



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

**Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo
en un matorral seco**

ARTÍCULO ACADÉMICO

Autor: Solano Pinzon, Miller Hernando

Director: Jiménez Álvarez, Leticia Salomé, Ph.D

LOJA - ECUADOR

2017



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>

2017

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL ARTÍCULO ACADÉMICO

Doctora

Leticia Salomé Jiménez Álvarez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente artículo académico: **Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco**, realizado por Miller Hernando Solano Pinzon, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre del 2017

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Miller Hernando Solano Pinzon declaro ser autor del presente artículo académico: Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco, de la Titulación de Ingeniería Agropecuaria, 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 posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos 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 tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.”

f:

Autor: Miller Hernando Solano Pinzon

Cédula: 1105317224

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por darme la oportunidad de vivir y brindarme salud y permitirme cumplir mis objetivos. A mis padres Ángel y Zonia, quienes son el pilar y base de mi formación, por todo el apoyo incondicional que he recibido. A mis hermanos Fiorela, Mireya, Yohanna, Jessenia, Kevin, Mileny, Deyber y Jossue quienes me supieron dar la fuerza y el soporte siempre y en todo momento durante el trascurso de mis estudios.

Miller Hernando Solano Pinzon

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero y satisfactorio agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja y a MALCA Monterrey Azucarera Lojana C.A., por facilitarme con los permisos correspondientes para el desarrollo de mi trabajo. A mis maestros por todo su gran apoyo, motivación y enseñanza en toda la etapa de mi formación profesional, especialmente mi agradecimiento a la Dra. Leticia Salomé Jiménez Álvarez por su tiempo y su apoyo en todo momento para la elaboración de este trabajo. A toda mi familia quienes siempre me han brindado su apoyo en todo momento. A mis amigos Katherine, Cristhian, Luis y Ángel por su apoyo en el trabajo de campo.

Miller Hernando Solano Pinzon

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	I
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL ARTÍCULO ACADÉMICO	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
1.1 Área de estudio	6
1.2 Diseño y método de muestreo.	7
1.3 Análisis de Laboratorio	7
1.4 Análisis estadístico	7
CAPITULO II.....	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
2.1 Resultados	9
2.2 Artículo académico Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco.	9
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio en el sur del Ecuador (los puntos de color negro, muestran la ubicación de las parcelas por cada piso altitudinal). También se muestra el diagrama del diseño y puntos de muestreo de una parcela.....	13
Figura 2. Variación del pH del suelo a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) a lo largo del gradiente altitudinal.	15
Figura 3. Comparación de los stocks de carbono del suelo (kg ha ⁻¹) a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) y a lo largo del gradiente altitudinal.	16
Figura 4. Comparación de los stocks de nitrógeno del suelo (kg ha ⁻¹) a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) y a lo largo del gradiente altitudinal.	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimaciones de la significancia de las reservas de carbono y nitrógeno con relación a la altitud y profundidad.....	17
Tabla 2. Variables climáticas y stocks de carbono y nitrógeno a nivel de la gradiente altitudinal.....	19
Tabla3. Correlaciones de carbono y nitrógeno con las variables climáticas a nivel del gradiente altitudinal.....	19

RESUMEN

El estudio de la distribución y stocks de carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo es de crucial importancia para todos los ecosistemas terrestres y mucho más en zonas secas donde encontramos alta heterogeneidad debido a las diferencias en suelos, clima y vegetación en relación con la altitud. El objetivo de esta investigación fue determinar si la altitud afecta a los stocks de carbono y nitrógeno en un ecosistema de bosque seco Neotropical al sur del Ecuador. Para ello, se seleccionó un transecto altitudinal desde 1200 a 1800 m s.n.m en donde se delimitaron dos parcelas y se muestreó a dos profundidades. Los resultados indicaron diferencia significativa entre los stocks de C y N con el gradiente altitudinal, presentando los valores más altos a 1800 m s n.m y los más bajos a 1200 m s.n.m. Esos valores se correlacionaron con las variables climáticas de temperatura y precipitación. Las variaciones de los stocks de C y N además de la altitud, fueron relacionadas principalmente a la disminución de la temperatura y al incremento de la precipitación con la altitud.

Palabras claves: Ecuador; gradiente altitudinal; matorral seco; cambio climático.

ABSTRACT

The study of the distribution and carbon (C) and nitrogen (N) stocks in the soil is of crucial importance for all terrestrial ecosystems and much more in dry areas where we find high heterogeneity due to differences in soils, climate and vegetation in relation to altitude. The objective of this research was to determine if altitude affects carbon and nitrogen stocks in a Neotropical dry forest ecosystem in southern Ecuador. For this, an altitudinal transect was selected from 1200 to 1800 m s.n.m where two plots were delimited and the C and N stocks were sampled at two depths. The results indicated a significant difference between the soil C and N stocks with the altitudinal gradient, with the highest values being 1800 m s n.m and the lowest values being 1200 m s .nm. These values were correlated with the climatic variables of temperature and precipitation. C and N stocks correlated positively with annual mean altitude and precipitation and negatively with mean annual temperature. The variations of the C and N stocks in addition to the altitude were mainly related to the decrease of the temperature and the increase of the precipitation with the altitude

Key words: Ecuador; altitudinal gradient; dry scrub; climate change.

INTRODUCCIÓN

El suelo juega uno de los roles más importantes en el almacenamiento de C y N, convirtiéndose en una de las mayores reservas que tiene el planeta (Berger et al. 2002). Además, desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio climático y calentamiento global por su capacidad de secuestrar carbono (Batjes, 2004; Shahsavari et al., 2016).

El carbono orgánico del suelo (COS) y nitrógeno total (NT) son dos factores muy determinantes en los ciclos biogeoquímicos, así como en las propiedades edáficas (Song et al. 2016). Los suelos áridos desempeñan un papel muy importante dentro del ciclo global del carbono por la gran extensión que ocupan en la superficie terrestre (Song et al. 2016), llegando a cubrir entre el 41 y 45 % del total de suelos áridos (Asner et al., 2003; Reynolds et al., 2012) y almacenan alrededor del 15 % del carbono global (Shen et al., 2016).

Se han reportado stocks de C del suelo altamente variables, para diferentes ecosistemas que oscilan entre 34 a 411 Mg ha⁻¹ para bosques tropicales perennes, de 24 a 525 Mg ha⁻¹ para bosque templado montano y 57 a 213 Mg ha⁻¹, para bosque tropicales húmedos caducifolios (Tashi et al. 2016). Tashi (2016) menciona que existe escasa información de los stocks de N con relación al tipo de bosque y ecosistema a lo largo del gradiente altitudinal y los datos que se encuentra son muy limitados. Aun así se han reportado variación de los stocks de N de 3.5 a 4.9 Mg ha⁻¹ en bosques forestales, de 1.5 a 5.0 Mg ha⁻¹ en un bosque tropical Amazónico. Así mismo Njeru et al., 2017 reportaron valores de 0.43 Kg m³ en un ecosistema de montaña y 0.604 Kg N m³ en un ecosistema árido desértico (Peterjohn & Schlesinger, 1990). Por lo general los porcentajes de disponibilidad de N en los suelos áridos y semiáridos suelen ser pequeños, debido a los bajos aportes de fijación y deposición atmosférica. (Castillo-Monroy & Benítez, 2015).

Existen varios factores que influyen en las cantidades de C y N en el suelo como la topografía (Li et al., 2013), temperatura (Kirschbaum, 1995), precipitación (Singh et al., 2007), características edáficas (Leifeld et al., 2005; Batjes, 2014; Were et al., 2015), altitud (Shedayi et al., 2016), siendo este último factor uno de los menos estudiados en ecosistemas frágiles como son los bosques secos neotropicales (Espinosa et al., 2012). El efecto de la altitud sobre las características edáficas de los suelos, está aún poco estudiado (Zhu et al., 2010), principalmente en zonas de matorral seco con especies dominantes de metabolismo fotosintético tipo C4 tales como Acacia

macracantha, *Lantana canescens* y *Croton sp.*, típicamente encontradas en los bosques secos neotropicales del sur del Ecuador (Espinosa, 2012).

Al no existir trabajos reportados sobre la influencia de la altitud en las propiedades edáficas y concretamente sobre los stocks de C y N en tales zonas, esta investigación resulta una base importante para comprender la dinámica espacial. En el presente estudio se evaluó los stocks de C y N a nivel local, puesto que los análisis a pequeña escala mejoran la precisión de las estimaciones de la cantidad de C edáfico a nivel nacional y global (Wiens, 1989; Yimer, et al., 2006). El flujo de C y N edáficos en este tipo de ambientes es muy variable (en tiempo y espacio) por su alta heterogeneidad por lo que resulta un desafío determinar las cantidades exactas de carbono en este tipo de tierras (Shen et al., 2016). Con el fin de comprender el efecto del gradiente altitudinal sobre los stocks de C y N en suelos de un matorral seco, se planteó los siguientes objetivos 1.) Cuantificar las existencias totales de los stocks de C y N a dos profundidades a lo largo del gradiente altitudinal. 2). Evaluar si existe efecto de la altitud con la asociación de variables climáticas (Temperatura y precipitación) en los stocks de C y N a lo largo del gradiente altitudinal.

CAPÍTULO I
MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una zona de matorral seco interandino, considerado como uno de los mejores conservados del sur del Ecuador (Lara-Romero et al, 2017), situado en el cantón Catamayo, provincia de Loja (Latitud 3° 59' 25.58" S; Longitud 79° 25' 32,1" W) (**Fig. 1**). El clima es seco tropical con una precipitación promedio de 382 mm por año y con temperatura de 27.5 °C (Espinosa et al., 2013). Este ecosistema se caracteriza por tener largas estaciones secas (mayores a 5 meses), que van desde mayo a noviembre y otra época lluviosa que va desde diciembre a abril (Aguirre-Mendoza & Kvist, 2005). La vegetación en estos ecosistemas está dominada por *Croton* spp. aff. *thurifer* Kunth y *Croton* sp. aff. *ferrugineus* Kunth, cubriendo hasta el 40 % del área de estudio (Castillo-Monroy & Benítez, 2015).

Por lo general los suelos en estos ecosistemas pertenecen principalmente al orden Inceptisol y Entisol, con una débil formación de horizontes, llegando a constituir hasta dos horizontes como máximo, seguidos de los suelos de orden Vertisol, Alfisol, Inceptisol, Mollisol que se los encuentra en menores porcentajes (Morocho, 2012). Los suelos de la zona se caracterizan por presentar texturas arcillosas y franco-arcillosas, alta pedregosidad, y pH cercano a la neutralidad. Estas características hacen que los suelos en épocas lluviosas formen lodazales y en la temporada seca presenten grietas en la totalidad de la superficie (Aguirre, 2012; Castro & Espinosa, 2016).

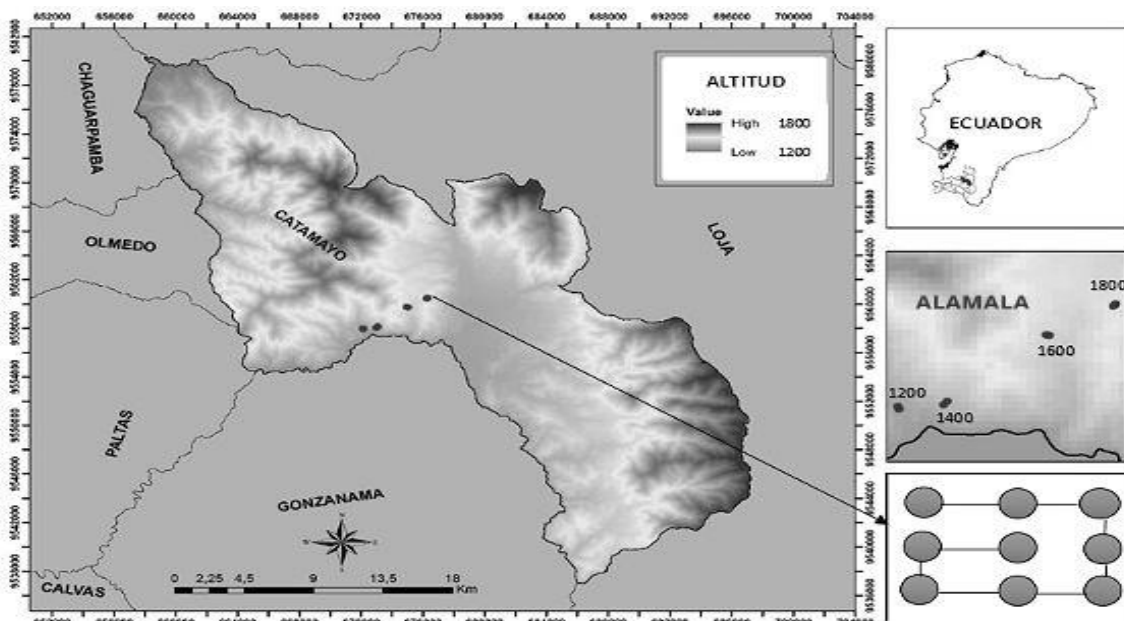


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el sur del Ecuador (los puntos de color negro, muestran la ubicación de las parcelas por cada piso altitudinal). También se muestra el diagrama del diseño y puntos de muestreo de una parcela.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

1.2 Diseño y método de muestreo

Se consideraron cuatro niveles de altitud: 1200, 1400, 1600 y 1800 m s.n.m. En cada nivel se establecieron dos parcelas permanentes de 20 m x 20 m con una separación de 50 m entre parcelas. Todas las parcelas fueron instaladas con una misma orientación hacia el nor-este. El tipo de muestreo de suelos dentro de las parcelas fue sistemático y se tomó dieciocho muestras de suelos por parcela a dos profundidades: 0-10 y de 10-20 cm. Todas las muestras fueron recogidas con un barreno cilíndrico.

Las variables climáticas de (temperatura y precipitación) fueron obtenidas a partir de datos promedios correspondientes a 6 estaciones meteorológicas, distribuidas a lo largo de la gradiente altitudinal, los cuales fueron previamente procesados y analizados. Para la altitud de 1200 msnm se utilizaron los valores de la estación 1 y 2, para 1400 la estación 3, para 1600 estación 4 y 5 y para 1800 la estación 6. Los datos de temperatura fueron obtenidos mediante datos diarios durante un periodo de un año (noviembre 2013 - 2014). En lo que corresponde a la precipitación se utilizaron datos mensuales de promedios normales de precipitación correspondientes al mismo año de la temperatura. (Castro & Espinosa, 2016).

1.3 Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas con un tamiz de 2 mm. El pH fue determinado por medio de un potenciómetro (relación suelo – agua de 1:2,5). Para la determinación del carbono orgánico se utilizó el método de calcinación o ignición (Konen et al., 2002) y para el nitrógeno se empleó método de Kjeldahl modificado (Ramírez, 2013). Para determinar los stocks de carbono y nitrógeno nos basamos en la ecuación de Lemenih & Itanna (2004).

1.4 Análisis estadístico

Se verificó la normalidad y homogeneidad de todos los datos, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0.05$). Para determinar el efecto de la altitud (gradientes con 4 niveles) sobre los stocks de C y N en las dos profundidades se utilizó en modelo lineal mixto anidado (GLMA) (Zuur et al., 2009), Las mediciones replicadas en las cuatro altitudes fueron consideradas como factor aleatorio.

Para determinar la correlación entre la altitud, variables climáticas y los stocks de carbono y nitrógeno se utilizó la correlación de Spearman. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R Project (R Core team, 2015).

CAPITULO II
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Resultados

2.2 Artículo académico **Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco.**

Como resultado de este trabajo obtuvimos un artículo académico titulado “**Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco**” con el propósito de evaluar si la altitud influye en las cantidades de los stocks de C y N a lo largo de una gradiente altitudinal en un ecosistema seco. Este artículo será enviado a la revista **Ecosistemas** para su publicación. A continuación, anexo el artículo será enviado a la revista antes mencionada.

Influencia del gradiente altitudinal sobre el carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco

Miller Solano¹, Pablo Ramón², Elizabeth Guzmán², Juan Ignacio Burneo², Pablo Quichimbo³, Leticia Jiménez^{1,2}

(1) Titulación de Ingeniería Agropecuaria, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n 1101608 Loja, Ecuador; e-mail: mhsolano@utpl.edu.ec.

(2) Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n 1101608 Loja, Ecuador; e-mail: paramon@utpl.edu.ec

(3) Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Campus Yanuncay, Av. 12 de Octubre y Diego de Tapia, Cuenca, Ecuador

*Autor de correspondencia: M. Solano [mhsolano@utpl.edu.ec]

Resumen

El estudio de la distribución y stocks de carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo es de crucial importancia para todos los ecosistemas terrestres y mucho más en zonas secas donde encontramos alta heterogeneidad debido a las diferencias en suelos, clima y vegetación en relación con la altitud. El objetivo de esta investigación fue

determinar si la altitud afecta a los stocks de carbono y nitrógeno en un ecosistema de bosque seco Neotropical al sur del Ecuador. Para ello, se seleccionó un transecto altitudinal desde 1200 a 1800 m s.n.m en donde se delimitaron dos parcelas y se muestreó a dos profundidades. Los resultados indicaron diferencia significativa entre los stocks de C y N con el gradiente altitudinal, presentando los valores más altos a 1800 m s n.m y los más bajos a 1200 m s.n.m. Esos valores se correlacionaron con las variables climáticas de temperatura y precipitación. Las variaciones de los stocks de C y N además de la altitud, fueron relacionadas principalmente a la disminución de la temperatura y al incremento de la precipitación con la altitud.

Palabras claves: Ecuador; gradiente altitudinal; matorral seco; cambio climático.

Abstract

The study of the distribution and carbon (C) and nitrogen (N) stocks in the soil is of crucial importance for all terrestrial ecosystems and much more in dry areas where we find high heterogeneity due to differences in soils, climate and vegetation in relation to altitude. The objective of this research was to determine if altitude affects carbon and nitrogen stocks in a Neotropical dry forest ecosystem in southern Ecuador. For this, an altitudinal transect was selected from 1200 to 1800 m s.n.m where two plots were delimited and the C and N stocks were sampled at two depths. The results indicated a significant difference between the soil C and N stocks with the altitudinal gradient, with the highest values being 1800 m s n.m and the lowest values being 1200 m s .nm. These values were correlated with the climatic variables of temperature and precipitation. C and N stocks correlated positively with annual mean altitude and precipitation and negatively with mean annual temperature. The variations of the C and N stocks in addition to the altitude were mainly related to the decrease of the temperature and the increase of the precipitation with the altitude

Key words: Ecuador; altitudinal gradient; dry scrub; climate change.

Introducción

El suelo juega uno de los roles más importantes en el almacenamiento de C y N, convirtiéndose en una de las mayores reservas que tiene el planeta (Berger et al. 2002). Además, desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio

climático y calentamiento global por su capacidad de secuestrar carbono (Batjes, 2004; Shahsavari et al., 2016).

El carbono orgánico del suelo (COS) y nitrógeno total (NT) son dos factores muy determinantes en los ciclos biogeoquímicos, así como en las propiedades edáficas (Song et al. 2016). Los suelos áridos desempeñan un papel muy importante dentro del ciclo global del carbono por la gran extensión que ocupan en la superficie terrestre (Song et al. 2016), llegando a cubrir entre el 41 y 45 % del total de suelos áridos (Asner et al., 2003; Reynolds et al., 2012) y almacenan alrededor del 15 % del carbono global (Shen et al., 2016).

Se han reportado stocks de C del suelo altamente variables, para diferentes ecosistemas que oscilan entre 34 a 411 Mg ha⁻¹ para bosques tropicales perennes, de 24 a 525 Mg ha⁻¹ para bosque templado montano y 57 a 213 Mg ha⁻¹, para bosque tropicales húmedos caducifolios (Tashi et al. 2016). Tashi (2016) menciona que existe escasa información de los stocks de N con relación al tipo de bosque y ecosistema a lo largo del gradiente altitudinal y los datos que se encuentra son muy limitados. Aun así se han reportado variación de los stocks de N de 3.5 a 4.9 Mg ha⁻¹ en bosques forestales, de 1.5 a 5.0 Mg ha⁻¹ en un bosque tropical Amazónico. Así mismo Njeru et al., 2017 reportaron valores de 0.43 Kg m³ en un ecosistema de montaña y 0.604 Kg N m³ en un ecosistema árido desértico (Peterjohn & Schlesinger, 1990). Por lo general los porcentajes de disponibilidad de N en los suelos áridos y semiáridos suelen ser pequeños, debido a los bajos aportes de fijación y deposición atmosférica. (Castillo-Monroy & Benítez, 2015).

Existen varios factores que influyen en las cantidades de C y N en el suelo como la topografía (Li et al., 2013), temperatura (Kirschbaum, 1995), precipitación (Singh et al., 2007), características edáficas (Leifeld et al., 2005; Batjes, 2014; Were et al., 2015), altitud (Shedayi et al., 2016), siendo este último factor uno de los menos estudiados en ecosistemas frágiles como son los bosques secos neotropicales (Espinosa et al., 2012). El efecto de la altitud sobre las características edáficas de los suelos, está aún poco estudiado (Zhu et al., 2010), principalmente en zonas de matorral seco con especies dominantes de metabolismo fotosintético tipo C4 tales como *Acacia macracantha*, *Lantana canescens* y *Croton sp.*, típicamente encontradas en los bosques secos neotropicales del sur del Ecuador (Espinosa, 2012).

Al no existir trabajos reportados sobre la influencia de la altitud en las propiedades edáficas y concretamente sobre los stocks de C y N en tales zonas, esta investigación resulta una base importante para comprender la dinámica espacial. En el presente

estudio se evaluó los stocks de C y N a nivel local, puesto que los análisis a pequeña escala mejoran la precisión de las estimaciones de la cantidad de C edáfico a nivel nacional y global (Wiens, 1989; Yimer, et al., 2006). El flujo de C y N edáficos en este tipo de ambientes es muy variable (en tiempo y espacio) por su alta heterogeneidad por lo que resulta un desafío determinar las cantidades exactas de carbono en este tipo de tierras (Shen et al., 2016). Con el fin de comprender el efecto del gradiente altitudinal sobre los stocks de C y N en suelos de un matorral seco, se planteó los siguientes objetivos 1.) Cuantificar las existencias totales de los stocks de C y N a dos profundidades a lo largo del gradiente altitudinal. 2). Evaluar si existe efecto de la altitud con la asociación de variables climáticas (Temperatura y precipitación) en los stocks de C y N a lo largo del gradiente altitudinal.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una zona de matorral seco interandino, considerado como uno de los mejores conservados del sur del Ecuador (Lara-Romero et al, 2017), situado en el cantón Catamayo, provincia de Loja (Latitud 3° 59' 25.58" S; Longitud 79° 25' 32,1" W) (**Fig. 1**). El clima es seco tropical con una precipitación promedio de 382 mm por año y con temperatura de 27.5 °C (Espinosa et al., 2013). Este ecosistema se caracteriza por tener largas estaciones secas (mayores a 5 meses), que van desde mayo a noviembre y otra época lluviosa que va desde diciembre a abril (Aguirre-Mendoza & Kvist, 2005). La vegetación en estos ecosistemas está dominada por *Croton* spp. aff. *thurifer* Kunth y *Croton* sp. aff. *ferrugineus* Kunth, cubriendo hasta el 40 % del área de estudio (Castillo-Monroy & Benítez, 2015).

Por lo general los suelos en estos ecosistemas pertenecen principalmente al orden Inceptisol y Entisol, con una débil formación de horizontes, llegando a constituir hasta dos horizontes como máximo, seguidos de los suelos de orden Vertisol, Alfisol, Inceptisol, Mollisol que se los encuentra en menores porcentajes (Morocho, 2012). Los suelos de la zona se caracterizan por presentar texturas arcillosas y franco-arcillosas, alta pedregosidad, y pH cercano a la neutralidad. Estas características hacen que los suelos en épocas lluviosas formen lodazales y en la temporada seca presenten grietas en la totalidad de la superficie (Aguirre, 2012; Castro & Espinosa, 2016).

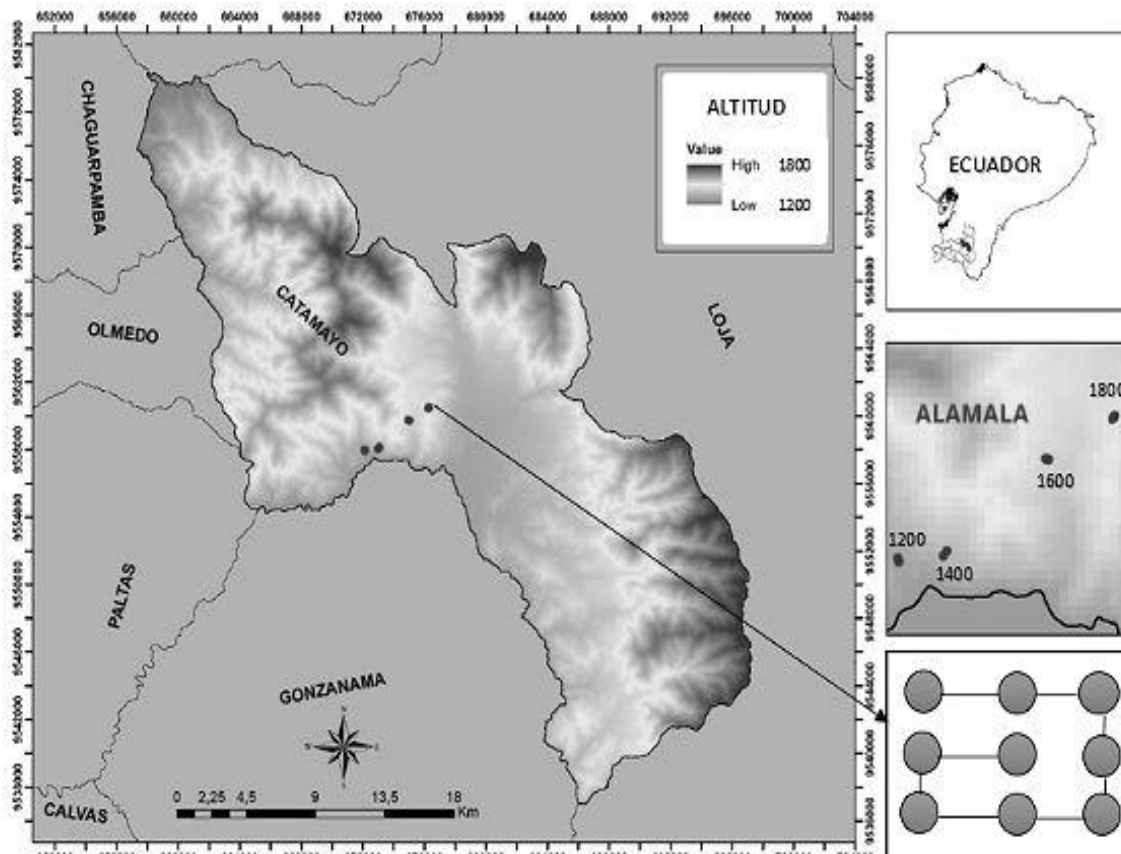


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el sur del Ecuador (los puntos de color negro, muestran la ubicación de las parcelas por cada piso altitudinal). También se muestra el diagrama del diseño y puntos de muestreo de una parcela.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Diseño y método de muestreo.

Se consideraron cuatro niveles de altitud: 1200, 1400, 1600 y 1800 m s.n.m. En cada nivel se establecieron dos parcelas permanentes de 20 m x 20 m con una separación de 50 m entre parcelas. Todas las parcelas fueron instaladas con una misma orientación hacia el nor-este. El tipo de muestreo de suelos dentro de las parcelas fue sistemático y se tomó dieciocho muestras de suelos por parcela a dos profundidades: 0-10 y de 10-20 cm. Todas las muestras fueron recogidas con un barreno cilíndrico.

Las variables climáticas de (temperatura y precipitación) fueron obtenidas a partir de datos promedios correspondientes a 6 estaciones meteorológicas, distribuidas a lo largo de la gradiente altitudinal, los cuales fueron previamente procesados y analizados. Para la altitud de 1200 msnm se utilizaron los valores de la estación 1 y 2,

para 1400 la estación 3, para 1600 estación 4 y 5 y para 1800 la estación 6. Los datos de temperatura fueron obtenidos mediante datos diarios durante un periodo de un año (noviembre 2013 - 2014). En lo que corresponde a la precipitación se utilizaron datos mensuales de promedios normales de precipitación correspondientes al mismo año de la temperatura. (Castro & Espinosa, 2016).

Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas con un tamiz de 2 mm. El pH fue determinado por medio de un potenciómetro (relación suelo – agua de 1:2,5). Para la determinación del carbono orgánico se utilizó el método de calcinación o ignición (Konen et al., 2002) y para el nitrógeno se empleó método de Kjeldahl modificado (Ramírez, 2013). Para determinar los stocks de carbono y nitrógeno nos basamos en la ecuación de Lemenih & Itanna (2004).

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad y homogeneidad de todos los datos, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0.05$). Para determinar el efecto de la altitud (gradientes con 4 niveles) sobre los stocks de C y N en las dos profundidades se utilizó en modelo lineal mixto anidado (GLMA) (Zuur et al., 2009), Las mediciones replicadas en las cuatro altitudes fueron consideradas como factor aleatorio.

Para determinar la correlación entre la altitud, variables climáticas y los stocks de carbono y nitrógeno se utilizó la correlación de Spearman. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R Project (R Core team, 2015).

Resultados y discusión.

Los suelos según el pH corresponde a ligeramente alcalinos, observándose que el pH se incrementó con la profundidad en todos los niveles de altitud, excepto para la altitud de 1800 m s.n.m. De manera general se puede observar un aumento de 7,66 en la profundidad de 0-10 cm a 7,80 en la profundidad de 10-20 cm, encontrándose diferencias significativas entre las dos profundidades (**Tabla 1**). Se observó que el pH del suelo fue más alto en el rango de altitud de 1600 y 18000 ms.n.m, y el más bajo entre 1200 y 1400 ms.n.m. (**Fig. 2**).

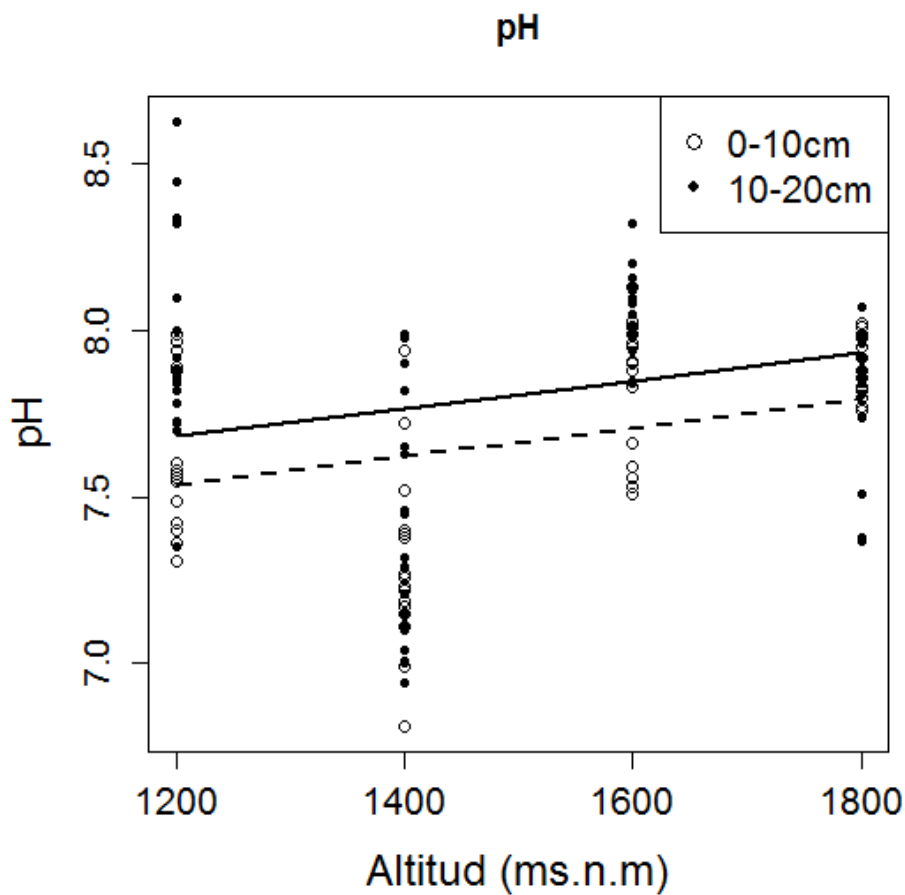


Figura 2. Variación del pH del suelo a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) a lo largo del gradiente altitudinal.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los mayores stocks de carbono fueron encontrados en la profundidad de 0 – 10 cm y los más bajos en la profundidad de 10 - 20 cm en todos los casos (**Fig.3**). Con lo que es evidente que la distribución de los stocks varía a medida que la profundidad aumenta (**Tabla 1**).

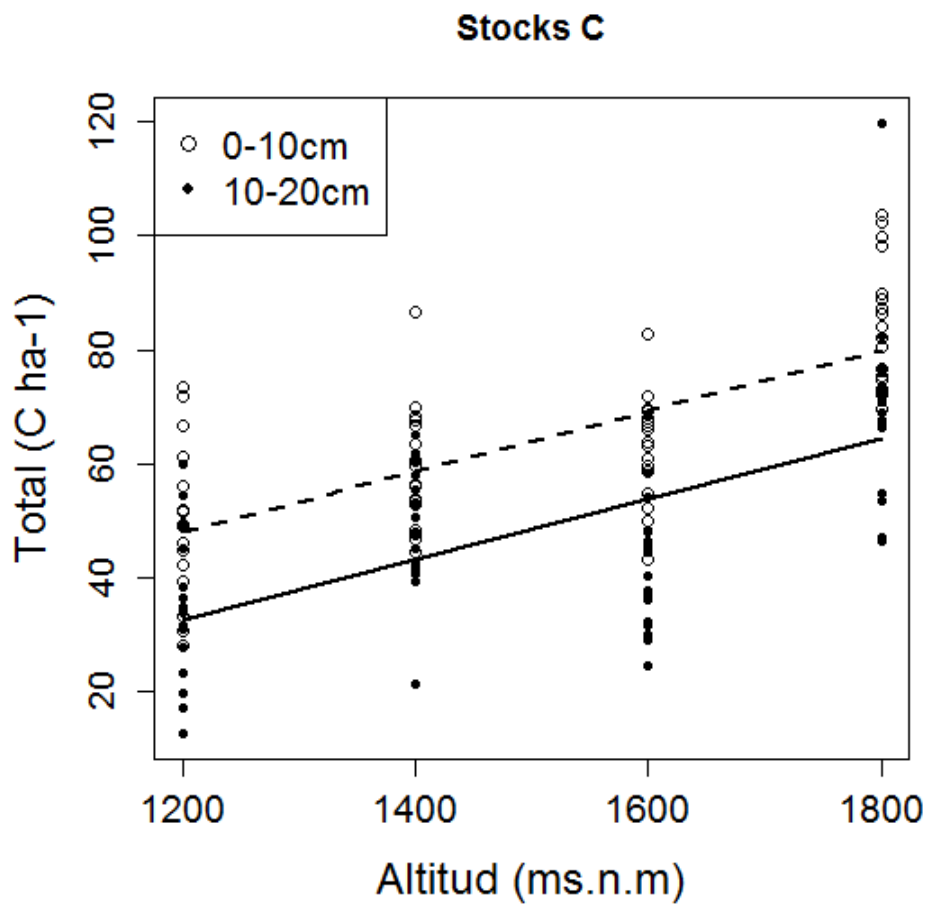


Figura 3. Comparación de los stocks de carbono del suelo (kg ha-1) a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) y a lo largo del gradiente altitudinal.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Se encontraron diferencias significativas en los stocks de carbono orgánico del suelo con la altitud, lo que nos indica que las mayores reservas de los stocks, se encuentran en la zona de 1800 m s.n.m, y las más bajas en la zona de 1200 m s.n.m.

Tabla 1. Estimaciones de la significancia de las reservas de carbono y nitrógeno con relación a la altitud y profundidad.

Variable	Estimate	Std Error	D F	t value	p-valor	Profundidad
pH	7.033	0.348	140	20.161	0.000	0-10 cm
	0.142	0.053	140	2.643	0.009	10-20cm
Altitud	0.004	0.000	140	1.879	0.062	
C	-15.662	80.906	140	-1.935	0.054	0-10 cm
	-15.361	21.530	140	-7.134	0.000	10-20 cm
Altitud	0.053	0.0057	140	9.204	0.000	
N	1.080	0.264	140	4.091	0.000	0-10 cm
	-0.475	0.075	140	0.633	0.527	10-20 cm
Altitud	0.001	0.000	140	6.590	0.000	

Significancia 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los stocks de nitrógeno del suelo mantuvieron un patrón similar al encontrado para el carbono con la profundidad, excepto en la profundidad de 10-20 cm para la zona de 1200, en donde se registraron valores mayores a 1400 pero menores en la altitud de 1600 msnm. **(Fig.4)**. También se observó que existe diferencia significativa con la profundidad **(Tabla 1)**.

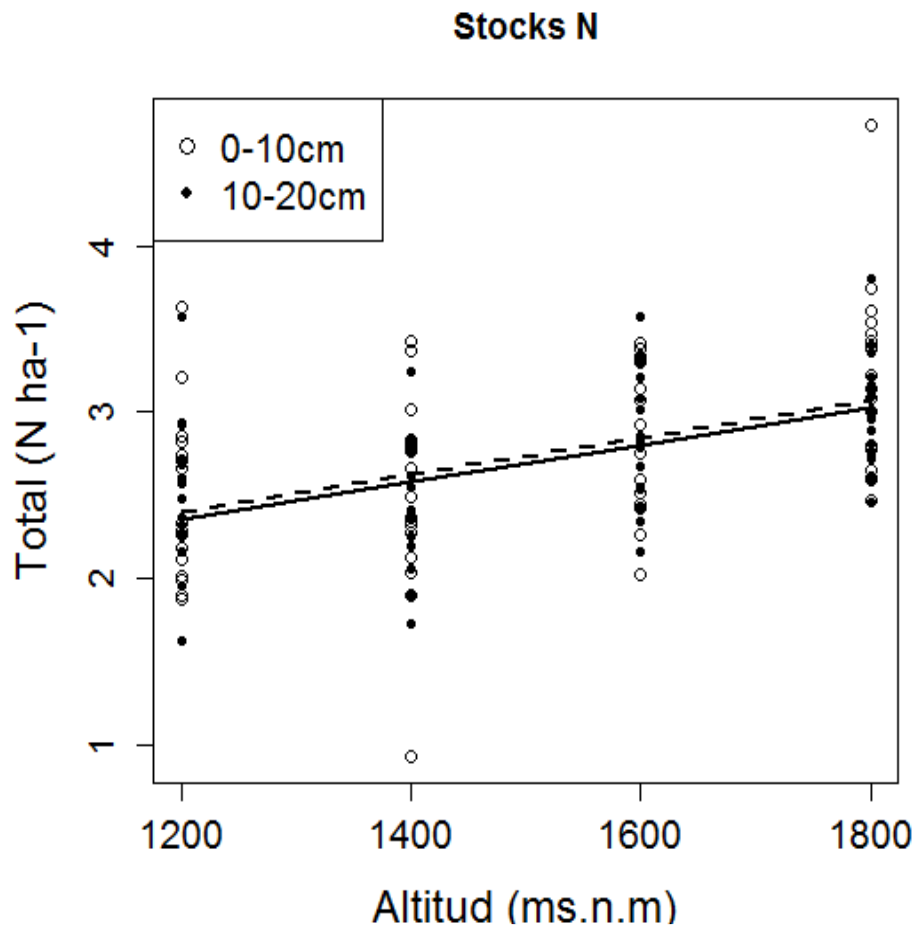


Figura 4. Comparación de los stocks de nitrógeno del suelo (kg ha^{-1}) a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) y a lo largo del gradiente altitudinal.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En este estudio se observó que el gradiente térmico disminuyó en aproximadamente $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada piso altitudinal, a excepción de las zonas más altas (1600 y 1800 m s n.m.) en donde la temperatura varió en menos de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**Tabla 2**), correspondiendo la media a $0.86\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 200 metros de elevación. En la zona de 1200 msnm se detectó los valores más bajos de precipitación, en cambio los valores más altos de observaron en el piso altitudinal de 1800 m s n.m. (**Tabla 2**). Los stocks de carbono y nitrógeno presentan una clara diferencia entre la gradiente altitudinal de 1200 frente a la de 1800 msnm, sin embargo esa diferencia es menor en las zonas intermedias. La altitud presentó correlaciones positivas con los stocks de carbono y nitrógeno del suelo (carbono 0.748 y nitrógeno 0.619 con un $p < 0.05$).

Tabla 2. Variables climáticas y stocks de carbono y nitrógeno a nivel de la gradiente altitudinal.

Altitud msnm	Temperatura °C* (promedio/año)	Precipitación* (mm/año)	Stock carbono (kg ha ⁻¹)	Stock nitrógeno (kg ha ⁻¹)
1200	24.78	84.11	38.85±14.77	2.52±0.44
1400	23.77	210.26	53.60±11.82	2.40±0.48
1600	22.46	198.34	53.29±14,80	2.75±0.40
1800	22.20	270.93	74.19±15.39	3.09±0.44

Fuente: Castro y Espinoza (2016)

Elaboración: Autor

El análisis de correlación de Spearman indica que existe una correlación de los stocks de carbono y nitrógeno con las variables climáticas (**Tabla 3**), en el caso de la temperatura se observó correlación negativa, lo que nos indica que a mayor temperatura menor stocks de carbono y nitrógeno. Por otro lado, la precipitación nos muestra una correlación positiva, siendo a mayor precipitación mayor stocks de carbono y nitrógeno.

Tabla3. Correlaciones de carbono y nitrógeno con las variables climáticas a nivel del gradiente altitudinal.

Variabes edáficas	Variabes climáticas	Correlación	p-valor
Carbono	Altitud	,748**	<0.001
	Temperatura	-,748**	<0.001
	Precipitación	,760**	<0.001
Nitrógeno	Altitud	,619**	<0.001
	Temperatura	-,619**	<0.001
	Precipitación	,447**	<0.001

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los resultados de pH obtenidos en este estudio para la profundidad de 0 - 10 cm son ligeramente alcalinos y son muy similares a los encontrados en suelos semiáridos en España por Delgado-Baquerizo et al., (2015), quienes encontraron pH entre 7,2 y 8,3 en los 10 primeros cm del suelo de praderas. En concordancia con esos resultados Su et al (2004) en un ecosistema similar en suelos de pastos y cultivos encontraron un pH que varió entre 7,85 y 8,16 en la profundidad de 2,5 - 7,5 cm. Fácilmente se puede apreciar que existe una tendencia con los pisos altitudinales para las dos profundidades (tendencia menos pronunciada para la profundidad de 10 - 20), esto debido a que los suelos disminuyen el pH con la profundidad del suelo (López-Fando & Pardo, 2009) a diferencia de Ji et al (2015) que encontraron los valores de pH más altos a mayor elevación (761 m). En un estudio realizado por Smith et al. (2002) el pH decreció con el incremento de la altitud en dos tipos de suelo a una profundidad de 0 a 5 cm. Las discrepancias en estos estudios podrían estar relacionadas por el tipo de suelo, la profundidad de muestreo, composición y estructura de la vegetación, sistema radicular de la vegetación el material parental, el tiempo de intemperismo y el clima (Dahlgren et al., 1997; Smith et al., 2002; Su et al., 2004).

En este estudio los stocks de C disminuyeron con la profundidad, resultados similares presentaron Ji et al (2015), en un ecosistema subtropical (elevación 1600 a 1800 msnm y una temperatura de 19.3 °C) en donde los stocks de carbono encontrados a una profundidad de 0 – 10 cm frente a la profundidad de 10 a 20 cm disminuyeron. De igual manera Fang et al., (2012) y Li et al., (2013) mencionan que las cantidad de C en los suelos de 0 - 10 cm son mayores que en las capas más profundas del suelo, la distribución del carbono podría darse por el sistema radicular de las plantas (Li et al., 2013). Se observó que en las dos profundidades las cantidades de carbono tienen el mismo patrón de secuencia, a mayor profundidad menor cantidad de carbono, como lo demostraron Demessie et al., (2013), Laganière et al., (2013), Were et al., (2015) y Selim et al., (2016) en diferentes tipos de suelo y usos. Por lo que se considera que a temperaturas más bajas existe mayores cantidades de C orgánico en el suelo (Kirschbaum, 1995).

La diferencia de la elevación refleja un aumento o reducción de temperatura, por lo que en zonas con temperaturas más bajas presumiblemente la descomposición de la materia orgánica será más lenta (Charan et al., 2012; Zhang et al., 2012). Tewksbury & Van (2007) encontraron una relación negativa entre la temperatura del suelo media anual y la elevación, con temperatura de 5.6 a 9.3 °C, es decir a medida que se incrementó la altitud (de 1500 a 2000 m s n.m.) disminuyó la temperatura, en este estudio a pesar de que la diferencia de temperatura fue menor (de 22.78 a 22.20 °C)

también se observó el decremento del carbono con la altitud, sumado a la menor precipitación y humedad podrían explicar la dinámica del carbono. La elevación nos permite evaluar in situ el efecto de la temperatura y precipitación ya que a mayor elevación menor temperatura y mayor precipitación (Smith et al., 2002). Además, el déficit hídrico limitaría la mineralización y lixiviación, lo que contribuye la acumulación de C (Charan et al., 2012). La influencia de la altitud sobre el carbono del suelo podría ser un indicador de la acumulación y dinámica del carbono, dándonos una idea de que las zonas altas (mayor altitud) serían más propensas a los cambios climáticos. Los resultados de este trabajo indican que la gradiente altitudinal muestra una gradiente climática que cambia a medida que la gradiente crece o decrece.

Los stocks de N mantuvieron una tendencia similar a la observada con el C del suelo, predominando el valor más alto en la capa más superficial, esto se podría considerar por varios factores, que de una u otra manera ayudan o difieren en la retención o almacenamiento de N en el suelo como: cobertura vegetal (Zhong & Qiguo, 2001), topografía (Li et al., 2013), textura (Reeder & Schuman, 2002; Telles et al., 2004), precipitación (Singh et al., 2007) entre otros. Los promedios de stocks de N fueron mayores en un 0.87 % en la capa más superficial.

En una investigación realizada por Kaur et al., (2000) en suelos agrícolas asociados con árboles maderables nos menciona que las cantidades más altas de N se encuentran en los primeros 7.5 cm de profundidad y que a medida que la profundidad aumenta, las cantidades de N disminuyen, aunque uno de los factores que afectan es el tipo de vegetación (Shedayi et al., 2016). En nuestro caso la vegetación dominante en las cuatro elevaciones fue la acacia y el crotón, sin embargo no se tiene la abundancia florística de la zona de estudio, lo que podría ser uno de los factores que también influye, especialmente si se considera que a mayor número de individuos probablemente tendremos mayor cubierta pudiendo influir en el contenido de nitrógeno total. Según los estudios realizados por Song et al., (2016) en dos zonas forestales en suelos semiáridos determinaron que las cantidades de N disminuyen con la profundidad. Esa tendencia se mantiene incluso en suelos destinados a un uso agrícola (Kaur et al., 2000; Selim et al., 2016). Más aún si consideramos que en el área de estudio existe eventualmente ganado y el estiércol aportaría con materia orgánica que influiría principalmente en la capa más superficial del suelo, incrementando los contenidos de C y N.

Estos resultados obtenidos se asemejan con los resultados obtenidos por Shedayi et al (2016) quienes obtuvieron una correlación positiva (con un p-valor >0.01) rango de elevación que van desde 2860 hasta 3500 m s.n.m., en el que afirman que la

disminución de N se produce a medida que la altitud desciende. Se han realizado varios estudios a diferentes pisos altitudinales (entre 100 – 4000 m s.n.m) en los que se comprueba que las cantidades de N se incrementa con la altitud (Niklińska & Klimek, 2007; Zhu et al., 2010; Vieira et al., 2011; Zhang et al., 2012; Lozano-García & Parras-Alcántara, 2014). Estas variaciones podrían ser por múltiples motivos como la temperatura, precipitación, el tipo de suelo, la estructura de la vegetación, la profundidad de las raíces (Lemenih & Itanna, 2004; Chinasho et al ., 2015)

En conclusión, a medida que la profundidad aumenta los stocks de C y N disminuyen paulatinamente, presentando un patrón similar para los dos elementos. La mayor proporción de los stocks de C y N se encuentran en la profundidad de 0-10 cm del suelo, pero el contenido en la segunda profundidad de 10 - 20 cm no es muy diferente al de la primera profundidad. Encontramos una correlación positiva entre los stocks de C y N con la altitud en todos los casos. Los rangos de altitudes más bajas tienen significativamente menor cantidad de stocks, en comparación con el rango de las altitudes más altas, lo que indica que a medida que la altitud decrece las cantidades de C y N disminuyen progresivamente, demostrando así que la altitud también es un factor influyente en la variación de los stocks en ambientes de ecosistemas de bosque seco. La conservación de los suelos del matorral seco puede contribuir como sumideros de C y N, una alternativa potencialmente viable para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y atenuar los efectos del calentamiento global en ecosistemas de bosques secos, lo cual exige una gestión adecuada del uso de estos suelos.

Agradecimientos

Agradecemos a Adrián Escudero por sus comentarios durante el desarrollo del proyecto, a Katherine Abad por su ayuda en campo y a MALCA Monterrey Azucarera Lojana C.A., por el permiso para trabajar en el área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO. Finlandia. Quito. Ecuador 130 p.
- Aguirre-Mendoza, Z., & Kvist, L. P. (2005). Floristic composition and conservation status of the dry forests in Ecuador. *Lyonia*, 8(2), 41–67.
- Chinasho, A., Soromessa, T., & Bayable, E. (2015). Carbon Stock in Woody Plants of Humbo Forest and its Variation along Altitudinal Gradients: The Case of Humbo District, Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, 3(4), 97-103. doi.org/10.11648/j.ijepp.20150304.13.
- Asner, G., Archer, S., Hughes, R., Ansley, R., Wessman, C. A. (2003). Net changes in regional woody vegetation cover and carbon storage in Texas Drylands, 1937 – 1999. *Global Change Biology*, 9(3) 316–335.
- Batjes, N.H. (2004), Soil carbón stocks and projected changes according to land use and management: a case study for Kenya. *Soil Use and Management*, 20: 350–356. doi:10.1111/j.1475-2743.2004.tb00380.x.
- Batjes, N. H. (2014). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65(3), 4–21. doi.org/10.1111/ejss.12114_2.
- Berger, T. W., Neubauer, C., & Glatzel, G. (2002). Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 159(1–2), 3–14. doi.org/10.1016/S03781127(01)00705-8.
- Castillo-Monroy, A. P., & Benítez, Á. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(1), B88-B97. doi.org/10.18272/aci.v7i1.228.
- Castro, A., & Espinosa, C. I. (2016). Dinámica estacional de invertebrados y su relación con variables climáticas en un gradiente altitudinal de matorral seco tropical. *Revista Ecosistemas*, 25(2), 35–45. doi.org/10.7818/RE.2014.25-2.00.

- Charan, G., Bharti, V. K., Jadhav, S. E., Kumar, S., Angchok, D., Acharya, S., Srivastava, R. B. (2012). Altitudinal variations in soil carbon storage and distribution patterns in cold desert high altitude microclimate of India. *African Journal of Agricultural Research*, 7(47), 6313–6319. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1168>.
- Dahlgren, R. A., Boettinger, J. L., Huntington, G. L., & Amundson, R. G. (1997). Soil development along an elevational transect in the western Sierra Nevada, California. *Geoderma* 78, 207–236. [doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00034-7).
- Delgado-Baquerizo, M., García-Palacios, P., Milla, R., Gallardo, A., & Maestre, F. T. (2015). Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 134–142. doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.009.
- Demessie, A., Singh, B. R., & Lal, R. (2013). Soil carbon and nitrogen stocks under chronosequence of farm and traditional agroforestry land uses in Gambo District, Southern Ethiopia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 95(3), 365–375. doi.org/10.1007/s10705-013-9570-0.
- Espinosa, C.I. (2012). Estructura y funcionamiento de ecosistemas secos del Sur de Ecuador. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Espinosa, C.I., De la Cruz, M., Luzuriaga, A.L., Escudero, A. (2012). Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Ecosistemas* 21: 167-179.
- Espinosa, C. I., Luzuriaga, A. L., De la Cruz, M., Montero, M., & Escudero, A. (2013). Co-occurring grazing and climate stressors have different effects on the total seed bank when compared to the persistent seed bank. *Journal of Vegetation Science*, 24(6), 1098–1107. doi.org/10.1111/jvs.12043.
- Fang, X., Xue, Z., Li, B., & An, S. (2012). Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Catena*, 88(1), 6–13. doi.org/10.1016/j.catena.2011.07.012.
- Ji, H., Zhuang, S., Zhu, Z., & Zhong, Z. (2015). Soil organic carbon pool and its chemical composition in *Phyllostachy pubescens* forests at two altitudes in Jian-ou City, China. *PLoS ONE*, 10(12), 1–17. doi.org/10.1371/journal.pone.0146029.

- Kaur, B., Gupta, S. R., & Singh, G. (2000). Soil carbon microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkali soils in northern India. *Applied Soil Ecology*, 15(3), 283–294. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00079-2.
- Kirschbaum, M. U. F. (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(6), 753–760. doi.org/10.1016/0038-0717(94)00242-S.
- Konen, M. E., Jacobs, P. M., Burras, C. L., Talaga, B. J., & Mason, J. A. (2002). Equations for Predicting Soil Organic Carbon Using Loss-on-Ignition, for North Central U.S. soils. *Soil Science of America Journal*.doi.org/10.2136/sssaj2002.1878.
- Laganière, J., Paré, D., Bergeron, Y., Chen, H. Y. H., Brassard, B. W., & Cavard, X. (2013). Stability of Soil Carbon Stocks Varies with Forest Composition in the Canadian Boreal Biome. *Ecosystems*, 16(5), 852–865.doi.org/10.1007/s10021-013-9658-z.
- Lara-Romero, C., Gusmán, E., Ramón, P., Vélez-Mora, D., Espinosa, C. 2017. Does size matter? Ontogenetic responses of an Andean shrub to conspecific density-dependence. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 25, 59-67. doi.org/10.1016/j.ppees.2017.02.002.
- Leifeld, J., Bassin, S., & Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105(1–2), 255–266. doi.org/10.1016/j.agee.2004.03.006.
- Lemenih, M., & Itanna, F. (2004). Soil carbon stocks and turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Geoderma*, 123(1–2), 177–188. doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.02.004.
- Li, M., Zhang, X., Pang, G., & Han, F. (2013). The estimation of soil organic carbon distribution and storage in a small catchment area of the Loess Plateau. *Catena*, 101, 11–16. doi.org/10.1016/j.catena.2012.09.012.
- Lozano-García, B., & Parras-Alcántara, L. (2014). Variation in soil organic carbon and nitrogen stocks along a toposequence in a traditional mediterranean olive grove. *Land Degradation and Development*, 25(3), 297–304. doi.org/10.1002/ldr.2284.

- Morocho, M. V. M. (2012). Ecología, Utilización e Impactos producidos por el aprovechamiento del Cucharillo. *Oreocallis grandiflora* (Lam) R. Br. en las Parroquias de Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel de la Provincia de Loja. Universidad Nacional de Loja, 50. doi.org/10.1017/S0010417500000463.Ecuador.
- Niklińska, M., & Klimek, B. (2007). Effect of temperature on the respiration rate of forest soil organic layer along an elevation gradient in the Polish Carpathians. *Biology and Fertility of Soils*, 43(5), 511–518. doi.org/10.1007/s00374-006-0129-y.
- Njeru, C. M., Ekesi, S., Mohamed, S. A., Kinyamario, J. I., Kiboi, S., & Maeda, E. E. (2017a). Assessing stock and thresholds detection of soil organic carbon and nitrogen along an altitude gradient in an east Africa mountain ecosystem. *Geoderma Regional*. 10:29-38. doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.04.002
- Peterjohn, W. T., & Schlesinger, W. H. (1990). Nitrogen Loss from Deserts in the Southwestern United States. *Biogeochemistry*, 10(1), 67–79.
- Ramírez, F. D. (2013). *Análisis de laboratorio de suelos y aguas*. Colombia: Grupo Latino Editores S.A.S.
- R Core team. (2015). R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL www.R-Project.org/.
- Reeder, J. D., & Schuman, G. E. (2002). Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution*, 116(3), 457–463. doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00223-8.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. A., Lambin, E. F., II, B. L. T., Mortimore, M., Batterbury, S. P. J., ... Walker, B. (2012). Global Desertification: Building a Science for Dryland Development, *Science*. 316,847. doi.org/10.1126/science.1131634.
- Shahsavari, P., Golchin, A., Coper, M. (2016). The Study of Vegetation Effects on organic carbon storage and soil features, (case study: Gilan, Safrabesteh). *Advances in Bioresearch*, 7, 183-190.
- Selim, H. M., Newman, A., Zhang, L., Arceneaux, A., Tubaña, B., & Gaston, L.A (2016). Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. *Soil & Tillage Research*, 155, 401-411. doi.org/10.1016/j.still.2015.09.010.

- Shedayi, A. A., Xu, M., Naseer, I., & Khan, B. (2016). Altitudinal gradients of soil and vegetation carbon and nitrogen in a high altitude nature reserve of Karakoram ranges. *SpringerPlus*, 5(1), 320. doi.org/10.1186/s40064-016-1935-9.
- Shen, W., Jenerette, G. D., Hui, D., & Scott, R. L. (2016). Precipitation legacy effects on dryland ecosystem carbon fluxes: Direction, magnitude and biogeochemical carryovers. *Biogeosciences*, 13(2), 425–439. doi.org/10.5194/bg-13-425-2016.
- Singh, S. K., Singh, A. K., Sharma, B. K., & Tarafdar, J. C. (2007). Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India. *Journal of Arid Environments*, 68(3), 408–421. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.06.005.
- Smith, J. L., Halvorson, J. J., & Bolton, H. (2002). Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment. *Soil Biology & Biochemistry*, 34(11), 1749–1757. doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00162-1.
- Song, B.-L., Yan, M.-J., Hou, H., Guan, J.-H., Shi, W.-Y., Li, G.-Q., & Du, S. (2016). Distribution of soil carbon and nitrogen in two typical forests in the semiarid region of the Loess Plateau, China. *Catena*, 143(August), 159–166. doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.004.
- Su, Y. Z., Zhao, H. L., Zhang, T. H., & Zhao, X. Y. (2004). Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil and Tillage Research*, 75(1), 27–36. doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00157-0.
- Tashi, S., Singh, B., Keitel, C., & Adams, M. (2016). Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. *Global Change Biology*, 22(6), 2255–2268. doi.org/10.1111/gcb.13234
- Telles, E. de C. C., Camargo, P. B. de, Martinelli, L. A., Trumbore, S. E., Costa, E. S. de, Santos, J., Jr., R. C. O. (2004). Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(2), doi.org/10.1029/2002GB001953.
- Tewksbury, C. E., & Miegroet, H. Van. (2007). Soil organic carbon dynamics along a climatic gradient in a southern Appalachian spruce–fir forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(7), 1161–1172. doi.org/10.1139/X06-317.
- Vieira, S. A., Alves, L. F., Duarte-Neto, P. J., Martins, S. C., Veiga, L. G., Scaranello, M. A., Martinelli, L. A. (2011). Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between

- above-and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*, 1(3), 421–434. doi.org/10.1002/ece3.41.
- Were, K. O., Singh, B. R., & Dick, O. B. (2015). Effects of Land Cover Changes on Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks in the Eastern Mau Forest Reserve, Kenya. doi.org/10.1007/978-3-319-09360-4.
- Wiens, J.A. (1989). Spatial scaling in ecology. *British Ecological Society* 3, 385-397. DOI: 10.2307/2389612.
- Yimer, F., Ledin, S., Abdelkadir, A. (2006). Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma*, 135, 335 – 344. doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.01.005.
- Zhang, S., Chen, D., Sun, D., Wang, X., Smith, J. L., & Du, G. (2012). Impacts of altitude and position on the rates of soil nitrogen mineralization and nitrification in alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Biology and Fertility of Soils*, 48(4), 393–400. doi.org/10.1007/s00374-011-0634-5.
- Zhong, L., & Quiguo, Z. (2001). Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China. *Plant and Soil*, 231(2), 175–185.
- Zhu, B., Wang, X., Fang, J., Piao, S., Shen, H., Zhao, S., & Peng, C. (2010). Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Journal of Plant Research*, 123(4), 439–452. doi.org/10.1007/s10265-009-0301-1.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Statistics for Biology and Health*. doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6.