



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA BIOLÓGICA**

**TITULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**Evaluación de las reservas de carbono y nitrógeno a lo largo de un  
gradiente altitudinal en un área forestal al sur de los Andes ecuatorianos**

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**AUTOR:** Novillo Navarro, Manuel Geovanny

**DIRECTOR:** Jiménez Álvarez, Leticia Salome, Ph.D

**CO-DIRECTOR:** Quichimbo Miguitama, Pablo Geovanny, MSc

**LOJA-ECUADOR**

**2016**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2016

## APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Leticia Salomé Jiménez Álvarez

De mi consideración:

Que el presente trabajo de titulación: *“Evaluación de las reservas de carbono y nitrógeno a lo largo de un gradiente altitudinal en un área forestal al sur de los Andes ecuatorianos”*, realizado por: Novillo Navarro Manuel Geovanny ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presente del mismo.

Loja, Abril de 2016

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo Manuel Geovanny Novillo Navarro declaro ser autor del presente trabajo de titulación: *Evaluación de las reservas de carbono y nitrógeno a lo largo de un gradiente altitudinal en un área forestal al sur de los Andes ecuatorianos*, de la Titulación: Ingeniería Química, siendo Leticia Salomé Jiménez Álvarez directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimiento y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y trabajo de fin de titulación que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

f): .....

**Autor:** Novillo Navarro Manuel Geovanny

**Cédula:** 1104274483

## **DEDICATORIA**

Mi presente trabajo de tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A ti mi gran DIOS que me regalaste lo más bello la oportunidad de vivir y de haberme obsequiado una hermosa y maravillosa familia.

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me dieron las palabras de apoyo y aliento en salir adelante, con sus ejemplos dignos de sacrificio, superación y entrega, hoy gracias a ellos puedo ver alcanzada la gran meta propuesta, ya que con su ayuda siempre estuvieron ahí ayudándome impulsándome con su gran ejemplo hasta en los momentos más difíciles, por su gran ejemplo y su amor entre ellos hacia mí, los admiro ya que sin ellos no hubiera alcanzado la meta propuesta, este final y triunfo es tanto mío como para mis padres por todo lo bello y maravilloso que han hecho y dado por mí.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, estas pocas palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles gracias padres míos este triunfo es tan importante para mí como para ustedes los amo gracias por todo mis bellos padres .

A mi segunda mama mi tía Teresa por darme sus palabras de aliento para cumplir cada éxito en la vida y por haberme cuidado en todo el trayecto de mi vida junto a mis padres.

A mis hermanos, Andrea especialmente, por la gran ayuda que me supiste dar por tu comprensión y amor en todo el tiempo que llevamos, especialmente desde la llegada hasta ahora el final.

A mis amigos por ser mi apoyo en las buenas y malas, por aquellas palabras de aliento y sobre todo aquellos consejos de superación, y a las demás amistades que me acogieron en esta bella ciudad, por brindarme su confianza y cariño gracias también a ellos por sus consejos y sobre todo con todo su apoyo en las largas noches de estudio, en las buenas y malas, gracias de todo corazón, al final se pudo decir que no fue nada fácil pero valió la pena gracias a todas estas personas.

A mi bello hijo que fue mi fuente de inspiración y a mi amor, para ellos también es esta meta cumplida, se los dedico con todo el amor.

**Manuel Geovanny Novillo Navarro**

## **AGRADECIMIENTO**

Un gran agradecimiento especial a mi mamá, nunca dejaste de ayudarme y apoyarme hasta lo último estuviste muy atenta y preocupada por mi carrera y que pueda culminar con éxito a ti mi bella madre este agradecimiento de todo corazón.

A mi papa y hermanos un agradecimiento que de una u otra manera fueron la inspiración para formarme profesionalmente un agradecimiento especial a ellos, esta culminación se los debo a ellos, gracias familia.

Finalmente pero no menos importante, a mis profesores que durante toda esta larga etapa, que marcaron con sus enseñanzas el futuro mío y de todos mis compañeros, a todos los profesores que han creído en mí como un verdadero profesional de confianza y superación y siempre estuvieron ahí para darme la mano gracias a todos mis profesores.

Agradezco a la Doctora Leticia Jiménez por ser mi tutora durante esta etapa de culminación de mi vida universitaria pero sobre todo haber encontrado una amiga, gracias.

Un agradecimiento especial a MSc. Pablo Quichimbo, quien fue y ha sido parte de mi formación a través de sus conocimientos y por su grandes aportes e investigaciones hacia mí, quien fue el bastón fundamental en el desarrollo de mi tesis, un gran agradecimiento para él y poder decir que encontré un amigo más, quien me oriento y lleno de conocimientos muy importantes a él un agradecimientos especial, gracias.

**Novillo Navarro Manuel Geovanny**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ECUACIÓN.....	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
CAPITULO I.....	6
1 MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 ¿Qué es el calentamiento global?.....	7
1.2 Cambio climático y su influencia en los suelos de plantaciones forestales.....	7
1.3 El ciclo del carbono.....	7
1.4 Importancia del carbono en el efecto climático.....	8
1.5 El ciclo del nitrógeno.....	8
1.6 Generalidades del carbono y nitrógeno en las reservas sobre el suelo de plantaciones de pino ( <i>P. patula</i> ).....	9
1.7 El carbono y nitrógeno en masas forestales.....	10
1.8 La variación de carbono y nitrógeno con la altitud.....	11
1.9 Plantaciones de pino en los Andes del Ecuador.....	11
1.9.1 Introducción de las especies al Ecuador.....	11
1.9.2 <i>Pinus radiata</i> y <i>Pinus patula</i> en Ecuador.....	13
CAPITULO II.....	14
2 MATERIALES Y METODOS.....	14
2.1 Área de estudio.....	15
2.2 METODOLOGÍA.....	16
2.2.1 Identificación de perfiles y muestreo de suelos.....	16
2.2.2 Capa orgánica del suelo.....	16
2.2.3 Capa mineral del suelo.....	16
2.2.4 Tratamiento de las muestras de las capas orgánica y mineral de suelo.....	16

2.2.5	Estimación de las reservas de carbono y nitrógeno .....	17
2.2.6	Definición de variables.....	17
2.3	Análisis Estadístico.....	18
CAPITULO III.....		19
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
3.1	Estimación de las reservas de carbono y nitrógeno .....	20
3.1.1	Reservas de carbono.....	20
3.1.2	Reservas de nitrógeno.....	23
3.2	Relaciones entre las reservas carbono y nitrógeno con respecto al gradiente altitudinal. ....	25
3.2.1	Altitud-reserva de carbono capa orgánica, mineral y total.....	25
3.2.2	Altitud-concentraciones de carbono en la capa orgánica, mineral y total. ...	27
3.2.3	Altitud-reserva de nitrógeno capa orgánica, mineral y total.....	28
3.2.4	Altitud-concentraciones de carbono en la capa orgánica, mineral y total. ...	30
CONCLUSIONES .....		32
RECOMENDACIONES .....		33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		34
ANEXOS.....		42



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Año aproximado de plantaciones de pino en Ecuador. ....	12
<b>Tabla 2.</b> Factores influyentes en la fijación de carbono, nitrógeno y de otros elementos. 22	
<b>Tabla 3.</b> Variabilidad de las reservas de carbono según capas del suelo (orgánicas y minerales).....	22
<b>Tabla 4.</b> Profundidad promedio para la capa orgánica.....	23
<b>Tabla 5.</b> Variabilidad de las reservas de nitrógeno según capas del suelo (orgánicas y minerales).....	25
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de correlación y valores p para las variables altitud- reserva de carbono, por capa.....	27
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de correlación y valores p para las variables altitud- reserva nitrógeno, por capa.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo del carbono .....	8
<b>Figura 2.</b> Ciclo del nitrógeno .....	9
<b>Figura 3.</b> Área de estudio(los círculos representan la localización de los perfiles en orden ascendente que inicia desde los 2200 msnm, siendo el primer perfil y terminado en los 2443 msnm siendo el perfil 5).....	15
<b>Figura 4.</b> Reserva de carbono para los diferentes perfiles presente en el área de estudio, para las capas: orgánica-mineral (Total).....	20
<b>Figura 5.</b> Reserva de Nitrógeno, para los diferentes perfiles presente en el área de estudio, para las capas: orgánica-mineral (Total). ....	23
<b>Figura 6.</b> Diagrama de dispersión de altitud versus reservas de carbono (en msnm-Mg ha <sup>-1</sup> ): a) de la capa orgánica, b) capa mineral, c) capa total, para los diferentes perfiles, y valores r y p. ....	26
<b>Figura 7.</b> Relación altitud-carbono (msnm-%), de izquierda a derecha van las capas orgánica, mineral y total.....	28
<b>Figura 8.</b> Diagrama de dispersión de altitud versus reservas de nitrógeno (en msnm-Mg ha <sup>-1</sup> ): a) capa orgánica, b) mineral y c) total, para los diferentes perfiles, y valores r y p.....	29
<b>Figura 9.</b> Relación altitud-nitrógeno (msnm-%), de izquierda a derecha van las capas orgánica, mineral y total.....	31

**Figura 10.** Fotografías de los perfiles en el área de estudio :a) Perfil 1,b) Perfil 2, c) Perfil 3, d) Perfil 4, e) Perfil 5, f) Capa orgánica, g) Plantaciones de *Pinus patula*, fotos tomadas por Pablo Quichimbo, 2014. .... 44

## **ECUACIÓN**

**Ecuación 1.** Estimación de reservas ..... 17

## RESUMEN

La presente investigación es sobre la cuantificación de reservas de carbono y nitrógeno (C y N) en plantaciones de pino (*Pinus patula*), lo que ayudó a una mejor comprensión en ambientes forestales. Se llevó a cabo al sur de los Andes ecuatorianos (2200-2500 msnm). Para el cálculo de las reservas se utilizó la ecuación definida por Vesterdal dando como resultado un promedio de C en el suelo de 141,93 Mg ha<sup>-1</sup>, nitrógeno promedio fue de 5,96 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que estadísticamente no se encontró niveles significativos en la correlación con la altura en las reservas de C, por otra parte, los resultados fueron significativos (P<0,005), en la capa mineral ya que los valores señalan que si están correlacionados con la altura. Los resultados presentados en el área de estudio demuestran que la capa mineral contiene mayor cantidad de reserva en comparación con la capa orgánica, mientras que en el suelo las plantaciones de pino demuestran unos niveles de correlación altos y significativos más relevantes en la capa mineral y total en las reservas de N, los resultados preliminar nos indica que la captura de carbono y nitrógeno que realiza el suelo podría ayudar a la conservación de la naturaleza a través del manejo de los bosques de pino.

**PALABRAS CLAVE:** Andes ecuatorianos, capa orgánica, capa mineral, reservas, *Pino*.

## **ABSTRACT**

The current investigation is about the quantification of carbon and nitrogen reserves (C and N) in pine trees (*Pinus patula*) plantations, which helped for a better understanding of forest environments. It took place in the south of the Ecuadorian Andes (2200-2500 msnm). For the calculation of the reserves and equation defined by Vesterdal was used. This gave an average result of the C in the soil of 141.93 Mg ha<sup>-1</sup>, the average nitrogen was 5.96 Mg ha<sup>-1</sup>, while statistically significant levels couldn't be found in the correlation with height in the C reserves. On the other hand the results where significant (P<0.005) in the mineral layer, since the values point that they are correlated with height. The results given in the study area show that the mineral layer contains higher reserve quantity compared to the organic. While in the soil the plantations show higher and more significant levels of correlation in the mineral layer. In total the N reserves indicate that the capture of carbon and nitrogen that the soil makes could help to the conservation of nature through the management of the pine trees forests.

**KEYWORDS:** Ecuadorian Andes, organic layer, mineral layer, reserves, *P.patula*.

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es reconocido a nivel mundial por su riqueza florística y faunística, lo cual está relacionada con una serie de variables ambientales: clima, relieve y suelo, entre otros factores, que interactúan y dan origen a diferentes escenarios naturales donde conviven varias especies vegetales y animales (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012). Los Andes ecuatorianos son una zona que alberga la mayor población del país y se caracteriza por la presión ecológica que los habitantes ejercen sobre el medio ambiente (Herrera & Cecilia, 2011), y por ser lugares de altitudes elevadas a nivel del mundo (Sklenář, Bendix, & Balslev, 2008), también por ser un ambiente con variabilidad climática, recibir la mayor irradiación solar del planeta (R Hofstede, Segarra, Mena Vásconez, & Vásconez, 2003), lluvias variables, altas precipitaciones y zonas húmedas (Gagnon, Andrus, Ida, & Richardson, 2015). Los Andes en el Ecuador poseen una gran número de nichos ecológicos lo que se refleja en la riqueza forestal, de insectos, etc (Moret, 2005). Los pinos (*Pinus*), eucaliptos (*Eucalyptus*), ciprés (*Cupressus*) son plantaciones forestales característicos del lugar, han sido desde tiempos de su introducción plantaciones dominantes de los Andes (Chincheró et al., 2013), siendo las plantaciones forestales fuentes grandes de fijación de carbono almacenado en el suelo y en forma orgánica (biomasa) (Laguna, Pérez, Calderón, Garza, & Zárate, 2009) .

Las plantaciones de rápido crecimiento juegan un papel fundamental en la capacidad de tomar el carbono atmosférico mediante la fotosíntesis y la gran capacidad de fijar el carbono y diferentes nutrientes en el suelo (Winjum & Schroeder, 1997), el suelo también es considerado como sumidero de carbono y nitrógeno (Cargua, Rodríguez, Recalde, & Vinueza, 2014a), el nitrógeno es uno de los elementos más importantes para la nutrición de las plantas, ya que es el nutriente que limita el crecimiento de la flora en ecosistemas terrestres (Maurer, Egli, Spinnler, & Korner, 1999), el proceso de fijación de nitrógeno en el suelo sucede a través de la mineralización (Pineda, 1969), aunque la fuente original de nitrógeno superficial del suelo proviene de la atmósfera (Teziutlán et al., 2008), además de ser un reservorio de carbono, nitrógeno, etc (Etchevers, Prat, Balbontin, Bravo, & Martínez, 2006), el suelo es un almacén de diferentes elementos importantes en la mitigación de los gases de efecto invernadero, posiblemente siendo el más grave problema ambiental del planeta (Sánchez-Hernández et al., 2011), identificándose hasta la actualidad dos mecanismos básicos para la conservación y almacenamiento en el

sector forestal: 1) preservación y protección de áreas naturales y disminución de incendios, 2) la reforestación o recuperación de áreas degradadas (Laguna et al., 2009). Los niveles adecuados de carbono son indicativos de la salud del medioambiente (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012).

De acuerdo a (Lorenz & Lal, 2009) es necesario recalcar que la fijación del carbono en los ecosistemas forestales, hoy por hoy, se ha convertido en un importante punto de la discusión, tanto científica como política, ya que está directamente relacionado con el cambio climático experimentado actualmente por el planeta.

Es así que existe escasa información sobre las reservas de carbono y nitrógeno en masas forestales introducidas en el sur de los Andes ecuatorianos, por lo que este trabajo de titulación busca establecer una línea de referencia para este tipo de plantaciones lo que nos servirá para planificar futuras modelos de reforestación más sostenibles para la región Sur de Ecuador.

Por tanto, para la consecución del objetivo, se ha dividido la presente investigación en tres capítulos. El Capítulo I se refiere al cambio climático y a las generalidades sobre el carbono y nitrógeno del suelo, reservas de carbono y nitrógeno en ambientes forestales, historia de cómo se introdujo el pino en el Ecuador y la variabilidad de la reserva en función de la topografía (reserva-altitud). En el Capítulo II: se detalla el área de estudio y la metodología empleada. En el Capítulo III se presenta los resultados obtenidos y la discusión de los mismos.

## OBJETIVOS

### Objetivo general.

- ✓ Evaluar las reservas de carbono y nitrógeno en una plantación de pino (*P. patula*) a lo largo de un gradiente altitudinal al sur de los Andes ecuatorianos.

### Objetivos específicos.

- Estimar las reservas de carbono y nitrógeno del suelo en una plantación de pino localizada en el sur de Ecuador.
- Estudiar la relación entre la altitud y las reservas de carbono y nitrógeno del suelo en el área de estudio.

## **CAPITULO I**

### **1 MARCO TEÓRICO**



## 1.1 ¿Qué es el calentamiento global?

El panel Intergubernamental de cambio climático (IPCC) lo definen como cualquier cambio en el clima en función del tiempo (incremento de la temperatura), debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas, como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de efecto Invernadero (GEI) entre los cuales cabe mencionar dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, Gases Fluorados (HFCs, PFCs y SF6) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales (Linares, 2013; Pardos, 2010).

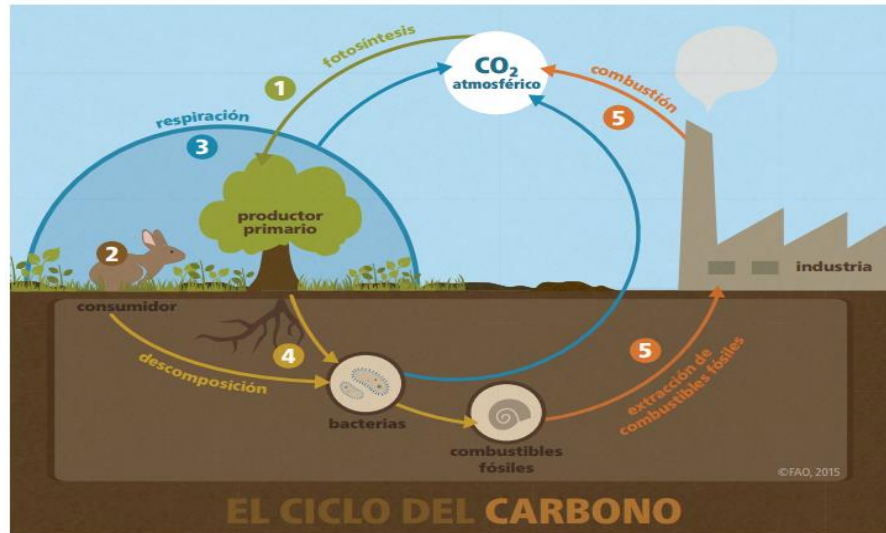
## 1.2 Cambio climático y su influencia en los suelos de plantaciones forestales

El cambio climático provocado por el calentamiento global es un tema cada vez más apremiante en la agenda política internacional, y los pueblos, las naciones y los gobernantes se preocupan cada vez más, discuten y plantean soluciones para resolver este grave y complicado problema, pero aún no se logra concientizar a todos ni se logra un consenso adecuado para adoptar una posición firme frente al mismo. En realidad, este es un desafío de supervivencia, ya que no solo peligra la especie humana, sino la vida misma del planeta (Estenssoro, 2010; Linares, 2013).

El suelo juega un papel importante en el almacenamiento de carbono, suelos sanos mayor fijación de carbono, jugando un papel importante en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de **GEI** en la atmosfera. Además, el cambio climático representa una gran amenaza contra la seguridad alimentaria mundial por sus efectos sobre las fuentes de agua y las alteraciones que puede provocar en el suelo (Hayduk & Vafadari, 2015).

## 1.3 El ciclo del carbono.

El carbono, al fijarse en el suelo, a través de la fotosíntesis, mejora la calidad de los mismos y del agua, contribuye a la disminución de la pérdida de nutrientes y reduce la erosión del suelo. Cuando los bosques son jóvenes, la tasa neta de fijación de carbono es mayor que en el caso de los bosques viejos, ya que la misma se reduce con el pasar de los tiempos. Pero, cuando se destruye el bosque, el carbono contenido en el mismo es devuelto rápidamente a la atmósfera (Schlesinger, 1999).



**Figura 1.** Ciclo del carbono  
**Fuente:** (Hayduk & Vafadari, 2015).

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del carbono, representando el 69,8 % del C orgánico de la biosfera. La cantidad del carbono del suelo es mayor que la contenida en la capa vegetal atmósfera (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008). El suelo es importante en la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico y en la emisión de gases (por ejemplo CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) que son radiactivamente activos y que incrementan el efecto 'invernadero' (Batjes, 1996).

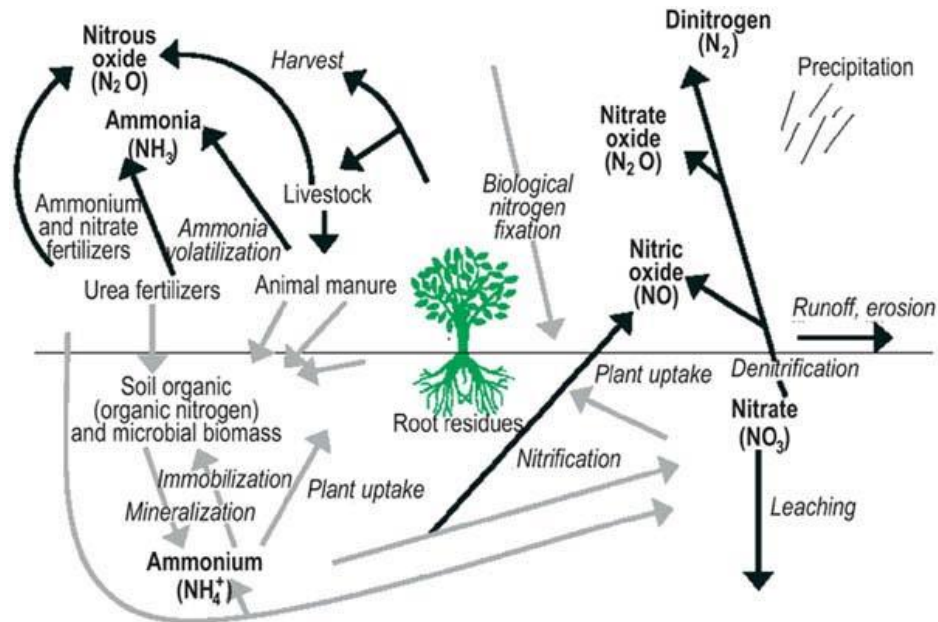
#### 1.4 Importancia del carbono en el efecto climático.

Hayduk y Vafadari (2005), nos indica que los suelos sanos son el mayor almacén de carbono terrestre, jugando un papel importante en la mitigación del cambio climático a través de la fijación del carbono en el suelo y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que entre más carbono se fije en el suelo menor es la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, reduciendo el cambio climático, convirtiéndose en una pieza clave que nos ayuda a combatir el cambio climático ver Figura 1.

#### 1.5 El ciclo del nitrógeno.

El ciclo del nitrógeno se relaciona con la descomposición de la materia orgánica y la actividad animal, vegetal y microbiana (lombrices, nematodos, artrópodos, hongos, protozoarios y bacterias). La fijación del nitrógeno en el suelo ocurre cuando los microorganismos asimilan el nitrógeno atmosférico a su cuerpo y luego al morir lo depositan en el suelo. Todo este proceso ocurre mediante una serie de pasos:

mineralización, nitrificación, fijación de nitrógeno y la desnitrificación (Hayduk & Vafadari, 2015), como se observa en la siguiente Figura 2.



**Figura 2.** Ciclo del nitrógeno

**Fuente:** (Hayduk & Vafadari, 2015)

Al estudiar diferentes plantaciones forestales, la materia orgánica y mineral son dos aspectos fundamentales que deben ser considerados para su desarrollo (Cabrera et al., 2011). Siendo el nitrógeno uno de los elementos más importantes para la nutrición de las plantas, es el nutriente que limita frecuentemente el crecimiento de la flora en ecosistemas terrestres. Experimentos en bosques demuestran que el crecimiento de árboles responde muy bien a la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  si hay disponible suficiente nitrógeno y materia orgánica (Maurer et al., 1999).

### 1.6 Generalidades del carbono y nitrógeno en las reservas sobre el suelo de plantaciones de pino (*P. patula*).

El suelo consiste en materia mineral, raíces, agua, gases y materia orgánica en diferentes estados de descomposición, y es un medio en el que tienen lugar múltiples etapas (respiración, transpiración, evaporación) y en el que vive una extraordinaria variedad de microorganismos (bacterias, hongos, etc) (Sarmiento, 2011).

Dentro de los acuerdos internacionales sobre cambio climático y emisiones de gases de efecto invernadero, los bosques adquieren protagonismo de primer orden por su

capacidad de fijar carbono y mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>. El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales (Riofrio, 2007).

Para evaluar las reservas forestales internacionales se ha usado la base de datos georeferenciados del “Inventario mundial de emisiones potenciales del suelo” (WISE). Esta base de datos contiene 4353 perfiles de suelos distribuidos globalmente (Batjes, 1996).

En la naturaleza existen dos fuentes principales de reservas de nitrógeno para las plantas. La mayor es la atmósfera, la misma que contiene un 78% de nitrógeno. La segunda reserva importante es la materia orgánica del suelo (MOS): del total del nitrógeno que hay en el suelo, aproximadamente el 98% se encuentra formando compuestos orgánicos. Por tanto, se puede decir que existe una relación inversa entre la cantidad y la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (Barbazán, 2010).

Durante mucho tiempo los expertos han estudiado las especies arbóreas por medio de las propiedades del suelo de los bosques y plantaciones; sin embargo, una función importante de los suelos es su capacidad para retener materia mineral (carbono, nitrógeno, etc). Diversos parámetros (clima, tipo de suelo, temperatura, etc) son muy importantes para la evaluación de los efectos de fijación en el suelo de las distintas especies arbóreas, ya que las diferentes variedades de especies arbóreas es uno de los posibles factores que inciden en las tasas de entrada de carbono y nitrógeno del suelo (Vesterdal, Schmidt, Callesen, Nilsson, & Gundersen, 2008).

### **1.7 El carbono y nitrógeno en masas forestales**

Las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales son una opción realista para incrementar la fijación de carbono en agro-ecosistemas, en biomasa y la materia orgánica (Albrecht & Kandji, 2003).

Los estudios de biomasa son esenciales para obtener una aproximación de la cantidad de carbono almacenado, ya que de acuerdo a varios autores la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1. Al respecto, los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres, ya que contienen una

cantidad de carbono cuatro veces mayor que la contenida en el sustrato vegetal (Kanninen, 2000).

El carbono en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica. La forma orgánica, en interacción con la atmósfera representa la mayor reserva. El carbono inorgánico es capturado bajo formas más estables tales como el carbonato de calcio (Ramos, 2003).

Cambios de carbono y nitrógeno varían de acuerdo al clima, suelo, vegetación e intensidad de las prácticas de manejo (Lugo & Brown, 1993).

## **1.8 La variación de carbono y nitrógeno con la altitud**

Se observó una correspondencia entre materia orgánica y la altitud: generalmente, se admite que por cada 100 m de elevación, existe un incremento medio de materia orgánica del 0,5% (Hans, 1941). En suelos poco alterados, ajustando ligeramente la ecuación de regresión, por cada 100 m de altitud, se da un incremento medio de materia orgánica del 0,87% (Gallardo, 1986).

Cuando se intentó encontrar una relación del nitrógeno con la altitud, no se obtiene diferencias significantes, posiblemente a causa de que el nitrógeno parece estar asociado más con la aportación de fijación en el suelo (Hans, 1980) .

Sin embargo, cuando se relacionó la razón C/N con la altitud, en el caso de los suelos poco alterado, por cada 100 m de altitud, la razón C/N se incrementó tan solo en un 0,5 % para la Sierra Nevada Californiana (Hans, 1980).

## **1.9 Plantaciones de pino en los Andes del Ecuador.**

### **1.9.1 Introducción de las especies al Ecuador.**

En la sierra ecuatoriana la presencia del *P. patula*, la primera plantación a gran escala se realizó en el páramo del volcán Cotopaxi a partir del año 1960 (Granda, 2006). Se trató de un proyecto forestal de siembra de estos árboles en las provincias de la Sierra Central. La meta final perseguida era la producción de madera, como parte de una propuesta social,

en razón de que el pino se había sembrado en varias zonas del país, especialmente en páramos, al principio, como un alternativa de reforestación y, finalmente, para aprovechar la madera derivada de la siembra (Herrera & Cecilia, 2011). En la siguiente tabla se presentan los lugares y años de plantaciones de pino en Ecuador (Hofsede et al., 2003).

**Tabla 1.** Año aproximado de plantaciones de pino en Ecuador.

<b>Sitio</b>	<b>Año de plantación</b>
Cotopaxi	1925; 1959
Hacienda El refugio, Pichincha	1954,1959
Achapichu, Pichincha	1959
Conocoto, Quito	1955,1963
Tortorillas-Riobamba	1965
Loja	1973

**Fuente:** El autor

El Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP) adquirió un rol decisivo en la implantación de los pinos en Ecuador. Prontamente, el FEPP se encargó de proveer la capacitación necesaria para que las comunidades pudieran plantar los pinos en forma adecuada (Carrere, 2005).

Ecuador es considerado como uno de los 12 países mega-diversos del planeta. La superficie del país es de 26´079,600 hectáreas, de las cuales el 18% son áreas de conservación, el 20% territorios indígenas y afro-ecuatorianos, y el 5% páramos. El resto, son áreas que se destinan a actividades agropecuarias o que tienen bosques nativos no incluidos en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. A la Región Costa le queda solamente el 6% de bosques nativos y menos del 30% de manglares; mientras que la Amazonía cuenta con el 70% de bosques, habiéndose deforestado un 30%. En la Sierra ecuatoriana, que representa el 30% de la superficie del país, quedan sólo remanentes de bosques nativos y páramo; alcanzado estos últimos un 5% de la superficie total del país (Aguirre, 1993).

En la Sierra ecuatoriana se han introducido varias especies exóticas, principalmente pinos, eucaliptos, cipreses y acacias. Algunas de las especies introducidas fueron sometidas a un análisis poco tiempo después, algunas se introdujeron y se analizaron después de pocos años (Aguirre, 1993).

### 1.9.2 *Pinus radiata* y *Pinus patula* en Ecuador.

*P. radiata*, tiene origen en California, Estados Unidos y la isla Guadalupe, México (Lamprecht, 1989). Fue introducida en 1905, pero la primera plantación real se hizo en el páramo de Cotopaxi en 1941. Con el ejemplo de esta primera plantación, esta especie de pino comenzó a expandirse por todo el país y en la actualidad extensas áreas están cubiertas con monocultivos de esta especie (Brandbyge, 1992). Estas plantaciones de *P. radiata* se concentran en los países tropicales, entre los 1500-3000 msnm (Aguirre, 1993).

Esta clase de pino es más resistente a la sequía que el *P. patula*, pero no resiste vientos fuertes y neblinas como lo hace el *P. patula* (Brown, Gillespie, & Lugo, 1989). Las plantaciones de *P. radiata* cambia la química y la relación C/N del suelo con una menor tasa de descomposición de la materia orgánica (Rivas, Oyarzún, Godoy, & Valenzuela, 2009).

*P. patula* es nativo de México, pero ahora el 95% de población total de plantaciones de *P. patula* en el mundo se encuentra al este, centro y sur de África (Aguirre, 1993).

En el sur del Ecuador, en las provincias de Loja, Azuay y Cañar se ha establecido el *P. patula* de forma generalizada, en suelos superficiales y pedregosos (Galloway, 1987).

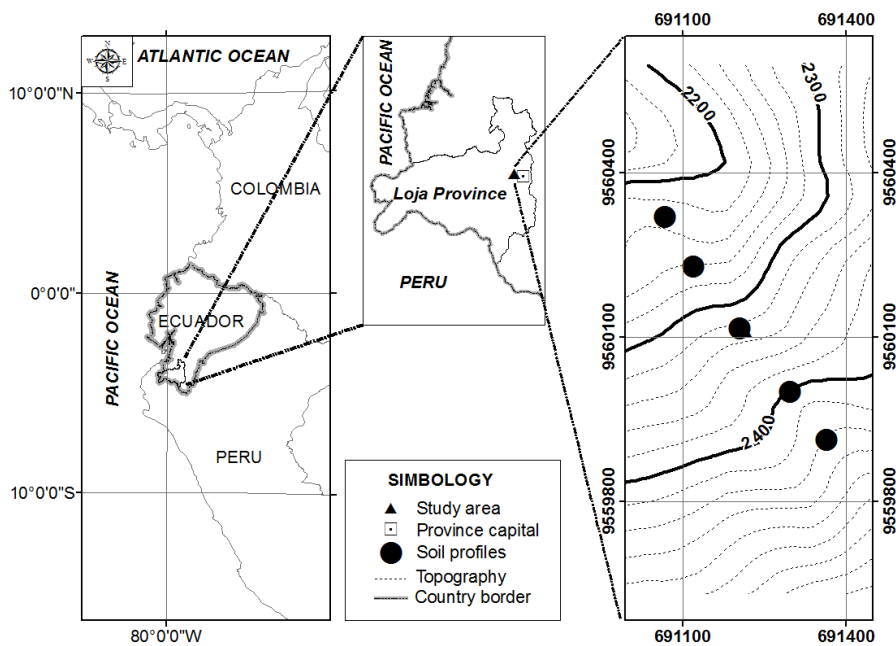
## **CAPITULO II**

### **2 MATERIALES Y METODOS**



## 2.1 Área de estudio

El estudio se lo realizó en la región andina al sur del Ecuador ubicada en la provincia de Loja en el sector denominado Villonaco (Latitud 3° 59' 21" S; Longitud 79° 15' 53" W) (Figura 3). La investigación se llevó a cabo en una plantación de pino de 15 años de edad aproximadamente. El clima del sector según la clasificación climática (Köppen), corresponde a: Templado húmedo sin estación seca (INERHI-PREDESUR-CONADE, 1994). La zona ecológica (Sistemas de zona de vida de Holdridge) corresponde a Bosque Seco Montano Bajo. La precipitación media anual es de 600 mm y la temperatura media anual es de 10,6 °C (Alianza Jatun Sacha-CDC (Corporación Centro de Datos para la Conservación) Ecuador, 2003). La evapotranspiración potencial anual es de 1043 mm y con una precipitación media anual es de 1600 mm (INERHI-PREDESUR-CONADE, 1994).



**Figura 3.** Área de estudio (los círculos representan la localización de los perfiles en orden ascendente que inicia desde los 2200 msnm, siendo el primer perfil y terminado en los 2443 msnm siendo el perfil 5)

**Fuente:** Proyecto Transfer.

## **2.2 METODOLOGÍA**

### **2.2.1 Identificación de perfiles y muestreo de suelos.**

Para la identificación de los perfiles se diseñó un transecto a lo largo de la pendiente dominante de la zona, en donde se establecieron 5 perfiles ver (ANEXOS), que están dentro de un gradiente altitudinal de 250 m, los perfiles se encuentran separados equidistantemente cada 50 m de altitud (2200 a 2450 msnm).

Los perfiles de suelos fueron descritos según la FAO (2009), y se tomaron muestras correspondientes a las capas orgánicas (horizontes O) y minerales (horizontes A, B, C) según se describe a continuación.

### **2.2.2 Capa orgánica del suelo**

Esta fue muestreada por sub-horizontes (Oi, Oe, Oa) orgánicos (FAO, 2009), de acuerdo a cada perfil y las muestras fueron tomadas mediante un marco muestreador de 546 cm<sup>2</sup> de superficie. La técnica consiste en recolectar cuidadosamente la muestra de manera que abarque la totalidad del área del muestreador, para luego colocarla en una funda plástica con su respectivo código. Se tomaron muestras por triplicado, registrando las respectivas profundidades por sub-horizonte para cada replica, con una profundidad promedio de 6.5 cm.

### **2.2.3 Capa mineral del suelo.**

La capa mineral del suelo fue muestreada por horizontes morfológicos (A, B y/o C) para cada perfil. Para la recolección de las muestras se utilizaron anillos de kopecky de 100 cm<sup>3</sup> de volumen formando una muestra compuesta con 6 anillos (600 cm<sup>3</sup>) por cada horizonte identificado de la descripción del perfil; las muestras fueron colocadas en fundas plásticas con su correspondiente etiquetado.

### **2.2.4 Tratamiento de las muestras de las capas orgánica y mineral de suelo.**

Las muestras de suelos tanto orgánicas como minerales fueron transportadas al laboratorio de suelos Agrícolas del Departamento de Ciencias Agropecuarias y de Alimentos de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), para luego ser sometidas a un pre-tratamiento de secado utilizando una estufa a 40 °C aproximadamente, hasta alcanzar un peso constante y posteriormente separada la parte fina del suelo de la gruesa

(por tamizado y separación de raíces). Luego las muestras fueron empaquetadas y enviadas a Alemania (Laboratorios del Instituto de la Ciencia del Suelo y Ecología de Sitio, de la Universidad Técnica de Dresden) para las respectivas determinaciones de C y N total por métodos de combustión seca mediante un analizador-CNS (Vario EL III/elementar, Germany).

## 2.2.5 Estimación de las reservas de carbono y nitrógeno

Las estimaciones de las reservas de C y N fueron calculadas usando la ecuación de (Vesterdal et al., 2008):

$$SOC_i = \rho_i \left( 1 - \left( \frac{\delta_{i, 2mm}}{100} \right) d_i C_i \times 10^{-1} \right)$$

**Ecuación 1.** Estimación de reservas

De donde:

$\rho_i$  Es la densidad aparente de la fracción <2mm en g cm<sup>-3</sup>.

$\delta_{i, 2mm}$  Es el volumen relativo de la fracción ≥2mm (%)

$d_i$  Denota el espesor de la capa i en cm

$C_i$  Denota la concentración de carbono en la capa i (mg g<sup>-1</sup>)

$10^{-1}$  Es una unidad de factor (10<sup>-9</sup> mg Mg<sup>-1</sup> x 10<sup>8</sup> cm<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>)

Para la densidad aparente del suelo ( $\rho_i$ ), se utilizó en el método de los anillos de Kopecky, para el cual se utilizó un cilindro de 100 cm<sup>3</sup>, con un volumen total de 600 cm<sup>3</sup>.

## 2.2.6 Definición de variables.

El presente estudio es una investigación descriptiva (no experimental) y trata sobre las relaciones entre dos variables que se describen a continuación.

La variable de la altitud (msnm) fue estimada con un GPS de marca Garmin Serie VENTURE HC (Garmin Ltd.), con una precisión de +/- 3m (2200 – 2450 msnm), validada posteriormente con las curvas de nivel de las cartas topográficas de la zona con una escala 1:50.000 (CT-NVI-F4).

La variable de las reservas de carbono fue estimada en base a los datos de las concentraciones de C y N para las capas orgánicas y minerales de los suelos presentes en los cinco perfiles descritos; las reservas fueron expresadas en Mg ha<sup>-1</sup> y fueron determinadas en base a Vesterdal et al. (2008).

### 2.3 Análisis Estadístico

Todos los datos fueron descritos utilizando medidas de tendencia central (medias) y de dispersión (desviación estándar). Para la estimación de las relaciones entre la altitud y las reservas de carbono y nitrógeno, se usó un análisis de correlación paramétrica de Pearson ( $P < 0,05$ ), tras comprobar la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ). Las correlaciones de la altitud-reservas C y N se las hicieron bajo tres enfoques: 1) C y N de la capa orgánica, 2) C y N de la capa mineral y 3) C y N para el total del suelo (capa orgánica + capa mineral). La capa mineral fue estandarizada a una profundidad de 60 cm para todos los perfiles para los fines de comparación. El software empleado para los análisis estadísticos fue R-CRAN (R Core Team, 2014).

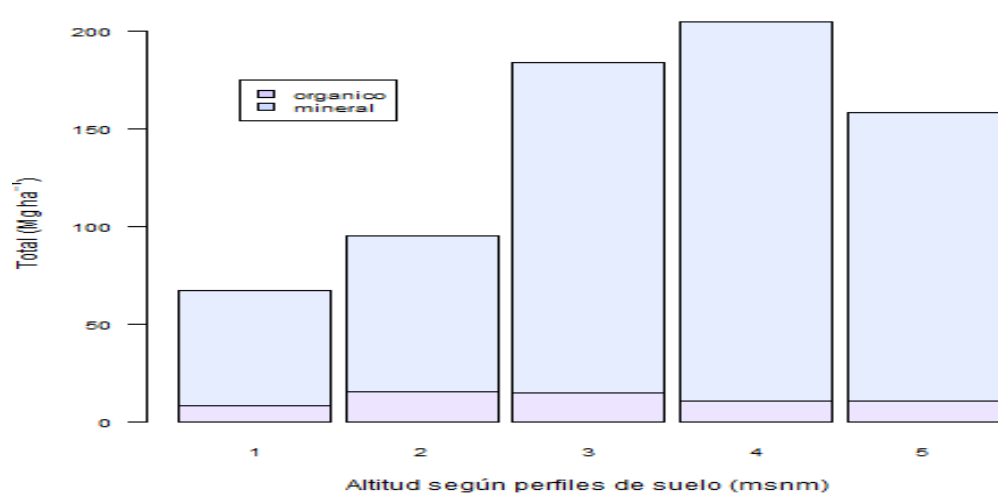
## **CAPITULO III**

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1 Estimación de las reservas de carbono y nitrógeno

#### 3.1.1 Reservas de carbono.

La estimación de las reserva de C del suelo para el sitio de estudio fue de  $141,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $58,78 \text{ Mg ha}^{-1}$  (considerando la capa orgánica de 6,5 cm y la mineral de 60 cm de espesor) Figura 4 y Tabla 3. La capa orgánica muestra un valor promedio de  $11,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $2,96 \text{ Mg ha}^{-1}$  dentro de una profundidad promedio de 6,5 cm (desviación estándar de 2,5 cm); mientras que para la capa mineral a 60 cm de profundidad, la estimación fue de un promedio de  $130 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabla 3). Se puede notar la gran contribución de C de las capas orgánicas y mineral por unidad de profundidad.



**Figura 4.** Reserva de carbono para los diferentes perfiles presente en el área de estudio, para las capas: orgánica-mineral (Total).

**Fuente:** El autor

Para las reservas de carbono en los diferentes perfiles se observa que, en la capa orgánica existe un incremento ligero de fijación de carbono en los perfiles 2 y 3, los perfiles se muestran en Anexos (Figura 10), mostrando los valores de reserva de carbono según la altitud (Figura 4), Castaño Uribe (2003), menciona que la acumulación de biomasa de acículas, hojarasca y el espesor (profundidad de la capa orgánica) influyen, deteniendo el crecimiento de vegetación y en la fijación de nutrientes en el suelo, tal comportamiento se manifiesta en la Figura 4, al haber alcanzado una profundidad diferente en los perfiles y horizontes antes mencionados, se cuantificó diferencias significativas de fijación de reserva de carbono.

Mientras que para la capa mineral, se observan valores más altos en los perfiles 3 y 4 (Figura 4), Post et al., (1982) nos menciona que los diferentes ecosistemas forestales contienen carbono almacenado en forma de biomasa viva y muerta localizada en la parte mineral del suelo. Investigaciones realizadas por Cargua et al., 2014a, en plantaciones de pino, con una edad de 18 años aproximadamente, con condiciones climáticas diferentes y con una altitud que va desde los 3792-4096 msnm (Chimborazo), obtuvieron una diferencia significativa, el valor de reserva de carbono fue  $268 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a una profundidad  $\geq$  a 30 cm. Mientras que Guerra et al., (2005) en su investigación en plantaciones forestales de pino, ubicadas en los Andes y costa chilenas, reportaron valores de  $212 \text{ Mg ha}^{-1}$ , otra investigación interesante es la realizada por Pinazo et al., (2007) en Argentina, ubicada en la provincia de Misiones (latitud de  $25^{\circ}59'50''$ ; longitud  $54^{\circ}24'50''$ ) en plantaciones de pino, con un clima tropical sin estación seca, de aproximadamente 20 años de edad, a una profundidad de 150 cm, obtuvo  $207 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Killham, (1994) menciona, de manera general, que un porcentaje mayor en carbono se presenta en las capas minerales superficiales del suelo.

Por otro lado cuando los bosques son jóvenes, la tasa neta de fijación de carbono es mayor que en el caso de los bosques viejos ya que la misma se reduce con el correr de los tiempos (Schlesinger, 1999). La presente investigación realizada en el sector Villonaco (VIL) muestra que la mayor diferencia significativa se encuentra en la capa mineral con un valor de reserva promedio de carbono en el suelo de  $130,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Los presentes resultados del contenido de carbono presentes en la zona de estudio, son muy diferentes a los encontrados en diferentes zonas y países reportados en la presente investigación.

En la misma Figura 4, se observa que la fijación de carbono en la capa mineral en los diferentes perfiles es mayor que la fijación en la capa orgánica, se observa que la fijación de carbono crece del perfil uno al cuatro, es decir, a mayor altura, mayor fijación, en el perfil 5 el valor de reserva decrece, esto se debe a una serie de factores que de una u otra manera ayudan o difieren el contenido de reservas ver Tabla 2 , mientras Luteyn Churchill (1999) en su investigación señala que a mayor altura mayor reserva, Killham, (1994) manifiesta a manera general que a diferentes profundidades, altitudes es más alto el contenido de carbono en el suelo.

**Tabla 2.** Factores influyentes en la fijación de carbono, nitrógeno y de otros elementos.

Acumulación de biomasa	(Castaño, 2003; R. Connolly & Corea, 2007)
Altitud	(Hans, 1941; Luteyn & Churchill, 1999)
Profundidades	(Killham, 1994; Newan, 1995)
Temperatura	(Robert Hofstede & Mena, 2000)
Calidad, tipo y uso del suelo	(Efron, Sarti, Quinteros, & Catán, 2012; Zas, 2003)
Edad de las plantaciones	(Schlesinger, 1999; Pinazo et al., 2007; Cargua et al., 2014a)
Densidad y porosidad del suelo	(Cuevas, Seguel, Ellies Sch, & Dörner, 2006; Twilley & Rivera-Monroy, 2005)

**Fuente:** El autor

A continuación en la siguiente Tabla 3 se presenta de manera resumida, valores como el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación para las reservas de carbono:

**Tabla 3.** Variabilidad de las reservas de carbono según capas del suelo (orgánicas y minerales).

Capas	Promedio Mg ha <sup>-1</sup>	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Profundidad promedio (cm)	Resultado por 1 cm de profundidad
Orgánica	11,93	2,96	4,03	6,45	1,85
Mineral	130,00	58,38	2,23	60	2,17
Total	141,93	58,78	2,41		

**Fuente:** El autor

Los coeficientes de variación CV de las capas orgánica y mineral en la Tabla 3, se puede observar que el CV de la capa mineral es menor que el de la capa orgánica, lo cual indica que el promedio de fijación de carbono en la capa mineral es menos variable en comparación con la capa orgánica y esto se explica con la profundidad variable en los horizontes orgánicos de los perfiles de suelo (promedio 6,45 cm con una desviación estándar de 2,45 cm, frente a la profundidad constante de 60 cm de los horizontes minerales) ver Tabla 4. Al analizar las reservas de C por unidad de profundidad se pudo observar que la capa mineral almacena más C que la capa orgánica: capa mineral 2,17 Mg ha<sup>-1</sup> por centímetro y la capa orgánica 1,85 Mg ha<sup>-1</sup> por centímetro de profundidad, sin embargo se puede notar la apreciable cantidad de C que puede ser también almacenado por la capa orgánica del suelo (horizonte O).



**Tabla 4.** Profundidad promedio para la capa orgánica

Perfil	Altitud (msnm)	Profundidad de la capa (cm)	Profundidad promedio (cm)
1	2230	5	6,45
2	2269	3	
3	2324	8,25	
4	2404	9	
5	2443	7	

Fuente: El autor

### 3.1.2 Reservas de nitrógeno

La estimación de las reservas de N del suelo para el sitio de estudio fue de  $5,96 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $2,32 \text{ Mg ha}^{-1}$  (considerando la capa orgánica y la mineral de 60 cm de espesor) ver Figura 5 y Tabla 5. La capa orgánica muestra un valor promedio de  $0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $2,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; mientras que para la capa mineral (60 cm de profundidad) fue de un valor promedio de  $5,66 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabla 5). Se puede notar la gran contribución de N de las capas orgánicas y mineral por unidad de profundidad.



**Figura 5.** Reserva de Nitrógeno, para los diferentes perfiles presente en el área de estudio, para las capas: orgánica-mineral (Total).

**Fuente:** El autor

En la Figura 5, se observa la reserva de nitrógeno de la capa orgánica, en la mayoría de todos sus perfiles es similar, presentando un ligero aumento en el perfil 2, para los perfiles siguientes no se establecen incrementos considerables a pesar que aumenta la altitud se observan valores cercanos al primer perfil de estudio, similitud con lo obtenido por Guo and Gifford (2002) en su investigación realizada en diferentes plantaciones de pino.

Según Zas, (2003), en su investigación realizada en Galicia obtuvo también valores bajos de fijación de nitrógeno de  $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , en bosque montano de roble, ciprés y plantaciones de *P. patula*, se realizó un interesante estudio de nutrientes en el suelo entre en el cual constaba el nitrógeno (N), cabe recalcar que el mayor contenido de reserva de carbono se dio para las plantaciones de *P. patula* y como el segundo nutriente representativo presente en el suelo estuvo el N el cual estaba en las mismas cantidad con el roble cercanos a los  $0,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dentro del estudio los valores de los diferentes nutrientes se dieron en dicho orden  $\text{C} > \text{N} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S}$  (Ramírez, Zapata, León, & González, 2007). Aunque los contenidos de C y N en algunos suelos son altos, ensayos realizados por Tschinkel (2012), muestran una baja tasa de mineralización, indicando deficiencia de este elemento. Resultados similares han sido encontrados en bosques de tierras altas ( $> 3000 \text{msnm}$ ), donde el N es factor limitante para el crecimiento de las plantas (Montagnini, Jordan, Guariguata, & Kattan, 2002), dadas las bajas tasas de descomposición y, por ende, baja disponibilidad.

En la presente investigación de manera general y de acuerdo a los estudios realizados, revisados en la literatura antes mencionada las plantaciones de *P. patula*, representa una fuente significativa de fijación de N. Con respecto a las reservas del N en diversas plantaciones, asociados a la capa orgánica, mineral y total, varias investigaciones mencionadas anteriormente nos muestran que la variabilidad de los suelos se agrupan con una tendencia muy similar en ciertas plantaciones mientras en otras el aumento es significativo, esto se debe a una serie de factores que de una u otra manera ayudan para la fijación de nutrientes como lo son: materia orgánica (Castaño, 2003; W. R. S. & C. a. Connolly, 2007), temperatura (Robert et al., s. f.), altitud (Hans, 1941; Luteyn & Churchill, 1999), mayores o menores profundidades (Killham, 1994; Newan, 1995), calidad de los suelos, y uso (Zas, 2003) (Efron et al., 2012), edad de las plantaciones (Schlesinger, 1999; Pinazo et al., 2007; Cargua et al., 2014a), profundidades distintas (Darwich, 1998)

ver Tabla 2, aunque por bien los sostenido por (Guo & Gifford, 2002) que todo sistemas es muy distinto del uno del otro.

**Tabla 5.** Variabilidad de las reservas de nitrógeno según capas del suelo (orgánicas y minerales).

Capas	Promedio Mg ha <sup>-1</sup>	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Profundidad promedio (cm)	Resultado por 1 cm de profundidad
Orgánica	0,3	0,11	2,73	6,45	0,046
Mineral	5,66	2,35	2,41	60	0,094
Total	5,96	2,32	2,57		

Fuente: El autor

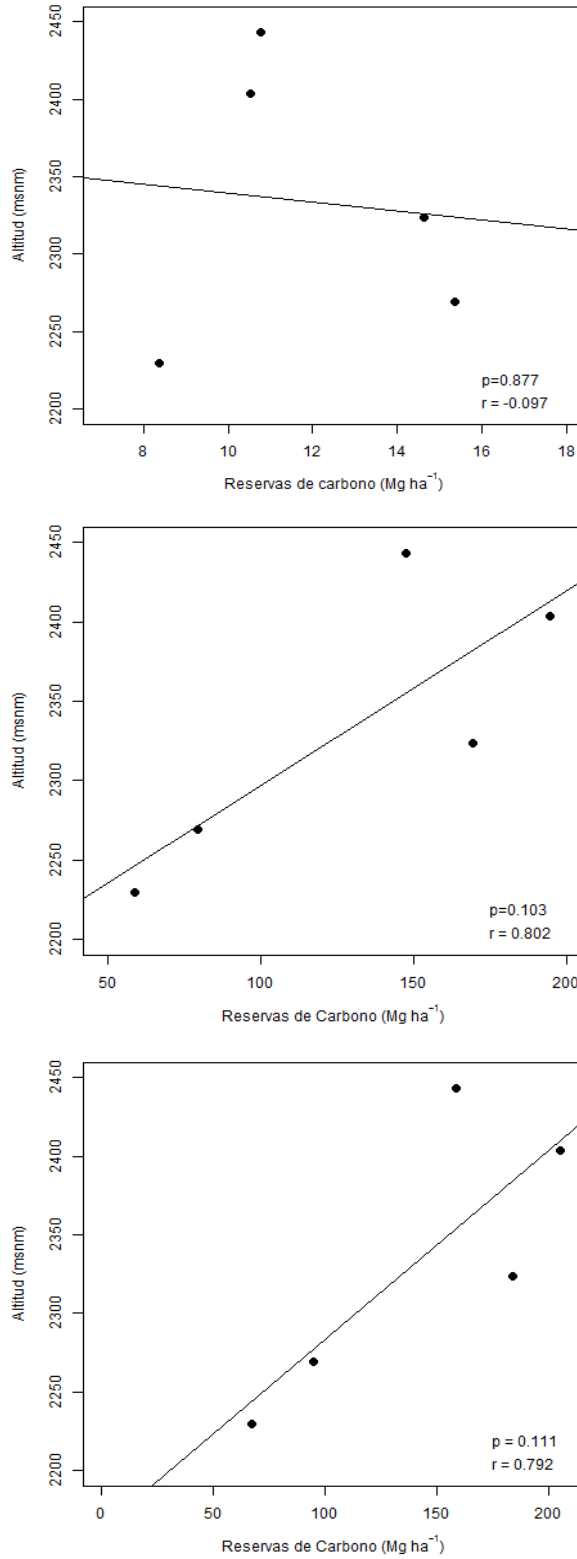
En la Tabla 5, los coeficientes de variación de las capas orgánica y mineral, se pueden observar, que el CV de la capa mineral es ligeramente menor que el de la capa orgánica, lo cual indica que el promedio de fijación de nitrógeno en la capa mineral es menos variable que el de la capa orgánica y esto se explica por la profundidad variable de los horizontes orgánicos de los diferentes perfiles de suelo (promedio 6,45 cm con una desviación estándar de 2,45 cm, frente a la profundidad constante de 60 cm de los horizontes minerales) ver Tabla 4. Al analizar las reservas de N por unidad de profundidad se pudo observar que la capa mineral almacena más N que en la capa orgánica es así que se obtiene valores para la capa mineral 0,094 Mg ha<sup>-1</sup> por centímetro y la capa orgánica 0,046 Mg ha<sup>-1</sup> por centímetro de profundidad, sin embargo se puede notar que la cantidad presente cantidad de N que puede ser también almacenado por la capa orgánica del suelo.

### 3.2 Relaciones entre las reservas carbono y nitrógeno con respecto al gradiente altitudinal.

Las reservas de carbono y de nitrógeno con la altitud fueron estudiadas en la capa orgánica, capa mineral y para el conjunto de ambas (capa orgánica + capa mineral).

#### 3.2.1 Altitud-reserva de carbono capa orgánica, mineral y total.

Con los datos obtenidos en las reservas de C y N se realizó la correlación con la altitud para los dos horizontes y capa total.



**Figura 6.** Diagrama de dispersión de altitud versus reservas de carbono (en msnm-Mg ha<sup>-1</sup>): a) de la capa orgánica, b) capa mineral, c) capa total, para los diferentes perfiles, y valores r y p.

**Fuente:** El autor

En los tres casos, tanto para el horizonte orgánico como para el horizonte mineral y total no existieron correlaciones entre la altitud y las reservas de carbono (El p-valor se puede observar en la tabla 6), con ello se puede evidenciar que la fijación del carbono para la capa orgánica no depende de la altura ver Figura 6.

**Tabla 6.** Coeficientes de correlación y valores p para las variables altitud- reserva de carbono, por capa.

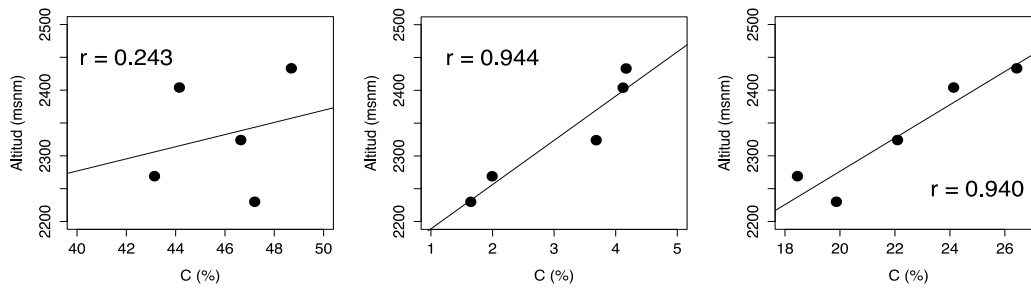
Capa forestal	Correlación de Pearson (altura-reserva)	
	Coefficiente de correlación	p-valor
Capa orgánica	-0,097	0,877
Capa mineral	0,802	0,103
Capa orgánica + capa mineral	0,792	0,111

**Fuente:** El autor

En la Tabla 6, se detallan los valores de correlación (bajos, altos), son visiblemente no significativos para las diferentes capas obtenidas, relacionando altitud-reserva, afirmando para el presente análisis que las reservas no dependen de la altura, los resultados expuestos se asemejan a los obtenidos por (Mejía & Moscoso, 2010) quienes obtuvieron valores de correlación altos ( $p > 8$ ) en un rango de altura de los 2200 hasta los 3000 msnm, afirma que las variables ambientales altitud y pendiente, son variables influyentes de correlación para las reservas de C y por ende también en el N (Ochoa et al., 1981; Turner & Kelly, 1985).

### 3.2.2 Altitud-concentraciones de carbono en la capa orgánica, mineral y total.

La Figura 7 indica la relación altitud-concentración de carbono expresado como porcentaje, mediante los análisis estadísticos realizados se encontró que no hubo correlación entre la altitud y la concentración de carbono de la capa orgánica, mineral y total. Así, se puede observar que se mantuvo la misma tendencia entre las reservas o concentraciones de carbono y la altitud.



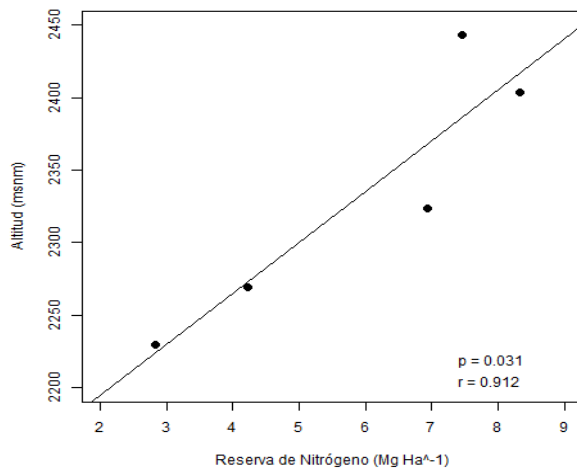
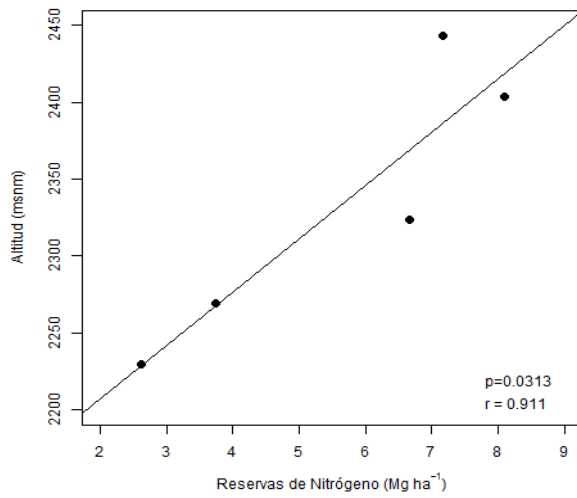
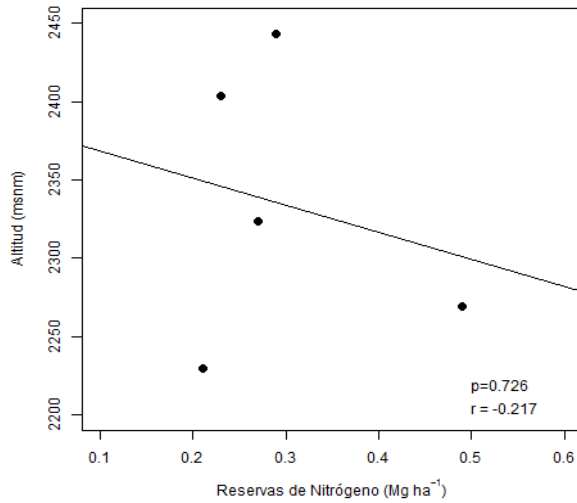
**Figura 7.** Relación altitud-carbono (msnm-%), de izquierda a derecha van las capas orgánica, mineral y total.

**Fuente:** El autor

El estudio realizado por Álvarez et al., (2013) en bosques montanos, situados entre 1500 y 2500 msnm, obtuvieron valores positivos, en donde observaron que los valores aumentaron con el incremento de la altitud, registrando un valor 1,8 veces mayor ( $440$  y  $420 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a 2500 msnm, concluyendo que el intervalo altitud, cambios climáticos, estructura de vegetación y residuos orgánicos, forman asociaciones órgano minerales que estabilizan el carbono en el suelo, diferentes estudios muestran la variabilidad de ciertos bosques para almacenar carbono y nutrientes (Álvarez, Calderón, Krasilnikov, & García, 2013; Meave, Rincón, & Romero-Romero, 2006; Velázquez, Meave, & Vázquez, 2002).

### 3.2.3 Altitud-reserva de nitrógeno capa orgánica, mineral y total.

El cálculo del coeficiente de correlación de Pearson para la reserva de nitrógeno de los diferentes perfiles de la capa orgánica dio como resultado un  $r = -0,217$  (bajo), no significativo ver Figura 8 (a).



**Figura 8.** Diagrama de dispersión de altitud versus reservas de nitrógeno (en msnm- $\text{Mg ha}^{-1}$ ): capa orgánica (parte superior), capa mineral (parte media) y total (parte inferior), para los diferentes perfiles, y valores  $r$  y  $p$ .

Fuente: El autor

No se encontró correlación entre las reservas de nitrógeno de la capa orgánica y la altitud, esto prueba significativamente que la fijación del nitrógeno en dicha capa no depende de la altura.

**Tabla 7.** Coeficiente de correlación y valores p para las variables altitud- reserva nitrógeno, por capa.

Capa forestal	Correlación de Pearson (altura-reserva)	
	Coeficiente de correlación	p-valor
Capa orgánica	-0,217	0,726
Capa mineral	0,911	0,031
Capa orgánica + capa mineral	0,912	0,031

Fuente: El autor

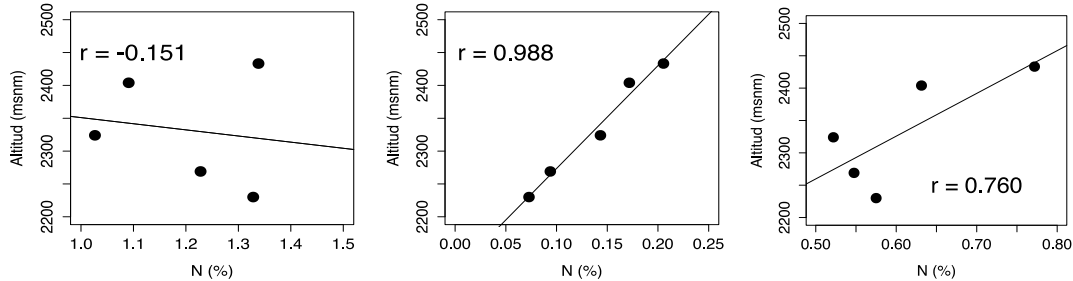
Seguidamente en la Tabla 7, se detallan los valores de correlación obtenidos, mostrando diferencias significativas en la capa mineral y total, demostrando que en la presente investigación si depende las reservas de nitrógeno de la capa mineral y total con la altura, así los suelos de plantaciones forestales retienen mayor cantidad de N en la capa mineral (suelo, compensando para la capa mineral una correlación positiva significativa, siendo proporcionado por la acumulación de N en la biomasa (R. G. M. Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, & Sevink, 2002).

### 3.2.4 Altitud-concentraciones de carbono en la capa orgánica, mineral y total.

La Figura 9 expresa los valores obtenidos para la relación altitud- concentración de N expresada como porcentaje; los análisis estadísticos expresados en la Figura dan como resultado diferencias significativas en comparación con la relación altitud- reserva, los valores más altos se observa para la capa mineral, en comparación con estudios de diferentes autores realizados en suelos, Benintende et al.,(2008) en su investigación realizada obtuvo un valor de correlación ( $r=0,73$ ;  $p=0,05$ ) para ecosistemas similares al del presente estudio, mientras que en suelos con larga historia agrícola (uso agrícola) un valor de correlación ( $r=0,349$ ;  $p=0,05$ ), donde se observa que los valores más altos son para los suelos sin uso agrícola y los más bajos son para suelos con larga historia agrícola (Benintende, 2008), donde se puede concluir que el efecto del uso de suelo está relacionado al aporte de fijación, Hans, (1941) corrobora que la elevación es importante en el incremento de fijación de nitrógeno (100 m; 0,5%), lo cual lo comprobamos en



nuestro estudio para la capa mineral, ya que a mayor altura la cantidad de nitrógeno aumenta.



**Figura 9.** Relación altitud-nitrógeno (msnm-%), de izquierda a derecha van las capas orgánica, mineral y total.

**Fuente:** El autor

Según el estudio realizado por Sanz, (1975), obtuvo un valor de correlación de 0,876 donde hace referencia el valor corroborado con la presencia de materia orgánica, influencia de lluvia , precipitación y altura (Sanz, Heras Cobo, & Montañés, 1975), por otro lado Hassnik (1994) atribuye a la textura del suelo como una fuente de disponibilidad de nutrientes como lo es el N, también la influencia de MO y actividad microbiana, por otro lado según Galantini y Suñer (2008) en el suelo ocurren mecanismos de formación de complejos órgano minerales que disminuyen la descomposición de fracciones orgánicas y por ende el potencial del suelo en nitrógeno.

Para finalizar el estudio, en las reservas de carbono se obtuvieron valores de correlación bajos y altos siendo los mismos no significativos ( $p$ -valor $>0,05$ ) , lo argumentamos por la literatura expuesta por varios autores ya mencionados anteriormente y por diferentes factores (Tabla 2), resultados significativos ( $p$ -valor $<0,005$ ) con correlaciones altas se obtuvieron para las reservas de nitrógeno en la capa mineral y total, obtuvimos una regresión lineal con la reserva de nitrógeno y altitud, los valores expuestos evidencian que están estrechamente relacionados reserva-altitud, en cantidad carbono nitrógeno en suelos que tiende un equilibrio natural caracterizado de una u otra forma el carbono tiende a presentarse en aumento mientras que el nitrógeno disminuye (Demolon, 1944).

## CONCLUSIONES

Las reservas de C y N de la capa mineral fueron mayores a las reservas de la capa orgánica, esto podría indicar el importante aporte de C y N que las raíces aportan al suelo, sin desmerecer el papel fundamental que cumple el horizonte orgánico en las reservas de estos elementos.

Los resultados demostraron que no existe correlación entre la altitud y las reservas y concentraciones de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$  y % respectivamente) tanto para la capa orgánica como para la capa mineral; sin embargo si hubo correlación entre el N y la capa mineral del suelo, se lo debe considerar que son resultados preliminares, ya que la captura de carbono y nitrógeno que realiza el suelo podría ayudar a la conservación de la naturaleza a través del manejo de los bosques de pino, sin embargo se recomienda continuar con las investigaciones para apoyar los resultados obtenidos en las plantaciones de pino especialmente en la parte occidental de la cordillera de los Andes del sur del Ecuador.

## RECOMENDACIONES

- Se pueden realizar estudios comparativos con bosques o plantaciones de otras especies diferentes a *P. patula*.
- Se podría considerar variaciones altitudinales de mayor escala con la finalidad de efectuar estudios más amplios.
- Dado que son muchos los factores que intervienen en la fijación del carbono y nitrógeno estos no fueron considerados en este trabajo, dichos factores podrían ser considerados en posteriores investigaciones o en estudios amplificatorios para la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C. (1993). Diagnóstico de la Investigación Forestal en el Ecuador. *Proyecto PD 138/91 REV.2 (F)*, 204.
- Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), 15–27. doi:10.1016/S0167-8809(03)00138-5
- Alianza Jatun Sacha-CDC (Corporación Centro de Datos para la Conservación) Ecuador. (2003). Almanaque Electrónico Ecuatoriano. Quito, EC.
- Álvarez, G., Calderón, N. E. G., Krasilnikov, P., & García, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47, 171–180.
- Barbazán, P. C. (2010). Nitrógeno. *Área de suelos y aguas. Cátedra de fertilidad*.
- Batjes, N. . . (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(June), 151–163.
- Benintende, M. (2008). Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 37, 141–174.
- Brandbyge, J. (1992). Planting of local woody species in the paramo. *Paramo: an Andean ecosystem under human influence*, 265–274.
- Brown, S., Gillespie, A. J. R., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4), 881–902.
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251, 22–30. doi:10.1016/j.foreco.2007.06.035
- Cabrera, E., Corrales, A., Álvarez, E., Galindo, G., García, M. C., Idárraga, Á., & Vargas, D. (2011). Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los

- bosques del Departamento de Antioquia, Colombia. *Actual Biol*, 33(95), 193–208.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V, Recalde, C. G., & Vinueza, L. M. (2014a). Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (*Pinus radiata*) y en estrato de páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, 25(3), 83–92.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V, Recalde, C. G., & Vinueza, L. M. (2014b). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, 25(3), 83–92. doi:10.4067/S0718-07642014000300011
- Carrere, R. (2005). Pinos y eucaliptos en Ecuador : símbolos de un modelo destructivo. *World Rainforest Movement*, 1–12.
- Castaño, C. (2003). Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición hotSpot & global climatic tensor.
- Chincheró, M., Medina-Torres, B., Herrera, X., Morales, C., Guevara, J., Santiana, J., & Aguirre, C. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental: Región Litoral. *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*, Ministerio del Ambiente del Ecuador: Quito, 34–74.
- Connolly, R., & Corea, C. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. *Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua*.
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies Sch, A., & Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(2), 1–12.
- Darwich, N. A. (2006). *Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes*.
- Demolon, A. (1944). Détermination analytique de la matière organique des sols. *La dynamique des sols*, Ed. Dunod, Paris, 1.
- Effron, D. N., Sarti, G. C., Quinteros, M. C., & Catán, S. I. (2012). Influencia de Especies

- Arbóreas Implantadas sobre Parámetros Biológicos y Bioquímicos en un Suelo Forestal de Chubut, Argentina. *Información tecnológica*, 23(2), 87–92.
- Estenssoro, F. (2010). Crisis ambiental y cambio climático en la política global: Un tema crecientemente complejo para América Latina. *Universum*, 2(25), 57–77. doi:S0718-23762010000200005
- Etchevers, J. D., Prat, C., Balbontin, C., Bravo, M., & Martinez, M. (2006). Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomy for sustainable development*, 26(1), 21–28.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos. Versión traducida de la Cuarta edición "Guidelines for soil description". Traducido al español por Vargas, R.* (R. Jahn, H. Blume, V. Asio, O. Spaargaren, & P. Schad, Eds.). Rome, Italy.
- Gagnon, C. M., Andrus, C. F. T., Ida, J., & Richardson, N. (2015). Local water source variation and experimental Chicha de Maíz brewing: Implications for interpreting human hydroxyapatite  $\delta^{18}O$  values in the Andes. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4, 174–181.
- Gallardo, J. F. (1986). Relación entre contenido orgánico edáfico y altitud en el sistema Central Español (Valle del Jerte). En *Anales de Edafología y Agrobiología* (Vol. 45, pp. 843–845).
- Galloway, G. (1987). Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la sierra ecuatoriana. *Dirección nacional forestal*, 147.
- Granda, P. (2006). Monocultivos de árboles en Ecuador. *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. Acción Ecológica. Quito*.
- Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, 8(4), 345–360.
- Hans, J. (1941). *Factors of soil formation* (Dover.). New York: United Kingdom by Constable and Company.
- Hans, J. (1980). *The soil resource, Origin and behaviour* (37<sup>a</sup> ed.). Ecological Studies 37.
- Hayduk, D., & Vafadari, K. (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio

climatico. FAO, 4.

Herrera, M., & Cecilia, A. (2011). *Análisis de los impactos en la calidad del suelo causados por el pino (Pinus patula) en comparación con el suelo ocupado por polylepis (Polylepis reticulata) en el Parque Nacional Cajas*. Universidad Politécnica Salesiana.

Hofstede, R. G. M., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., & Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development*, 22(2), 159–167.

Hofstede, R., & Mena, P. (2000). Los beneficios escondidos del páramo: servicios ecológicos e impacto humano. *Foro electrónico: los páramos como fuente de agua: mitos, realidades, retos y acciones*. URL: [http://www.infoandina.org/apc-aa-files/237543fdce333f3a56026e59e60adf7b/II\\_conferencia\\_paramos.pdf](http://www.infoandina.org/apc-aa-files/237543fdce333f3a56026e59e60adf7b/II_conferencia_paramos.pdf) (Consulta: 1 febrero, 2008).

Hofstede, R., Segarra, P., Mena Vásconez, P., & Vásconez, P. M. (2003). The páramos of the world. *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*.

INERHI-PREDESUR-CONADE. (1994). *Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja*. Washington, USA: Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente.

Kanninen, M. (2000). Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En 2. *Conferencia Electrónica de la FAO Sobre Agroforestería para la Producción Animal en América Latina (Agrofor), Roma (Italia)(Ago 2000-Mar 2001)*.

Killham, K. (1994). *Soil ecology*. 242 pp. Cambridge University Press, Cambridge.

Laguna, R. R., Pérez, J. J., Calderón, Ó. A. A., Garza, E. J. T., & Zárate, R. R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317–327.

Lamprecht, H. (1989). *Silviculture in the tropics: tropical forest ecosystems and their tree species - possibilities and methods for their long-term utilization*. (D. G. für T. Zusammenarbeit, Ed.).

Linares, P. (2013). Los Efectos Económicos del Sistema Europeo de Comercio de

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

- Lorenz, K., & Lal, R. (2009). Carbon Sequestration in Forest Ecosystems, 400. Recuperado a partir de <http://www.amazon.co.uk/Carbon-Sequestration-Forest-Ecosystems-Lorenz/dp/9048132657>
- Lugo, A., & Brown, S. (1993). Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil*, 149(1), 27–41. doi:10.1007/BF00010760
- Luteyn, J. L., & Churchill, S. P. (1999). *Páramos: a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature*. New York Botanical Garden Press New York.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68–96.
- Maurer, S., Egli, P., Spinnler, D., & Korner, C. (1999). Carbon and water fluxes in Beech-Spruce model ecosystems in response to long-term exposure to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and increased nitrogen deposition. *Functional Ecology*, 13, 748–755. doi:DOI 10.1046/j.1365-2435.1999.00378.x
- Meave, J. A., Rincón, A., & Romero-Romero, M. A. (2006). Oak forests of the hyper-humid region of La Chinantla, Northern Oaxaca Range, Mexico. En *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests* (pp. 113–125). Springer.
- Mejía, D., & Moscoso, M. (2010). *Efecto de las plantaciones de eucalipto (eucalyptus globulus) y pino (Pinus patula) en la recuperación natural de la cuenca media del río paute*. Universidad del Azuay.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental, 143. Recuperado a partir de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- Montagnini, F., Jordan, C. F., Guariguata, M. R., & Kattan, G. H. (2002). Reciclaje de nutrientes. *Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago (Costa Rica): Libro Universitario Regional*, 167–192.
- Moret, P. (2005). *Los coleópteros Carabidae del páramo en los Andes del Ecuador*. Museo de Zoología, Centro de Biodiversidad y Ambiente, Escuela de Biología,



Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- Newan, E. I. (1995). Killham K. 1994. Soil ecology. 242 pp. Cambridge: Cambridge University Press. *Annals of Botany*, 75(1), 102–103. doi:10.1016/S0305-7364(05)80017-4
- Ochoa, G., Oballos, J., Sánchez, J., Sosa, J., Manrique, J., & Velásquez, J. (1981). Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. Mérida-Barinas, Venezuela. *Rev. Geog. Venez*, 41, 79–87.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global* (Vol. 20). INIA.
- Pinazo, M. A., Martiarena, R. A., Wallis, A. von, Crechi, E., Pahr, N. M., & Knebel, O. (2007). Thinning effects on allocation and carbon stocks in *Pinus taeda* L. plantations established on ultisols of misiones. *RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 36(1), 5–20.
- Pineda, M. (1969). Mineralización de nitrógeno orgánico en algunos suelos de Costa Rica.
- R Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.: R Foundation for Statistical Computing.
- Ramírez, J., Zapata, C., León, J., & González, M. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 32(5), 303–311.
- Ramos, R. (2003). Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Punta Arenas, Costa Rica (tesis de maestría). CATIE. *Turrialba, Costa Rica*.
- Riofrio, J. (2007). Cuantificación del carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la Estación Experimental Santa Catalina–INIAP. Ecuador. Tesis Ing. Agr. Riobamba–Ecuador.
- Rivas, Y., Oyarzún, C., Godoy, R., & Valenzuela, E. (2009). Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata* d. Don. Del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(September 2003), 119–134. doi:10.4067/S0716-

078X2009000100008

- Robert, P., Mena, P. A., Ecociencia, P. P., De, I., Amsterdam, U. De, Fernandina, I., & Berlanga, N.-T. De. (s. f.). Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano, 1–4.
- Sánchez-Hernández, R., Ramos-Reyes, R., Geissen, V., Mendoza-Palacios, J. D. D., Cruz-Lázaro, E. D. La, Salcedo-Pérez, E., & Palma-López, D. J. (2011). Carbon content in soils with several farming uses in the Mexican tropic. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 211–219.
- Sanz, M., Heras Cobo, L., & Montañés, L. (1975). Índice de correlación entre el carbono orgánico y nitrógeno en suelos de la cuenca del Ebro.
- Sarmiento, M. G. (2011). *Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Schlesinger, W. (1999). Carbon sequestration in soils. *Ecological Society of America*, 284, 4. Recuperado a partir de <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2012/12/carbonsequestrationinsoils.pdf>
- Sklenář, P., Bendix, J., & Balslev, H. (2008). Cloud frequency correlates to plant species composition in the high Andes of Ecuador. *Basic and Applied Ecology*, 9(5), 504–513.
- Teziutlán, F. D. E., Fleites, G. L., Pérez, M. A. V., Morales, M. C., Investigación, D. De, Ciencias, I. De, ... Recursos, N. (2008). Relación del contenido orgánico y el nitrógeno en suelos forestales de Teziutlán, Puebla. *Recursos forestales*, 15(2), 2005.
- Turner, J., & Kelly, J. (1985). Effect of radiata pine on soil chemical characteristics. *Forest Ecology and Management*, 11(4), 257–270.
- Twilley, R. R., & Rivera-Monroy, V. H. (2005). Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry, and community dynamics. *Journal of Coastal Research*, 79–93.
- Velázquez, N., Meave, J., & Vízquez, S. (2002). Elevational Variation of Leaf Traits in Montane Rain Forest Tree Species at La Chinantla, Southern México<sup>1</sup>. *Biotropica*, 34(4), 534–546.

- Vesterdal, L., Schmidt, I. K., Callesen, I., Nilsson, L. O., & Gundersen, P. (2008). Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 255(1), 35–48.
- Winjum, J. K., & Schroeder, P. E. (1997). Forest plantations of the world: their extent, ecological attributes, and carbon storage. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84(1-2), 153–167. doi:10.1016/S0168-1923(96)02383-0
- Zas, R. (2003). Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras agrarias en Galicia. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 12(2), 3–11.

## **ANEXOS**



**a) Perfil 1 (capa orgánica + mineral)**



**b) Perfil 2 (capa orgánica + mineral)**



**c) Perfil 3 (capa orgánica + mineral)**



**d) Perfil 4 (capa orgánica + mineral)**



e) Perfil 5 (capa orgánica + mineral)



f) Capa orgánica (horizontes)



g) Plantaciones de *P. patula*.( Villonaco)

**Figura 10.** Fotografías de los perfiles en el área de estudio :a) Perfil 1,b) Perfil 2, c) Perfil 3, d) Perfil 4, e) Perfil 5, f) Capa orgánica, g) Plantaciones de *Pinus patula*, fotos tomadas por Pablo Quichimbo, 2014.

**Fuente:** El autor