



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

IMPACTO DEL CAMBIO DE USO EN COBERTURAS DE BOSQUE A PASTO EN
SUELOS DE LA COMUNIDAD DE LLUCUD PROVINCIA CHIMBORAZO

Autor: Ernesto Javier Ojeda Huilca

Tutor: PhD. Omaira Márquez

Riobamba - Ecuador

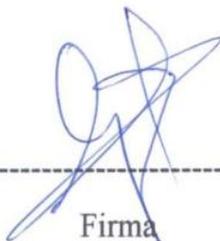
Año 2017

Los miembros del Tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **“IMPACTO DEL CAMBIO DE USO EN COBERTURAS DE BOSQUE A PASTO EN SUELOS DE LA COMUNIDAD DE LLUCUD, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**. Presentado por: Ernesto Javier Ojeda Huilca y dirigido por: PhD. Omaira Márquez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para su uso y custodia en la biblioteca de la facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

MsC. Patricio Santillán
Presidente del tribunal



Firma

MsC. Marcel Paredes
Miembro del tribunal



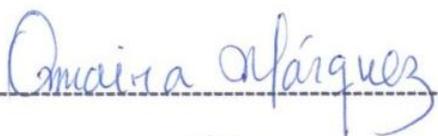
Firma

PhD. Carmen López
Miembro del tribunal



Firma

PhD. Omaira Márquez
Tutora del proyecto



Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el tema **“IMPACTO DEL CAMBIO DE USO EN COBERTURAS DE BOSQUE A PASTO EN SUELOS DE LA COMUNIDAD DE LLUCUD, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, ha sido elaborado por ERNESTO JAVIER OJEDA HUILCA, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de tutora, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, reading "Omaira Márquez", is written over a horizontal dashed line.

PhD. Omaira Márquez

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **ERNESTO JAVIER OJEDA HUILCA**, con cedula de identidad N° 210039564-5, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y conclusiones realizadas en la presente investigación y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Ernesto Javier Ojeda Huilca

C.I 210039564-5

ÍNDICE

INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	ix
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	4
1. Objetivo General.....	4
2. Objetivos Específicos.....	4
ESTADO DEL ARTE.....	5
1. Bosque siempre verde montano alto – bosque primario de Llucud.....	5
2. Tipos de especies arbóreas del bosque montano y especies de pasto cultivado.....	5
3. Importancia del bosque montano alto y su deforestación.....	5
4. Cambios de uso de suelo de bosques de ceja andina.....	6
5. Carbono orgánico en el suelo.....	6
6. Captura de carbono en los suelos.....	7
7. Fijación de carbono en un bosque.....	7
8. Método de calcinación o pérdida por ignición (LOI).....	8
METODOLOGÍA.....	9
1. Área de estudio.....	9
1.1. Determinación y delimitación del área de estudio.....	10
2. Delimitación y estratificación de las unidades de muestreo.....	10
2.1. Muestreo Estratificado.....	10
2.2. Fase 1: Delimitación y estratificación del uso del suelo.....	10
2.3. Fase 2: Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo.....	11
2.4. Recolección de muestras de suelo.....	12
2.5. Manejo y envío de muestras al laboratorio.....	13
3. Descripción morfológica del suelo en el área de estudio.....	13
3.1. pH del suelo.....	13
3.2. Textura.....	13
3.3. Estructura.....	13
3.4. Color.....	14
3.5. Lombrices.....	14
4. Determinación del contenido de carbono orgánico del suelo (COS).....	14
4.1. Calculo de densidad aparente.....	14
4.2. Cuantificación de materia orgánica por LOI (calcinación) y contenido de humedad	15
4.3. Calculo del porcentaje de carbono orgánico (%CO).....	16
4.4. Calculo del contenido de carbono orgánico del suelo (COS).....	16
5. Análisis estadístico.....	16
6. Evaluación del impacto en el cambio de uso de bosque a pasto.....	17

RESULTADOS Y DISCUSIONES	18
1. Delimitación y Estratificación del área de estudio.....	18
2. Descripción morfológica del suelo en el área de estudio	21
2.1. Textura de los suelos bajo bosque y pasto	21
2.2. Color.....	23
2.3. Estructura.....	24
2.4. Lombrices.....	25
3. Propiedades físico-químicas de los suelos.	25
3.1. Contenido de Humedad.....	25
3.2. Reacción de suelo (pH).	26
3.3. Densidad Aparente.	28
3.4. Contenido de materia orgánica (MO).....	29
3.5. Contenido de carbono (COS) (Mg ha ⁻¹) en suelos bajo bosque y pasto.....	32
3.6. Evaluación del impacto del cambio de uso en coberturas de bosque a pasto	33
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	42
1. Parámetros morfológicos.....	42
2. Valores de MO, DA y COS (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto de 0-30	44
3. Valores de MO, DA y CO (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto 30 - 60	45
4. Valores de MO, CO, DA y CO (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto >60	46
5. Anexo fotográfico de la investigación.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	9
Figura 2. Parcelas permanentes de muestreo.....	12
Figura 3. Flujo-grama de actividades para evaluación del impacto de cambio de uso.	17
Figura 4. Delimitación del área de estudio.	18
Figura 5. Estratificación y establecimiento de parcelas permanentes	20
Figura 6. Ubicación de las diferentes clases texturales en suelos bajo bosque y pasto.....	22
Figura 7. Color de los suelos bajo Bosque y Pasto.....	24
Figura 8. Contenido de humedad en función de la profundidad bajo Bosque y Pasto.....	26
Figura 9. Materia orgánica protegida en agregados y convertida en CO ₂	32
Figura 10. Contenido de carbono orgánico en los suelos bajo bosque y pasto	33
Figura 11. Conflicto entre la aptitud del suelo y uso actual de suelo	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de doble entrada para evaluación de impacto	18
Tabla 2. Composición química de elementos, expresados en porcentaje.....	23
Tabla 3. Análisis estadístico descriptivo de los valores de pH.....	27
Tabla 4. Análisis de varianza de pH.....	28
Tabla 5. Análisis estadístico descriptivo de la densidad aparente	28
Tabla 6. Análisis de varianza de densidad aparente	29
Tabla 7. Análisis estadístico descriptivo del contenido de materia orgánica.	30
Tabla 8. Análisis de varianza de la materia orgánica	31
Tabla 9. Matriz de evaluación del impacto en el cambio de uso de Bosque a Pasto.....	34

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

GEI	Gases de efecto invernadero
AME	Asociación de Municipalidades del Ecuador
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
FAO	Food and angriculture organization
USDA	United States Department of Agriculture
LULUCF	Land use, land use change and forestation
SEMPLEDES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Ecuador
INNIGEM	Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico
IGM	Instituto Geográfico Militar
REDESAR	Red para la evaluación y seguimiento de la sustentabilidad ambiental de Agro sistemas
COS	Carbono orgánico del suelo
Bo	Bosque
Pa	Pasto
CC	Captura de carbono
MO	Materia orgánica
DA	Densidad aparente
p	Probabilidad
Mg/Ha	Megagramos/hectarea
Pg	Petagramos

Abstract

The objective of this research was to study the conversion impact from Forest (Bo) to Pasture (Pa) in soils of the transition strip known as Ceja Andina. It is located in the central highlands of Ecuador. The study was performed using double stratification samples and ArcGIS software tools. Four conglomerates were established on under soils (Bo) and three under soil (Pa), placing 3 plots in each conglomerate with a dimension of 60 x 60 m. The distance between plots was 250 m. In each plot, it was established a subplot of 20 x 20 m for collecting soil samples in a depth from 0-30, 30-60, 60-90 cm. The characteristics assessed were: soil organic carbon (COS), pH, apparent density (DA), humidity content, worm amount, texture, color and structure. Variance analysis was applied for comparing the quantitative variables. When the conversion occurred it was found that SOC decreased and presented meaningful differences ($p < 0.005$) from $261.37 \text{ Mg ha}^{-1}$ to $135.15 \text{ Mg ha}^{-1}$. Unlike the DA increased meaningfully from $0,90 \text{ gr cm}^{-3}$. Whereas the pH value kept equal. It is concluded that the change from Bo to Pa reduces the soil capacity for capturing carbon, as well as the soil capacity to retain water. To study the impact of conversion from Bo to Pa is crucial in order to be able to understand the effects that occur in short and medium term in the soil functioning.


Reviewed by: Lara, Adriana
Language Center Teacher



RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el impacto de la conversión de bosque (Bo) a pastizales (Pa) en suelos de la franja de transición conocida como ceja andina, ubicada en la sierra central del Ecuador. Se implementó un muestreo con doble estratificación y se utilizaron herramientas del software ArcGIS. Se establecieron 4 conglomerados en suelos bajo (Bo) y 3 bajo (Pa), ubicando 3 parcelas de 60 x 60 m en cada conglomerado. La distancia entre parcelas fue de 250 m. En cada parcela, se estableció una sub-parcela de 20 x 20 m para recolectar muestras de suelo a 0-30, 30-60, y 60-90 cm de profundidad. Se evaluaron las propiedades: carbono orgánico en el suelo (COS), pH, densidad aparente (DA), contenido de humedad, cantidad de lombrices, textura, color y estructura. Se aplicó análisis de varianza para comparar las variables cuantitativas. Se encontró que cuando ocurrió la conversión de Bo a Pa, el COS disminuyó y presentó diferencias altamente significativa ($p < 0,005$) pasando de 784 Mg ha^{-1} a 556 Mg ha^{-1} , a diferencia la DA que aumentó significativamente de $0,90 \text{ gr cm}^{-3}$ a $1,15 \text{ gr cm}^{-3}$, mientras que el valor de pH se mantuvo similar. Se concluye, que el cambio de Bo a Pa reduce la capacidad del suelo a secuestrar carbono, así como para retener agua. El estudiar el impacto que tiene la conversión de Bo a Pa, es crucial para poder entender los efectos que ocurren a corto y mediano plazo en el funcionamiento del suelo.

Palabras claves: cambio de uso de la tierra, conversión de bosque a pasto, carbono orgánico en el suelo

INTRODUCCIÓN

El suelo como componente esencial de la biosfera junto con el agua y el aire son recursos finitos a largo plazo, constituyendo la principal fuente de servicios ecosistémicos esenciales y seguridad alimentaria para el desarrollo de la vida humana y silvestre. Sin embargo, toda actividad antrópica implica pérdida o degradación del suelo y muchas veces estas afectaciones son irreversibles. Debido al intercambio constante de carbono entre la biosfera y la atmosfera, a escala mundial el suelo captura a través de las aportaciones de la materia orgánica de las plantas más CO₂ del que libera (Vía respiración de microorganismos), así el suelo se convierte en un sumidero de carbono, lo que contribuye significativamente a mitigar el calentamiento global y por lo tanto el cambio climático. El suelo puede actuar como fuente o reservorio de carbono dependiendo de su uso y manejo (Lal, Edwards y Madden, 1991).

En la actualidad la acumulación y el secuestro de carbono se entienden como un servicio ecosistémico que cumple funciones importantes para la regulación de la concentración de gases en la atmosfera. Los suelos contienen más carbono que el que se encuentra en la vegetación y en la atmósfera (Robertson *et al.*, 2016). El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (Martínez, Cano, y Avilés, 2001). El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Suarez, 2014).

Las estimaciones del impacto de los flujos de carbono hacia la atmosfera y que se encuentra relacionados con el cambio de uso del suelo, son esenciales para los inventarios nacionales de gases que contribuyen al efecto invernadero. Ellos son utilizados como datos referenciales en los convenios entre países dentro del esfuerzo que se realiza a escala global por las Naciones Unidas para mitigar y/o reducir el cambio climático global. En esta investigación se evaluó como la conversión de bosque a pastizales ha afectado el contenido de carbono orgánico, el pH, la densidad aparente, el contenido de lombrices, el contenido de humedad y algunas características morfológicas de los suelos, en un área de la comunidad de Llucud de la microcuenca del río Cachipata.

La comunidad Llucud perteneciente al cantón Chambo conocida como la “Señora del Agro” debido a sus características climáticas, geográficas y de suelos que hacen posible una gran variedad de producción agrícola y pecuaria. En procura de alcanzar una estabilidad económica, las actividades agropecuarias fomentan el incremento de la frontera agrícola, reemplazando bosques naturales de la zona por actividades agrícolas y silvopastoriles. Se estima que el cambio de uso de suelo de un área natural por sistemas de cultivo convencionales o intensivos disminuye el contenido de COS, este es el caso de la parte media alta de la Microcuenca del Río Cachipata comunidad Llucud, donde el incremento de la frontera agrícola ha venido sustituyendo Bosque Natural endémico de la zona de estudio por cultivos convencionales o pastos; modificando por una parte el ecosistema natural y alterando las propiedades del suelo en su ciclo natural de fijación de carbono.

El cambio climático global directamente asociado con el aumento potencial de la temperatura, es considerado uno de los problemas más severos que enfrenta el planeta en este siglo, el rápido incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero “GEI” originados en el uso de combustibles fósiles, procesos industriales y el cambio de uso de suelo conjuntamente con la deforestación (Ordóñez y Masera, 2001) contribuyen a las emisiones de CO₂. Los bosques de ceja andina son potenciales fijadores de carbono del suelo, pero en la actualidad son ecosistemas vulnerables al cambio de uso de su cobertura por el incremento de la frontera agrícola, con el fin de proponer estrategias viables de manejo o conservación enfocadas a la mitigación del cambio climático es imprescindible conocer la dinámica del carbono en ecosistemas forestales y las modificaciones del mismo que puedan originar un cambio de uso de suelo.

OBJETIVOS

1. Objetivo General

Determinar el impacto que tiene en el suelo el cambio de una cobertura de bosque a una cobertura de pasto, en la comunidad de Llucud del Cantón Chambo Provincia de Chimborazo.

2. Objetivos Específicos

- Delimitar y estratificar las clases de usos de suelo del área de estudio.
- Realizar una descripción morfológica del suelo en las áreas de estudio.
- Determinar el contenido de carbono orgánico, densidad aparente, pH, el contenido de humedad gravimétrica y la cantidad de lombrices en los suelos bajo bosque y pasto.

ESTADO DEL ARTE

1. Bosque siempre verde montano alto – bosque primario de Llucud

Pertenciente a la comunidad San Pedro de Llucud, el bosque primario de Llucud está ubicado en el noreste del cantón Chambo a 7,5 km de la ciudad, a una altitud de 3000 m.s.n.m. El bosque se ha relegado a parches de bosque primario donde el turista puede disfrutar del paisaje, aire puro y observar especies nativas de flora y fauna. (Asociación de municipalidades del Ecuador, 2016) . El bosque nublado, se caracteriza por la presencia de lluvia horizontal, la humedad permanece en la atmósfera y resulta que la evapotranspiración casi nunca excede la pluviosidad (Hamilton 1995; Webster 1995). Webster (1995) citado por Caranqui (2011), reportó que en un bosque nublado se encuentran la mitad de todas las especies de flora del Ecuador.

2. Tipos de especies arbóreas del bosque montano y especies de pasto cultivado

En un estudio sobre la diversidad florística a diferentes gradientes altitudinales en el bosque montano alto Llucud, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Caranqui (2011) reporta que en el bosque primario de Llucud se encuentran especies como: *Miconia janii*, *Miconia bracteolata*, *Grosvenoria campii*, *Myrsine coriácea*, *Myrsine andina* y *Gynoxys*.

El pasto cultivado es el principal cultivo pecuario de la comunidad, generalmente se siembra rey grass (*lolium multiflorum*), trébol (*trifolium repens*), vicia (*vacía sativa*) y avena forrajera (*arrenatherum elatius*); se observan también pastos naturales como el kikuyo (*pennisetum clandestinum*) que es de excelente calidad para el ganado lechero. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo y Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2012).

3. Importancia del bosque montano alto y su deforestación

El bosque montano o bosque andino es uno de los ecosistemas menos conocidos y mayoritariamente amenazados en el Ecuador," (Vásconez, 1995) citado por (Caranqui, 2011). El bosque andino posee una larga lista en variedad de bienes y servicios, que va desde la protección de los suelos contra la erosión hídrica y eólica, albergar una alta diversidad biológica, mantener el balance hidrológico y microclima a escala regional (Lojan,

2003). Sin embargo, este tipo de formación (menos del 3%) en el callejón interandino está presente en forma de fragmentos o parches relegados a las quebradas, o suelos con pendientes pronunciada (Suárez, 2008). Esta fragmentación ha sido atribuido principalmente a la explotación forestal sin planificación ni manejo silvicultural, avance de la frontera agrícola y apertura de carreteras que atraviesa áreas boscosas provocando urbanización no controlada, esta realidad ha generado la disminución del bosque natural entre el 90 y 95%. Cualquier intervención en el bosque andino causa inestabilidad ecológica y la duración del proceso de regeneración y el grado en que se regenere depende del área e intensidad deforestada, entre más grande el área deforestada más cambios hay en el microclima y menos factible es que todas las especies endémicas reaparezcan en el bosque secundario, perdiéndose de esta manera un número importante de especies y animales.

4. Cambios de uso de suelo de bosques de ceja andina

Los cambios en el uso de la tierra en los trópicos son responsables del 12-20% de las emisiones de gases de efecto invernadero inducidas por el hombre y se cree que continuará siendo la segunda fuente más grande de emisiones de gases de efecto invernadero para el futuro (IPCC, 2007). El tipo de cambio de uso de la tierra dominante, es la conversión de bosques en sistemas agrícolas con tasas continuamente altas de 13 millones de ha deforestadas por año (Cueva et al., 2012).

5. Carbono orgánico en el suelo

El Carbono Orgánico del Suelo (COS), es una fuente de alimento para la mayoría de la vida en el suelo, las cuales, a su vez sustenta plantas superiores que existen como parte de sistemas ecológicos terrestres más complejos (Gonzalez, Etchevers, y Hidalgo, 2008). La acumulación de COS es un proceso importante para mitigar efectos del cambio climático, ya que el suelo, además de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado (Hernandez, 2012). El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS), la cual juega un papel importante en la productividad de los suelos tropicales como reserva de nutrientes. El COS almacenado en los primeros 100 cm de profundidad es de 1462-1548 Pg de carbono ($1 \text{ Pg} = 1 \times 10^{15} \text{ g}$) en el mundo. Esto hace que se considere que el suelo es uno de los principales compartimientos terrestres para el Carbono, mayor que el

Carbono biótico y que el atmosférico. El COS es un indicador de la calidad de suelo y sirve para detectar sus cambios en el tiempo (Gonzalez *et al.*, 2008).

6. Captura de carbono en los suelos

La investigación en esquemas de captura de carbono (CC) por sistemas naturales, se encuentra relacionada con el estudio del valor de las funciones ecológicas de los ecosistemas naturales. Aunque el concepto de ciclo de carbono en la naturaleza y la capacidad de absorción del suelo y los océanos ha sido conocido durante largo tiempo, no fue sino hasta 1976 que la idea de los bosques como “almacenadores” de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez (Food and Agriculture Organization, 2011). El secuestro de carbono en el suelo ocurre teniendo a las plantas como paso intermedio. Las plantas convierten el CO₂ de la atmosfera en tejido vegetal mediante la fotosíntesis (Rice, 2011). Las plantas mediante la fotosíntesis incorporan el CO₂ atmosférico a los procesos metabólicos. Todos los componentes del árbol como: follaje, ramas, raíces, y fuste, están compuestos por el CO₂. La demanda de CO₂ aumenta a medida que cada estructura del árbol crece (Ortiz y Riascos, 2007).

7. Fijación de carbono en un bosque

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1.500 Pg). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca del 40% del total del carbono) son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques (Zambrano, Franquis, y Infante, 2008). El carbono total (bosque, sotobosque y suelo), que un bosque fija, es dependiente del tipo del mismo y que el almacenamiento de carbono varía entre 300 tC/ha y más de 1000 tC/ha. Solo se fija carbono en bosques que están creciendo; entonces, en los bosques maduros donde la composición y la descomposición de materia orgánica son iguales, la cantidad de carbono es constante. En promedio, un bosque maduro fija entre 600 tC/ha. En general, después de 50 años se llega al 75 % de la biomasa total de un bosque, lo que quiere decir que se fija en promedio 10 tC/ha/año (Voss, 1999). De manera similar (Gayoso y Schlegel, 2001) indican que el carbono total acumulado por bosques siempre verdes

adultos, alcanza 606,80 tC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 tC/ha en la biomasa aérea; 79,92 tC/ha en raíces con diámetros mayores a 5 mm; 2,79 tC/ha en el sotobosque; 53,56 tC/ha en la necromasa; 5,87 tC/ha en la hojarasca; y 180,91 tC/ha en los primeros 30 cm de suelo.

8. Método de calcinación o pérdida por ignición (LOI)

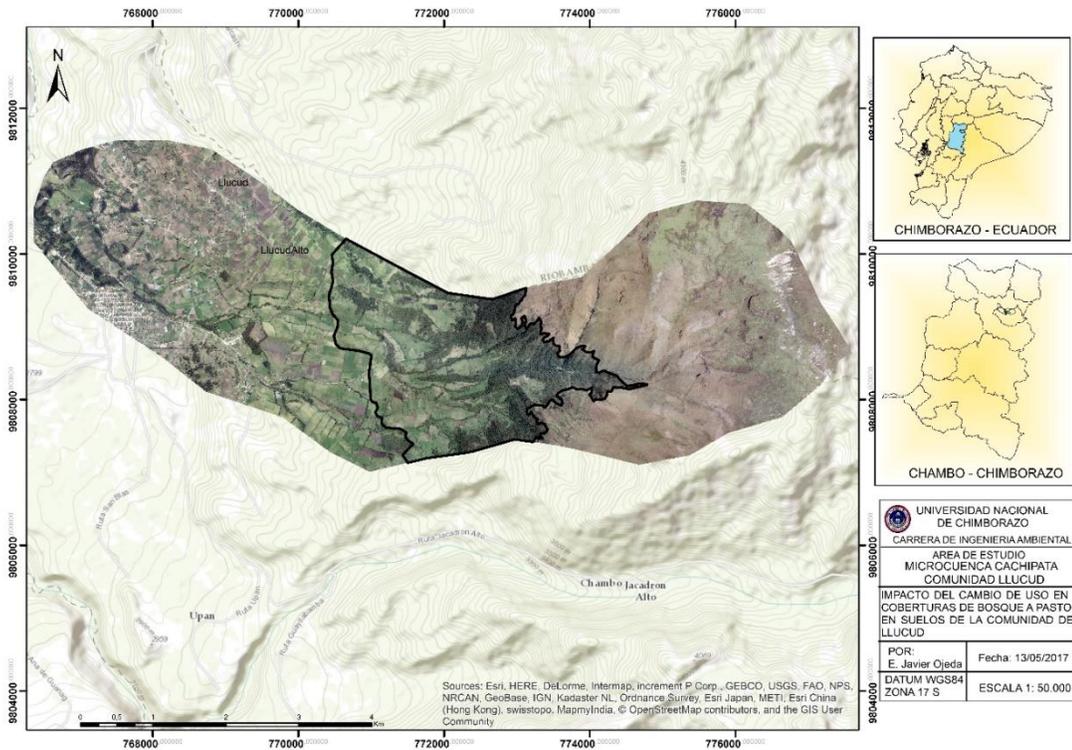
El método de calcinación o pérdida por ignición *loss on ignition* (LOI) sirve para cuantificar el contenido de materia orgánica (MO) a partir de la pérdida de peso de una muestra de suelo sometida a elevadas temperaturas. En numerosos trabajos se utilizan temperaturas de ignición que van desde los 250 a los 600 °C en mufla y diferentes períodos de tiempo, desde 2 hasta 24 h. Mitchell (1932) reportó que temperaturas de ignición entre 350 y 400 °C eran adecuadas. Davies (1974) concluyó que 430 °C podría ser utilizada en suelos con presencia de carbonatos. Para muestras de suelo de la región central del norte de los EEUU, desarrollaron el método de LOI que incluye como pretratamiento el secado a 105 °C durante 24 h y luego 2 h de ignición a 360°C. Por otro lado, Rosell (2001) y Konare (2010), reportaron que temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación de MO por pérdida de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales hidratadas y óxidos. En conclusión, Eyherabide *et al.* (2014) señala que la técnica de LOI es exacta y de bajo costo para determinar MO. Sin embargo, si se quiere estimar el COT a partir de la MO se debe utilizar el factor Van Bemmelen (1,724) que puede variar para varios tipos de usos de suelo.

METODOLOGÍA

1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la parte media-alta de la microcuenca del Río Cachipata perteneciente a la comunidad de Llucud del cantón Chambo. La microcuenca abarca una área de 2925 ha y forma parte de la red fluvial de la subcuenca del Río Chambo. El área de estudio se encuentra ubicada al noreste del cantón Chambo en la zona de transición entre los límites de páramo y la zona de cultivos en la comunidad San Pedro de Llucud, con un rango altitudinal que va desde los 3000 hasta los 3800 m.s.n.m. La precipitación en el área de estudio varía entre 658,4 y 802,8 mm/añual y una temperatura media entre 12,8 y 15,4 °C (Quishpe, 2017). En el área predominan suelos del orden taxonómico molisol, así como para los suelos bajo Bo y Pa. Estos suelos se encuentran sobre la formación geológica “El Altar”. La zona de estudio corresponde al bosque siempre verde montano alto de los Andes orientales de la sierra central del Ecuador (Baquero, 2004) o también llamado bosque primario de Llucud (Ver figura 1).

Figura 1. Ubicación del área de estudio.



or: El autor.

1.1. Determinación y delimitación del área de estudio

Para la determinación del área de estudio se llevó a cabo un proceso de evaluación del lugar de interés en conjunto con visitas de campo preliminares, que sirvieron para analizar brevemente las áreas de muestreo, recolectar toda la información ambiental del área, y así iniciar el proceso metodológico del estudio. Se tomaron en cuenta los siguientes criterios para la determinación del área de estudio.

- Tipo de zona agroecológica.
- Disponibilidad de información histórica.
- Características generales del área: Ubicación, clima, precipitación, rango altitudinal.
- Accesibilidad.
- Disponibilidad de información cartográfica donde se pueda contrastar y comparar el impacto del cambio de uso en coberturas de bosque a pasto en el área de estudio.

2. Delimitación y estratificación de las unidades de muestreo

2.1. Muestreo Estratificado

La estratificación consiste en zonificar el área de estudio con el objetivo de conseguir estratos más homogéneos (Mcroberts, Tomppo, y Czaplewski, 2015). En el presente estudio se aplicó un diseño de muestreo de doble estratificación, la cual consiste de dos fases. Durante la primera fase se seleccionó una muestra relativamente grande de forma sistemática definiendo los estratos de interés en toda la microcuena. Esta muestra sirvió para estimar el tamaño o peso de los estratos en relación a la población y a la muestra. En la segunda fase se seleccionó una muestra más pequeña correspondiente al estrato de bosque siempre verde montano alto de la comunidad de Llucud y pastos, donde se establecieron conglomerados (C) de 3 parcelas (P) (Cueva et al., 2012)

2.2. Fase 1: Delimitación y estratificación del uso del suelo

Para delimitar las áreas y clases de uso de suelo se usaron ortofotos, cartografía temática (Instituto geográfico militar IGM-2014 Escala 1:50.000) y herramientas del Software ArcGIS 10.2 específicamente la herramienta de “Clasificación Interactiva no supervisada” para lograr:

- La ubicación georreferenciada y tamaño del Área de estudio
- Tipos de estratos del área de estudio
- Áreas de cada estrato para determinar el tamaño de la muestra.
- Número de parcelas
- Puntos GPS a ser muestreados
- Criterios técnicos para la etapa de muestreo.

Para determinar el tamaño de la muestra (n de parcelas) se utilizó la fórmula para el cálculo del tamaño de la muestra establecida por la FAO para los diseños de muestreo orientado a evaluaciones forestales nacionales (McRoberts et al., 2015).

Ecuación para determinar el tamaño de la muestra (n de parcelas)

$$n = \left(\frac{\hat{S}}{\bar{A} D_{m\acute{a}x}} \right)^2 \quad (1)$$

Dónde:

N = Número de parcelas

\hat{s} = Desviación estándar de las áreas de los dos estratos (Bo y Pa)

\bar{A} = Área promedio de las parcelas

$D_{m\acute{a}x}$ = Diferencia permitida máxima (0,05).

$$n = \left(\frac{98994,9 \text{ m}^2}{3600 \text{ m}^2 \times 0,05} \right)^2 = 23,45$$

El número de conglomerados depende del número de parcelas, es así que se determinaron 7 conglomerados.

2.3. Fase 2: Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo

Una vez cumplida la FASE 1 de delimitación y estratificación de la zona de estudio, se determinaron dos estratos, para la FASE 2, se seleccionaron dos muestra más pequeñas correspondiente a cada estrato: bosque y pastizal de la parte alta de la microcuenca del Rio

Cachipata. Mediante el uso del Software ArcGIS 10.2 se establecieron las parcelas permanentes de muestreo, el software asigna las parcelas a cada estrato de acuerdo a su área y al número de parcelas mediante un muestreo aleatorio estratificado que nos asegura igualdad para la probabilidad del muestreo.

2.3.1. Determinación de conglomerados de muestreo

La agrupación de parcelas forma un conglomerado. Se establecieron 7 conglomerados (C) de 3 parcelas (P) c/u, en forma de “L” (Ver figura 2), con una dimensión de 60 x 60 m y una distancia entre parcelas de 250 m. Dentro de cada parcela se estableció una sub-parcelas de 20 x 20 m, para recolectar muestras de suelo a tres profundidades: entre (0-30), (30-60), (más de 60) cm (Cueva et al., 2012).

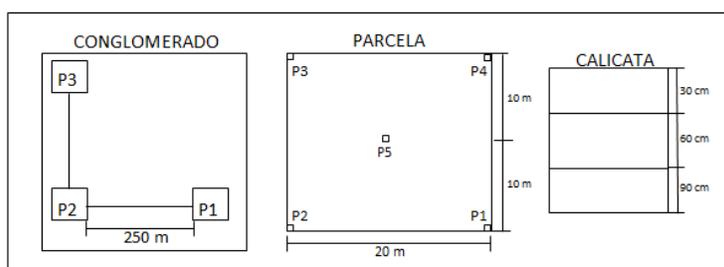


Figura 2. Parcelas permanentes de muestreo.
Elaborado por: El autor.

2.4. Recolección de muestras de suelo

En la sub-parcela de 20 x 20 m, se establecieron cinco puntos de muestreo, distribuidos uno en el centro y uno en cada extremo de los cuatro vértices (ver figura 2). En el punto central de la parcela se observó el color, textura y estructura del suelo siguiendo la guía de descripción de perfiles de la FAO (FAO, 2015). Se tomaron dos muestras a cada profundidad; la primera de 500 cm³ compuesta de suelo de los cinco puntos de muestreo, esta muestra sirvió para el cálculo de carbono orgánico de suelo. La segunda muestra se obtuvo de la extracción de suelo por medio de un cilindro de volumen específico, que fue destinada al cálculo de la densidad aparente. Para el conteo de lombrices, se realizó en un monolito de suelo proveniente de cada estrato (USDA, 1999). Toda la información de recolección de muestras en cada salida al campo se registró en fichas de muestreo.

2.5. Manejo y envío de muestras al laboratorio

Una vez culminado el proceso de recolección de muestras, se procedió a llevar las muestras adecuadamente rotuladas al laboratorio para su análisis y posteriormente realización de los cálculos para determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo a las distintas profundidades (IPCC, 2006).

3. Descripción morfológica del suelo en el área de estudio

De acuerdo con la “Guía para la Descripción de Suelos” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura FAO (Cuarta edición Roma, 2009) en cada estrato, bosque y pasto se analizó: el pH, la textura, estructura, color y el número de lombrices.

3.1. pH del suelo

El pH fue medido en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH con un pH-metro portátil. Para medir el pH, se prepararon soluciones de 10 gramos de suelo en 25 ml de agua.

3.2. Textura

Para determinar la clase textural del suelo se utilizó un diagrama de flujo (*Aflow diagram for teaching texture-by-feel analysis. Journal of agronomic education*) a través de pruebas organolépticas. Para esto, la muestra debió estar en un estado húmedo o débilmente mojado:

- Arcilla: se adhiere a los dedos, es cohesivo (pegajoso), es moldeable, tiene una alta plasticidad y tiene una superficie brillante luego de apretar entre los dedos.
- Limo: se adhiere a los dedos, no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y luego de apretarlo entre los dedos, y una sensación harinosa (como el polvo del talco).
- Arena: no se puede moldear, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso.

3.3. Estructura

Para caracterizar la estructura del suelo a cada profundidad, se procedió a reconocer y anotar: tipo, tamaño, y grado de las unidades estructurales del suelo. Los tres grandes tipos de estructura edáfica son granular, en bloques y laminar (USDA, 1999).

3.4. Color

La determinación de color en campo se registró en condiciones medias de humedad usando la carta de colores de suelo de Munsell (Munsell, 1975). Registramos el código del color para cada estrato de del área de estudio.

3.5. Lombrices

La cuantificación de lombrices se determinó de la manera siguiente: 1) Se cavó un pozo o calicata, de 900 cm² (un pie cuadrado) y hasta una profundidad de 90 cm, en este proceso se trató de minimizar el número de cortes con la pala para evitar hacer daño a las lombrices. 2) Se procedió a contar el número de lombrices en el monolito colocando las muestras de suelo en una superficie de color pálido para facilitar el reconocimiento de las lombrices. (USDA, 1999).

4. Determinación del contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

La determinación de carbono mediante el método Lost-Ignicion o pérdida de ignición se realizó en equipos que se encuentran en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH. Todas las muestras fueron previamente secadas al aire libre y pasadas por el tamiz (2 mm). Para la determinación del COS se requirió lo siguiente:

4.1. Calculo de densidad aparente

La densidad aparente se determinó por dos métodos, método del cilindro de volumen conocido y método del terrón con parafina.

Para el método del “cilindro de volumen conocido”:

- Se utilizó un cilindro de volumen conocido.
- Se secó la muestra de suelo en la estufa a 105°C por 24h.
- Se determinó el peso de la muestra en su estado seco, denominado peso seco (Ps).
- Se calculó la densidad aparente. (Llamuca, 2015)

$$D A \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (2)$$

Para el método del “terrón con parafina” se realizó el siguiente procedimiento:

- Se seleccionaron varios terrones de suelo de cada estrato, parcela, conglomerado y diferentes profundidades
- Se colocó el terrón en la estufa a 105 °C por 24 h en un vaso de precipitación para obtener el peso seco por diferencia de pesos.
- Transcurridas las 24 h se procedió a pesar el terrón y amarrar a un hilo.
- Se sumergió el terrón en parafina derretida, esperamos a que se secase y pesamos nuevamente.
- En una probeta medimos un volumen determinado de agua y sumergimos cada uno de los terrones, verificamos y anotamos el volumen de agua que fue desplazado en la probeta.
- Calculamos la densidad con la siguiente formula.

$$D A \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso del terrón seco con parafina}}{\text{Volumen de agua que fue desplazado en la probeta}} \quad (3)$$

4.2. Cuantificación de materia orgánica por LOI (calcinación) y contenido de humedad

- Previamente a cada análisis, se procedió a secar los crisoles en la estufa a 105°C durante 30 minutos y se dejaron secar a temperatura ambiente, luego se determinó el peso los crisoles (P1).
- Procedimos a homogenizar la muestra de suelo extendiéndola sobre un plástico para mezclarla y luego dividirla en cuatro cuadrantes.
- De cada cuadrante se tomaron pequeñas cantidades de muestra de suelo hasta alcanzar 5g (P2). Esta cantidad de suelo se colocó en el crisol y luego en la estufa durante 24 h a 105 °C.
- Se procedió a enfriar las muestras en el desecador y se pesaron peso (P3).
- Las muestras en los crisoles, se colocaron durante 2h en una mufla a 360°C, luego se dejaron enfriar en un desecador y se procedió a pesarlas (P4).
- Se calculó el contenido de humedad (CH):

$$C H = \frac{P 2 - P 3}{P 2} \times 100 \% \quad (4)$$

- Se calculó la cantidad de materia orgánica (MO) expresada en porcentaje:

$$\% \text{ M O} = \frac{P3 - P4}{P3} \times 100\% \quad (5)$$

4.3. Calculo del porcentaje de carbono orgánico (%CO)

El porcentaje de CO se obtuvo de dividir el %MO por el factor de Van Bemmelen (1,724), con el cual se asume que el 58% de la MO está compuesta de CO.

4.4. Calculo del contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono contenido en el suelo (en Mg ha⁻¹) se calculó a partir de los valores de porcentaje de carbono, densidad aparente y volumen de la muestra (Rosenzweig y Hillel 2000). Citado por (Llamuca, 2015).

$$\text{C O S} \left(\frac{\text{M g C}}{\text{h a}} \right) = \text{D A} \times \text{C O} \times \text{P} \times \text{A} \quad (6)$$

Dónde:

DA = Densidad aparente (Mg/m³).

CO = Contenido de carbono (%)

P = Profundidad de muestreo en (m)

A = Área (m²) = 10000 m².

5. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis de ANOVA agrupando los datos por profundidad y estrato. Las pruebas de Skewness (Asimetría), Shapiro-Wilk (normalidad). Los datos siguieron una línea recta, lo que indica que los datos se distribuyen normalmente y no fue necesario realizar ninguna transformación a las variables. Se realizó un ANOVA de una sola vía, (p <0,005). Para el análisis estadístico se usó el software MINITAB V16, (Minitab Inc., State College, PA).

6. Evaluación del impacto en el cambio de uso de bosque a pasto

Para llevar a cabo la evaluación del cambio de uso de Bo a Pa, se aplicó una matriz de doble entrada, similar a la empleada en el proyecto Redes Sostenibles para Seguridad Ambiental (2008). Este proyecto buscaba evaluar desde la perspectiva ambiental cuan sustentable es la producción agropecuaria a partir de la sustentabilidad de los recursos naturales del suelo. Al igual que la matriz aplicada en este proyecto, en la presente investigación se aplicó un proceso de intersección de información (Ver Figura 3 y Tabla 1). El objetivo fue determinar posibles conflictos en el uso actual del suelo, partiendo del contenido de carbono edáfico y de la aptitud del suelo. El análisis se fundamenta en las normas y principios de conservación de suelos. El análisis de los conflictos encontrados permitieron categorizar el uso del suelo en: bien utilizado, subutilizado y sobre utilizado. También, se evaluó si existía vulnerabilidad al impacto, pérdidas o persistencias del contenido de carbono, clasificando a este como un impacto vulnerable, negativo o positivo, respectivamente.

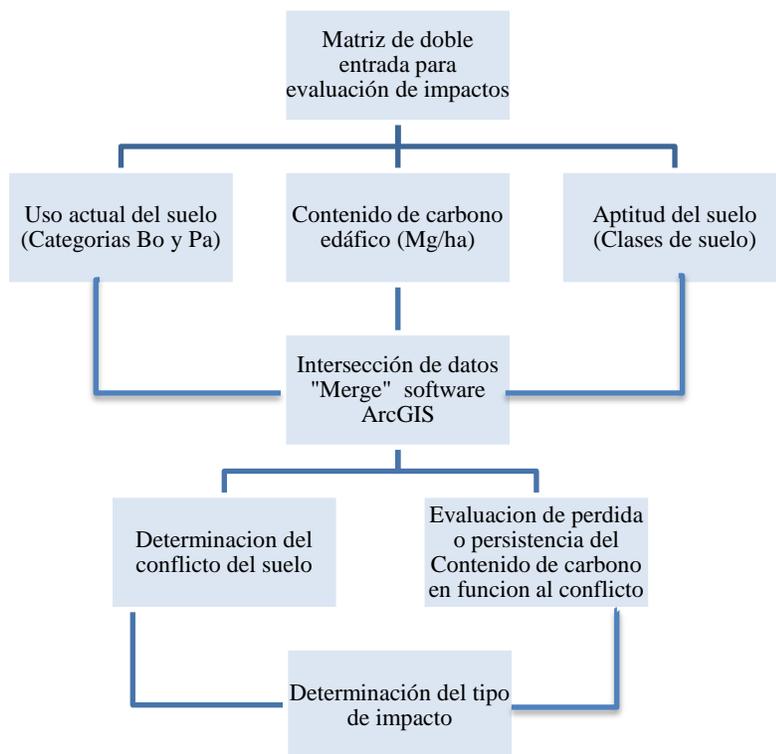


Figura 3. Flujo-grama de actividades para evaluación del impacto de cambio de uso.
Elaborado por: Autor.

Tabla 1. Matriz de doble entrada para evaluación de impacto

Uso Actual	Aptitud	Conflicto	Área (%)	COT (Mg ha ⁻¹)
Bosque	Pastos con Limitaciones	Subutilizado	0,01	-22,83
Bosque	Zonas Aptas para Pastos	Subutilizado	20,89	-33277,48
Bosque	Apto para Bosque	Bien utilizado	40,18	63998,47
Pasto	Pastos con Limitaciones	Bien utilizado	0,07	60,39
Pasto	Zonas Aptas para Pastos	Bien utilizado	28,11	23690,75
Pasto	Apto para Bosque	Sobre utilizado	10,60	-8935,70

Elaborado por: Autor

RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Delimitación y Estratificación del área de estudio

Como resultado del proceso metodológico, usando cartografía de base nacional y el uso de las herramientas del ArcGis, se delimito el área de estudio de 628,83 ha. Esto se realizó usando la proporcionalidad del área de bosque, la divisoria de la microcuenca, tipos de uso del suelo y la frontera agrícola (Ver Figura 4).

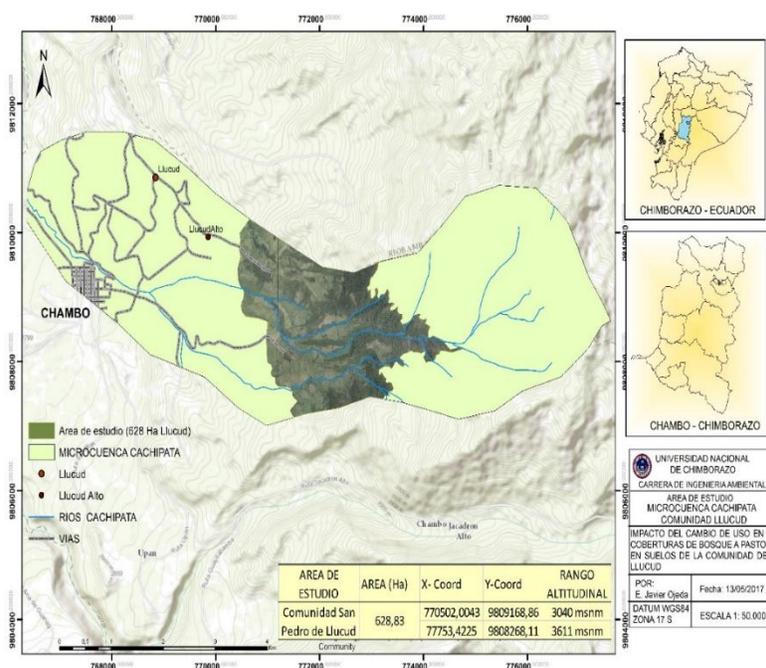
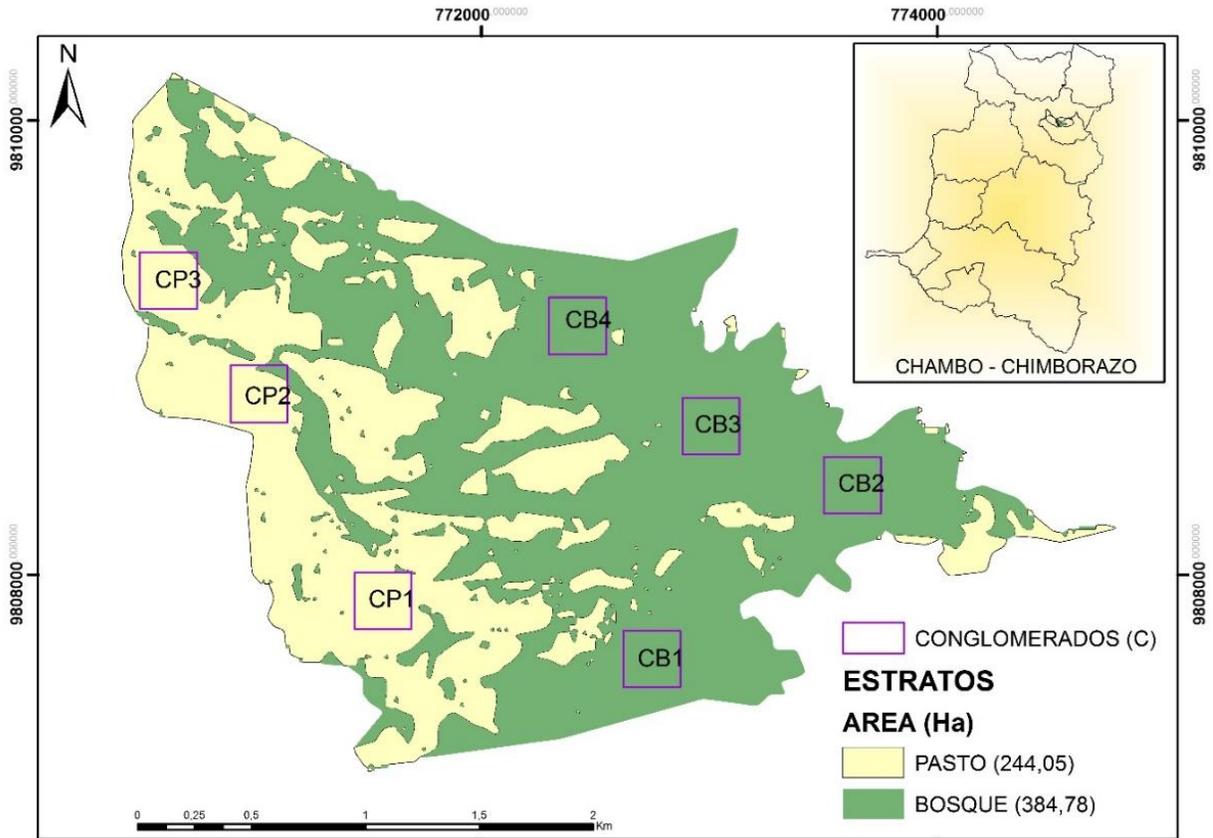


Figura 4. Delimitación del área de estudio.

Elaborado por: El autor.

La delimitación del área de estudio para la toma de acciones en investigaciones relacionadas con el impacto en el COS, por el cambio de uso de coberturas de suelo a partir del protocolo de Kyoto se vuelve relevante, alcanzando su importancia debido a que la actividad humana genera impacto con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, vinculada con la agricultura, forestación, reforestación y deforestación desde 1990 (Campus y Pinto, 2004).

La estratificación de las unidades de muestreo, se lograron dando cumplimiento a las 2 fases, se estratificaron e identificaron dos áreas: Bosque (Bo) 384,78 ha y Pasto (Pa) 244,05 ha (Ver Figura 4). Tomando en cuenta la proporcionalidad entre el área de Bo y Pa se establecieron 7 conglomerados (C), 4 en bosque y 3 en pasto, es decir 21 parcelas (P) permanentes de muestreo, 12 en Bo y 9 en Pa, cada una de estas parcelas fueron georeferenciadas usando el software ArcGIS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TIPOS DE ESTRATOS Y PARCELAS PERMANENTES DE MUESTREO

IMPACTO DEL CAMBIO DE USO EN COBERTURAS DE BOSQUE A PASTO EN SUELOS DE LA COMUNIDAD DE LLUCUD

POR: E. Javier Ojeda	Fecha: 13/05/2017
DATUM WGS84 ZONA 17 S	ESCALA 1: 25.000

CUT	CONGLOMERADO	PARCELAS	COOR (X)	COOR (Y)	ALTITUD
BOSQUE	CB4	P1	770752,0043	9809168,86	3051,68
		P2	770502,0043	9809168,86	3040
		P3	770502,0043	9809418,86	3099,66
	CB3	P1	771149,0919	9808669,58	3120
		P2	770899,0919	9808669,58	3145,98
		P3	770899,0919	9808919,58	3068,12
	CB2	P1	771692,5047	9807759,53	3227,46
		P2	771442,5047	9807759,53	3219,89
		P3	771442,5047	9808009,53	3240
	CB1	P1	772873,7198	9807504,24	3542,82
		P2	772623,7198	9807504,24	3424,89
		P3	772623,7198	9807754,24	3365,87
PASTO	CP3	P1	773753,4225	9808268,11	3611,11
		P2	773503,4225	9808268,11	3600
		P3	773503,4225	9808518,11	3545,88
	CP2	P1	773133,0051	9808528,7	3450,38
		P2	772883,0051	9808528,7	3409,37
		P3	772883,0051	9808778,7	3496,79
	CP1	P1	772546,338	9808969,2	3520
		P2	772296,338	9808969,2	3456,15
		P3	772296,338	9809219,2	3414,36

Figura 5. Estratificación y establecimiento de parcelas permanentes
Elaborado por: El autor.

2. Descripción morfológica del suelo en el área de estudio

Las características morfológicas se resumen en el (Anexo 1). Los suelos bajo Bo y Pa están localizados en unidades de suelos clasificados taxonómicamente dentro del orden Molisol, es bien conocido que estos suelos presentan horizontes A profundos mayores a 30 cm, colores oscuros, estructuras no masiva y una saturación de bases mayor a 50%. Los suelos bajo Bo se caracterizan por presentar una capa superficial de materia orgánica parcialmente descompuesta entre 10 y 20 cm de espesor conocida como horizonte Oe. Este horizonte orgánico no se presenta en suelos bajo Pa. En los suelos bajo Bo el perfil modal es un Ah/Ha/B, profundo (> 120 cm) caracterizado por un horizonte A de 60 cm de espesor, subdividido en (A₁, A₂ y A₃). Para suelos bajo Pa, el perfil modal que caracteriza a estos suelos muestra la siguiente distribución de horizontes: Ap/A/B, profundos (> a 100 cm). Siendo el horizonte (Ah) característico de áreas bajo vegetación natural con un aporte continuo de hojarasca que aporta a los contenidos de MO en el suelo. Mientras que el horizonte (Ap) es un horizonte típico de suelos bajo pastos o cultivos donde las entradas de MO a través de la hojarasca están limitadas y por ende se encuentra limitado a contribuir con la MO en el suelo.

2.1. Textura de los suelos bajo bosque y pasto

En la Figura 6, podemos observar que las clases texturales para ambos suelos bajo Bo y Pa muestran uniformidad textural en todo el perfil, con predominio de la clase textural franco arcillosa (FA). Se observa la presencia mínima de suelos franco arcillo limoso (FAL) y unos pocos arcilloso (A) bajo pasto. El hecho de que los suelos exhiban clases texturales similares, es importante para probar la hipótesis que los cambios que ocurran en algunas propiedades del suelo son debidos a los cambios de uso de Bo a Pa. Ya que si los suelos presentaran texturas muy diferentes esta propiedad podría influenciar cambios en los suelos que no necesariamente estarían relacionados por los cambios de uso de los suelos.

La textura del suelo es una de las propiedades del suelo que no cambia por el manejo del mismo (Brady y Weil, 1999); sin embargo en un proceso de deforestación, los horizontes se pueden perder por erosión, y en algunos casos, el horizonte B rico en materiales arcillosos pueden aflorar (Bautista, Gutiérrez, Castillo, & Etchevers, 2005).

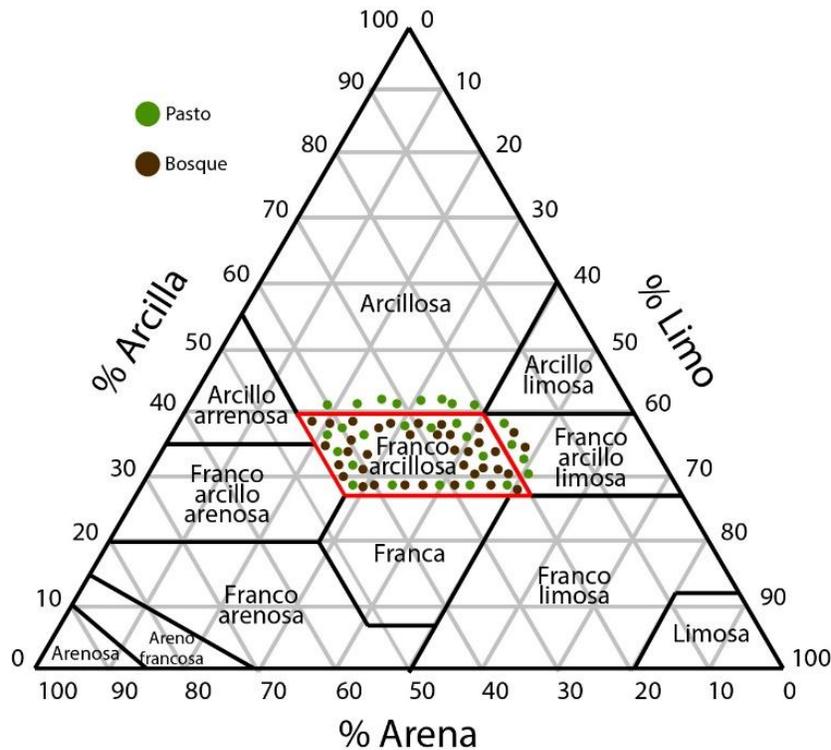


Figura 6. Ubicación de las diferentes clases texturales en suelos bajo bosque y pasto
Elaborado por: El autor

En el área de estudio no se observó ningún signo de erosión y los perfiles modales de ambos sitios presentan horizontes A bien definidos. Esto permite confirmar que la textura de estos suelos proviene del mismo material parental con una mineralogía similar y por lo tanto dan origen a una textura de grano medio a fino, muy similar. Esto fue confirmado realizando un análisis de la composición química de los suelos a diferentes profundidades mediante Fluorescencia de Rayos X (Tabla 2). En la Tabla se muestra la relación del índice de meteorización $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (3,16 - 4,21) y de $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (10,03 - 14,65) mostraron un predominio de SiO_2 ; estos valores se consideran característicos de materiales poco alterados, donde la escasa precipitación favorece la acumulación de sílice, indicando un grado de alteración bajo a moderado. Lo que permite clasificar a esos suelos como débilmente maduros según Kendrick y McFadden (1996). Por otro lado, se confirma que los suelos provienen del mismo material parental, ya que los valores de los índices de meteorización de los suelos bajo Bo y Pa son similares. En la Tabla 2, se observa que el fósforo, expresado como cantidad de P_2O_5 , se encuentra en menor cantidad en los suelos

bajo pasto. Esto, se debe a que los pastos, para cumplir sus funciones fisiológicas, requieren una mayor cantidad de fósforo que la requieren las especies que se encuentran en el Bo. Estos resultados son relevantes como evidencias que respaldan la tesis de que los cambios que pueden ocurrir en algunas propiedades del suelo, van a estar influenciados por el cambio de uso del suelo y no por las propiedades intrínsecas del suelo, donde, si la textura fuera diferente le impartiría propiedades físicas y químicas diferentes (Casanova, 2005).

Tabla 2. Composición química de elementos, expresados en porcentaje en peso

Muestra	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
Bosque (Bo)								
Bo (0-30cm)	7,77	32,7	0,364	0,516	2,90	2,89	4,21	11,31
Bo (30-60cm)	9,07	35,7	0,232	0,492	2,08	3,50	3,94	10,20
Bo (60-90cm)	5,31	20,2	0,239	0,161	0,79	1,67	3,84	12,10
Pasto (Pa)								
Pa (0-30cm)	8,82	40,9	0,187	0,428	2,47	2,79	4,64	14,65
Pa (30-60cm)	9,31	35,3	0,187	0,249	2,11	3,52	3,79	10,03
Pa (60-90cm)	4,52	18,8	0,182	0,132	0,451	1,54	3,16	12,20

Elaborado por: El autor.

2.2. Color

El color es una de las características morfológicas más importantes, la más obvia, fácil de determinar y relevante en la identificación taxonómica (Dominguez *et al.*, 2012). El color de los suelos guarda una relación con los componentes sólidos (materia orgánica, textura). El color de las muestras de los suelos estudiados correspondió en su mayoría al matiz (hue) 10YR, tanto en los horizontes superficiales como en profundidad. La luminosidad (value) de los horizontes en suelos bajo bosque fue igual o menor que 2 en casi todos los suelos, mientras que en suelos bajo pasto el valor fue más alto indicando colores más claros (Ver Figura 6). La intensidad (chroma) en suelo bajo Bo fue de (1 – 2) y en suelos bajo Pa (2 – 3). Estos valores de intensidad y luminosidad en suelos bajo bosque indican colores más oscuros, resultando en contenidos de materia orgánica más altos. Mientras que los valores de luminosidad e intensidad en suelos bajo pasto son más claros indicando posiblemente menores valores de carbono orgánico. Valores similares fueron reportados por (La Manna, 2005) quien reportó valores con luminosidad e intensidad más bajas para suelo bajo vegetación boscosa. Otra característica importante que se deriva de los colores es la

carencia de moteados lo que indica que estos suelos son moderadamente bien drenados y no presentan signos de hidromorfismo.

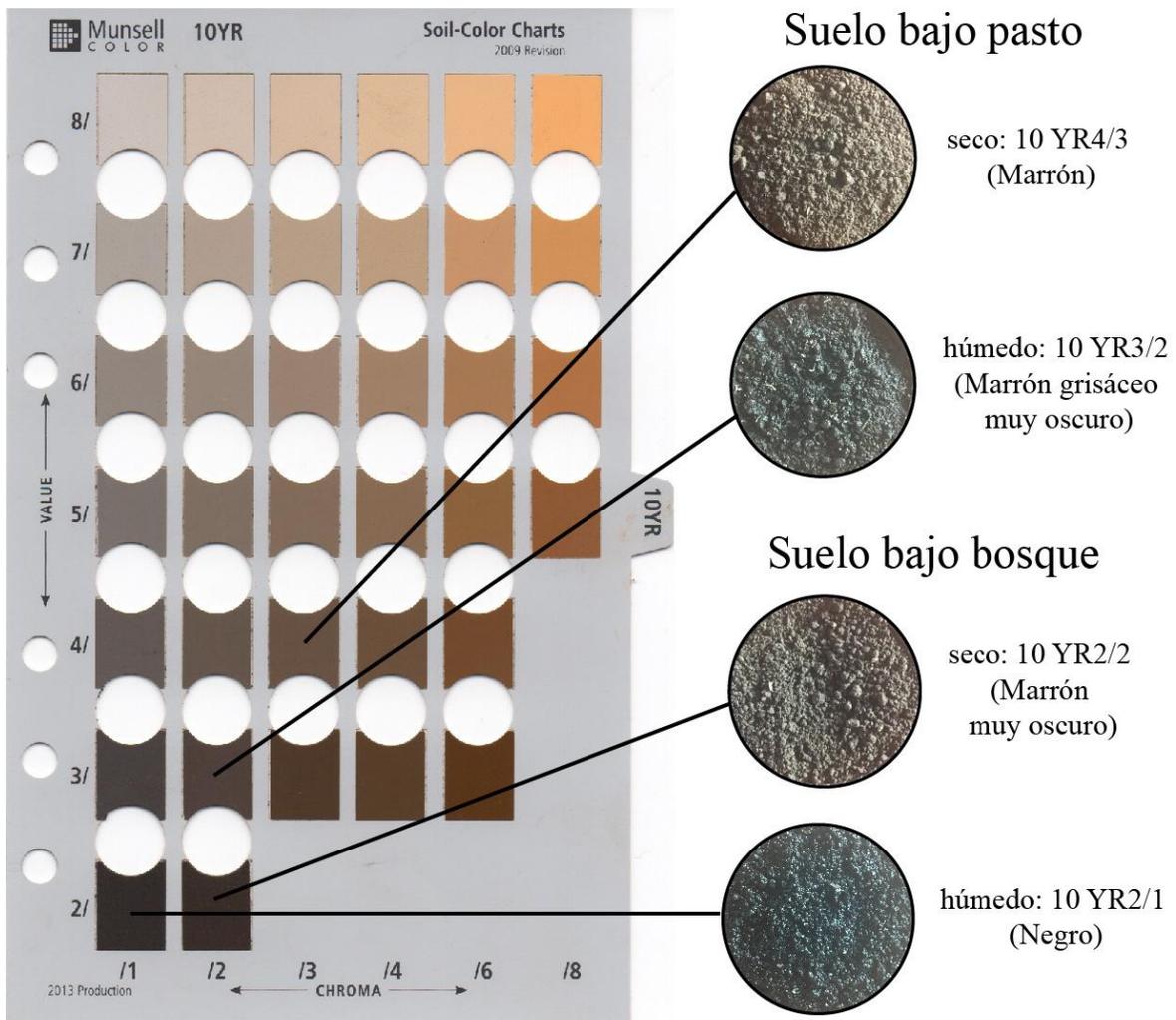


Figura 7. Color de los suelos bajo bosque y pasto
Elaborado por: El autor

2.3. Estructura

La estructura de los horizontes bajo bosque a diferentes profundidades, presentan una estructura primaria de tipo blocosa que rompe a una estructura secundaria de tipo migajosa de grado débil en húmedo, de tamaño fino entre 0,5 y 1 mm. En contraste, los suelos bajo pasto presenta una estructura primaria blocosa y rompe en una estructura secundaria en

bloques subangulares de tamaño entre 1 y 2 mm de grado moderado en húmedo. Estas diferencias se deben al cambio de uso de la cobertura de Bo a Pa. Lo que resulta en modificaciones de la porosidad, ya que a medida que se incrementa la compactación disminuye el espacio poroso, los resultados de los análisis en la estructura reflejan claramente que los suelos bajo Bo exhiben una mayor porosidad, mientras que en suelos bajo Pa la estructura es más cerrada y menos porosa con signos de compactación. Estos valores guardan una relación directa con la capacidad de estos suelos para retener agua, ya que en suelos bajo (Bo) con un contenido de (36%) de humedad, disminuyó en un 10% su capacidad retentiva de agua cuando sustituyeron por Pa a (20%).

2.4. Lombrices.

En las áreas seleccionadas el número de lombrices difiere notablemente, en suelos bajo Bo con un total de 1 lombriz por m² en los primeros 60 cm, existe presencia de turrículos o excretas de lombriz y presencia de actividad biológica diferente. En contraste, el número de lombrices de suelo bajo Pa tiene un promedio de 19 por m² en los primeros 60 cm. Estos resultados se pueden comparar con lo reportado por (Fuentes y Chamarro (1998), en su estudio de abundancia, densidad y biomasa de lombrices de tierra encontradas en el primer horizonte bajo diferentes coberturas vegetales. En este estudio, los autores reportan haber registrado un número de 38 lombrices en suelos bajo pastos con semipastoreo y 2 lombrices en suelos bajo bosque. Los autores concluyen que esta situación podría deberse al efecto sinérgico del pasto y de la cobertura forestal que, en el arreglo silvopastoril, regulan de manera más eficiente las condiciones de luminosidad y humedad en el medio edáfico, favoreciendo un mayor ciclaje de nutrientes. Estos autores, también reportan, que este incremento podría explicarse por la simplificación del hábitat, representado en un mayor número de competidores y enemigos naturales y, por lo tanto, en la presencia de un mayor número de nichos libres y mayor cantidad de alimento disponible en los pastizales que en los rastrojos y en el bosque.

3. Propiedades físico-químicas de los suelos.

3.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad, es otra propiedad que está relacionada con el tipo de vegetación. La Figura 8, muestra que los horizontes orgánicos (Oe) presentes en los suelos bajo Bo

permite que estos retengan un mayor contenido humedad aproximadamente un 36% respecto a su similar en Pa y que solo retiene entre un 18-20% y sus diferencias fueron significativas. El valor del contenido de humedad mostró una diferencia leve en función de la profundidad en ambos sitios, siendo la diferencia contrastante entre el suelo bajo Bo y la conversión a Pa. Esta disminución en la capacidad del contenido de humedad de los suelo bajo Pa podría estar relacionada con el aumento que se produjo de la DA. Así, el ligero aumento de la densidad aparente refleja una ligera compactación y por ende reducción del espacio poroso con la concomitante reducción de la capacidad del suelo a retener agua.

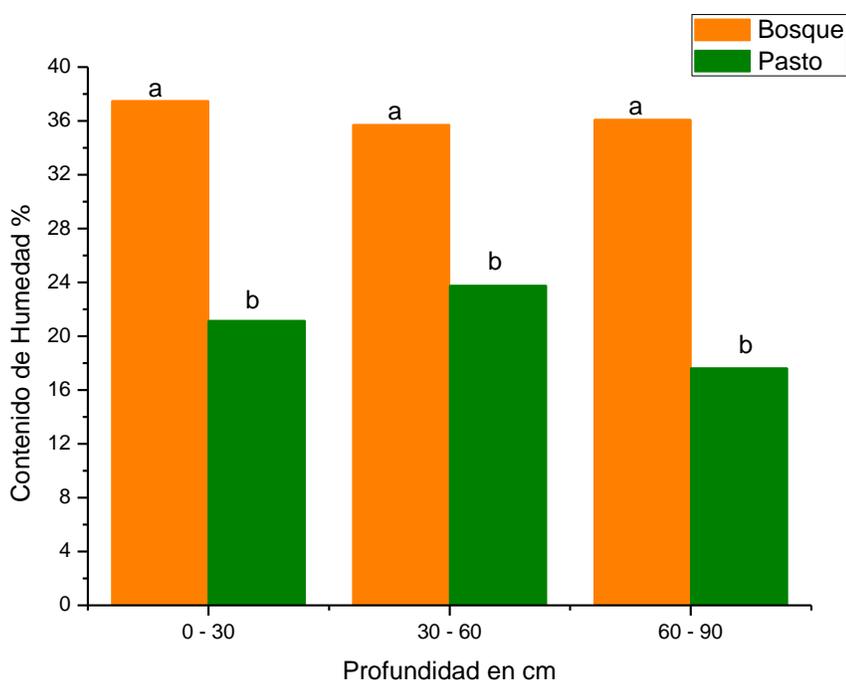


Figura 8. Contenido de humedad en función de la profundidad bajo bosque y pasto
 Letras distintas indican diferencias significativas mediante test de Tukey ($p < 0,05$)
 Elaborado por: El autor.

3.2. Reacción de suelo (pH).

En la mayoría de los perfiles, el pH en agua fue ligeramente ácido. El rango de variación fue muy bajo (Tabla 3). La diferencia de pH, entre los suelos bajo Bo y Pa, a diferentes profundidades, fue cercano a 0,16 unidades, esas diferencias tendieron a ser levemente

mayores en profundidad. El valor “skweness” menor a 1 indica que los datos están distribuidos de manera normal lo cual es uno de los preceptos para proceder con el ANOVA.

Tabla 3. Análisis estadístico descriptivo de los valores de pH

Profundidad	0-30 cm		30-60 cm		>60 cm	
	Bo	Pa	Bo	Pa	Bo	Pa
Media	5,99	6,12	5,91	6,07	5,89	6,12
Error estándar	0,0942	0,169	0,127	0,216	0,104	0,210
Desviación estándar	0,3262	0,506	0,44	0,649	0,36	0,629
Skweness	-0,28	0,63	-0,48	0,38	-0,79	0,48

Elaborado por: El autor.

El análisis de varianza permitió determinar que a pesar que existe una ligera diferencia en los valores de pH, estos no son significativamente diferentes entre sí ($p > 0,05$) en ninguna de las profundidades (Ver Tabla 4). Los resultados de los valores de pH y el análisis de su varianza muestran que el cambio de uso de Bo a Pa no causó cambios en los valores de pH. Esto debe estar asociado a el tipo de suelo. Ambos suelos pertenecen al orden Molisol, que se caracteriza por presentar una saturación de bases mayor al 50%, lo que determina de manera directa los posibles valores de pH, aunado a esto, estos suelos están siendo sometidos a un régimen climático de tipo ústico donde la precipitación ha sido reportada entre los 700 y 900mm con un temporada seca bien marcada (Quishpe, 2017).

Estos valores de precipitación generan condiciones para que los procesos de lixiviación de los nutrientes sean moderados y esto guarda una relación directa con los valores de pH. Estos suelos por ser de evolución moderada tienen una mayor resiliencia a los cambios de pH. Estos resultados, contrastan los reportados por (González y Dezzeo, 2010) donde se compara el efecto del cambio de bosque a pastizal sobre las características del suelo en el que reportan una variación del pH en suelos bajo pasto con respecto al bosque nativo. Sin embargo, en este estudio los suelos pertenecían al orden Alfisol, que se caracterizan por presentar mayor evolución, con una saturación de bases mayor al 35%. Los autores, asocian las diferencias en los valores del pH con el aumento en la tasa de erosión y la

rápida descomposición de los residuos orgánicos, ya que en el área de estudio predominan temperaturas altas.

Tabla 4. Análisis de varianza de pH

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
pH (0-30 cm)				
Tratamientos	1	0,092	0,54	0,47
Error	19	0,169		
Total	20			
pH (30-60cm)				
Tratamientos	1	0,112	0,39	0,54
Error	19	0,290		
Total	20			
pH (>60cm)				
Tratamientos	1	0,273	1,13	0,30
Error	19	0,242		
Total	20			

Tratamientos: Bosque y Pasto. Elaborado por: El autor

3.3. Densidad Aparente.

La densidad aparente (DA) es una propiedad que varía según la textura, el contenido de materia orgánica y las condiciones de uso y manejo de los suelos (Casanova, 2005). En la Tabla 4 se listan los resultados obtenidos, la (DA) cambio poco entre los sitios y a una misma profundidad, el valor skweness menor a 1 indica que los datos están distribuidos de manera normal lo cual es uno de los preceptos para proceder con el ANOVA.

Tabla 5. Análisis estadístico descriptivo de la densidad aparente

Profundidad	0-30 cm		30-60 cm		>60 cm	
	Bo	Pa	Bo	Pa	Bo	Pa
Media	0,90	1,02	0,97	1,14	0,98	1,15
Error estándar	0,0255	0,046	0,0103	0,0148	0,059	0,016
Desviación estándar	0,057	0,081	0,020	0,0246	0,0105	0,028
Skweness	0,76	0,87	-0,73	-0,81	0,77	0,82

Elaborado por: El autor

La Tabla 6, muestra que los valores de DA eran pequeños y estos resultaron significativos a un ($p < 0,05$). La DA fue mayor en suelos bajo Pa con una media de $1,072 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$ frente a Bo con una media de $0,973 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$, Este incremento en los valores de DA en suelos bajo Pa, se debe a los cambios en el impacto inicial que incluye todas las actividades propias del cambio de uso que causan compactación en el suelos. Este incremento en los valores de DA de suelos bajo Pa se manifiesta en una disminución del 10% en el contenido de humedad de estos suelos, ya que al aumentar la densidad aparente disminuye el espacio poroso.

Tabla 6. Análisis de varianza de densidad aparente

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
DA (0-30 cm)				
Tratamientos	1	0,0181	1,05	0,001
Error	7	0,0172		
Total	8			
DA (30-60 cm)				
Tratamientos	1	0,180	7,30	0,003
Error	7	0,024		
Total	8			
DA (>60 cm)				
Tratamientos	1	0,0973	1,78	0,001
Error	7	0,0547		
Total	8			

Tratamientos: Bosque y Pasto. Elaborado por: El autor.

Los reportes de aumentos de DA en suelos bajo pastoreo continuo son frecuentes en la literatura, sin embargo (González y Dezzeo, 2010) reportan que el hecho de que estos valores no hayan cambiado notoriamente entre Bo y Pa en suelos de tipo Alfisoles, parece indicar que a estos pastizales se les está dando un manejo adecuado y probablemente no están siendo utilizados en forma intensiva.

3.4. Contenido de materia orgánica (MO)

La tabla 7, muestra el análisis estadístico descriptivo de los valores de MO en Bo y Pa en las tres profundidades evaluadas, el valor skweness menor a 1 indica que los datos están distribuidos de manera normal lo cual es uno de los preceptos para proceder con el

ANOVA. En la Tabla 7, se puede observar que los valores de MO bajo Bo son 2,1 veces mayor en comparación con los contenidos en Pa. En cada uno de los sitios de estudio se observó que no hubo variación en función de la profundidad. Esto valores de MO, confirma que los Horizontes de 0 – 90 cm, son Epipedones Mólicos, ya que estos se caracterizan por presentar altos contenidos de MO, colores oscuros, profundidades mayor de 17,5 cm, presenta estructura de tipo migajosa o blocosa subangular. La presencia de este Epipedon Mólico es un requerimiento dentro de la Clasificación Taxonómico para clasificar estos suelos dentro del orden Mólisol.

Tabla 7. Análisis estadístico descriptivo del contenido de materia orgánica.

Profundidad	0-30 cm		30-60 cm		>60 cm	
	Bo	Pa	Bo	Pa	Bo	Pa
Media	16,19	7,65	15,65	6,84	15,61	6,71
Error estándar	0,97	0,61	0,87	0,43	0,96	0,630
Desviación estándar	3,37	1,85	3,03	1,31	3,35	1,89
Skweness	-0,23	0,42	0,58	0,64	0,28	-0,03

Elaborado por: El autor

La Tabla 8, muestra el análisis de varianza para los valores de MO los cuáles fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), para todas las profundidades cuando se compara el contenido de MO en suelos bajo Bo con suelos bajo Pa. El cambio en el uso del suelo conduce a una disminución no solamente en el carbón existente en la biomasa aérea, sino también el contenido del COS. Varios autores (Cambardella y Elliot 1992; Six *et al.*, 2000) confirman que la labranza rompe los agregados y expone la materia orgánica que esta físicamente protegida de la degradación y mineralización del carbono y los nutrientes asociados, con el consecuente incremento en las tasas de mineralización, lo que conduce a su vez a la desestabilización de los agregados con la concomitante disminución de los contenido de COS que se convierte en CO₂ (ver Figura 9).

Tabla 8. Análisis de varianza de la materia orgánica

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
MO (0-30 cm)				
Tratamientos	1	383,31	47,71	0,001
Error	19	8,03		
Total	20			
MO (30-60 cm)				
Tratamientos	1	339,45	66,00	0,001
Error	19	6,05		
Total	20			
MO (>60 cm)				
Tratamientos	1	401,89	50,10	0,001
Error	19	8,02		
Total	20			

Tratamientos: Bosque y Pasto. Elaborado por: El autor.

En los suelos bajo bosque ocurre una continua incorporación de materia orgánica que permite que ocurra un continuo rejuvenecimiento de los macroagregados y microagregados y la incorporación de materia orgánica dentro de estos, de manera que esta queda protegida y disminuye su mineralización. Sin embargo en suelos bajo pasto, la disminución del COS podría estar relacionada con la labranza que rompe los agregados y libera la materia orgánica protegida y su inmediata mineralización convirtiéndola en CO₂.

Estudios realizados por Márquez *et al* (1999) señalan que el carbono asociado a la fracción ligera del carbono fue 16-23% en suelos bajo bosque, mientras que en suelos bajo cultivos, esta fracción sólo representa entre el 15%. Sus resultados, también señalan que en un periodo de 10 años; suelos bajo plantaciones (bosque) de poplar (*Populus Xeuramericana*) secuestran carbono a una tasa de 2.4 Mg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que suelos bajo Switchgrass (*Panicum virgatum*) secuestra a una tasa de 1.8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y suelos bajo cultivo de soya (*Glicine max*) a una tasa de 0.40 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Los suelos bajo

bosque de poplar presentan una mayor cantidad de macroagregados temporales y microagregados transitorios que los suelos bajo cultivo, a consecuencia los suelos bajo bosque tienen una mayor capacidad para acumular y secuestrar carbono orgánico tanto en el suelo como en la biomasa aérea (Márquez, García, Cambardella, Schultz, & Isenhardt; Márquez, García, Schultz, & Isenhardt, (2017).

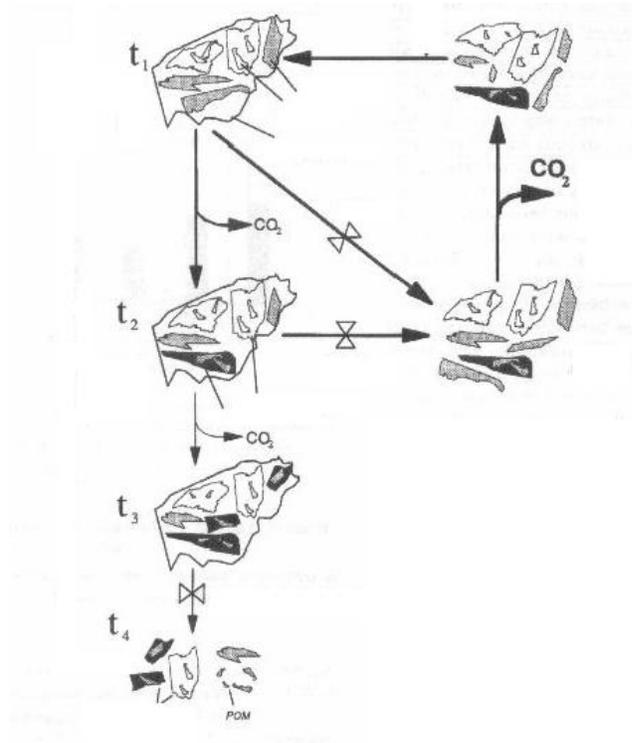


Figura 9. Materia orgánica protegida en agregados y convertida en CO₂
Elaborado por: El autor

3.5. Contenido de carbono (COS) (Mg ha⁻¹) en suelos bajo bosque y pasto

La Figura 10, muestra la distribución de COS por unidad de superficie en Mg ha⁻¹, estos valores están influenciados por los valores de DA y la profundidad de los estratos. En la Figura se observa que en ninguno de los sitios hubo variación en los contenidos de COS en función de la profundidad. Sin embargo, en la figura se observa que los valores de COS fueron marcadamente afectados por el uso del suelo. Los suelos bajo Bo tuvieron un contenido hasta 90 cm de 784 Mg ha⁻¹, mientras que los sitios bajo Pa tuvieron 556 Mg ha⁻¹ a la misma profundidad. La disminución de los contenidos de COS tiene relación con la

degradación antrópica, esta degradación genera cambios sobre algunas propiedades físicas y químicas. Se pueden señalar que las causas más importantes son la labranza, el fuego y el sobrepastoreo.

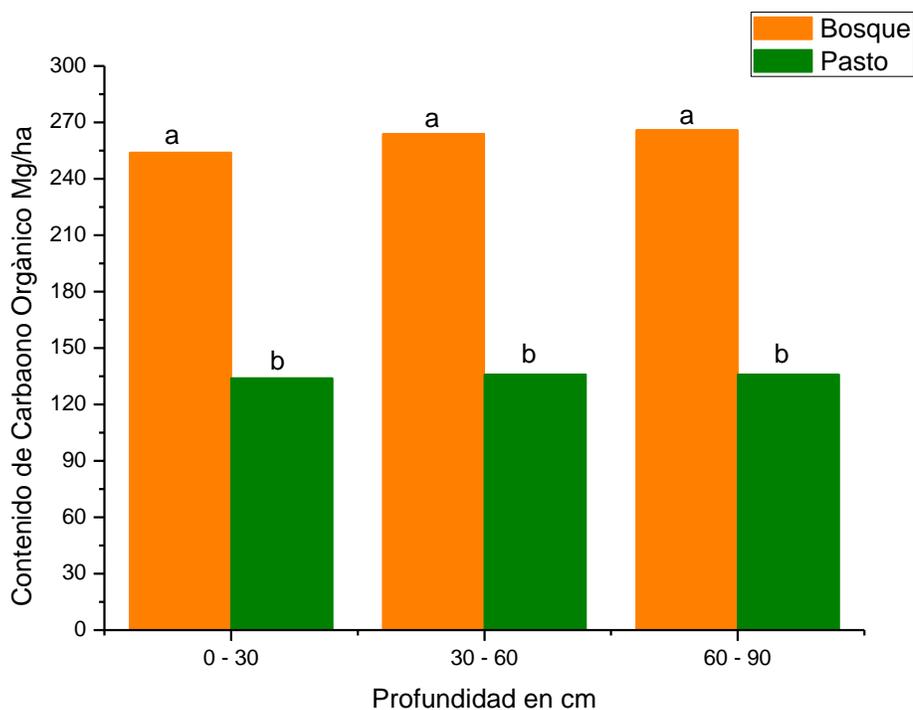


Figura 10. Contenido de carbono orgánico en los suelos bajo bosque y pasto
Letras distintas indican diferencias significativas mediante test de Tukey ($p < 0,05$)
Elaborado por: El autor

Estudios similares de almacenamiento de carbono en el suelo en sistemas de usos de bosque y pasturas en climas y ecosistemas similares en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, reportan que en los tres países los pastos correspondieron con la cobertura o el uso de suelo que almacenó menos carbono, en contraste, el carbono medido en suelos bajo bosque en los países en estudio fue significativamente mayor (Ibrahim et al., 2007).

3.6. Evaluación del impacto del cambio de uso en coberturas de bosque a pasto

Para evaluar el impacto que genera el cambio de uso de cobertura, se evaluó la pérdida o persistencia del contenido en carbono en función al conflicto generado por el cambio de uso

del suelo, tomando en cuenta la aptitud del suelo. La cual, considera la capacidad de uso de suelo de acuerdo a la capacidad productiva en correspondencia con sus limitaciones de uso y la aptitud natural. La FAO reporta que el desarrollo de las actividades agrícolas se da en el entorno de los primeros 0,30 m de profundidad y que es ahí donde el ciclo biogeoquímico se despliega en todo su potencial (Ver tabla 9).

Tabla 9. Matriz de evaluación del impacto en el cambio de uso de Bosque a Pasto.

Uso actual	Aptitud	Conflicto	Área (%)	COT (Mg ha ⁻¹)*	Impacto
Bosque	pastos con limitaciones	subutilizado	0,01	-22,83	vulnerable
Bosque	zonas aptas para pastos	subutilizado	20,89	-33277,48	vulnerable
Bosque	apto para bosque	bien utilizado	40,18	63998,47	positivo
Pasto	pastos con limitaciones	bien utilizado	0,07	60,39	positivo
Pasto	zonas aptas para pastos	bien utilizado	28,11	23690,75	positivo
Pasto	apto para bosque	sobre utilizado	10,60	-8935,70	negativo

(Pérdida -, persistencia +)* Elaborado por: El autor

La Tabla 9, muestra el cruce de información que genera la aptitud en función a nuestra clasificación de uso actual; considerando el impacto que genera debido a la pérdida/persistencia de carbono edáfico en la capa arable 0-30cm; se evaluaron dos tipos de aptitud apto para bosque y pasto en función a las tres categorías de conflicto bien utilizado, subutilizado y sobre utilizado (Ver figura 11).

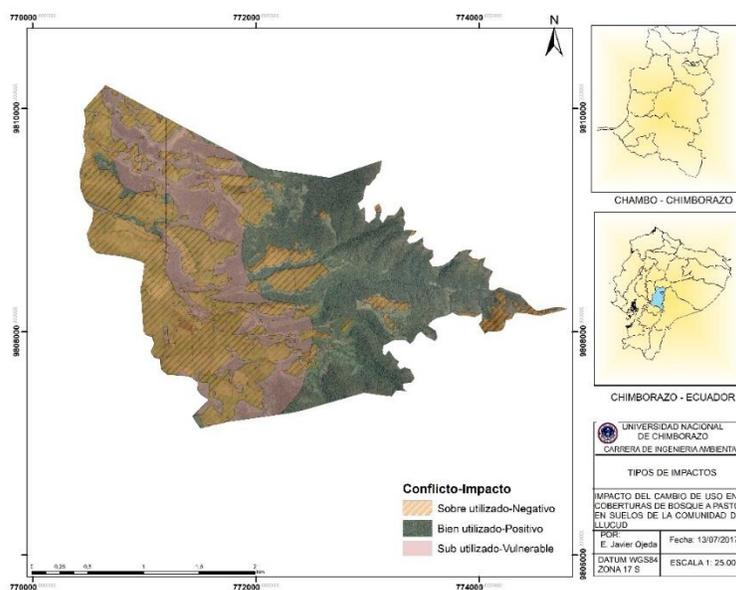


Figura 11. Conflicto entre la aptitud del suelo y uso actual de suelo
Fuente: Autor

El impacto se evaluó en tres categorías positivas, negativas y vulnerables; El impacto vulnerable se determinó en base al conflicto y la pérdida potencial de carbono debido al cambio de uso del suelo. El 40,18% de la superficie correspondiente a bosque está bien utilizada, por lo tanto es un impacto positivo persistiendo 63998,47 (Mg/Ha) de COS. El 10,60% de la superficie correspondiente a pasto esta sobre utilizado, genera un impacto negativo existiendo perdida -8935,70 (Mg/Ha) de COS. El 20,89% de la superficie correspondiente a bosque esta subutilizado de acuerdo a la aptitud, si este cambio de uso se da, existiese -33277,48 (Mg/Ha) de COS como perdida considerando a toda esta área como un impacto vulnerable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- De la delimitación y estratificación del total del área de la microcuenca del Rio Cachipata se logró identificar 628,83 ha, de las cuales se estratificaron en 384,78 bajo bosque y 244,05 bajo pasto.
- Los índices de meteorización y la textura confirman que ambos suelos provienen de materiales parentales similares, esto es importante porque sugiere que los cambios que han ocurrido en las propiedades morfológicas, físicas y químicas de estos suelos son influenciados por el cambio en el uso del suelo de bosque a pasto.
- La conversión de bosque a pasto afecto algunas propiedades morfológicas como la eliminación de la formación de horizonte orgánicos (Oe), colores más claros, estructura más blocosa y menos migajosa.
- La conversión de bosque a pasto causó una drástica disminución en los contenidos de carbono orgánico en los suelos, produjo aumentos en la densidad aparente lo que se observa a través de los signos de compactación con la concomitante disminución del espacio poroso y el contenido de humedad.

- El impacto que genera el cambio de uso en la cobertura es negativo debido a la pérdida del contenido de carbono orgánico que sufre el suelo, y que pueden secuestrar los suelos bajo bosque si no existiera la sustitución por pastos. El segundo impacto y el más importante es el impacto vulnerable que enfrentan las áreas o parches de bosque frente a la aptitud del suelo que persiste con un enfoque agrícola productivo, mas no de conservación de bosques.

2. Recomendaciones.

- Para optimizar una zonificación adecuada y acorde a la realidad de las áreas de estudio se recomienda utilizar cartografía base e imágenes satelitales actualizadas, además se debe utilizar herramientas cartográficas adecuadas, con el fin de acortar costo y tiempos de trabajo.
- Las actividades de monitoreo en este tipo de estratos deben ser continuas con el fin de conocer el flujo y sumidero de carbono presente en estas áreas, considerando épocas similares y condiciones adecuadas para que las muestras no sufran cambios en su análisis, además en la cuantificación de carbono en la fase de laboratorio se debe utilizar instrumentación de precisión y equipos de análisis modernos.
- Los valores obtenidos del contenido de carbono orgánico del suelo pueden ser empleados como indicadores de un estado de conservación y debe ser un referente para establecer límites permisibles de explotación en la sierra, además se debe contrastar esta información como ámbito practico en la elaboración de evaluación de impactos, planes de acción en proyectos productivos, políticas públicas y ordenanzas gubernamentales enfocadas en la conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- AME. (2016). Asociacion de municipalidades del Ecuador GAD/CHAMBO. Retrieved from <http://www.ame.gob.ec/ame/index.php/ley-de-transparencia/65-mapa-cantones-del-ecuador/mapa-chimborazo/265-canton-chambo>
- Baquero, F. (2004). La vegetacion de los andes de los Andes del Ecuador: Memoria explicativa de los mapas de vegetación potencial y remanente de los Andes del Ecuador a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. In *EcoCiencia / CESLA / EcoPar / MAG SIGAGRO / CDC- JATUN SACHA / División Geográfica - IGM*.
- Bautista-Cruz, A., del Carmen Gutiérrez-Castorena, M., del Castillo-Sánchez, R. F., & Etchevers-Barra, J. D. (2005). Cronosecuencia de un suelo y su clasificación en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 147-157
- Brady, C.N. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 777-783.
- Camps Arbestain, M., & Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Edafologia*, 11(1), 27-36.
- Cantú, M. P., Becker, A. R., & Bedano, J. C. (2008). Evaluacion de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios Desarrollo y aplicación de la metodología del proyecto (Fundación). Editorial UNRC. Río Cuarto. Argentina.
- Caranqui, J. (2011). Estudio de la diversidad florística a diferente gradiente altitudinal en el bosque montano alto Llucud, cantón chambo, provincia de Chimborazo. *Herbario Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo*.

- Casanova E (2005) Introducción a la Ciencia del Suelo . 2ª ed. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 482 pp
- Cueva, K., Añasco, M., Ordoñez, L., Salazar, X., Sánchez, G., Cisneros, C., & Segura, D. (2012). Manual de campo del Proyecto Evaluación Nacional Forestal ENF y el Programa Nacional Conjunto ONU-RED+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador bajo la cooperación del Programa “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático” FAO Finlandia. (Quito: Min). Fao Finlandia.
- Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. (2014). Comparación De Métodos Para Determinar Carbono Orgánico En Suelo. *Cienc Suelo (Argentina)*, 32(1), 13–19.
- FAO. (2009). Soluciones para la compactación del suelo. In P. FIAT (Ed.), *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible* (Octava Ed., p. 23). Roma: FAO.
- FAO. (2015). *Guia para la descripcion de suelos*. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Ed.) (Octava Edi). Roma.
- Fuentes, A., & Chamarro, C. (1998). Caracterizacion ecologica de la lombrices nativas (Pheretima sp., Eudovoscolex sp. Bajo diferentes usos del suelo (Guaviare, Colombia)*, (2), 194–203.
- Gayoso, J., & Schlegel, B. (2001). Proyectos forestales para la mitigación de gases de efecto invernadero. Una tarea pendiente. *Ambiente y desarrollo*, 1, 41–49.
- González, A., & Dezzio, N. (2010, February). Efecto del cambio de bisque pastizal sobre las características de algunos suelos en los llanos occidentales de Venezuela. *Interciencia*, Vol. 36, Núm. 2, Febrero, 2011., 135–141.
- Gonzalez, M., Etchevers, B., & Hidalgo, M. (2008). Carbono en suelos de ladera: Factores que deben de considerarse para determinar su cambio en el tiempo, 42(7), 742–751.
- Hernandez, M. (2012). Servicios Ambientales de los Ecosistemas de Pastizales Semiáridos del Altiplano del Norte de México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad

Autónoma de Nuevo León. Recuperado de: [Http://www. Fcf. Uanl. mx/sites/default/files/files/30_, 203, C2.](http://www.fcf.uanl.mx/sites/default/files/files/30_203_C2)

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforesteria En Las Americas*, 45.

IPCC. (2007). *Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Suiza. Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

Kendrick, J. K.; McFadden, L. D. 1996. Comparison and contrast of processes of soil formation in the San Timoteo badlands with chronosequences in California. *Quaternary Res.* 46: 149-160 pp.

Llamuca, J. (2015). Determinación de carbono en el suelo de bosque nativo de ceja andina en el sector Guangra, parroquia achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Escuela superior politécnica de chimborazo.

Lojan, L. (2003). El verdor de los andes ecuatorianos realidades y promesas, Proyecto apoyo al desarrollo forestal Comunal/DFC/FAO. (Q.-E. Editorial SOBOC Grafic, Ed.).

López-Ulloa, M., Paul, S., Flessa, H., & Veldkamp, E. (2008). Stabilization of recent soil carbon in the humid tropics following land use changes: Evidence from aggregate fractionation and stable isotope analyses. In *Biogeochemistry* (Vol. 87, pp. 247–263). <https://doi.org/10.1007/s10533-008-9182-y>

La Manna, L. (2005). Caracterización de los suelos bajo bosque de *Austrocedrus chilensis* a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 137-153

Martínez, S., Cano, A. F., & Avilés, J. A. A. (2001). Contenido en carbono orgánico como indicador del proceso de desertificación en suelos desarrollados de material parental volcánico en la Región de Murcia. *Soil Erosion and Desertification*, 327–330.

- Márquez, C.O., C.A. Cambardella, R.C. Schultz, and T.M. Isenhart . 1999. Assessing soil quality in a riparian buffer by testing organic matter fractions in Central Iowa, USA. *Agroforestry System* 44:133-140
- Marquez, C. O., Garcia, V. J., Cambardella, C. A., Schultz, R. C., & Isenhart, T. M. (2004). Aggregate-size stability distribution and soil stability. *Soil Science Society of America Journal*, 68(3), 725-735.
- Márquez, C. O., García, V. J., Schultz, R. C., & Isenhart, T. M. (2017). Assessment of soil degradation through soil aggregation and particulate organic matter following conversion of riparian buffer to continuous cultivation. *European Journal of Soil Science*, 68(3), 295-304.
- Mcroberts, R. E., Tomppo, E. O., & Czaplewski, R. I. (2015). Diseños de muestreo de las Evaluaciones Forestales Nacionales. *Antologia de Conocimiento Para La Evaluación de Los Recursos Forestales Nacionales*, 1–21.
- Ordóñez, J., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera Y Bosques*, 7(1), 3–12.
- Ortiz, A., & Riascos, L. (2007). Almacenamiento y Fijación de Carbono del Sistema Agroforestal Cacao *Theobroma cacao* L y Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken En la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica, 41. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3706E/A3706E.pdf>.
- Quishpe, A. (2009). Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico de la Subcuenca del río Chambo. Escuela Politécnica Nacional.
- Lal, R. Edwards, P. Madden, H. R. (1991). Sustainable agricultural systems. *Applied Geography*, 11(1), 85. [https://doi.org/10.1016/0143-6228\(91\)90010-7](https://doi.org/10.1016/0143-6228(91)90010-7)
- Rice, W. (2011). Secuestro de CO₂ atmosférico en el suelo, 9a ed. Congreso Nacional de APRESID., 9, 88.

- Robertson, F., Crawford, D., Partington, D., Oliver, I., Rees, D., Aumann, C., ... Baldock, J. (2016). Soil organic carbon in cropping and pasture systems of Victoria, Australia. *Soil Research*, 54(1), 64–77. <https://doi.org/10.1071/SR15008>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S., & Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico, I. (2012). “ *Generación De Geoinformación Para La Gestión Del Territorio a Nivel Nacional Escala 1 : 25 000* ” *Componente 4 : “Sistemas productivos.”*
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E. T., & Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2), 681-689.
- Sociedad Ecuatoriana de Ciencia del Suelo. (2014). Mapa Suelos del Ecuador Esc 1: 1000000. Quito-Ecuador.
- Suárez, D. (2008). Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de Páramo en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7(1, 2), 9–15.
- Suarez, G. (2014). Dinámica del carbono y nitrógeno del suelo en ecosistemas de la costa tropical seca, en la Mancha (cicolma), Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 18(2), 347–361.
- Voss, O. (1999). La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la implementación conjunta-El páramo como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosférico. In P. Medina, G. y Mana (Ed.) (Serie Para). Quito-Ecuador.
- Wattenbach, M., Martino, D., Smith, P., Smith, J., McCarl, B., Ogle, S., ... Howden, M. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789–813.
- Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2008). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Rev. For. Lat.*, 11–20.

ANEXOS

1. Parámetros morfológicos

CONGLOMERADO	USO DE SUELO	PARCELA	PROFUNDIDAD	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA		OBSERVACIONES	No LOMBRICES		
						PRIMARIA	SECUNDARIA				
C04	BOSQUE	P1	0-30	7,5YR 2.5/1	FA	BLOCOSA DE GRADO 1 (DEBIL)	MIGAJOSA/G RANULAR	Estructura: tamaños entre 1 -2 mm, Consistencia en humedo (FRIABLE), seco debilmente dura.	Conglomerado de bosque A	0-30	0
			30-60	2.5Y 2.5/1	FA				30-60	0	
			>60	2,5Y 2,5/1	FA				>60	0	
		P2	0-30	10YR 2/2	FA				Conglomerado de bosque B	0-30	1
			30-60	10YR 2/1	FA				30-60	0	
			>60	10YR 2/1	FA				>60	0	
		P3	0-30	10 YR 2/1	FA				Observaciones: En los dos conglomerados de bosque si existio actividad biologica, mas no de lombrices pero se encontro gran cantidad de excretas de lombriz o turriculos		
			30-60	10 YR 2/1	FA						
			>60	10 YR 2/1	FA						
C03	BOSQUE	P1	0-30	10 YR 2/1	FA						
			30-60	10 YR 2/1	FA						
			>60	10 YR 2/1	FA						
		P2	0-30	5 YR 2,5/1	FA						
			30-60	5 YR 2,5/1	FA						
			>60	5 YR 2,5/1	FA						
P3	0-30	10 YR 2/1	FA								
	30-60	10 YR 2/1	FA								
	>60	10 YR 2/1	FA								
C02	BOSQUE	P1	0-30	7,5YR 2.5/1	FA						
			30-60	10YR 2/1	FAL						
			>60	10YR 2/1	FAL						
		P2	0-30	7,5YR 2.5/1	FA						
			30-60	10YR 2/1	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
P3	0-30	7,5YR 2.5/1	FA								
	30-60	10YR 2/1	FA								
	>60	10YR 2/1	FA								
C01	BOSQUE	P1	0-30	7,5YR 2.5/1	FA						
			30-60	10YR 2/2	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
		P2	0-30	10YR 2/2	FA						
			30-60	10YR 2/1	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
P3	0-30	10YR 2/1	FA								
	30-60	10 YR 2/1	FA								
	>60	10YR 2/1	FA								

C03	PASTO	P1	0-30	7.5YR 2.5/1	FA	(BLOCOS A: BLOQUES SUBANGU LARES DE GRADO 2 (Moderado)	GRANULAR	Estructura: tamaño entre 1-2 mm, Consistencia: adhesivo (No marca huellas dactilares) en humedo y en seco de consistencia dura. El suelo bajo pasto se presenta mucho mas compacto que en bosque.	Conglomerado	0-30	18
			30-60	5YR 2.5/1	A				de pasto A	30-60	5
			>60	5YR 2.5/1	A					>60	0
		P2	0-30	10YR 2/1	FAL				Conglomerado	0-30	15
			30-60	10YR 2/1	A				de pasto B	30-60	1
			>60	10YR 2/2	A					>60	0
		P3	0-30	10YR 2/2	FA				Observaciones: Además de presencia de lombrices se pudo observar actividad biologica de macrofauna edafica		
			30-60	10YR 2/1	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
C02	PASTO	P1	0-30	10YR 2/2	FA	(BLOCOS A: BLOQUES SUBANGU LARES DE GRADO 2 (Moderado)	GRANULAR	Estructura: tamaño entre 1-2 mm, Consistencia: adhesivo (No marca huellas dactilares) en humedo y en seco de consistencia dura. El suelo bajo pasto se presenta mucho mas compacto que en bosque.			
			30-60	10YR 2/2	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
		P2	0-30	5YR 2.5/1	FAL						
			30-60	7.5YR 2.5/1	FAL						
			>60	5YR 2.5/1	FAL						
		P3	0-30	10YR 2/2	FA						
			30-60	10YR 2/1	A						
			>60	10YR 2/1	A						
C01	PASTO	P1	0-30	10YR 2/1	FA	(BLOCOS A: BLOQUES SUBANGU LARES DE GRADO 2 (Moderado)	GRANULAR	Estructura: tamaño entre 1-2 mm, Consistencia: adhesivo (No marca huellas dactilares) en humedo y en seco de consistencia dura. El suelo bajo pasto se presenta mucho mas compacto que en bosque.			
			30-60	10YR 2/1	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
		P2	0-30	10YR 2/2	FA						
			30-60	10YR 2/1	FA						
			>60	10YR 2/1	FA						
		P3	0-30	10YR 2/1	FA						
			30-60	10YR 2/1	A						
			>60	10YR 2/1	A						

2. Valores de MO, DA y COS (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto de 0-30

CONGLOMERA	USO DE SUELO	PARCELA	PROFUNDIDAD	pH	PESO SUELO SECO (g)	P. SUELO EST. 105 oC (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. 360° (g)	%MO	%CO	Prof	DA Mg/m3	CO Mg /ha
C04	BOSQUE	1	0-30	5,78	5,00	3,44	3,01	12,50	7,25	0,30	0,90	195,77
		2	0-30	6,37	5,00	4,38	3,90	10,96	6,36	0,30	0,90	171,63
		3	0-30	5,84	5,00	4,14	3,67	11,35	6,59	0,30	0,90	177,80
		4	0-30	6,21	5,00	3,62	3,01	16,85	9,77	0,30	0,90	263,91
		5	0-30	6,15	5,00	3,51	2,90	17,38	10,08	0,30	0,90	272,18
		6	0-30	6,53	5,00	4,23	3,59	15,13	8,78	0,30	0,90	236,96
		7	0-30	6,15	5,00	3,79	3,21	15,30	8,88	0,30	0,90	239,67
		8	0-30	5,63	5,00	3,66	2,93	19,95	11,57	0,30	0,90	312,37
		9	0-30	6,02	5,00	2,70	2,13	21,11	12,25	0,30	0,90	330,63
		10	0-30	6,06	5,00	3,62	3,06	15,40	8,93	0,30	0,90	241,18
		11	0-30	5,36	5,00	3,54	2,86	19,21	11,14	0,30	0,90	300,84
		12	0-30	5,80	5,00	3,22	2,60	19,19	11,13	0,30	0,90	300,58
C03	PASTO	1	0-30	6,93	5,00	4,26	3,80	10,80	6,26	0,30	1,02	191,66
		2	0-30	6,74	5,00	4,34	3,97	8,53	4,95	0,30	1,02	151,32
		3	0-30	6,60	5,00	4,11	3,72	9,49	5,50	0,30	1,02	168,43
C02	PASTO	4	0-30	5,66	5,00	4,38	4,16	5,05	2,93	0,30	1,02	89,62
		5	0-30	6,11	5,00	4,10	3,80	7,32	4,24	0,30	1,02	129,87
		6	0-30	5,66	5,00	4,31	4,02	6,73	3,90	0,30	1,02	119,43
C01	PASTO	7	0-30	5,66	5,00	4,30	4,06	5,58	3,24	0,30	1,02	99,02
		8	0-30	6,01	5,00	4,22	3,94	6,52	3,78	0,30	1,02	115,69
		9	0-30	5,76	5,00	4,35	4,00	8,05	4,67	0,30	1,02	142,81

3. Valores de MO, DA y CO (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto 30 - 60

CONGLOMERADO	USO DE SUELO	PARCELA	PROFUNDIDAD	pH	PESO	P. SUELO	P.SUELO SECO	%MO	%CO	Prof	DA Mg/m ³	CO Mg /ha
					SUELO SECO (g)	EST. 105 oC (g)	DESP. IGNIC. 360° (g)					
C04	BOSQUE	1	30-60	5,99	5,00	3,37	2,94	12,84	7,45	0,30	0,97	216,68
		2	30-60	6,23	5,00	4,52	3,94	12,86	7,46	0,30	0,97	217,01
		3	30-60	6,18	5,00	4,61	4,08	11,56	6,71	0,30	0,97	195,20
C03		4	30-60	6,19	5,00	3,89	3,37	13,37	7,75	0,30	0,97	225,64
		5	30-60	6,48	5,00	3,60	3,10	13,88	8,05	0,30	0,97	234,31
C02		6	30-60	6,34	5,00	4,08	3,48	14,71	8,53	0,30	0,97	248,23
		7	30-60	5,49	5,00	3,34	2,77	17,07	9,90	0,30	0,97	288,06
		8	30-60	5,17	5,00	3,77	3,03	19,70	11,43	0,30	0,97	332,57
C01		9	30-60	5,36	5,00	3,32	2,71	18,37	10,66	0,30	0,97	310,13
		10	30-60	5,57	5,00	3,68	3,10	15,76	9,14	0,30	0,97	266,03
		11	30-60	6,33	5,00	3,67	3,07	16,35	9,48	0,30	0,97	275,96
C03		PASTO	12	30-60	5,70	5,00	3,27	2,57	21,41	12,42	0,30	0,97
	1		30-60	6,97	5,00	3,82	3,58	6,28	3,64	0,30	1,14	124,63
	2		30-60	6,72	5,00	4,38	3,99	9,04	5,24	0,30	1,14	179,31
C02	3		30-60	6,90	5,00	4,24	3,88	8,67	5,03	0,30	1,14	172,05
	4		30-60	5,58	5,00	4,21	3,95	6,18	3,58	0,30	1,14	122,51
	5		30-60	5,30	5,00	4,44	4,22	4,95	2,87	0,30	1,14	98,29
C01	6		30-60	6,03	5,00	4,01	3,76	6,23	3,62	0,30	1,14	123,68
	7		30-60	5,36	5,00	4,27	4,01	6,09	3,53	0,30	1,14	120,79
	8		30-60	5,74	5,00	3,90	3,64	6,67	3,87	0,30	1,14	132,25
	9		30-60	6,00	5,00	4,15	3,84	7,47	4,33	0,30	1,14	148,18

CONGLOMERADO	USO DE SUELO	DE PARCELA	PROFUNDIDAD	pH	PESO SUELO SECO (g)	P. SUELO EST. 105 oC (g)	P.SUELO SECO DESP. 360° (g)	SECO IGNIC.	%MO	%CO	Prof	DA Mg/m3	CO Mg /ha
--------------	--------------	------------	-------------	----	---------------------	--------------------------	-----------------------------	-------------	-----	-----	------	----------	-----------

4. Valores de MO, CO, DA y CO (Mg/Ha) en suelos bajo Bosque y Pasto >60

C04		1	>60	6,17	5,00	3,41	2,89	15,42	8,94	0,30	0,98	262,96
		2	>60	5,85	5,00	4,17	3,65	12,47	7,23	0,30	0,98	212,66
		3	>60	6,07	5,00	4,25	3,79	10,82	6,28	0,30	0,98	184,58
C03		4	>60	6,27	5,00	3,80	3,32	12,63	7,33	0,30	0,98	215,41
		5	>60	6,17	5,00	3,59	2,99	16,71	9,69	0,30	0,98	285,01
	BOSQUE	6	>60	6,33	5,00	4,31	3,77	12,53	7,27	0,30	0,98	213,66
C02		7	>60	5,69	5,00	3,11	2,56	17,68	10,26	0,30	0,98	301,59
		8	>60	5,21	5,00	3,57	2,84	20,45	11,86	0,30	0,98	348,71
		9	>60	5,33	5,00	3,32	2,67	19,58	11,36	0,30	0,98	333,88
C01		10	>60	5,66	5,00	3,72	3,21	13,71	7,95	0,30	0,98	233,80
		11	>60	5,95	5,00	3,57	3,04	14,85	8,61	0,30	0,98	253,17
		12	>60	6,04	5,00	3,37	2,68	20,47	11,88	0,30	0,98	349,16
C03		1	>60	6,69	5,00	4,24	3,88	8,49	4,92	0,30	1,15	169,91
		2	>60	6,91	5,00	4,24	3,85	9,20	5,34	0,30	1,15	184,07
		3	>60	7,08	5,00	4,41	4,00	9,24	5,36	0,30	1,15	184,90
C02		4	>60	5,40	5,00	4,51	4,24	5,99	3,47	0,30	1,15	119,80
	PASTO	5	>60	5,43	5,00	4,34	4,08	5,99	3,47	0,30	1,15	119,89
		6	>60	6,13	5,00	4,89	4,55	7,01	4,07	0,30	1,15	140,28
C01		7	>60	5,82	5,00	4,43	4,27	3,61	2,09	0,30	1,15	72,28
		8	>60	5,68	5,00	3,91	3,70	5,37	3,12	0,30	1,15	107,48
		9	>60	5,99	5,00	4,14	3,89	6,04	3,50	0,30	1,15	120,84

5. Anexo fotográfico de la investigación.

FASE DE CAMPO

IMPLEMENTACION DE PARCELAS PERMANENTES DE MUESTREO



RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO



FASE DE LABORATORIO

