	0,16	-0,13	-0,33	-0,24	-0,04	-0,04	-0,27	0,38	1	-	-
Verde	-0,38	0,28	0,43	0,06	0,32	0,61**	-0,13	0,13	-0,18	-0,13	0,08	0,18	-0,02	-0,04	0,09	-0,30	0,00	0,06	1	
Hojarasca	-0,27	0,45*	0,09	0,16	0,01	-0,30	0,30	-0,11	0,27	-0,12	-0,38	-0,16	-0,41	0,33	0,07	0,52*	0,45*	-0,15	-,026	1

Fuente: Elaboración propia

Al momento de interpretar las correlaciones tenemos que apreciar el signo menos (-) significa el aumento de un parámetro y la disminución del otro, mientras que el signo más (+) significa el aumento de los dos parámetros. Se ha observado correlaciones más significativas entre:

4.7.1. Densidad aparente y Materia orgánica

La Da mostro una correlación negativa con la materia orgánica de -0.56, lo que nos indica que a medida que aumenta la materia orgánica disminuye la Da y viceversa. Lo cual influye en los sistemas agrícolas y tiene una gran importancia en la penetración de las raíces al suelo y la compactación del suelo (Bravo *et al.*, 2004).

4.7.2. Materia orgánica y Porosidad Total

La materia orgánica presento una correlación negativa con la Porosidad Total con un valor de -0.33. Lo cual nos indica que a medida que aumenta la materia orgánica puede disminuir el porcentaje de porosidad total, dicho parámetro indica la facilidad de flujo de agua y aire en el perfil del suelo debiendo obtener un porcentaje mayor a 45% para no presentar problemas (Florentino, 1998).mientras que para la porosidad de aireación presento una correlación positiva con un valor de 0,56, lo que significa a que mayor contenido de materia orgánica mayor velocidad de infiltración de las raíces lo cual ayuda al crecimiento de las plantas y un mayor flujo de aire y agua. En la porosidad de retención mostro una correlación negativa con un valor de -0.47. Lo cual significa a mayor contenido de materia orgánica menor capacidad de retención de humedad en el suelo (Nuñez *et al.*, 2011).

4.7.3. Materia orgánica y pH

La materia orgánica presento una correlación negativa con el pH mostrando un valor de -0.44. Que significa que un mayor contenido de materia orgánica proporciona una disminución en los niveles de pH en el suelo. Como ha sido señalado la materia orgánica es una de las fuentes principales para la fertilidad del suelo y su favorable estructura provocando un pH acido en suelo (Bravo *et al.*, 2008).

4.7.4. Materia orgánica y Aluminio

La materia orgánica presento una correlación positiva con el aluminio con valor de 0,57. Lo cual significa que a mayor contenido de materia orgánica mayor contenido de aluminio presentado un elemento toxico para las plantas, dificultando su crecimiento y limitando la productividad de los suelos (Casanova, 2005).

correlacion

4.7.5. Materia orgánica y Nitrógeno

La materia orgánica mostro un alto grado de asociación positiva con el nitrógeno total del suelo de 0.86, que significa que un mayor contenido de MO proporciona un aumento de los niveles de nitrógeno en el suelo. Como ha sido señalada la MO representa una de las principales fuente de nitrógeno y el mismo constituye un elemento esencial para las plantas y los microorganismos en el suelo. Generalmente más del 95% del nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica (Casanova, 2005).

4.7.6. Materia orgánica y Fósforo

La materia orgánica mostro una correlación positiva con el fosforo con valor de 0.61, que significa que a un mayor contenido de materia orgánica aumenta los niveles de fosforo en el suelo. Ya que el suelo requiere de cantidades altas de fosforo para el fortalecimiento de las raíces para el óptimo crecimiento de las plantas (Casanova, 2005).

4.7.7. Materia orgánica y Potasio, Calcio, Magnesio

La materia orgánica presento una correlación positiva con las tres bases cambiabiles Potasio (K^+), Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) con un valor de 0,80 , 0,69 y 0,85 respectivamente lo cual nos indica que a mayor contenido de materia orgánica mayor contenido en las tres bases intercambiabiles. Ya que son los tres macronutrientes requeridos para el crecimiento óptimo de las plantas y cumplen un papel fundamental en la fotosíntesis siendo el Mg^{+2} uno de los componentes básico de la clorofila (Bravo *et al.*, 2008).

4.7.8. Nitrógeno y Magnesio

Nitrógeno (NT) y Magnesio (Mg) con una correlación positiva con un valor de 0.77. Su valor es alto y positivo esto se da por que los dos elemento mencionados son de vital importancia para crecimiento adecuado de las plantas siendo dos de los componentes que actúan en la fotosíntesis y en la clorofila dándole el color verde. En ambos parámetros uno de los factores que influye es el clima siendo dos de los parámetros que puede limitar la producción de un cultivo (Bravo *et al.*, 2008).

4.7.9. Porosidad de retención y Porosidad total

Porosidad de retención (Pr15 μ) y Porosidad total (PT) con una correlación positiva con un valor 0,93. Nos muestra la correlación con mayor significancia esto puede deberse a los altos valores de porosidad de retención que facilita el contenido de humedad en el suelo y el movimiento de agua, aire y solutos en el perfil del suelo, estos dos parámetros tienen una relación directa, porosidad de retención o macro porosidad es uno de los componentes para determinar la porosidad total en suelo y sus cambios o alteraciones (Bravo *et al.*, 2004).

RESULTADO IV

4.8. Alternativas propuestas para el manejo sustentable del recurso suelo bajo las condiciones del área estudio en la reserva de Biosfera Sumaco, Provincia de Napo.

El suelo es la base para toda actividad productiva y de aprovechamiento para los seres humanos, convirtiéndolo en un recurso expuesto y frágil con procesos de degradación (Bravo, 2011). Dependiendo del tipo de manejo que afectara de manera positiva o negativa a su dinámica y a su productividad. Las alternativas para el manejo sustentable o manejo agroecológico es un sistema natural donde se aprovecha la riqueza de los alrededores del ecosistema como su producción de biomasa y la actividad biológica, obteniendo suelos con mayor fertilidad sin utilizar componentes externos (fertilizantes, químicos, insecticidas etc.). Brindando una

mayor productividad y nutrición para los suelos tanto de producción y pastoreo contrarrestando su deterioro (Bravo *et al.*, 2009). Se mencionan algunas de las alternativas para un manejo sustentable a continuación:

4.8.1. Naranja en sistema taungya

Siembra de árboles maderables y de naranja de manera simultánea, donde la obtención de madera es la principal meta, los ingresos proporcionados por la naranja sería la motivación a corto plazo para los agricultores. Este sistema agroecológico puede ser de gran utilidad para zona por la gran cantidad de fincas dedicadas a la producción de naranja y al implementar este sistema con siembra de árboles dará una gran cantidad de residuos en el suelo, lo cual favorecerá aumentando los índices de materia orgánica y mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas sin la utilización de componentes externos (plaguicidas, fungicidas etc.). En la figura 3 se muestra un ejemplo gráfico.

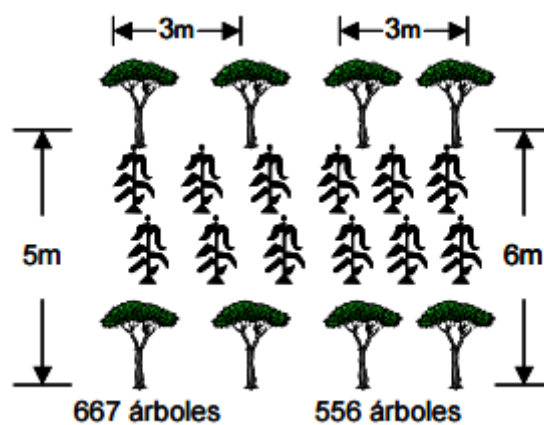


Figura 3. Plantación con sistema taungya.

Fuente: Mohler *et al.*, 2009.

4.8.2. La rotación:

Uno de los métodos para conservar la productividad y manejo del suelo. Su beneficio principal depende del tipo de especies que componen su plan de rotación, por dar un ejemplo podemos decir que las especies leguminosas aportan a la mejora

del contenido de nitrógeno del suelo, las gramíneas aportan un mayor contenido de materia orgánica a través de los restos en el suelo. El plan de rotación tiene como objetivo principal proveer una protección progresiva contra la erosión y degradación. La introducción de distintas especies permitirán el balance general del suelo tanto en nutrición, protección y mejorando el flujo y retención de agua. De esta manera mejorará de manera sustancial el aspecto económico y social de los agricultores encargados (Bravo, 2011). Por ejemplo para el contexto de un sistema de producción de naranjilla en la zona su rotación puede estar basada en alternabilidad por un periodo de tiempo en usos como el café, plátano, yuca, caña de azúcar, para evitar la introducción de productos químicos provocando la erosión y aportando con residuos lo cual aumenta la materia orgánica y mejora la estructura y funcionalidad del suelo. En la figura 4 se muestra un ejemplo.

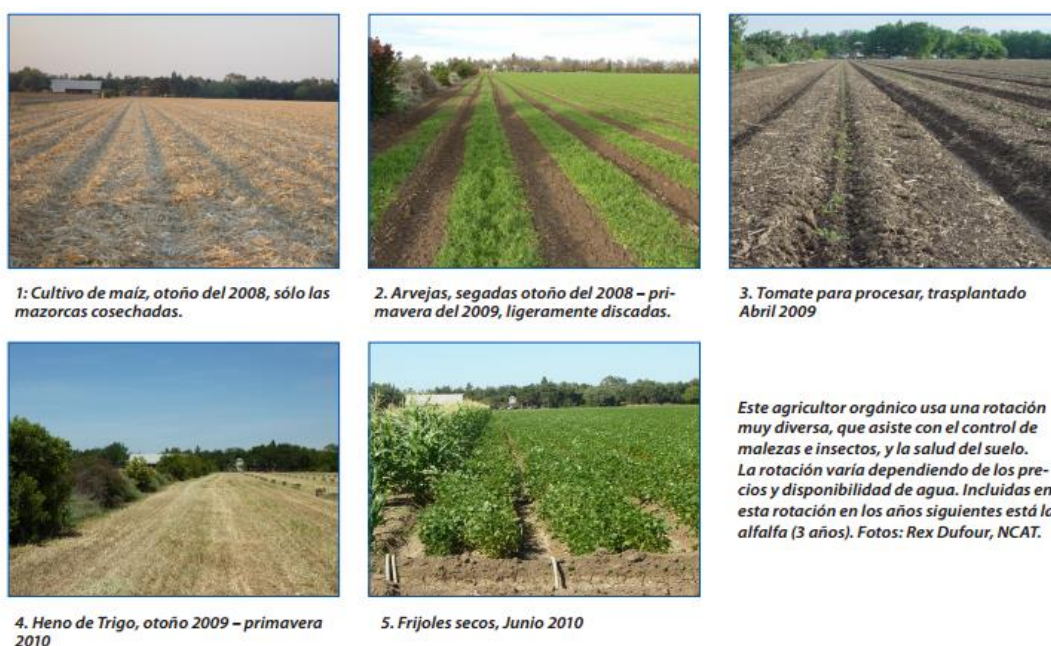


Figura 4. Rotación de diferentes cultivos.

Fuente: Mohler *et al.*, 2009

4.8.3. La asociación de cultivos:

La asociación de cultivos es un método que consiste en sembrar dos o más especies en un mismo terreno simultáneamente, su objetivo es mantener cubierto el suelo para evitar procesos erosivos en el suelo. Para lograr una buena asociación entre

cultivos se debe tomar en cuenta la disponibilidad de nutrientes, el requerimiento de luz, la facilidad del flujo del agua en el perfil y los ingresos económicos que pueda generar. Este método es muy conocido y manejo con éxito por agricultores campesinos (Bravo, 2011). Como ejemplo la asociación de pasto maní forrajero, asociación de pasto con especies arbóreas multiestratos, asociación de naranjilla con árboles de sombra. Lo cual aumentara la presencia de residuos y aumentando la materia orgánica favoreciendo al crecimiento óptimo de las plantas y a mantener el cultivo en buenas condiciones. En la figura 5 se muestra un ejemplo.



Figura 5. Cultivo de morera asociado a *leucaena*.

Fuente: Uribe F *et al.*, 2011

4.8.4. Sistemas agroforestales:

Los sistemas agroforestales son un sistema o conjunto de elementos unidos e interrelacionados que pueden funcionar como una unidad integral de producción (Nieto et al., 2005). En este sistema los árboles, arbustos y plantas son utilizados en un mismo espacio físico. Tenemos otros sistemas como los agrosilvopastoriles, silvopastoriles los cuales pertenecen a la presencia de leñosas perennes lo cual es la asociación entre árboles y arbustos interactuando en el mismo tiempo y espacio físico. Los sistemas agroforestales son uno de los más utilizados que prevalece su interacción entre árbol y cultivo o de árbol, cultivo y arbusto en un mismo espacio (Vélez, 2013). Este sistema ya ha sido implementado siendo objeto de nuestro

trabajo de investigación lo cual nos brinda buenos resultados. En la figura 6 y 7 se muestran ejemplos.



Figura 6. Sistema silvopastoril intensivo, con *leucaena* *Leucaena leucocephala* y pastos mejorados.

Fuente: Uribe F *et al.*, 2011



Figura 7. Sistema silvopastoril intensivo con *leucaena* *Leucaena leucocephala*, pastos mejorados y árboles maderables.

Fuente: Uribe F *et al.*, 2011.

4.8.5. Abonos orgánicos:

Los abonos orgánicos son sustancias que están compuestas por el desecho de origen vegetal o animal o de ambos que se adhieren al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. De igual forma pueden estar constituidos por residuos de cultivos que dejan después de las cosechas, por restos de explotación agropecuaria (estiércol, purín). Estos compuestos o residuos ayudan de manera favorable al suelo tanto en su estructura como en su fertilidad y a su actividad microbiana (Altieri et al., 2007). En la figura 8 se muestra un ejemplo.



Figura 8. Hojarascas con bacterias y hongos en las hojas.

Fuente: Mohler *et al.*, 2009.

4.8.6. Incremento de la cobertura vegetal viva o muerta:

Este sistema trata o consiste en el uso de especies vegetales vivas o muertas como protección del suelo y a medida que va incorporando al suelo descomponerse como materia orgánica lo cual ayudara a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aportando nutrientes a las plantas mejorando su estructura (Bravo, 2011). Este sistema puede implementarse y sería de gran utilidad para el incremento de materia orgánica ayudando a la estructura, fertilidad y crecimiento de las plantas en el sistema en el que se implemente. En la figura 9 se muestra un ejemplo.



Figura 9. *Acacia mangium*, *Tithonia diversifolia* y pasto *Brachiaria humidicola*.

Fuente: Uribe F et al., 2011

En síntesis podemos decir que existen varios métodos o sistemas agroecológicos para los distintos usos de suelo. El objetivo de los sistemas agroecológicos es ayudar a mejorar o mantener la estructura y características edáficas del suelo de una manera natural sin perjudicar al medio ambiente y las personas que aprovechan este recurso. Para poder implementar uno método agroecológico se debe tomar en cuenta el aspecto social, económico, tecnológico y cultural del lugar para poder implantar y sea de ayuda tanto para el productor como para la comunidad o lugar donde se encuentre dando una eficiencia a los sistemas agroecosistemas, protegiendo el recurso suelo y su producción.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- Se logró determinar que se produjeron alteraciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos, indistintamente del uso presentaron valores óptimos y en un rango adecuado mostrando mejor comportamiento el bosque intervenido mientras que el sistema que presenta valores más bajos y con mayor alteración en el pasto miel sin árboles.
- Se identificó dentro de los parámetros biológicos que el BI presento mejor comportamiento, mientras que los sistemas de PGCA y PMSA presentaron valores más bajos indicando alteración negativa en los parámetros biológicos, esto puede suceder por la pérdida de cobertura vegetal, por la pérdida de biomasa, y por la actividad intensiva de pastoreo.
- Se demuestra el potencial de secuestro de Carbono de los sistemas agroforestales, los cuales favorecen otros servicios ecosistémicos asociados a la alta presencia de materia orgánica como la fertilidad y estructura del suelo. La adopción de este tipo de manejo que potencian el secuestro de C se convierte en una estrategia “ganar-ganar” para el contexto amazónico dado que representan los manejos más parecidos al uso potencial de la zona (bosque) y pueden ser usados como medida de mitigación y adaptación al cambio climático.
- En cuanto a la asociación de la materia orgánica con los parámetros físicos, químico y biológicos nos señala que influye con el comportamiento favorable lo cual indica que ayuda a la mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

- Se propuso prácticas agroecológicas para mejorar la calidad y fertilidad de suelo. aprovechando de una mejor manera el ecosistema que los rodea y generando un menor impacto negativo en suelo.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar de manera integral los parámetros físicos, químicos, y biológicos previo a implementar un sistema de producción en la zona para evitar impactos ambientales.
- Crear campañas para propietarios y trabajadores del sector, con información actualizada de manejo y conservación del suelo en la reserva de biosfera Sumaco, Provincia de Napo.
- Realizar un estudio de seguimiento para la zona y sus usos de suelo para evitar daños y degradación del suelo en la reserva de biosfera Sumaco, Provincia de Napo.

7. RESUMEN

Debido a la gran importancia del recurso suelo y la reserva de biosfera Sumaco se ha realizado un estudio sobre los parámetros edáficos por el cambio del uso del suelo, para determinar de qué manera afectara a la zona los distintos uso de suelo analizados (Pasto gramalote con árboles ,Pasto miel sin árboles, Naranjilla, Bosque intervenido). Se comienza por escoger de manera diferencial las fincas donde se realizara el análisis, una vez ya escogidas las fincas con los usos de suelo se empieza con un muestreo donde se establecerán cinco subparcelas de 10 x10 m para un área de 100 m² con dos profundidades de 0-10cm y 10- 30cm. De igual manera se toma muestras de hojarasca y verde en el centro de la subparcelas para analizar el porcentaje de biomasa. Después del muestreo de campo se pasa al análisis de laboratorio donde se analizara dentro de los parámetros físicos la (Densidad aparente, la distribución de tamaño de poros, porosidad de aireación y porosidad de retención), químicas (carbono orgánico total, pH, el nitrógeno total, Fosforo, y las bases cambiables Ca, Mg, K), biológicas (Respiración edáfica, Respiración basal y numero de lombrices). Donde para la interpretación se iniciará con la verificación de normalidad de los datos mediante la prueba de Will-Shapiro, posterior se formaran grupos para diferencias significativas usando la prueba de Tukey ($P<0.05$) para comprar diferencias entre tratamientos. El grado de asociación mediante la prueba de correlación de Spearman (r_s) ($P<0.05$), todos estos análisis serán realizados con el programa SPSS. De esa manera se podrá interpretar con el rango y el límite crítico dependiendo de cada uno de las propiedades analizadas para poder saber si provoco algún cambio o afectación en los parámetros edáficos en el cambio de uso del suelo en la reserva de biosfera Sumaco Provincia de Napo comparando con otros estudios.

8. SUMMARY

Because of the importance of soil resources and the Sumaco Biosphere Reserve has conducted a study on soil parameters for change of land use to determine how they affect the area the different land use analyzed (grass gramalote with trees, grass honey treeless Naranjilla, Forest intervened). You start by choosing differentially farms where the analysis will be held once already selected farms with land uses it begins with sampling where five subplots 10 x10 m is set for an area of 100 m² with two depths 0-10cm and 10- 30cm. Similarly samples of green leaves and is taken at the center of the subplots to analyze the percentage of biomass. After field sampling for laboratory analysis where analyzed within the physical parameters the (Bulk density, the distribution of pore size, porosity aeration and porosity retention) is passed, chemical (total organic carbon, pH, nitrogen total phosphorus, and exchangeable bases Ca, Mg, K), biological (soil respiration, basal respiration and number of worms). Where the interpretation will start with checking normality of the data by testing Will-Shapiro, Rear groups significant differences were formed using the Tukey test ($P < 0.05$) to buy differences between treatments. The degree of association by Spearman correlation test (r_s) ($P < 0.05$), all of these analyzes will be performed using SPSS. That way you can interpret the range and the critical limit depending on each of the properties tested to find out if provoked any changes or involvement in soil parameters in changing land use in the reserve Sumaco Napo Province comparing with other studies.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ A, Castro, J, Menjívar , E, Barrios, N, Asakawa, G, Borrero , E, García , I, Rao (2010). Dinámica del nitrógeno y el fósforo del suelo bajo tres sistemas de uso de la tierra en laderas de Honduras, 59 (4), 410-419.
- ✓ Acatzi, C., Becerril, A., Flores, M. y Téllez, S. (2009). Importancia del Nitrógeno en el suelo. Recuperado 26-10-2015, de <http://ecologiamicrobiana.blogspot.com/>.
- ✓ Alef, K. y P. Nannipieri (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. 340 p.
- ✓ Altieri M.A., Nicholls C.I (2007). Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. Agroecología 8(1): 7-20.
- ✓ Andreu, R., Gelati, P., Provaza, M., Bennardi, D., Fernández, D. y Vázquez, M. (2012). Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. Alternativas de tratamiento, 30(2), 107-117.
- ✓ Bagarello, V., Lovino, M., Elrick, D. (2004). A simplified fallinghead technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. 25(3), 66-73.
- ✓ Ballard, R., Will, G.M. (1981). Accumulation of organic matter and mineral nutrients under a Pinus radiata stand. New Zealand Journal of Forestry Science 11(2), 145-151.
- ✓ Bautista, C, J. Etchevers B., R.del Castillo y C. Gutiérrez. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores, 8(2). 120-129.
- ✓ Blake, G.R., and K.H. Hartge. (1986). Bulk Density. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and Mineralogical Methods Second Edition.
- ✓ Bravo, C. (2011). Proceso de conversión agroecológica en los llanos centrales: el papel multifuncional de la siembra directa. Trabajo de Ascenso para optar a profesor al nivel Titular. Universidad Nacional experimental Simón Rodríguez. San Antonio de los Altos, Miranda. 339 p

- ✓ Bravo, C. (2011). Proceso de conversión agroecológica en los llanos centrales: el papel multifuncional de la siembra directa. Trabajo de Ascenso para optar a profesor al nivel Titular. Universidad Nacional experimental Simón Rodríguez. San Antonio de los Altos, Miranda. 339 p.
- ✓ Bravo, C. A., Giráldez, J.V., Ordoñez, R. González, P. y Perea Torre. (2007). Long term influence of conservation tillage on chemicals properties of Surface horizona and legume crops yield in vertisol of southern Spain. 172:141.148.
- ✓ Bravo, C., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R. M., Cánchica, H., González, I Herrera, P Birbe, B. (2009). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción en las sabanas: teoría, estrategias y evaluación. III Jornadas Nacionales de Investigación de la UNESR. 15 p.
- ✓ Bravo, C., Z. Lozano, R. M. Hernández, L. Piñango, y B. Moreno. (2004). Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. Bioagro 16: 163-172.
- ✓ Buckman, H. O. & Brady N.C. (1977). Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed.Montaner y Simon, S.A. Barcelona.
- ✓ Casanova, E. (2005). Introducción a la Ciencia del Suelo. Caracas: consejo de desarrollo científico y humanístico.
- ✓ Da Silva, A. P., S. Imhoff, & M. Corsi. (2003). Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system.70: 83-90.
- ✓ De la Fuente, Elba B y SUAREZ, Susana A. (2008). Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura, 18(3), 239-252.
- ✓ Doran, JW y M Zeiss (2000). Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol, 15(3), 3-11.
- ✓ E. Martínez, J. Fuentes, E. Acevedo (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo.8 (1).68-96.
- ✓ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2011). State of the World's Forests.

- ✓ GeoEcuador (2008). Estado del suelo, Recuperado el 02-07-15, de <http://app.ute.edu.ec/content/3248-299-20-1-6-21/06.%20Cap%C3%ADtulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf>
- ✓ Ginés, I & Mariscal, S, I (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Recuperado 21-10-2015, de http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf.
- ✓ Harvey CA; Alpizar F; Chacón M; Madrigal, R. (2005). Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. San José, CR, The Nature Conservancy (TNC). 140 p.
- ✓ Henniger. J. (2003). Corporación Reserva de Biósfera Sumaco, CoRBS. Recuperado 22-05.2015, de <http://chmecuador.ambiente.gob.ec/userfiles/51/file/otras%20herramientas%20conservaci%C3%B3n/folleter%C3%ADa%20CoRBS.pdf>
- ✓ IBM SPSS 2013. IBM SPSS Statistics 22. Algorithms. Chicago: IBM SPSS Inc.
- ✓ IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, US). (2001). Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. In McCarthy, JJ; Canziani, OF; Leary, NA; Dokken, DJ; White, KS. eds. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, CH, Cambridge University Press. 1000 p.
- ✓ Jadán, O., Torres, B. y Gunter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre el almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador, 1(3), 173-186.
- ✓ Jimenez A., Reyes J., Sandoval, y Silveira, M. (2011). Secuestro y Distribución de Carbono Orgánico del Suelo Bajo Diferentes Sistemas de Manejo de Pasturas. Recuperado 22-10-2015, de <https://edis.ifas.ufl.edu/ss564>.

- ✓ Jimenez, M. (1998). Estudio de suelos distrito de Asunción. Recuperado 10-10-2015, de <http://www.condesan.org/memoria/Caj0399.pdf>.
- ✓ Jordan, D., Kremer, R.J., Bergfield, W.A., Kim, K. Y. Cacio, V.N. (1995). Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields, 19(4), 297-302.
- ✓ Kay, B.D. (1990). Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, 12: 1-41.
- ✓ L. Rincón & F. Gutiérrez (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. 14(1), 285-295.
- ✓ Lal, R. (1997). Log term tillage and maize monoculture effects on tropical alfisol in western Nigeria. I: Crop yield and soil physical properties. 42: 145-160.
- ✓ Logsdon, S. D.; Jaynes, D.B. (1996). Spatial variability of hydraulic conductivity in a cultivated field at different times. *Soil Sci Soc Am J* 60(2):703-709.
- ✓ M. Núñez, B. Serrano, H. Jimenez, O. Benítez, G. Paredes, G. Aguilar, O. Guerra, A. Ortega (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. 1(3), 27-35.
- ✓ MAE (2013). Parque nacional Sumaco. Recuperado el 18-05-2015, de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/42+PLAN+DE+MANEJO+SUMACO.pdf/477bfee3-341c-4efa-86c0-0689734994f0>.
- ✓ Masin, C., Rodriguez, A. & Maitre, M. (2011). Evaluación de la abundancia y diversidad de lombrices de tierra en relación con el uso del suelo en el cinturón hortícola de Santa Fe (Argentina). 29(1), 21-28.
- ✓ Milera (2001). Milagros de la C. Cambio climático, afectaciones y oportunidades para la ganadería en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34 (2), 127-143.
- ✓ Ministerio del ambiente (2007). Plan De Manejo Del Parque Nacional Sumaco. Recuperado el 14-05-2015, de <http://alfresco.ambiente.gob.ec:8096/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/968e5849-557c-4e03-a2ab-549be56f499b/sumaco-napo-galerias.pdf>.

- ✓ Mohler, C.L., y S.E. Johnson (2009). Rotaciones de Cultivos en Granjas Orgánicas: Un Manual de Planificación. recuperado 25/02/2016, de www.sare.org/Learning-Center/Books/Crop-Rotation-on-Organic-Farms
- ✓ Muller R. N. y Hamilton M. E. (1992). A simple, effective method for determining the bulk density of stony soils. *Communications in soil science and plant analysis* 23: 313-319.
- ✓ Nelson, D.W., and L.E. Sommers.(1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–580. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil. Analysis. Part 2.*
- ✓ Nieto, C. C y Vargas, C. C. (2012). El desarrollo rural de la región Amazónica Ecuatoriana, RAE, no se basará únicamente en producción agropecuaria: un análisis reflexivo que lo sustenta. INIAP. Quito-Ecuador. 158 p.
- ✓ Parkin, T.B., J.W. doran, and E. Franco-Vizcaino. (1996). Field and laboratory tests of soil respiration. P. 231-246.
- ✓ Pascual, R y Venegas, S. (2011). LA materia orgánica del suelo. papel DE los microorganismos. Recuperado 29-10-2015, de <http://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>.
- ✓ Pinot, R, H. (2000). *Manual de Edafología*. Ed.Computec. Chile.
- ✓ Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física de diagnóstico y problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. 29 (9), 114 29.
- ✓ Plaster, E. J. (2004). *La ciencia del suelo y su manejo*. Ed. Paraninfo. México.
- ✓ Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R.M. (2008). *Introducción a la Edafología (Uso y protección del suelo)*. Ed. Mundi tPrensa. Madrid.
- ✓ R. Agüero., S. Rojas & L. Pérez (2002). poblaciones de lombrices bajo seis estrategias de manejo de malezas en una plantación de banano. 13(1): 25-29.

- ✓ Razz, R y Clavero, T.(2006).Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*.23(3),331-337.
- ✓ Reicosky, D.C. and M.J. Lindstrom. (1995). Impact of fall tillage and short-term carbon dioxide flux. 177-187.
- ✓ Rojas, C. (1993). Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile. Recuperado 26-10-2015, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf> .
- ✓ Ruiz, Vélez C. (2013). Agroforestería para la conservación del suelo y otros recursos naturales. Revista de Sistema de Producción Agropecuaria 4: 108-121
- ✓ S. Vera, Z. Lozano, D.Lobo, C. Bravo, R. Hernández y M.Delgado (2012). Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. 38(2), 49-63.
- ✓ Sadeghian, S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Recuperado 26-10-2015, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5723/1/16077856.2012.pdf>.
- ✓ Sanchez, S., Hernandez, M. & Ruz, F (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios, 34(4), 375-392.
- ✓ Schargel, R. y Delgado, F. (1990). Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. En Plasse, D., Peña de Borsotti, N., eds. VI Cursillo sobre Bovinos de Carne. FCV-UCV, Maracay. pp. 187-220.
- ✓ Soler, P., Berroterán, J., Gil, J y Acosta, R. (2008). Producción de hojarasca de la vegetación nativa en los llanos altos centrales de Venezuela. 26(3). 265-268.
- ✓ Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Zapata A., Solarte L. (2011). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1,

Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78p.

- ✓ Vivanco R. y Paquita C (2005). Determinación del grado de erosión actual y potencial de los suelos del cantón Catamayo. Recuperado 12-07-2015, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5780>.
- ✓ Z, Lozano., H, Romero., C, Bravo. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. 44: 135-146.
- ✓ Z, Lozano1, O, Briceño, J, G, Villanueva, C, Bravo, R, Hernández, B, Moreno, L, Piñango (2009). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. 17:24-41.

ANEXOS

Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.

Niveles críticos		
Parámetro	Unidad	Valores
Densidad aparente (Da)	Mg m ⁻³	1.3
Conductividad hidráulica saturada (Ksat)	cm h ⁻¹	0.5
Porosidad total (PT)	(%)	45
Porosidad de aireación (Pa > 15 µm)	(%)	10
Porosidad de retención (Pr < 15 µ)	(%)	25

Fuente: Pla, 2010

Anexo 2. Rango de interpretación de pH.

interpretación	siglas	
muy acido	M Ac	0,0-5,0
acido	Ac	>5,0-5,5
mediano acido	Me Ac	>5,5-6,0
ligeramente acido	L Ac	>6,0-6,5
prácticamente neutro	P N	>6,5-7,5
neutro	N	7
ligeramente alcalino	L Al	>7,5-8,0
mediano alcalino	Me Al	>8,0-8,5
alcalino	Al	>8,5-14,0

Fuente: Pla, 2010

Anexo 3. Rango de interpretación para parámetros químicos

Rango de interpretación					
Parámetro	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Toxico
Aluminio (Al+H)	meq/100ml	<0.5	0.5-1.0	>1.5	
Aluminio intercambiable (Al)	meq/100ml	<0.3	0.3-1.0	>1.00	
Nitrógeno (NT)	%	<0.2	0.2-0.8	>0.8	>3.2
Materia orgánica (Mo)	%	<3.0	3.0-5.0	>5.0	
Fosforo (P)	ppm	<10	10.0-20.0	>20.0	
Potasio (K)	meq/100ml	<0.2	0.2-0.4	>0.4	
Calcio (Ca)	meq/100ml	<4.00	4.0-8.0	>8.0	
Magnesio (Mg)	meq/100ml	<1.0	1.0-2.0	>2.0	

Fuente: Berts, 1995

Anexo 4. Finca con pasto gramalote con arboles



Anexo 5. Toma de muestras en campo para análisis físicos del suelo tipo Uhland.



Anexo 6. Conteo de lombrices para análisis biológico del suelo.



Anexo 7. Toma de muestra en campo con pala para análisis químico del suelo.



Anexo 8. Medición de árboles para análisis de secuestro de carbono.



Anexo 9. Sistema con naranjilla.



Anexo 10. Análisis de parámetros físicos en laboratorio



Anexo 11. Pesado de muestras para análisis químicos (Ph, Al, Al+H)



Anexo 12. Determinación de pH en laboratorio.



Anexo 13. Determinación de Carbono orgánico en laboratorio.



Anexo 14. Determinación de Aluminio y Aluminio intercambiable en laboratorio.



Anexo 15. Determinación de Fosforo, Calcio y Magnesio en laboratorio.

