



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

“Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute”

**Tesis previa a la obtención del título de:
Ingenieros Agrónomos**

Autores:

Edgar Patricio Llanos Sánchez
Juan Carlos Escandón Escandón

Director:

Ángel Oswaldo Jadán Maza. Mg Sc

**Cuenca, Ecuador
2016**



RESUMEN

La información de los stocks de Carbono en usos del suelo es limitada en el Ecuador, es un elemento relacionado con la materia orgánica y textura del suelo. Estas relaciones merecen ser evaluadas con fines de manejo y conservación del páramo. Se desarrolló esta investigación donde se estimó el Carbono almacenado en la biomasa sobre y debajo el suelo (dos profundidades: 0 a 10 y 10 a 30 cm) en tres usos del suelo en un piso altitudinal. Se determinó la relación entre el Carbono de la biomasa aérea con el Carbono en el suelo a dos profundidades. Metodológicamente se instalaron 102 sitios de muestreo distribuidos en: 30 en plantaciones de pino, 36 en páramo intervenido y 36 en páramo no intervenido. Estos sitios fueron distribuidos en tres pisos altitudinales: 1) P1: 2800 - 3200 m.snm, 2) P2: 3200 - 3500 m.snm, y 3) P3: > 3500 m.snm. En los sitios de muestreo se tomaron datos y calculó la biomasa aérea. Se tomaron muestras de suelos para determinar el Carbono orgánico, se utilizó el método de ignición, a dos profundidades. Los resultados indicaron que el Carbono orgánico en el suelo se encuentra en sitios de mayor altitud. Existen mayores cantidades de Carbono orgánico en páramos no intervenidos y plantaciones forestales. Esto es por la densidad aparente y modificaciones en la textura del suelo. Se concluyó que el Carbono orgánico en el suelo está asociado con variables taxonómicas y actividades agrícolas.

PALABRAS CLAVES: PÁRAMO, IGNICIÓN STOCKS Y MATERIA ORGÁNICA



ABSTRACT

Information on carbon stocks between land use types is limited in Ecuador, it is related with soil organic matter and soil texture. These relationships deserve to be evaluated in order to develop a better management and conservation of the paramo ecosystem. This research was developed in three land uses where we estimated the carbon stored in the biomass above and below ground (Depths: 0 to 10 and 10 to 30 cm). 102 monitoring sites were installed distributed between land use types (30 pine plantations, 36 disturbed paramo and 36 undisturbed paramo) and at three elevation ranges 1) P1: 2800 - 3200 m. a. s. l., 2) P2: 3200 – 3500 m. a. s. l. 3) P3: > 3500. In the sampling sites aboveground biomass were calculated. Soil samples were taken to determine the organic carbon at two depths and the method of ignition was used. The results indicated that the higher levels of soil organic carbon are in the soil at higher altitudes. Larger amounts of organic carbon were found in paramo and forest plantations. This is attributed to bulk density and also changes in soil texture. It was concluded that the soil organic carbon associated with taxonomic variables and agricultural activities.

KEYWORDS: PÁRAMO, IGNITION STOCKS, AND ORGANIC MATTER



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	
2. ABSTRACT.....	
3. INTRODUCCIÓN.....	1
4. OBJETIVOS.....	4
4.1. Objetivo General	4
4.2. Objetivos Específicos	4
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:.....	4
6. REVISIÓN DE LITERATURA	5
6.1. Cambio climático	5
6.2. Problemas e impactos ecológicos provocados por el cambio de uso en los ecosistemas andinos	7
6.3. Almacenamiento y fijación de Carbono en ecosistemas andinos como servicio ecosistémico	8
7. MATERIALES Y METODOS.....	11
7.1. Área de estudio	11
7.2. Selección de sitios de investigación.....	12
(PL) Plantaciones de pino, (PNI) Páramo no intervenido, (PI) Páramos intervenido.	14
7.3. Muestreo de la biomasa y cálculo del carbono aéreo	14
7.4. Muestreo y determinación del contenido de Carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en el suelo.....	16
7.4.1. Contenido de Carbono orgánico en el suelo.....	16
7.4.2. Carbono orgánico almacenado en el suelo	18
7.4.3. Densidad Aparente	18
Donde; r es el radio del cilindro y h es la altura del cilindro.....	20
8. ANALISIS ESTADISTICO.....	20
9. RESULTADOS	22
9.1. Carbono almacenado en biomasa aérea	22
9.2. Carbono almacenado en suelos a dos profundidades	24
9.3. Relación Carbono con pisos altitudinales.....	27
9.4. Relación carbono almacenado en suelos a dos profundidades	27
9.5. Relación Carbono con el uso del suelo	29
9.6. Relación carbono almacenado en suelos a dos profundidades con el uso del suelo.....	30
9.7. Relaciones entre biomasa aérea vs Carbono en el suelo	32
10. DISCUSIÓN.....	39
10.1. Relación entre biomasa aérea con Carbono orgánico en el suelo... ..	39



10.2.	Relación Carbono orgánico en el suelo con la altitud	39
10.3.	Relación Carbono orgánico con el uso del suelo	40
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
11.1.	CONCLUSIONES	42
11.2.	RECOMENDACIONES	43
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	44
13.	ANEXOS	47
	Anexo 1. Cuadro para tomar los datos de suelo en el campo.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Carbono orgánico total capturado en una investigación en el parque Nacional Sangay	9
-----------------	--	---

Tabla 2.	Ubicación política de las plantaciones propietarios y el piso altitudinal donde se encuentran ubicadas en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.	13
-----------------	---	----

Tabla 3.	Factores y niveles a evaluarse en los tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos de las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. .	20
-----------------	---	----

Tabla 4.	Tratamientos a evaluarse en los tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos de las sub-cuencas del río León, Tarqui y Yanuncay.	21
-----------------	--	----

Tabla 5.	Promedios \pm error estándar de biomasa en las plantaciones de pinos (B Pino), biomasa aérea (BA), biomasa aérea total (BAT) en los diferentes tratamientos y de Carbono en las plantaciones de pinos (C Pino), Carbono en Biomasa aérea (CBA), Carbono en la biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay	23
-----------------	--	----

Tabla 6.	Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico en el suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico en el suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay	25
-----------------	---	----

Tabla 7.	Promedios \pm error estándar de Carbono en plantas de pinos (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.	27
-----------------	--	----

Tabla 8.	Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en el suelo en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay	28
-----------------	---	----



Tabla 9. Promedios \pm error estándar de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA) y Carbono biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 30

Tabla 10. Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 31

Tabla 11. Promedios \pm error estándar de materia orgánica a 10 cm, materia orgánica a 30 cm, densidad aparente a 10 cm y densidad aparente a 30 cm, en los diferentes pisos altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 34

Tabla 12. Correlaciones entre las variables de biomasa de plantas de pino (B Pino), biomasa aérea (BA), biomasa aérea total (BAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT), en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay..... 35

Tabla 13. Correlaciones entre las variables biomasa de las plantas de pino (B – Pino), BA, BAT, COS a 10 cm, COS a 30 cm y COT, Da a 10 cm, Da a 30 cm, MO a 10 cm y MO a 30 cm en las diferentes gradientes altitudinales evaluadas en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 36

Tabla 14. Correlaciones entre las variables B - Pino, BA, BAT, COS a 10 cm, COS a 30 cm y COT, Da a 10 cm, Da a 30 cm, MO a 10 cm y MO a 30 cm en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de estudio en la provincia del Azuay 11

Figura 2. Esquema de los sitios de investigación. 12

Figura 3. Esquema del sitio de muestreo de la biomasa aérea y Carbono en plantaciones de *P. patula* y páramos (intervenido y no intervenido) en las sub cuencas de los ríos León, Tarquí y Yanuncay..... 16

Figura 4. Calicata donde se recolectó las muestras de suelo para determinar el Carbono almacenado en el suelo. 17

Figura 5. Promedios de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono total de biomasa (CBAT), Carbono orgánico en el suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico en el suelo (COS) a 30 cm y Tratamientos (T) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay..... 26



Figura 6. Promedio de Carbono en plantas de pino (C – Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm en el suelo en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 29

Figura 7. Promedios de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Páramo intervenido (Par-intervenido) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay. 32



Yo, **Edgar Patricio Llanos Sánchez**, autor de la tesis "**Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, 29 de septiembre de 2016

Edgar Patricio Llanos Sanchez
C.I: 0104961107

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



Yo, **Juan Carlos Escandón Escandón**, autor de la tesis "**Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, 29 de septiembre de 2016

Juan Carlos Escandón Escandón
0105230486

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



Yo, **Edgar Patricio Llanos Sánchez**, autor de la tesis "**Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **INGENIERO AGRÓNOMO**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afectación alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 29 de septiembre de 2016

Edgar Patricio Llanos Sanchez
C.I: 0104961107

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



Yo, **Juan Carlos Escandón Escandón**, autor de la tesis "**Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **INGENIERO AGRÓNOMO**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afectación alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 29 de septiembre de 2016

Juan Carlos Escandón Escandón
0105230486

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



DEDICATORIA

A mis padres Augusto y Rosa por todo el apoyo brindado en los momentos más difíciles de mi vida, por ser el ejemplo y sabiduría, por los consejos que siempre me brindaron para que de esa forma sea un hombre de bien.

Patricio

A todos mis familiares por el apoyo brindado en todos los momentos difíciles que se presentaron en este trayecto de la vida, por los consejos que me supieron dar para seguir adelante y para alcanzar lo propuesto.

Juan



AGRADECIMIENTO

A Dios, padres, hermanos y sobrinos por haberme regalado los momentos más lindos que se puede recordar en esta vida.

A Nancy mi esposa e Jordy mi hijo por haber compartido estos años y ser parte de mis triunfos y fracasos, por ser el motor de mi vida.

A mi director Ing. Ángel Oswaldo Jadán Maza M.Sc. Por haber tenido la virtud y paciencia de guiarnos en la tesis y compartir con nosotros los conocimientos.

A los docentes de la Universidad de Cuenca por compartir a lo largo de estos años los conocimientos adquiridos.

A mis amigos y compañeros que estuvieron en los momentos buenos y malos en toda mi vida universitaria.

Patricio

A mis padres, hermanos(as) y sobrinos por compartir todos los momentos felices en esta etapa de la vida.

A todos los docentes de la universidad de Cuenca por haber compartido todas las etapas de la carrera universitaria a lo largo de estos años que se adquirió conocimientos y por los lindos recuerdos que se compartieron en su respectivo momento.

A todos mis amigos, compañeros por estar presente en las buenas y en las malas durante la vida universitaria, por todos los momentos que se compartió en estos años tanto dentro como fuera de la universidad.

A mi director de tesis el Ing. Oswaldo Jadán M.Sc. por haber tenido la paciencia de guiarnos en la tesis y apoyarnos en todos los momentos difíciles que se presentaron durante el estudio de la tesis.

Juan



LISTA DE ABREVIATURAS

GEI: Gases de efecto invernadero.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CH₄: Metano.

N₂O: Óxido nitroso.

HFC: Hidrofluorocarbonos.

PFC: Perfluorocarbonos.

SF₆: Hexafluoruro de azufre.

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

P: Pisos altitudinales.

MO: Materia orgánica.

PNI: Paramo no intervenido.

PI: Paramo intervenido.

PL: Plantaciones de pino.

B Pino: biomasa aérea en las plantas de pino.

BA, biomasa aérea.

BAT: biomasa aérea total.

C Pino: Carbono en plantas de pino.

CBAT: Carbono de la biomasa aérea total.

T: Tratamientos.

COS: Carbono orgánico del suelo.

COT: Carbono orgánico total.

P: Diferencias estadísticas.

MO: Materia orgánica.

Da: Densidad aparente.



1. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola y forestal desde hace algunas décadas han provocado el cambio del uso del suelo. Coberturas naturales como páramos y bosques naturales han sido transformados a cultivos agrícolas, plantaciones y zonas de pastoreo (Rudel et al. 2005). Estas actividades implementadas de manera anti técnica se han constituido en un problema ambiental en algunas zonas andinas del Ecuador. Las consecuencias son evidentes respecto a la degradación y pérdida de bienes y servicios ambientales en especial en ecosistemas frágiles como los páramos (Mena 2000). La alteración del hábitat en ecosistemas de vegetación nativa afecta directamente a aspectos físicos del ecosistema, especialmente a los suelos y también a los componentes bióticos tanto de flora y fauna con la alta posibilidad de que muchas especies nativas desaparezcan localmente o se extingan mundialmente (Buytaert et al. 2011).

Una de las actividades inmersas en el cambio de uso de la tierra es la implementación de plantaciones forestales, llevada desde hace algunas décadas, en los contextos locales regionales y nacionales (Farley y Kelly 2004). En el Ecuador hace algunos años esta actividad no se basó en objetivos claros dirigidos a la obtención de bienes (madera) o provisión de servicios ecosistémicos (Hofstede et al. 2002). En ese entonces para el fomento forestal no existió una planificación ecológica y silvicultural adecuada. No se identificaron áreas con características físicas idóneas para la implementación de plantaciones forestales, de tal manera que los impactos negativos al ecosistema a mediano y largo plazo sean mínimos (Mena 2000).



En el año de 1993 la empresa holandesa Free Air CO₂ Enrichment (FACE) implemento plantaciones forestales en algunas provincias del Sur del Ecuador cuyo objetivo fue capturar el CO₂ atmosférico y fijar Carbono en la biomasa de las plantaciones. Esta empresa para implementar plantaciones forestales utilizó superficies ocupadas por cobertura vegetal nativa. Aquí se instaló plantaciones con especies forestales exóticas especialmente de *Pinus patula*, *P. radiata* y *Eucalyptus globulus*. Tomando como base experiencias obtenidas en otros sitios de los Andes ecuatorianos (Medina y Mena 2000). Esta iniciativa se ha tornado incierta actualmente por no existir suficientes datos como resultados, que validen el aporte de las plantaciones o impactos positivos vinculados a la mitigación del cambio climático (German 2008). Existen pocos estudios desarrollados específicamente en el sur de los andes ecuatorianos que documentan impactos negativos de las plantaciones dirigidos especialmente a la modificación de la dinámica hidrológica del suelo y sus propiedades químicas entre ellas el Carbono orgánico (Crespo et al., 2014).

Los suelos son uno de los componentes del ecosistema que ha experimentado impactos por el cambio tanto en la parte física y en la parte química. El suelo de los ecosistemas naturales como los páramos es el sumidero de Carbono orgánico más importante ya que almacena altas cantidades en comparación de la biomasa aérea, especialmente en páramos de pajonales (Bajo et al. 2014). Esto es calificado como un servicio ecosistémico o ambiental que contribuye directamente a la mitigación del cambio climático (Hammen y Thomas van der 2008).



Bajo et al (2014) afirma que la cantidad de Carbono orgánico en el suelo se relaciona directamente con el aporte de la biomasa aérea proveniente de la cobertura vegetal. También se relaciona con los impactos que ocasiona la vegetación exótica implementada, según estructura morfológica de las plantas (raíces) y requerimientos fisiológicos (cantidad de agua, macro y micro nutrientes) lo que condiciona y modifica parámetros físicos y químicos del suelo (Robert et al. 2012). Estos impactos afectan positiva o negativamente las cantidades de Carbono almacenado y fijado en el suelo, y por ende la funcionalidad de este elemento dentro del ecosistema (Cunalata et al. 2013). El Carbono orgánico es uno de los elementos más dinámicos cuyos flujos tanto en el almacenamiento y fijación son una interrogante a evaluar dentro de escenarios naturales que han sido alterados por el cambio de uso del suelo, en este caso por la implementación de plantaciones forestales (Herrán, 2012).

La importancia de esta investigación radica en fortalecer los conocimientos sobre la relación entre la biomasa existente sobre los suelos con el almacenamiento de Carbono, en páramos y plantaciones forestales (implementadas dentro de los páramos). Este antecedente es importante generar información sobre la funcionalidad de los ecosistemas dirigidos a brindar servicios ambientales, además de ratificar, potencializar o desechar actividades productivas que se han venido realizando en ecosistemas frágiles como son los páramos andinos.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Generar información técnica sobre el almacenamiento de Carbono en los páramos en la región andina, sur del Ecuador.

2.2. Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de Carbono almacenado en la biomasa existente sobre el suelo (hojarasca y biomasa aérea) en tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos, ubicados en una gradiente altitudinal.
- Estimar la cantidad de Carbono almacenado en los suelos a dos profundidades, a) 0 – 10 cm y b) 10 - 30 cm en tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos, ubicados en una gradiente altitudinal.
- Establecer relaciones entre la biomasa existente sobre el suelo con la cantidad de Carbono almacenado en el suelo a dos profundidades, en tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos, ubicados en una gradiente altitudinal.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:

¿La cantidad de Carbono almacenado en el suelo de los páramos está influenciada por la biomasa aérea propiamente de diferentes usos del suelo dentro de una gradiente altitudinal?



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Cambio climático

La presencia de gases en la atmosfera provoca el calentamiento global o efecto invernadero que en condiciones normales son indispensables para el desarrollo de la vida en la superficie terrestre, el aumento excesivo provoca problemas ambientales globales y trastornos importantes que modifican los procesos naturales y dinámicas en los componentes del ecosistema (Conde y Saldaña-Zorrilla 2007). Los problemas ambientales ligados a trastornos climáticos son conocidos actualmente como efectos del cambio climático (Ordoñez y Masera, 2001). Según Ordoñez (2001), el cambio climático y el aumento de la temperatura en la superficie del planeta se da por un elevado incremento de los GEI: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Las causas que han provocado el cambio climático son especialmente las actividades humanas llevadas con mayor intensidad después el desarrollo industrial (Guivarch & Hallegatte, 2013). A estas actividades humanas se adhiere la agricultura y plantaciones forestales, que para ser realizadas necesitan de superficies idóneas para ser eficiente su actividad. En muchos países de la región tropical, la agricultura crece intensamente destruyendo la cobertura vegetal natural para posesionar cultivos, pastizales, áreas forestadas, entre otras (Mandlebaum y Nriagu 2003). Estas superficies no se las consigue de manera natural, sino que son el resultado del cambio del uso del suelo, convirtiendo



áreas naturales como páramos y bosques naturales en superficies agrícolas (Lambin *et al.* 2001).

Económicamente los beneficios provenientes de la agricultura son más fuertes que la conservación de ecosistemas naturales (Farley y Kelly 2004), por lo que la valoración integral se torna como una alternativa fundamental frente a la presión de estas áreas. En América Latina cada día se pierde grandes extensiones de bosques, caso real del Ecuador donde se pierden anualmente 66 000 ha (FAO, 2006).

Los efectos del cambio climático son múltiples y están ligados al incremento de la temperatura de la superficie terrestre y marina. Este fenómeno en algunos países y regiones han provocado el cambio de patrones climáticos evidenciado en las precipitaciones especialmente. Estos cambios perjudican notablemente a los procesos agrícolas productivos en zonas estacionales, como se lo evidencia en algunas provincias del país, especialmente de la región andina y costa (Pardos 2010). También se han afectado procesos ecológicos como la estación reproductiva y migración de animales, distribución de las especies, el tamaño de sus poblaciones, frecuencia de las plagas y brotes de enfermedades (Foster 2001).

En la actualidad el cambio climático es considerado una amenaza para la sociedad en vías de desarrollo, como también para países industrializados. Bajo estas consideraciones muchos países han lanzado la búsqueda de soluciones de mitigación y adaptación al cambio climático en el campo ambiental, tecnológico y socioeconómico (Oltra 2009).



Existen muchos espacios políticos internacionales que tratan de reducir la emisión de gases de efecto invernadero entre ellos el protocolo de Kyoto. Según Rosas (2002) mediante buenas prácticas realizadas en diferentes sectores productivos dispuestas en el protocolo de Kyoto y en los mecanismos de desarrollo limpio se podría mitigar efectos del Cambio Climático. De esta forma se estima que el sector forestal mediante el fomento forestal a través de plantaciones y manejo forestal sostenible podría mitigar entre 12 y 15 % de emisiones globales de Carbono producidas entre los años de 1995 y 2050 (Ministerio del Ambiente 2012).

4.2. Problemas e impactos ecológicos provocados por el cambio de uso en los ecosistemas andinos

Los cambios del uso del suelo que provocan las actividades agrícolas, aportan actualmente a las emisiones de GEI (Le Quéré et al. 2013). El calentamiento global a nivel mundial destruye la capa de ozono y afecta a todos los seres vivos. Este cambio se evidencia en los trastornos climatológicos especialmente en las precipitaciones y temperaturas, desde los contextos locales, regionales y mundiales (Weart 2007). La permanencia de los bosques mediante su manejo y conservación forman parte fundamental en la reducción de los GEI (Foster 2001).

Una de las formas de mitigar el cambio climático es manteniendo el mayor tiempo posible el Carbono en los compartimentos de almacenamiento sea en el suelo y en la biomasa de las plantas (Bajo et al. 2014). Lamentablemente la agricultura tradicional o convencional ha logrado que se pierda la materia orgánica y la



calidad del suelo por las malas prácticas agrícolas que provocan la oxidación y erosión de la tierra (Ordoñez y Masera 2001). Al extenderse la frontera agrícola la superficie del suelo queda descubierta y entra en contacto directo con el viento y la lluvia (Mandlebaum y Nriagu 2003). Es aquí donde se deben aplicar técnicas y prácticas estrictas para el manejo y conservación del suelo de tal manera que no se pierda o degrade su funcionalidad ligada al almacenamiento y fijación de Carbono, que se constituye en servicio ambiental (Schlesinger 1999).

Según Crespo (2014) en investigaciones realizadas en los páramos húmedos del Sur del Ecuador existen grandes variaciones en la parte química y física del suelo. Esto como efecto del cambio de uso del suelo desde su estado natural para transformarlo a zonas de pastoreo, agricultura y sobre todo a áreas de forestación con *Pinus patula*.

4.3. Almacenamiento y fijación de Carbono en ecosistemas andinos como servicio ecosistémico

En los andes del Sur del Ecuador los ecosistemas de vegetación natural más importantes son los páramos y bosques naturales continuos o parches, según su aporte económico, social y ecológico (Mena, P y Hofstede, 2006). Los páramos se caracterizan por encontrarse sobre los 3 000 m.snm y poseen una vegetación herbácea en su mayoría dominada por gramíneas, arbustos o almohadillas (Medina, et al. 2000). Ecológicamente los páramos cumplen funciones ambientales como el almacenamiento y fijación de Carbono (Ordoñez 2001).



Este servicio ambiental es muy importante para el dinamismo o ciclo de ciertos nutrientes y también para mitigar efectos nocivos del Cambio Climático (María et al. 2012). El almacenamiento de Carbono se basa en la remoción del Dióxido de Carbono (CO₂) atmosférico para almacenarlo en diferentes componentes del ecosistema, siendo el suelo uno de los más importantes por su alta capacidad de almacenamiento y retención (Ayala et al. 2014). Con un buen manejo y conservación de los páramos protegemos el suelo y mantenemos su Carbono orgánico. Contradictoriamente si se produce alguna alteración, entre ellas las labranzas como actividad de la agricultura, el Carbono se volatiliza (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

En el ecosistema páramo se han realizado algunos estudios que han permitido conocer de manera cuantitativa cuanto Carbono almacenan. Bajo et al. (2014), realizó un estudio en el parque Nacional Sangay en el estrato páramo ubicado en la comunidad de Ozogoche Bajo (Tabla 1) en un gradiente altitudinal desde los 3 700 m.snm, hasta los 4 100 m.snm, para determinar el Carbono almacenado en el suelo, donde obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 1. Carbono orgánico total capturado en una investigación en el parque Nacional Sangay

Sitios de muestreo	Repeticiones	Biomasa (MgC ha)	Suelo (MgC ha)	CO total (MgC ha)
Páramo	P1		218,61	218,61
	P2		216,23	216,23
	P3		210,17	210,17
Plantación forestal	Pf1	16,33	254,54	270,87
	Pf2	11,03	291,59	302,62
	Pf3	16,72	260,37	277,09

CH: Chimborazo; A, B, C: sitios de investigación; CO: Carbono orgánico.



De esta investigación se concluyó que existe un aumento de Carbono en las plantaciones forestales ubicadas en el parque Nacional Sangay a una altitud mayor a los > 3 700 m. snm. En estos dos escenarios se puede determinar que los suelos de las plantaciones de *Pinus* sp son excelentes sumideros de Carbono (Bajo et al. 2014).

Según el tipo taxonómico de los suelos, los Andosoles son los que más fijan Carbono orgánico en el suelo debido a su composición química articulada a un alto contenido de materia orgánica (MO) (Robert et al. 2012). Estas características relacionadas a factores ambientales como bajas temperaturas permiten la formación de complejos de aluminio que se vuelven tóxicos para los microorganismos. Esto provoca la disminución en la descomposición de la materia orgánica reteniendo el Carbono orgánico en el suelo (Podwojewski y Poulenard 2000).



5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada al Sur del Ecuador en la provincia del Azuay, en las subcuencas de los ríos Tarquí, Yanuncay y León (Figura 1), cuenta con una superficie aproximadamente de 389 939,2 ha. Los sitios donde están las plantaciones que fueron evaluadas están dentro del ecosistema páramo. Según el MAE (2013) el páramo se caracteriza por ser un ecosistema frágil. En el Sur del Ecuador empieza a partir de los 3000 m.snm. Está dominado por vegetación herbácea con gramíneas de los géneros *Calamagrostis* y *Stipa*.

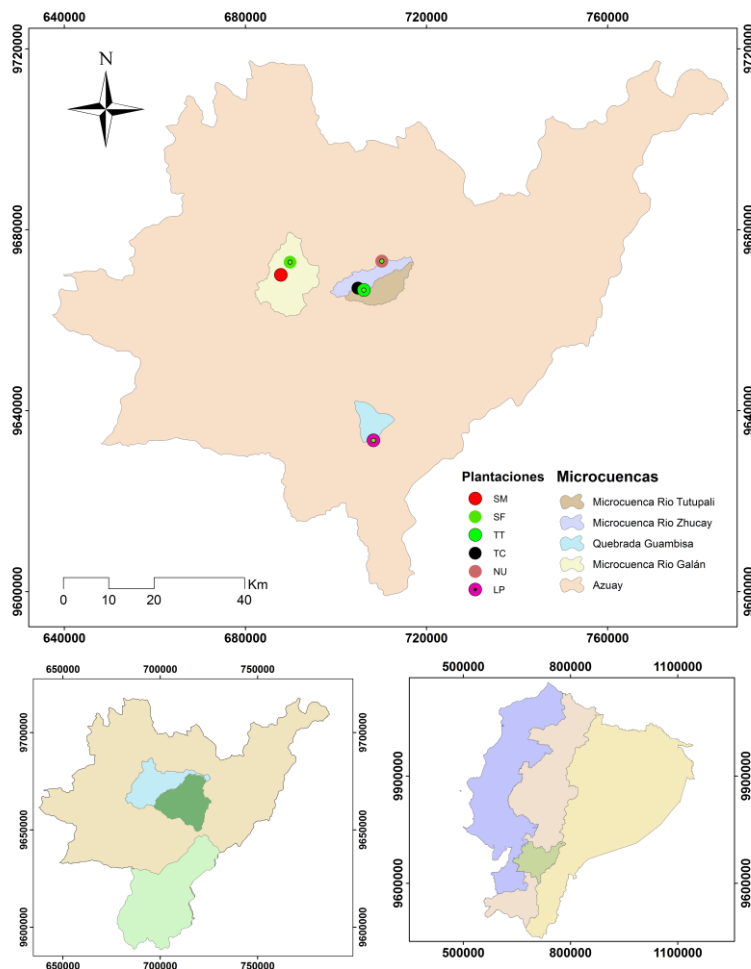


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de estudio en la provincia del Azuay

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS

5.2. Selección de sitios de investigación

Se delimitó y elaboró una capa digital de cobertura vegetal utilizando fotografías aéreas y herramientas informáticas SIG (Programa GvSIG). Aquí se diferenciaron las coberturas vegetales o usos de la tierra: 1) plantaciones forestales con *Pinus patula*, 2) áreas de páramo sin intervención y, 3) páramo intervenido. Seguidamente, se elaboró un modelo de elevación digital que permitió crear una capa temática con tres clases de altitud para delimitar tres pisos altitudinales donde se realizó la investigación: 1) P1: 2800 - 3200 m.snm, 2) P2: 3200 - 3500 m.snm, y 3) P3: > 3500 m.snm. A las capas de cobertura vegetal y altitud se las combinó para seleccionar seis plantaciones forestales, dos en cada piso altitudinal. En cada plantación se seleccionaron al azar 5 sitios de investigación, obteniendo 10 sitios por cada piso altitudinal. También se seleccionaron 12 sitios en páramo intervenido y 12 sitios de páramo no intervenido con un total de 24 sitios de investigación por piso altitudinal (Figura 2).


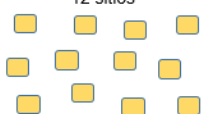
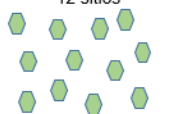
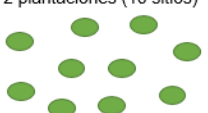

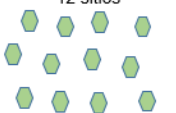


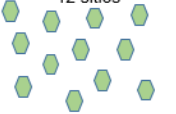
Pisos \ Usos	Usos		
	Plantación	Paramo intervenido	Páramo no intervenido
P1: 2800 a 3200 m. <u>snm.</u>	2 plantaciones (10 sitios) 	12 sitios 	12 sitios 
P2: 3200 a 3500 m. <u>snm.</u>	2 plantaciones (10 sitios) 	12 sitios 	12 sitios 
P3: > 3500 m. <u>snm.</u>	2 plantaciones (10 sitios) 	12 sitios 	12 sitios 

Figura 2. Esquema de los sitios de investigación.



Los criterios de selección fueron los siguientes: En las plantaciones de pino se consideró la edad de la plantación (20 – 25 años), pendiente del terreno (10 al 12%), accesibilidad a las plantaciones y densidad de plantación (3 m x 3 m). Para las áreas de páramo intervenido se consideraron las siguientes características: indicios intervención por ganadería, agricultura y rastros de quemas. Para los sitios de páramo no intervenido se consideró que exista páramo natural con vegetación dominada por pajonal y que no existan rastros de intervención por pastoreo (excrementos fecales) ni quemas. El número, ubicación política de los sitios de muestreo, sectores, microcuencas, sub-cuencas y la altitud se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ubicación política de las plantaciones propietarios y el piso altitudinal donde se encuentran ubicadas en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Provincia	Cantón	Parroquia	Sub cuenca	Sector	Micro cuencas	Piso altitudinal	Número de sitios de muestreo
Azuay	Nabón	Las Nieves	Río León	La paz	Quebrada Huambisa	P1	12 PNI
		Baños	Río Yanuncay	Nero	Río Zhucay		12 PI
					10 PL		
	Cuenca	Tarquí	Río Tarquí	Tutupali	Río Tutupali	P2	12 PNI
		Victoria del Portete			Río Zhucay		12 PI
							10 PL
		Baños	Río Yanuncay	Soldados	Río Galán	P3	12 PNI
					12 PI		
					10 PL		



(PL) Plantaciones de pino, (PNI) Páramo no intervenido, (PI) Páramos intervenido.

5.3. Muestreo de la biomasa y cálculo del carbono aéreo

La biomasa y Carbono almacenado fue evaluado en diferentes componentes de almacenamiento. 1) Plantaciones de pino; 2) biomasa en el estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta.

Para muestrear la biomasa se procedió de la siguiente manera:

1. En las plantaciones de pino para calcular la biomasa individual de cada árbol se aplicó un modelo alométrico propuesto Díaz-Franco et al. (2007) a todas las plantas, dentro de un área de 24 m x 24 m. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$B = 0,0357 \times DN^{2,6916}$$

Donde:

B: Biomasa (kg)

DN: Diámetro normal (cm)

Para obtener el diámetro normal (DN) se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho 1,3 m sobre el nivel del suelo) de todos los árboles existentes dentro de la parcela de 24 x 24 m.

2. En las plantaciones de pino dentro del área de 24 x 24 m en la parte central y en los sitios de páramo escogidos al azar (intervenido y no intervenido) se recolectó una muestra de biomasa viva aérea correspondiente a la biomasa de arbustos y hierbas, en un cuadrante de 50 x 50 cm. En esta superficie también se recolectó la biomasa muerta representada por la hojarasca, madera muerta con diámetros mayores a 2 cm (Figura 3).



3. Las muestras de biomasa total proveniente del estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta, fueron homogeneizadas en una bolsa de lona y pesada en campo para obtener el peso del volumen total de la biomasa. De esta homogenización se recolectó una submuestra equivalente al 10% del peso total de la biomasa. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para determinar la biomasa seca.

4. En el laboratorio, las muestras de biomasa recolectadas fueron secadas en la estufa a temperatura de 60°C y por un tiempo de 72 horas. De esta manera se determinó el peso seco de cada muestra. Siguiendo el procedimiento propuesto por Cunalata et al. (2013), la biomasa seca fue calculada en base a la siguiente ecuación:

$$Biomasa(kg) = \frac{Peso\ seco\ de\ la\ muestra(10-kg)}{Peso\ humed\ de\ la\ muestra(10-kg)} \times Peso\ volumen\ total\ de\ la\ biomasa(kg)$$

5. Los valores obtenidos de la biomasa aérea tanto de las plantas de pino como de la biomasa en el estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta fueron multiplicados por la constante 0,5. Esta constante es emitida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC (Guivarch & Hallegatte, 2013).

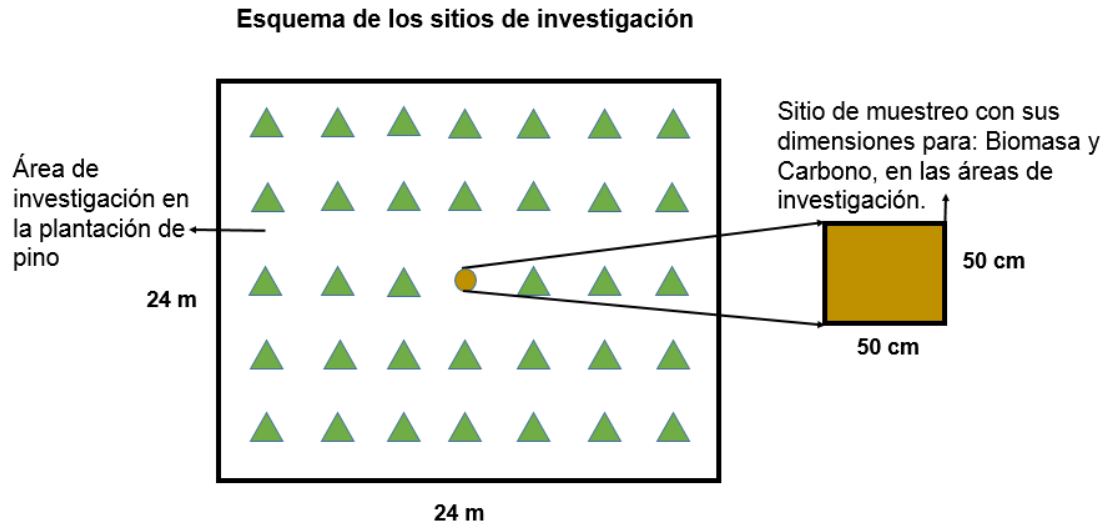


Figura 3. Esquema del sitio de muestreo de la biomasa aérea y Carbono en plantaciones de *P. patula* y páramos (intervenido y no intervenido) en las subcuencas de los ríos León, Tarquí y Yanuncay.

5.4. Muestreo y determinación del contenido de Carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en el suelo

5.4.1. Contenido de Carbono orgánico en el suelo

Para determinar el porcentaje de Carbono almacenado en el suelo dentro de los tres usos (plantaciones de pino, páramo intervenido y no intervenido) en cada sitio de muestreo se realizó una mini-calicata de 0,50 m x 0,50 m x 0,50 m. Aquí se tomó muestras inalteradas de suelos de 2000 g a dos profundidades: de 0 cm – 10 cm y 10 cm – 30 cm (Figura 4). De estas muestras se tomó una cantidad de 500 g, que luego fueron enviadas a los laboratorios de Agrocalidad en Tumbaco (Quito) para determinar el porcentaje de materia orgánica (MO). El método que se aplicó a nivel de laboratorio fue, por pérdida de humedad por ignición (Davies, 1974). Este método consiste en someter a la muestra de suelo

a una temperatura de 430 ° C en una mufla por un tiempo de 24 horas hasta obtener un peso constante lo que permite obtener la materia orgánica oxidada de manera fiable. A esta temperatura no se afecta a las propiedades de los minerales que se encuentran en el suelo. Este método ha sido aplicado en algunos estudios en los contextos tropicales y región andino patagónica (La Manna et al. 2007; Davies 1974; Gonzalez et al. 2016)

Para determinar el porcentaje de Carbono orgánico disponible en el suelo, con los resultados de la materia orgánica se dividió por la constante 1,724. Esta constante fue propuesta por van Benmelen (Davies 1974) quien manifiesta que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono en el 100%. Para obtener la constante se divide el 100/58, la misma que es mayormente utilizada por ser la más confiable en la cuantificación del porcentaje materia orgánica (Arrieché y Pacheco 2013).

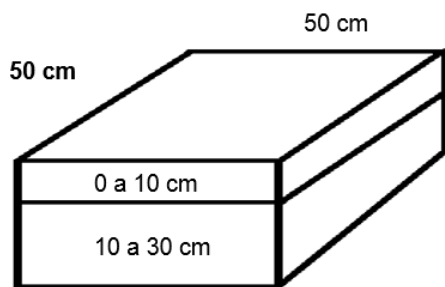


Figura 4. Calicata donde se recolectó las muestras de suelo para determinar el Carbono almacenado en el suelo.



5.4.2. Carbono orgánico almacenado en el suelo

Para determinar el carbono almacenado en el suelo a dos profundidades y total se aplicó la siguiente ecuación

$$CO = C \times Da \times p$$

Donde:

CO: Carbono orgánico almacenado en el suelo (kg/m²)

C: Porcentaje de Carbono obtenido a partir de la materia orgánica (%)

Da: Densidad aparente (kg/m³)

p: profundidad de la muestra (m)

Luego del cálculo, todas las variables de biomasa y Carbono fueron expresadas por hectárea.

5.4.3. Densidad Aparente

Para determinar la densidad aparente paralelamente con el muestreo para el Carbono, se tomó muestras en la mini-calicata de 0,5 m x 0,5 m a dos profundidades

(0 - 10 cm y 10 – 30 cm) utilizando el anillo Kopecky de 100 cm³ (Foto 1). A este anillo se lo clavo de manera horizontal a la mitad de cada profundidad establecida.



Foto 1: Calicata donde se recolectó las muestras con los anillos para determinar la densidad aparente.

Las muestras obtenidas fueron ingresadas a la estufa para ser secadas por 24 horas a 105 °C y obtener el peso seco. Para determinar la densidad aparente (g/cm^3), con los valores obtenidos se aplicó la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Ps}{Vol. Cilindro}$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

Ps = peso del suelo seco (g)

Vol. Cilindro: volumen del cilindro (100 cm^3)

Para calcular el volumen del cilindro se utilizó la siguiente ecuación:

$$Volumen = \pi \times r^2 \times h$$



Donde; r es el radio del cilindro y h es la altura del cilindro.

6. ANALISIS ESTADISTICO

Para las variables del primer y segundo objetivo (biomasa aérea y Carbono almacenado en el suelo, respectivamente) se aplicó un diseño factorial. El primer factor fue los pisos altitudinales con tres niveles: a) P1: 2800 - 3200 m.snm, b) P2: 3200 - 3500 m.snm, y c) P3 > 3500 m.snm. El segundo nivel fue la cobertura vegetal o uso del suelo con tres niveles: a) áreas con plantaciones de *Pinus patula*, b) páramo no intervenido y c) páramo intervenido (Tabla 3). Mediante la interacción de los factores con sus respectivos niveles se obtuvo los siguientes tratamientos (Tabla 4).

Tabla 3. Factores y niveles a evaluarse en los tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos de las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Factor	Niveles
Factor A (Altitud)	P1: 2800 - 3200 m.snm.
	P2: 3200 - 3500 m.snm.
	P3: > 3500 m.snm.
Factor B (Tipo de cobertura vegetal)	Plantaciones de pino (PL)
	Páramo no intervenido (PNI)
	Páramo intervenido (PI)



Tabla 4. Tratamientos a evaluarse en los tres tipos de cobertura vegetal dentro de los páramos de las sub-cuencas del río León, Tarqui y Yanuncay.

TRATAMIENTOS	Repeticiones N ^{ro.} sitios
T1 (P1 PL)	10
T2 (P1, PI)	12
T3 (P1, PNI)	12
T4 (P2, PL)	10
T5 (P2, PI)	12
T6 (P2, PNI)	12
T7 (P3, PL)	10
T8 (P3, PI)	12
T9 (P3, PNI)	12

P: pisos altitudinales; (PL) Plantaciones de pino; (PI) Páramo intervenido; (PNI) Páramo no intervenido

Para el tercer objetivo se realizaron correlaciones lineales para comprobar la dependencia del Carbono existente en la biomasa aérea sobre el suelo con el Carbono almacenado en el suelo a dos profundidades. Se los análisis considerando toda la gradiente altitudinal y particionado por cada piso altitudinal y usos del suelo.

Las variables con sus diferentes tratamientos o niveles fueron comparadas con la prueba de medias no paramétrica de *Kruskal-Wallis* bajo un nivel de la significancia de 0,05. Se utilizó esta prueba por no tener normalidad en los datos correspondientes a las diferentes variables evaluadas. Para determinar la relación de dependencia entre carbono aéreo y carbono en el suelo se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de *Spearman* ($p < 0,05$).



7. RESULTADOS

7.1. Carbono almacenado en biomasa aérea

La biomasa aérea y Carbono en los árboles de pino (B Pino) registró mayores valores significativamente ($p = 0,0002$) en los tratamientos ubicados a menor altitud (T1 y T4) a diferencia del tratamiento T7 cuyos sitios se encuentran a mayor altitud (Tabla 5). La biomasa aérea (BA) conformada por estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta, registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en el T6 a diferencia de T5 que presentó los menores valores (Tabla 5). Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T8 y T9 son similares estadísticamente y difieren de los tratamientos T5 y T6. La biomasa aérea total (BAT) conformada por biomasa en las plantas de pino, por el estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta, registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en T1 a diferencia de T5 (Tabla 5). Así mismo los tratamientos T2, T3, T7 y T9 son similares estadísticamente y difieren de los tratamientos T1 y T5 (Tabla 5).

El Carbono almacenado en la biomasa aérea (CBA) conformada por estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en T6 a diferencia de T5 (Tabla 5). Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T8 y T9 son similares estadísticamente y difieren en los tratamientos T5 y T7 (Tabla 5). El Carbono almacenado en la biomasa aérea total (CBAT) registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en T1 a diferencia de T5 (Tabla 5b). Los tratamientos T3, T7 y T9 son similares estadísticamente a diferencia de T4 y T5. (Tabla 5)



Tabla 5. Promedios \pm error estándar de biomasa en las plantaciones de pinos (B Pino), biomasa aérea (BA), biomasa aérea total (BAT) en los diferentes tratamientos y de Carbono en las plantaciones de pinos (C Pino), Carbono en Biomasa aérea (CBA), Carbono en la biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay

Variable	Tratamientos									p
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
B Pino (Mg/ha)	91,27 \pm 41,54 a			68,52 \pm 31,78 a			19,33 \pm 13,71 b			0,0002
BA (Mg/ha)	28,64 \pm 13,08 bcd	31,31 \pm 15,23 cd	33,09 \pm 16,54 cd	27,74 \pm 9,04 bcd	11,85 \pm 3,45 a	42,78 \pm 15,69 d	18,29 \pm 11,70 ab	25,40 \pm 14,50 bc	32,86 \pm 20,69 cd	<0,0001
BAT (Mg/ha)	119,91 \pm 48,36 d	31,31 \pm 15,23 bc	33,09 \pm 16,54 bc	100,03 \pm 33,95 d	11,85 \pm 3,45 a	42,78 \pm 15,69 c	37,63 \pm 18,89 bc	25,40 \pm 14,50 b	32,86 \pm 20,69 bc	<0,0001
C Pino (Mg/ha)	46,48 \pm 20,86 a			35,06 \pm 15,96 a			10,02 \pm 7,02 b			0,0002
CBA (Mg/ha)	14,32 \pm 6,54bcd	15,66 \pm 7,62 cd	16,55 \pm 8,27 cd	13,87 \pm 4,52 bcd	5,93 \pm 1,72 a	21,39 \pm 7,85 d	9,15 \pm 5,85 ab	12,70 \pm 7,25 bc	16,43 \pm 10,35 cd	<0,0001
CBAT (Mg/ha)	60,80 \pm 24,27d	15,66 \pm 7,62 cd	16,55 \pm 8,27 bc	48,82 \pm 17,07 d	5,93 \pm 1,72 a	21,39 \pm 7,85c	19,17 \pm 9,57 bc	12,70 \pm 7,25 b	16,43 \pm 10,35 bc	<0,0001

B Pino: biomasa aérea en las plantas de pino; BA, biomasa aérea; BAT: biomasa aérea total; C Pino: Carbono en plantas de pino; CBA: Carbono de la biomasa aérea total; Los tratamientos: T1: Plantaciones (PL); T2: Páramo Intervenido (PI) y T3: Páramo no intervenido (PNI) dentro del piso altitudinal de 2800 - 3200 m.snm, T4 Plantaciones (PL); T5 Páramo intervenido (PI) y T6: Páramo no intervenido (PNI) corresponden al piso altitudinal de 3200 - 3500 m.snm, T7: Plantaciones; T8: Páramo intervenido y T9: Páramo no intervenido en sitios > 3500 m.snm, y p: Diferencias estadísticas



7.2. Carbono almacenado en suelos a dos profundidades

El COS a 10 cm de profundidad registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en T7 a diferencia de T1 (Tabla 6). Los tratamientos T1, T2, T3 y T9 son similares estadísticamente a diferencia de T4, T5, y T8 (Tabla 6). El COS a 30 cm de profundidad registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en T8 a diferencia de T2 (Tabla 6). Los tratamientos T1, T2, T3 y T9 son similares estadísticamente y difieren de los tratamientos T5, T7 y T8 (Tabla 6). El Carbono orgánico total en el suelo (COT) registró mayores valores significativos ($p < 0,0001$) en T8 a diferencia de T9 (Tabla 6). Los tratamientos T1, T2, T3 y T9 son similares estadísticamente a diferencia de los tratamientos T4, T5, T6, T7 y T8. (Tabla 6). Para explicar detalladamente, desde el ítem 5.1 se describen los resultados por cada factor, es decir, las variables evaluadas por piso altitudinal y uso del suelo.



Tabla 6. Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico en el suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico en el suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay

Variables	Tratamientos									<i>p</i>
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
COS 10cm (Mg/ha)	53,96 \pm 12,22 a	66,50 \pm 17,68 ab	58,09 \pm 10,78 a	96,65 \pm 47,98 cd	89,39 \pm 30,75 cd	75,29 \pm 16,15 bc	98,73 \pm 16,31 d	90,77 \pm 12,32 cd	61,96 \pm 28,44 ab	<0,0001
COS 30 cm (Mg/ha)	99,72 \pm 26,39 a	87,52 \pm 37,79 a	108,98 \pm 26,04 a	147,07 \pm 47,16 bcd	193,71 \pm 58,73 d	149,63 \pm 50,57 cd	172,78 \pm 56,03 d	202,33 \pm 88,55 d	89,61 \pm 21,44 a	<0,0001
COT (Mg/ha)	153,68 \pm 37,84 a	154,02 \pm 49,44 a	167,07 \pm 32,08 ab	243,89 \pm 51,31 c	282,98 \pm 80,89 c	224,73 \pm 58,74 bc	271,74 \pm 66,57 c	293,05 \pm 87,67 c	151,54 \pm 38,55 a	<0,0001

COS: Carbono orgánico del suelo; COT: Carbono orgánico total; Los tratamientos: T1: Plantaciones (PL); T2: Páramo Intervenido (PI) y T3: Páramo no intervenido (PNI) dentro del piso altitudinal de 2800 - 3200 m.snm, T4 Plantaciones (PL); T5 Páramo intervenido (PI) y T6: Páramo no intervenido (PNI) corresponden al piso altitudinal de 3200 - 3500 m.snm, T7: Plantaciones; T8: Páramo intervenido y T9: Páramo no intervenido en sitios > 3500 m.snm, y *p*: Diferencias estadísticas.



Se puede observar que el COS a 30 cm es el que mayor cantidad aporta en los diferentes componentes de almacenamiento dentro de los tratamientos (Figura 5) seguido por el COS a 10 cm. En cuanto al Carbono orgánico proveniente de la biomasa aérea, aporta en menor cantidad con respecto al COS (Figura 5).

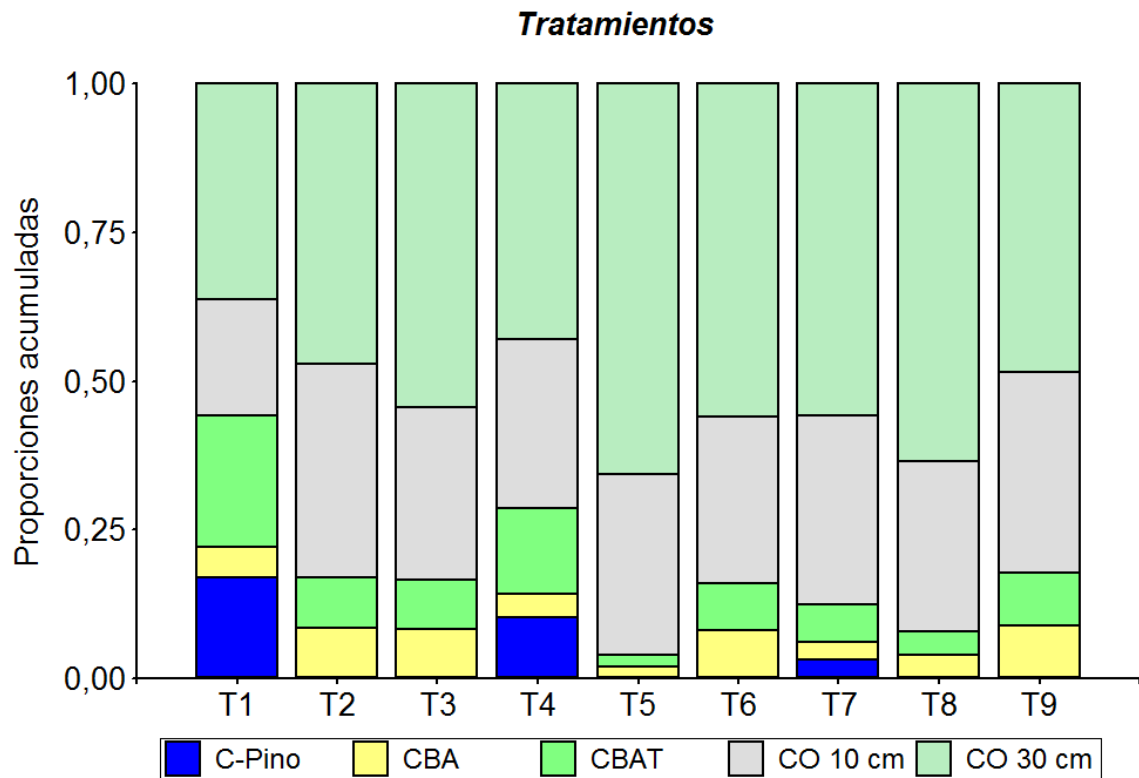


Figura 5. Promedios de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono total de biomasa (CBAT), Carbono orgánico en el suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico en el suelo (COS) a 30 cm y Tratamientos (T) en los diferentes tratamientos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.



7.3. Relación Carbono con pisos altitudinales

Según el factor de pisos altitudinales, las variables evaluadas de Carbono en los arboles de pino (C Pino), CBA y CBAT presentaron diferencias significativas ($p = 0,7063$; $p = 0,0231$; $p = 0,0105$, respectivamente). En las tres variables se registraron mayores valores en el primer piso altitudinal P1 2800 - 3200 m.snm, a diferencia de P3 > 3500 m.snm, donde se registraron los menores valores. Estas variables no resultaron significativas entre los pisos altitudinales P2: 3200 - 3500 m.snm, y P3 > 3500 m.snm, es decir los sitios ubicados a mayor altitud (Tabla 7).

Tabla 7. Promedios \pm error estándar de Carbono en plantas de pinos (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variables	Altitud			<i>p</i>
	P1: 2800 - 3200 m.snm.	P2: 3200 - 3500 m.snm	P3 > 3500 m.snm.	
C Pino (Mg/ha)	13,67 \pm 24,10 a	10,28 \pm 17,97 b	2,95 \pm 5,91 b	0,7063
CBA (Mg/ha)	15,58 \pm 7,39 a	13,72 \pm 8,40 b	12,97 \pm 8,45 b	0,0231
CBAT (Mg/ha)	29,25 \pm 25,11 a	24,00 \pm 20,22 b	15,92 \pm 9,23 b	0,0105

P: Pisos altitudinales; *p*: Diferencias estadísticas C pino: Carbono en plantas de pino; CBA: Carbono de la biomasa aérea; CBAT: Carbono de la biomasa aérea total

7.4. Relación carbono almacenado en suelos a dos profundidades

Las variables del COS a 10 cm de profundidad, COS a 30 cm de profundidad y el COT presentaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) con mayores valores en P2: 3200 – 3500 m.snm, a diferencia de P1: 2800 - 3200 m.snm, donde se registró los menores valores. Entre P2: 3200 – 3500 m.snm, y P3: > 3500 m.snm, no presentaron diferencias significativas (Tabla 8).

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



De manera proporcional el COS a 30 cm es el que mayor cantidad aporta entre los componentes evaluados a nivel de pisos altitudinales, COS a 10 cm de profundidad. El Carbono proveniente de la biomasa aérea (CBA) aporta en menores cantidades bastante diferenciadas con respecto al Carbono orgánico presente en el suelo (Tabla 8).

Tabla 8. Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en el suelo en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las subcuencas del río León, Tarquí y Yanuncay

Variables	Altitud			<i>p</i>
	P1: 2800 - 3200 m. snm.	P2: 3200 - 3 00 m. snm.	P3 > 3500 m. snm.	
COS 10cm (Mg/ha)	59,84 \pm 14,54 a	86,55 \pm 33,32 b	82,94 \pm 25,51 b	<0,0001
COS 30cm (Mg/ha)	98,68 \pm 31,24 a	164,43 \pm 55,60 b	153,88 \pm 78,03 b	<0,0001
COT (Mg/ha)	158,52 \pm 39,87 a	250,92 \pm 68,47 b	236,84 \pm 91,87 b	<0,0001

P: Pisos altitudinales; *p*: Diferencias estadísticas; COS 10 cm: Carbono orgánico del suelo a 10cm; COS 30 cm: Carbono orgánico del suelo a 30cm; COT: Carbono orgánico total.

Pisos altitudinales

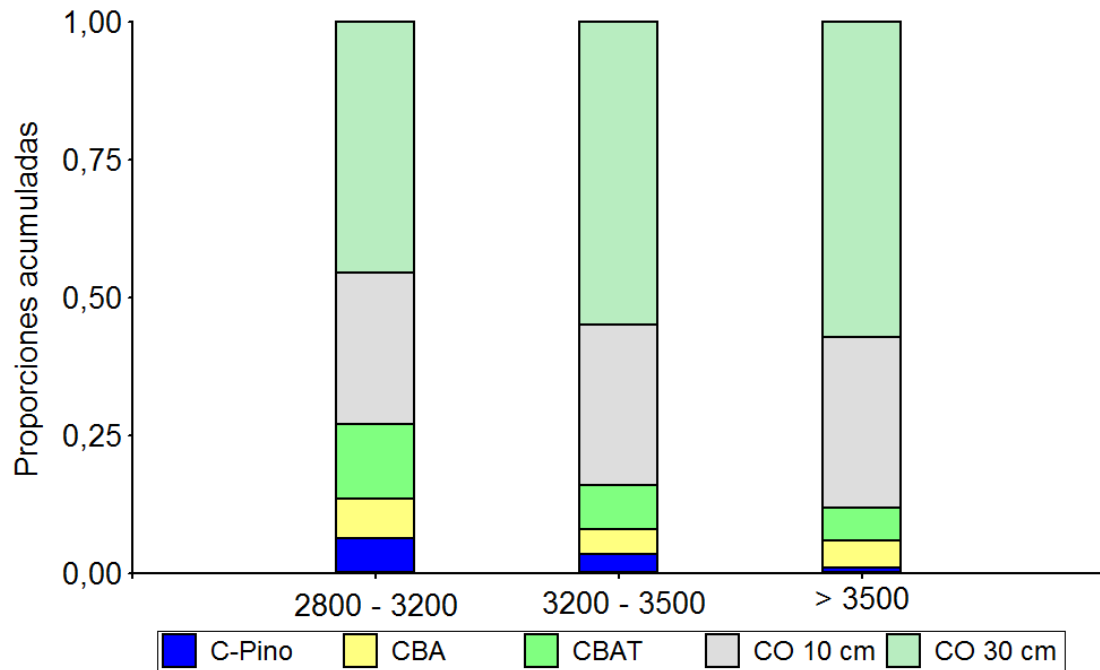


Figura 6. Promedio de Carbono en plantas de pino (C – Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm en el suelo en los diferentes gradientes altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

7.5. Relación Carbono con el uso del suelo

Respecto al uso del suelo, el CBA conformada por estrato arbustivo, herbáceo, hojarasca y madera muerta registró mayores valores significativamente ($p = 0,0014$) en el páramo no intervenido (PNI) a diferencia del páramo intervenido (PI) que registro los menores valores. Esta variable no presentó diferencias significativas en las plantaciones de pino (PL) con el páramo intervenido (PI) (Tabla 9). El Carbono en la biomasa aérea total (CBAT) registró mayores valores significativamente ($p < 0,0001$) en las plantaciones de pino (PL) a diferencia del páramo intervenido (PI) (Tabla 9).



Tabla 9. Promedios \pm error estándar de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA) y Carbono biomasa aérea total (CBAT) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variable	Usos			P
	Plantaciones	Páramo intervenido	Páramo no intervenido	
C Pino (Mg/ha)	30,48 \pm 21,45			
CBA (Mg/ha)	12,45 \pm 5,99 a	11,43 \pm 7,26 a	18,12 \pm 8,94 b	0,0014
CBAT (Mg/ha)	42,93 \pm 24,87 c	11,43 \pm 7,26 a	18,12 \pm 8,94 b	<0,0001

C pino: Carbono en pino; CBA: Carbono de la biomasa aérea; CBAT: Carbono de la biomasa aérea total; COS 10 cm: *p*; diferencias estadística

7.6. Relación carbono almacenado en suelos a dos profundidades con el uso del suelo

El COS a 10 cm de profundidad registró mayores valores significativamente ($p = 0,074$) en las plantaciones de pino (PL) a diferencia de PNI (Tabla 10). Esta variable, en las plantaciones de pino (PL) y páramo intervenido (PI) son similares estadísticamente a diferencia del PNI donde difieren estadísticamente (Tabla 10).

Las variables COS a 30 cm de profundidad registraron mayores valores significativamente ($p = 0,0248$) en páramo intervenido (PI) a diferencia del PNI (Tabla 10). Estas variables registradas en las plantaciones de pino (PL) y páramo intervenido (PI) son similares estadísticamente a diferencia del PNI (Tabla 10).

Las variables de COT en el suelo registraron mayores valores significativamente ($p = 0,0087$) en páramo intervenido (PI) a diferencia del PNI (Tabla 10). Estas



variables registradas en las plantaciones de pino (PL) y páramo intervenido (PI) son similares estadísticamente a diferencia de PNI (Tabla 10).

Tabla 10. Promedios \pm error estándar de Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variables	Usos			<i>p</i>
	Plantaciones	Páramo intervenido	Páramo no intervenido	
COS 10cm (Mg/ha)	83,11 \pm 35,83 b	82,22 \pm 23,89 b	65,12 \pm 20,70 a	0,0074
COS 30cm (Mg/ha)	139,89 \pm 53,20 ab	161,18 \pm 82,47 b	116,07 \pm 42,48 a	0,0248
COT (Mg/ha)	223,10 \pm 72,55 b	243,35 \pm 96,79 b	181,11 \pm 53,85 a	0,0087

COS 10 cm: Carbono orgánico del suelo a 10cm; COS 30 cm: Carbono orgánico del suelo a 30cm; COT: Carbono orgánico total y *p*: diferencias estadísticas.

En la Figura 7 se puede observar que el Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm aporta mayor cantidad de Carbono orgánico en los tres escenarios evaluados a nivel de uso de suelo, seguido por Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm. El Carbono de la biomasa aérea (CBA) aporta en menor cantidad en relación al Carbono orgánico que existente en el suelo.

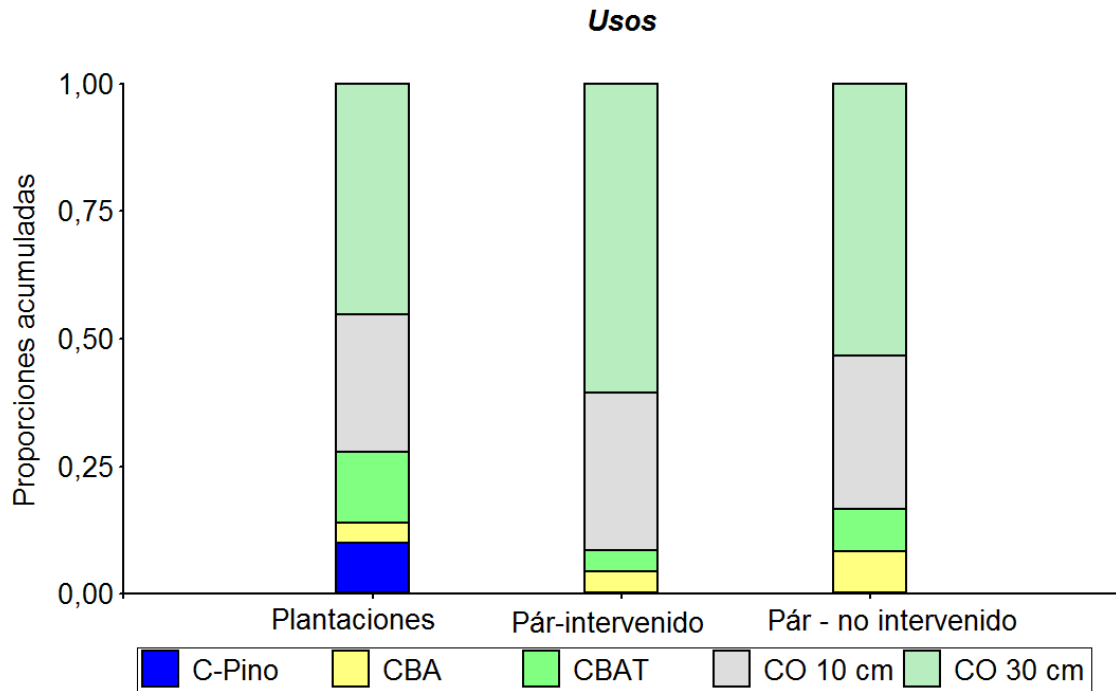


Figura 7. Promedios de Carbono en plantas de pino (C Pino), Carbono en biomasa aérea (CBA), Carbono biomasa aérea total (CBAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10 cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Páramo intervenido (Par-intervenido) en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

7.7. Relaciones entre biomasa aérea vs Carbono en el suelo

Las variables de materia orgánica (MO) y densidad aparente (Da) que sirven para el cálculo del Carbono almacenado en el suelo presentaron diferencias significativas en los tres pisos altitudinales, a excepción de la densidad aparente (Da) a 10 cm. Los mayores valores en materia orgánica (MO) se registran en el piso altitudinal P2: 3200 – 3500 m.snm, a diferencia de P1: 2800 – 3200 m.snm, y P3: > 3500 m.snm, que presentaron los menores valores. La densidad aparente (Da) resultó mayor en P3 > 3500 m.snm, a diferencia de



P1: 2800 – 3200 m.snm, y P2: 3200 – 3500 m.snm, son similares estadísticamente (Tabla 11).

En cuanto a usos del suelo las variables de materia orgánica y densidad aparente no presentaron diferencias significativas en los tres usos de suelo. Los mayores valores en materia orgánica (MO) se registraron en el Páramo intervenido (PI) a diferencia de Plantaciones de pino (PL) y PNI siendo estos similares. La densidad aparente resultó mayor en Páramo intervenido (PI) a diferencia de Plantaciones de pino (PL) y PNI. En estos dos últimos usos del suelo fueron similares. (Tabla 11).

Considerando todo el gradiente altitudinal las variables de biomasa área (BA) en los diferentes componentes de almacenamiento no están correlacionados con el Carbono almacenado en el suelo a ninguna profundidad (Tabla 12). Las variables que influyen directamente bajo correlaciones significativas son variables intrínsecas del suelo tanto la MO y densidad aparente (Da) a diferentes profundidades (Tabla 12).

Relacionado las variables de biomasa con el Carbono por cada piso altitudinal, las variables de biomasa no están correlacionadas con el Carbono almacenado en el suelo a ninguna profundidad (Tabla 13). En cuanto a las variables que influyen directa y significativamente son la densidad aparente (Da) y la MO en las diferentes profundidades del suelo, en los tres pisos altitudinales (Tabla 13).



Tabla 11. Promedios \pm error estándar de materia orgánica a 10 cm, materia orgánica a 30 cm, densidad aparente a 10 cm y densidad aparente a 30 cm, en los diferentes pisos altitudinales evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variables	Altitud			<i>p</i>	Usos			<i>p</i>
	P1 2800 - 3200 m.snm.	P2 3200 - 3500 m.snm	P3 > 3500 m.snm.		Plantaciones	Páramo intervenido	Páramo no intervenido	
MO 10 cm (Mg/ha)	20,21 a	28,32 b	24,52 ab	0,0017	24,78	25,56	22,78	0,6119
MO 30 cm (Mg/ha)	15,76 a	22,32 b	18,17 a	0,0045	19,38	20,32	16,65	0,1604
DA 10 cm (g/cm³)	0,57 a	0,54 a	0,60 b	0,0652	0,62	0,57	0,53	0,1289
DA a 30 cm (g/cm³)	0,60 a	0,66 a	0,78 b	0,0001	0,68	0,69	0,68	0,9519

P: Pisos altitudinales; MO: Materia orgánica; Da: Densidad aparente.



Tabla 12. Correlaciones entre las variables de biomasa de plantas de pino (B Pino), biomasa aérea (BA), biomasa aérea total (BAT), Carbono orgánico del suelo (COS) a 10cm, Carbono orgánico del suelo (COS) a 30 cm y Carbono orgánico total (COT), en las sub-cuencas del rio Leon, Tarqui y Yanuncay

Variables correlacionadas	<i>p</i>	Variables correlacionadas	<i>p</i>
B Pino - CO 10 cm	$r = 0,05$ $p = 0,5954$	DA 10 cm - COT	$r = - 0,34$ $p = 0,0004$
B Pino - CO 30 cm	$r = 0,02$ $p = 0,8445$	DA 30 cm - COS 10 cm	$r = - 0,07$ $p = 0,4815$
B Pino - COT	$r = 0,06$ $p = 0,5698$	DA 30 cm - COS 30cm	$r = - 0,07$ $p = 0,4704$
BA - COS 10 cm	$r = - 0,14$ $p = 0,1535$	DA 30 cm - COT	$r = - 0,07$ $p = 0,4793$
BA - COS 30 cm	$r = - 0,12$ $p = 0,2444$	MO10 cm - COS 10 cm	$r = 0,79$ $p = < 0,0001$
BA - COT	$r = - 0,12$ $p = 0,2284$	MO 10cm - COS 30 cm	$r = 0,60$ $p = < 0,0001$
BAT - COS 10 cm	$r = - 0,14$ $p = 0,1707$	MO 10 cm - COT	$r = 0,75$ $p = < 0,0001$
BAT - COS 30 cm	$r = - 0,08$ $p = 0,4176$	MO 30 cm - COS 10 cm	$r = 0,51$ $p = < 0,0001$
BAT - COT	$r = - 0,09$ $p = 0,3667$	MO 30 cm - COS 30 cm	$r = 0,85$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm - COS 10 cm	$r = - 0,16$ $p = 0,1062$	MO 30 - COT	$r = 0,82$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm - COS 30 cm	$r = - 0,38$ $p = 0,0001$		

B pino: biomasa en plantas de pino; COS 10 cm: Carbono orgánico del suelo a 10 cm; COS 30 cm: Carbono orgánico del suelo a 30 cm del suelo; COT: Carbono orgánico total del suelo; BA: biomasa aérea; BAT: biomasa aérea total; DA 10 cm: Densidad; MO: Materia orgánica.



Tabla 13. Correlaciones entre las variables biomasa de las plantas de pino (B – Pino), BA, BAT, COS a 10 cm, COS a 30 cm y COT, Da a 10 cm, Da a 30 cm, MO a 10 cm y MO a 30 cm en las diferentes gradientes altitudinales evaluadas en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variables correlacionadas	Altitud			Variables correlacionadas	Altitud		
	P1: 2800 - 3200 m.snm.	P2: 3200 - 3500 m.snm.	P3 > 3500 m.snm.		P1: 2800 - 3200 m.snm.	P2: 3200 - 3500 m.snm.	P3 > 3500 m.snm.
B Pino - COS 10 cm	$r = -0,27$ $p = 0,1177$	$r = 0,17$ $p = 0,3327$	$r = 0,40$ $p = 0,0202$	DA 10 cm – COT	$r = -0,54$ $p = 0,0009$	$r = -0,24$ $p = 0,1668$	$r = -0,39$ $p = 0,0208$
B Pino - COS 30 cm	$r = 0,01$ $p = 0,9457$	$r = -0,14$ $p = 0,4449$	$r = 0,28$ $p = 0,1091$	DA 30 cm – COS – 10 cm	$r = -0,50$ $p = 0,0043$	$r = -0,09$ $p = 0,6082$	$r = -0,62$ $p = 0,0001$
B Pino - COT	$r = -0,08$ $p = 0,6490$	$r = -0,02$ $p = 0,8907$	$r = 0,29$ $p = 0,0970$	DA 30 cm – COS – 30 cm	$r = -0,32$ $p = 0,0675$	$r = 0,13$ $p = 0,4733$	$r = -0,34$ $p = 0,0490$
BA - COS 10 cm	$r = 0,07$ $p = 0,7013$	$r = 0,05$ $p = 0,7930$	$r = -0,26$ $p = 0,1425$	DA 30 cm – COT	$r = -0,42$ $p = 0,0145$	$r = 0,14$ $p = 0,4351$	$r = -0,52$ $p = 0,0016$
BA - COS 30 cm	$r = 0,25$ $p = 0,1468$	$r = -0,21$ $p = 0,2289$	$r = -0,15$ $p = 0,3888$	MO 10 cm – COS – 10 cm	$r = 0,68$ $p = 0,0001$	$r = 0,87$ $p = < 0,0001$	$r = 0,87$ $p = < 0,0001$
BA - COT	$r = 0,18$ $p = 0,3202$	$r = -0,07$ $p = 0,6819$	$r = -0,15$ $p = 0,3844$	MO 10 cm – COS – 30 cm	$r = 0,61$ $p = 0,0005$	$r = 0,23$ $p = 0,1955$	$r = 0,54$ $p = 0,0010$
BAT - COS 10 cm	$r = -0,19$ $p = 0,2676$	$r = 0,05$ $p = 0,7930$	$r = 0,08$ $p = 0,6614$	MO 10 cm – COT	$r = 0,74$ $p = < 0,0001$	$r = 0,61$ $p = 0,0001$	$r = 0,75$ $p = < 0,0001$
BAT - COS 30 cm	$r = 0,20$ $p = 0,2616$	$r = -0,21$ $p = 0,2296$	$r = 0,04$ $p = 0,8395$	MO 30 cm – COS – 10 cm	$r = 0,61$ $p = 0,0001$	$r = 0,30$ $p = 0,0881$	$r = 0,60$ $p = 0,0002$
BAT – COT	$r = 0,06$ $p = 0,7436$	$r = -0,09$ $p = 0,6175$	$r = 0,07$ $p = 0,6961$	MO 30 cm – COS – 30 cm	$r = 0,84$ $p = < 0,0001$	$r = 0,67$ $p = < 0,0001$	$r = 0,88$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm - COS- 10 cm	$r = -0,34$ $p = 0,0521$	$r = -0,16$ $p = 0,3716$	$r = -0,29$ $p = 0,0924$	MO 30 cm – COT	$r = 0,87$ $p = < 0,0001$	$r = 0,58$ $p = 0,0003$	$r = 0,92$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm - COS- 30 cm	$r = -0,53$ $p = 0,0012$	$r = -0,27$ $p = 0,1178$	$r = -0,32$ $p = 0,0690$				

B pino: biomasa en plantas de pino; COS 10 cm: Carbono orgánico del suelo a 10cm; COS 30 cm: Carbono orgánico del suelo a 30cm; COT: Carbono orgánico total; BA: biomasa aérea; BAT: biomasa aérea total; DA 10 cm: Densidad aparente a 10 cm; MO 10 cm: Materia orgánica a 10 cm; MO 30 cm: Materia orgánica a 30 cm.



La biomasa aérea (BA) en los tres usos de suelo no está correlacionada con el Carbono que se encuentra almacenado en el suelo a ninguna profundidad (Tabla 14). La variable que influye directamente bajo las correlaciones significativas es la materia orgánica (MO). En cuanto a la densidad aparente (Da) se encuentra correlacionada de manera uniforme con el carbono en el suelo de algunos usos del suelo (Tabla 14).



Tabla 14. Correlaciones entre las variables B - Pino, BA, BAT, COS a 10 cm, COS a 30 cm y COT, Da a 10 cm, Da a 30 cm, MO a 10 cm y MO a 30 cm en los diferentes usos de suelos evaluados en las sub-cuencas del río León, Tarquí y Yanuncay.

Variables correlacionadas	Usos			Variables correlacionadas	Usos		
	Plantaciones	Páramo intervenido	Páramo no intervenido		Plantaciones	Páramo intervenido	Páramo no intervenido
B Pino - COS 10 cm	$r = 0,49$ $p = 0,0080$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	DA 10 cm – COT	$r = -0,39$ $p = 0,0347$	$r = -0,30$ $p = 0,0763$	$r = -0,57$ $p = 0,0003$
B Pino - COS 30 cm	$r = -0,36$ $p = 0,0527$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	DA 30 cm - COS -10 cm	$r = -0,14$ $p = 0,4640$	$r = 0,26$ $p = 0,1305$	$r = -0,26$ $p = 0,1274$
B Pino – COT	$r = -0,40$ $p = 0,0306$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	$r = 0,00$ $p = > 0,9999$	DA 30 cm - COS -30 cm	$r = -0,41$ $p = 0,0229$	$r = 0,52$ $p = 0,0012$	$r = -0,46$ $p = 0,0051$
BA - COS 10 cm	$r = -0,21$ $p = 0,2536$	$r = -0,15$ $p = 0,3821$	$r = 0,19$ $p = 0,2566$	DA 30 cm – COT	$r = -0,30$ $p = 0,1126$	$r = 0,49$ $p = 0,0025$	$r = -0,48$ $p = 0,0028$
BA - COS 30 cm	$r = -0,22$ $p = 0,2342$	$r = -0,11$ $p = 0,5273$	$r = 0,34$ $p = 0,0469$	MO 10 cm - COS -10 cm	$r = 0,87$ $p = < 0,0001$	$r = 0,82$ $p = < 0,0001$	$r = 0,68$ $p = < 0,0001$
BA – COT	$r = -0,15$ $p = 0,4078$	$r = -0,14$ $p = 0,4231$	$r = 0,30$ $p = 0,0726$	MO 10 cm – COS -30 cm	$r = 0,57$ $p = 0,0009$	$r = 0,58$ $p = 0,0002$	$r = 0,60$ $p = 0,0001$
BAT - COS 10 cm	$r = -0,48$ $p = 0,0096$	$r = -0,15$ $p = 0,3821$	$r = 0,19$ $p = 0,2566$	MO 10 cm – COT	$r = 0,83$ $p = < 0,0001$	$r = 0,67$ $p = < 0,0001$	$r = 0,81$ $p = < 0,0001$
BAT - COS 30 cm	$r = -0,35$ $p = 0,0628$	$r = -0,11$ $p = 0,5273$	$r = 0,34$ $p = 0,0469$	MO 30 cm – COS -10 cm	$r = 0,47$ $p = 0,0085$	$r = 0,45$ $p = 0,0054$	$r = 0,47$ $p = 0,0053$
BAT – COT	$r = -0,38$ $p = 0,0401$	$r = -0,14$ $p = 0,4231$	$r = 0,30$ $p = 0,0726$	MO 30 cm – COS -30 cm	$r = 0,89$ $p = < 0,0001$	$r = 0,78$ $p = < 0,0001$	$r = 0,88$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm - COS -10 cm	$r = -0,25$ $p = 0,1796$	$r = -0,19$ $p = 0,2637$	$r = -0,20$ $p = 0,2428$	MO 30 cm –COT	$r = 0,76$ $p = < 0,0001$	$r = 0,80$ $p = < 0,0001$	$r = 0,86$ $p = < 0,0001$
DA 10 cm – COS -30 cm	$r = -0,50$ $p = 0,0052$	$r = -0,31$ $p = 0,0684$	$r = -0,56$ $p = 0,0004$				

BAT: biomasa aérea total; COS 10cm: Carbono orgánico del suelo a 10cm; COS 30cm: Carbono orgánico del suelo a 30 cm; COT: Carbono orgánico total; DA 10 cm: Densidad aparente a 10 cm; Da 30 cm: cm; MO 10 cm; MO 30 cm.



10. DISCUSIÓN

10.1. Relación entre biomasa aérea con Carbono orgánico en el suelo

Aunque existen diferencias significativas respecto a los valores de Carbono almacenado en el suelo tanto a nivel de altitud como en los diferentes usos del suelo, estos valores son completamente independientes de la biomasa existente sobre el suelo. Esto fue evidenciado debido a las correlaciones bajas no significativas e inexistentes en toda el área de estudio, considerando toda la gradiente altitudinal y los usos de suelo de manera conjunta. Estos resultados coinciden con los registrados por Ayala et al. (2014) en un estudio realizado en los páramos de Loja, dentro del Parque Nacional Yacurí, donde no se registró correlaciones significativas entre biomasa aérea con Carbono almacenado en el suelo.

10.2. Relación Carbono orgánico en el suelo con la altitud

Respecto a la altitud los mayores valores en Carbono orgánico total en el suelo (COT) registrado en segundo y tercer pisos altitudinales, se debe a la existencia de mayores valores en materia orgánica y densidad aparente en estos sitios. En el piso altitudinal P2 y P3, están presentes suelos del orden Andosoles (Guallpa et al. En preparación). Según Podwojewski y Poulénard (2000) estos suelos poseen grandes cantidades de materia orgánica debido a la presencia de ácidos húmicos. Los Andosoles se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica lo que confiere una coloración oscura, también una elevada estabilidad estructural y altos contenidos de Carbono almacenado en el suelo (Buytaert, et al. 2010). En las partes bajas por debajo de 3200 m.snm, están presentes suelos dentro del orden taxonómico de los Inceptisoles que poseen



material parental rocoso, por lo que son pocos profundos y bajos en materia orgánica, comparados con los Andosoles (Ibáñez-Asensio, Gisbert-Blanquer, & Moreno-Ramón, 2011).

10.3. Relación Carbono orgánico con el uso del suelo

La cantidad de COT en el suelo registrado en las plantaciones de pino está asociado negativamente por la biomasa en los pinos ($r = -0,40$; $p = 0,0306$). Este resultado se asocia también con la densidad aparente a 10 cm con la que esta significativamente correlacionada ($r = -0,39$; $p = 0,0347$). La biomasa aérea de los pinos como en todo elemento arbóreo leñoso se correlaciona positivamente con la biomasa subterránea (raíces) (Lai et al. 2013). El crecimiento radicular crea modificaciones físicas en el suelo debido a la formación de túneles subterráneos, infiltración de agua y flujo de calor (Pernett 2006). Particularmente las infiltraciones de agua aumentan la humedad del suelo, que estructuralmente se expande y modifica la densidad aparente, disminuyendo sus valores (Blanco-Sepúlveda 2009).

La mayor cantidad de Carbono orgánico total registrado en el páramo intervenido está influenciado generalmente por la materia orgánica, lo que se muestra en las correlaciones significativas descritas en la tabla 11. Además, y exclusivamente en el páramo intervenido el Carbono orgánico está asociado positivamente con la densidad aparente a 30 cm de profundidad, como se muestran en la correlación significativa de la tabla 11 ($r = 0,49$; $p = 0,0025$). En los páramos intervenidos los suelos de algunas maneras sufren procesos de compactación especialmente por actividades ganaderas (Buytaert et al. 2006). Bajo este fenómeno disminuye el volumen de los poros y se modifica la

JUAN ESCANDÓN
PATRICIO LLANOS



estructura porosa del suelo por lo que aumenta la densidad aparente, según lo afirma Blanco-Sepúlveda (2009). Esta afirmación también se relaciona con los menores valores de COT obtenidos en el páramo no intervenido donde existe una correlación negativa ($r = - 0,48$; $p = 0,0028$) entre densidad aparente a esta misma profundidad (30 cm) con el Carbono orgánico total (COT). Aquí existe mayor porosidad que influye en la baja densidad aparente. Los resultados de Carbono orgánico en el suelo (COT) obtenido en el páramo intervenido (243,35 Mg/ha) es inferior a los registrados por Callo-Concha et al. (2004) con 465,8 Mg/ha en el trópico Mexicano y Alvarez-Arteaga et al., (2013) con 419,65 Mg/ha en Oaxaca México.



11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos y expuestos de acuerdo al esquema investigativo y a la pregunta planteada se concluye lo siguiente:

Considerando todo el gradiente altitudinal evaluado, concluimos que el Carbono orgánico total en el suelo es independiente de la biomasa aérea. No obstante, en las plantaciones de pino se relacionan positivamente con la biomasa aérea y negativamente con la densidad aparente. Estos resultados se dan con base al análisis por cada tipo de cobertura vegetal de manera independiente.

El Carbono orgánico en el suelo se encuentra en mayores cantidades en los sitios ubicados a mayor altitud. En estos sitios, las existencias se basaron por la presencia de suelos Andosoles que son ricos en materia orgánica. También a las bajas temperaturas que impiden la descomposición acelerada de la materia orgánica, reteniendo con mayor eficiencia el carbono orgánico en el suelo. En el piso altitudinal de menor altitud donde los resultados fueron menores, existen suelos que son bajos en materia orgánica debido a su alto material parental que poseen.

El Carbono orgánico se encuentra en mayores cantidades en los páramos intervenidos. Este resultado está relacionado con la gran cantidad de materia orgánica presente en el suelo y a su vez se incrementa la densidad aparente. Este parámetro físico se altera positivamente en sitios mayormente compactados especialmente por ganadería como es común en los sitios donde se realizó la investigación.



11.2. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda realizar estudios más completos donde comprendan análisis físicos y químicos del suelo a mayor profundidad utilizando diversas técnicas de muestreo y compararlas entre ellas para comprobar si existe alguna diferencia entre métodos utilizados.

Se recomienda socializar los resultados con los dueños de los terrenos para que conozcan la importancia y función que cumplen los páramos para la sociedad. De esta manera concientizar la importancia del ecosistema páramo.

En los páramos se debe realizar estudios sobre la biología del suelo para conocer los beneficios que estos organismos brindan en la descomposición de la materia orgánica. Así mismo identificar los diversos medios de vida existentes en el suelo y de esta manera conocer la función que cumple cada uno de ellos en este componente del ecosistema.



12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarez-Arteaga, G; Calderon, N; Krasilnikov, P; Garcia-Oliva, F. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 47(2): 171-180.
- Arrieche, I; Pacheco, Y. 2013. Determinación de carbono orgánico en muestras de suelos mediante dos procedimientos analíticos. *Venesuelos* 2013: 9-13.
- Avella-Muñoz, A; Cárdenas-Camacho, L. 2010. Conservación y uso sostenible de los bosques de roble en el corredor de conservación guantiva - la Rusia - Iguaque, departamentos de santander y Boyacá, Colombia. *Colombia Forestal* 13(1): 5-25.
- Ayala, L; Villa, M; Aguirre, Z; Aguirre, N. 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz* 4(1): 45 - 52.
- Bajo, O; Cargua, F; Rodríguez, M; Recalde, C. 2014. Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en estrato de páramo de quantification of carbon in a forest plantation of Pine Insigne (*Pinus radiata*) and moor stratum of Low Ozogoché, Sangay. 25(3): 83-92.
- Blanco-Sepúlveda, R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43(3): 231-239.
- Burgos, D; Cueto, J; Muñoz, J; Gándara, A. 2012. Determinación de carbón total y carbón orgánico en diferentes suelos usando el método de combustión seca. *Educación y Asistencia Técnica - AGROFAZ* 12(3): 143 - 151.
- Buytaert, W; Célleri, R; Bièvre, B; Cisneros, F; Wyseure, G; Deckers, J; Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. 79: 53-72.
- Buytaert, W; Cuesta-Camacho, F; Tobón, C. 2011. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography* 20(1): 19-33.
- Callo-Concha, D; Rajagopal, I; Krishnamurthy, L. 2004. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales en Veracruz. *Ciencia UANL* 7(2): 60-65.
- Conde, C; Saldaña-Zorrilla, S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación Edición especial cambio climático. *Revista Ambiente y Desarrollo* 23(2000): 23-30.
- Crespo, P; Célleri, R; Buytaert, W; Ochoa, B; Cárdenas, I; Iñiguez, V; Borja, P; De Bièvre, B. 2014. Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances en investigación para la conservación de los páramos Andinos* 2014: 288 - 304.
- Davies, B. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic. 1974: 150 – 151.
- Díaz-Franco, R; Acosta-Mireles, M; Carrillo-Anzures, F; Buendía-Rodríguez, E;



- Flores-Ayala, E; Etchevers-Barra, J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- FAO. 2006. *Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards sustainable forest management*. 2006.
- Farley, K; Kelly, E. 2004. Effects of afforestation of a paramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management* 195(3): 281-290.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. 2001.
- Gualpa, D; Sanchez, M; Quichimbo, P; Quiroz C; Crespo, P; Jadán, O. En preparación. Relación entre el crecimiento y productividad de *Pinus patula* con variables ambientales, Andes Sur del Ecuador
- Guivarch, Céline, & Hallegatte, Stéphane. (2013). 2C or not 2C? *Global Environmental Change*, 23(1), 179-192.
- German, G. 2008. Instituto De Altos Estudios. no.1: 123.
- Gonzalez-Pedraza, AF; Sur, U; María, J. 2016. Determinar materia orgánica en suelos cultivados con cacao, pasto y palma aceitera en el sur del lago de Maracaibo.
- Hammen, Thomas van der. Cleef, AM. 2008. *La Gestión Ambiental De Los Ecosistemas*. Colombia, 2008, 148 p.
- Herrán, C. 2012. Programa ONU-REDD: Iniciativa de colaboración de las Naciones Unidas para reducir las emisiones ocasionadas por la deforestación y degradación de bosques en países en desarrollo. 2012: 1-7.
- Hofstede, R; Groenendijk, J; Coppus, R; Fehse, J; Sevink, J. 2002. Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* 22(2): 159-167.
- Lahuatte, B; Recalde, M. 2015. Sistema nacional de información a partir del sistema de monitoreo extendida. 2015.
- Lai, J; Yang, B; Lin, D; Kerkhoff, A; Ma, K. 2013. The allometry of coarse root biomass: log-transformed linear regression or nonlinear regression 8(10): 1-8.
- Mandlebaum, S; Nriagu, J. 2003. The carbon sequestration in agriculture and Ist. 12: 65-71.
- La Manna, L; Buduba, C; Alonso, V; Davel, M; Puentes, C; Irisarri, J. 2007. Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la Región Andino-Patagónica: Efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Suelo* 25(2): 179-188.
- Le Quéré, C; Conway, T; Houghton, R.; House, J; Marland, G; Van Der Werf, G; Andrew, R; Bopp, L; Canadell, J; Huntingford, C; Jain, A; Jourdain, C. 2013. The global carbon budget 1959-2011. *Earth System Science Data* 5(1): 165-185.
- María, A; Madrid, J; Trinidad, J; Sandoval, R; Silveira, ML; Orgánica, M. 2012.



- Secuestro y distribución de carbono orgánico del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de pasturas 1. 2012: 1-3.
- Martínez, Eduardo, Fuentes, Juan Pablo, & Acevedo, Edmundo. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8, 68-96.
- Medina, G; Mena, P. 2000. El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. *Serie Páramo*, N°1 no. Abya-Yala: 1-57.
- Medina, G.; Josse C.; Mena, A. 2000. La Forestación en los Páramos. *Serie Páramo* 6. GTP/Abya Yala. Quito.2000.
- Mena, P. 2000. Los suelos del páramo. *Serie Páramo* 5., 75 p.
- Ministerio del Ambiente. 2012. *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*. 2012: 143.
- Oltra, C. 2009. *Cambio climático: Percepciones*. 2009: 1-23.
- Ordoñez, J; Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7: 3-12.
- Pardos, J. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. 1-253 p.
- Pernett, X. 2006. Proceso para cuantificar e interpretar las características físicas y químicas del suelo que reglan su función en relación con el agua, el almacenamiento de nutrientes y la infiltración. 2: 127-129.
- Podwojewski, P; Poulénard, J. 2000. Los suelos de los páramos del Ecuador. *Los suelos del páramo. Serie Paramo* 5 2000: 5-26.
- Robert, P; Mena, P; Ecociencia, P; Fernandina, I; Berlanga, N. 2012. Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano. 2012: 1-4.
- Rosas, C. 2002. Sumideros de carbono: solución a la mitigación de los efectos del cambio climático *Ecosistemas* 3(2000): 1998-2003.
- Rudel, T; Coomes, O; Moran, E; Achard, F; Angelsen, A; Xu, J; Lambin, E. 2005. Forest transitions: Towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change* 15(1): 23-31.
- Schlesinger, W. 1999. Carbon and agriculture: Carbon Sequestration in Soils. *Science* 284(5423): 2095-2095.
- Weart, S. 2007. El Calentamiento Global. *Revista Ambiente y Desarrollo* 23(3): 81-82.

