AEET
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ECOLOGÍA TERRESTRE

Ecosistemas 27(3): 116-122 [Septiembre-Diciembre 2018]
Doi.: 10.7818/ECOS.1521

Artículo publicado en Open Access bajo los términos de Creative Commons attribution Non Comercial License 3.0.

INVESTIGACIÓN

ecosistemas
REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

ISSN 1697-2473 / Open access
disponible en www.revistaecosistemas.net

Efecto del gradiente altitudinal sobre las reservas de carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco en Ecuador

M. Solano[1], P. Ramón[2], E. Gusmán-M[2], J. I. Burneo[3], P. Quichimbo[4], L. Jiménez[2]

(1) Titulación de Ingeniería Agropecuaria, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n 1101608 Loja.
(2) Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n 1101608 Loja, Ecuador.
(3) Departamento de Química y Ciencias Exactas, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto s/n 1101608 Loja, Ecuador.
(4) 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]

> Recibido el 31 de octubre de 2017 - Aceptado el 18 de septiembre de 2018

Solano, M., Ramón, P., Gusmán-M, E., Burneo, J. I., Quichimbo, P., Jiménez, L. 2018. Efecto del gradiente altitudinal sobre las reservas de carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco en Ecuador. *Ecosistemas* 27(3):116-122. Doi.: 10.7818/ECOS.1521
El estudio de la distribución y reservas de carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo es de crucial importancia para todos los ecosistemas terrestres, particularmente en zonas secas de montaña 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 las reservas de C y N del suelo de un matorral 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 ocho parcelas y se muestreó a dos profundidades de suelo (0-10 y 10-20 cm). Los resultados muestran que las reservas de C y N varían, reportándose los valores más altos a 1800 m s.n.m. y los más bajos a 1200 m s.n.m. Esta variación en las reservas está relacionada principalmente con la disminución de la temperatura y el incremento de la precipitación, debido a que en zonas con mayor elevación la descomposición de la materia orgánica suele ser más lenta. Estos resultados sugieren que la elevación debería incluirse en los modelos y estimaciones de las reservas de C y N a escala local y regional en este tipo de ecosistemas, lo que permitiría identificar las áreas más vulnerables al cambio climático. Además, la información generada en este estudio podría ser útil para asignar prioridades de conservación en este tipo de ecosistemas. En última instancia, nuestro estudio aporta y suma información a la escasa literatura que existe sobre las reservas de C y N en estos suelos de ecosistemas áridos del sur del Ecuador.

Palabras claves: Andes; altitud; materia orgánica del suelo; profundidad del suelo; tierras secas

Solano, M., Ramón, P., Gusmán-M, E., Burneo, J. I., Quichimbo, P., Jiménez, L. 2018. Effect of the altitudinal gradient on soil carbon and nitrogen reserves in a dry scrub in Ecuador. *Ecosistemas* 27(3):116-122. Doi.: 10.7818/ECOS.1521
The study of the distribution and reserves of carbon (C) and nitrogen (N) in the soil is of crucial importance for all terrestrial ecosystems, particularly in dry mountain areas where there is a high spatial heterogeneity due to the differences in soils, climate and vegetation along altitudinal gradients. The objective of this investigation was to determine if altitude affects the soil C and N reserves of a neotropical dry scrub ecosystem in the south of Ecuador. We selected an altitudinal transect ranging from 1200 to 1800 m a.s.l. where eight plots were sampled at two depths (0-10 and 10-20 cm). The results show that the reserves of C and N varied along the altitudinal gradient, with the highest values sampled at 1800 m a.s.l. and the lowest at 1200 m a.s.l. This variation in the reserves is mainly related to the decrease in temperature and the increase in precipitation with altitude, as at higher elevations decomposition rates of organic matter is usually slower. Our results suggest that elevation should be included in models and estimates of reserves of C and N at a local and regional scale in this type of ecosystem, which would allow identifying the most vulnerable areas to the effects of climate change. In addition, the information generated in this study could be useful to assign conservation priorities to this type of ecosystem. Overall, our results contribute and add information to the scarce literature found on the C and N in these arid ecosystems of Ecuador.

Keywords: Andes; altitude; drylands; soil depth; soil organic matter

Introducción

El suelo juega un papel muy importante en el secuestro de C y N, siendo éste una de las mayores reservas de estos elementos que tiene el planeta (Berger et al. 2002). Una pequeña pérdida de C del suelo podría generar cambios climáticos globales y graves consecuencias en la atmósfera; por lo que, la alta capacidad de secuestrar C del suelo resalta su importancia en la mitigación del cambio climático (Batjes 2004; Shahsavari et al. 2016).

El C orgánico del suelo y N total del suelo son dos factores muy determinantes en los ciclos biogeoquímicos, así como en las propiedades edáficas (Song et al. 2016). Los suelos en los ecosistemas áridos desempeñan un papel muy importante en el ciclo global del C por su gran extensión (Song et al. 2016), llegando a cubrir

© 2018 Los Autores. Editado por la AEET. [Ecosistemas no se hace responsable del uso indebido de material sujeto a derecho de autor]

entre el 41 y 45 % de la superficie total de los ecosistemas terrestres (Asner et al. 2003, Reynolds et al. 2007), con una capacidad de almacenamiento de alrededor del 15 % del C global (Shen et al. 2016).

Se han reportado reservas de C del suelo altamente variables para diferentes ecosistemas; estos oscilan entre 34 a 411 Mg ha^{-1} para bosques tropicales perennes, 24 a 525 Mg ha^{-1} para los bosques templados montanos y 57 a 213 Mg ha^{-1} para los bosques tropicales húmedos caducifolios (Chhabra et al . 2003). Por otro lado, existe una escasa información sobre las reservas de N en el suelo a lo largo de gradientes altitudinales (Tashi et al. 2016). Por lo general, los porcentajes de disponibilidad de N en los suelos áridos y semiáridos suelen ser pequeños (Castillo-Monroy y Benítez 2015), debido a los bajos aportes de fijación biológica de N en este tipo de suelos, en el que participan diversidad de microorganismos, micro y mesofauna del suelo, además del resto de la biota del ecosistema (Celaya y Castellanos 2011). Las bajas cantidades de C y N en estos ecosistemas secos se deben a la baja cantidad de materia orgánica que se encuentra en el suelo, la cual no puede ser utilizada por las plantas directamente y debe pasar por un proceso de mineralización, gracias principalmente, a la actividad de los microorganismos del suelo. Estos últimos, a su vez, no siempre cuentan con las condiciones ideales para su actividad en este tipo de ecosistemas debido a que la disponibilidad de agua en estos suelos es muy escasa, por lo que los procesos de mineralización de N en zonas áridas se dan por periodos breves de tiempo, generalmente posteriores a pulsos de precipitación (Celaya y Castellanos 2011).

Existen varios factores que influyen en las cantidades de C y N en el suelo como la topografía (Li et al. 2013), la temperatura (Kirschbaum 1995), la precipitación (Singh et al. 2007), las características edáficas (Leifeld et al. 2005; Batjes 2014; Were et al. 2015) y la altitud (Shedayi et al. 2016), siendo esta última un factor poco estudiado en ecosistemas frágiles como, por ejemplo, los matorrales secos neotropicales (Zhu et al. 2010; Espinosa et al. 2012). Al no existir trabajos reportados sobre la influencia de la altitud en las propiedades edáficas y reservas de C y N en el suelo de los matorrales secos neotropicales, concretamente los matorrales secos ecuatorianos, esta investigación resulta una base importante para determinar la cuantía de las reservas de C y N presentes en este tipo de ecosistemas y los factores locales que determinan estas reservas. Por ello, el presente estudio evaluó las reservas de C y N en un gradiente altitudinal de un matorral seco neotropical al sur de Ecuador. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos: 1) Cuantificar el total de reservas de C y N a dos profundidades del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal, y 2) evaluar si el cambio en las variables climáticas (temperatura y precipitación) asociado a la altitud afecta a las reservas de C y N en el suelo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el cantón Catamayo provincia de Loja (Latitud 3º 59’ 25.58” S; Longitud 79º 25’ 32.1” W) (**Fig. 1**). Este matorral seco interandino es considerado como una de las zonas mejor conservadas al sur de Ecuador (Lara-Romero et al. 2017). El clima es seco tropical con una precipitación promedio de 382 mm por año y una temperatura media de 27.5 ºC (Espinosa et al. 2013). Este ecosistema se caracteriza por tener largas estaciones secas (aproximadamente 7 meses), que van desde mayo a noviembre y otra época lluviosa que va desde diciembre a abril (Aguirre-Mendoza y 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 y Benítez 2015).

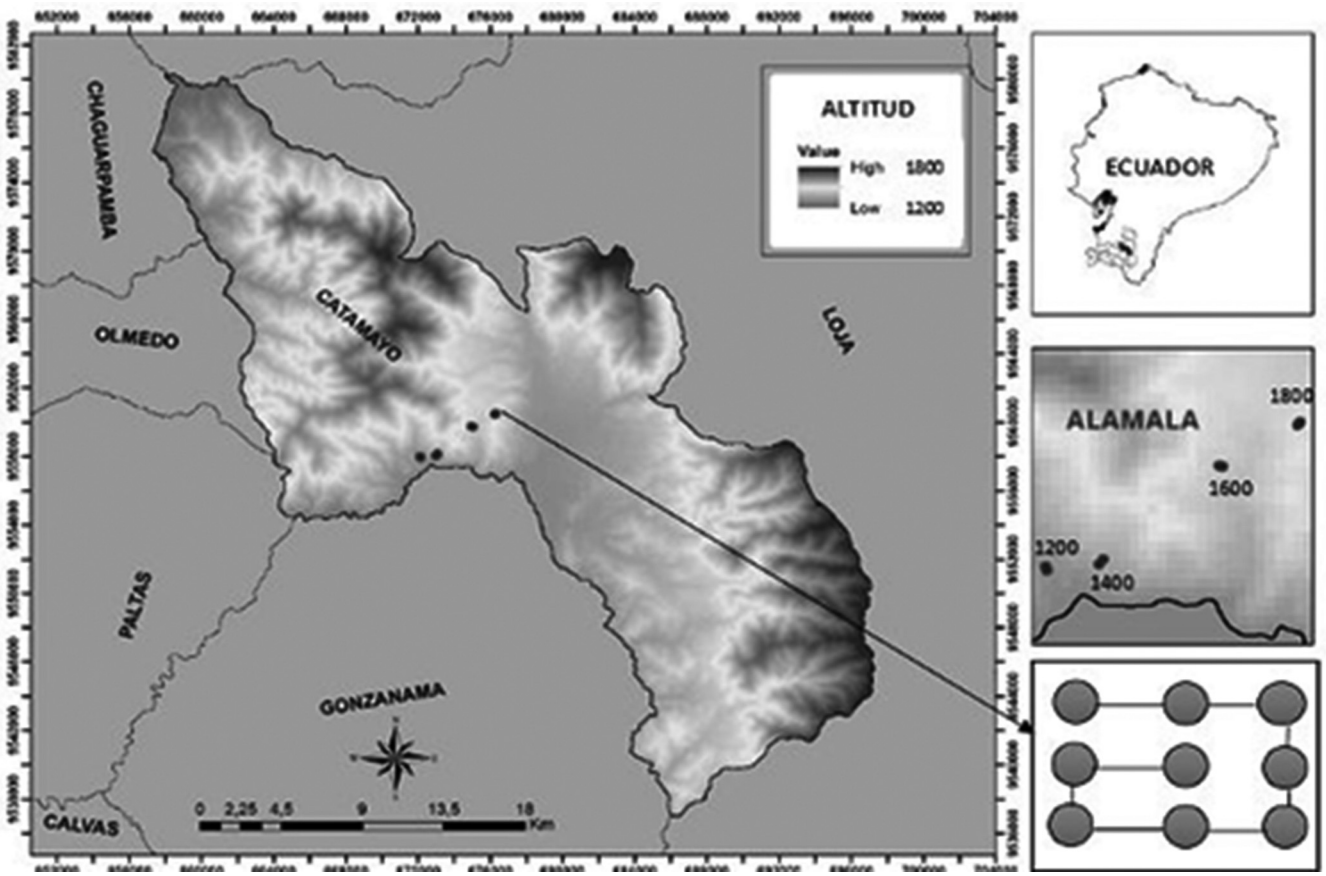


***Figura 1**. Ubicación del área de estudio en el sur del Ecuador (los puntos de color negro, muestran la ubicación de las parcelas por cada piso altitudinal). También se muestra el diagrama del diseño y puntos de muestreo de una parcela.*

***Figure 1.** Map of the study area located in the south of Ecuador (black points show the location of the plots for each elevation level). The panel at the bottom right corner shows the soil sampling scheme.*

Los suelos en estos ecosistemas pertenecen principalmente a los órdenes Inceptisol y Entisol, con una débil formación de horizontes, llegando a constituir hasta dos horizontes como máximo (Morocho 2012). Suelen presentar texturas arcillosas y franco-arcillosas, alta pedregosidad, y pH cercano a la neutralidad. Estas características hacen que estos suelos formen lodazales en épocas lluviosas y presenten grietas en la superficie en la temporada seca (Aguirre 2012; Castro y Espinosa 2016).

Diseño experimental y método de muestreo

Seleccionamos la localización del sector Alamala, la misma que constituye un modelo de sistema natural ideal para probar nuestra hipótesis. En cada ubicación, establecimos cuatro niveles de altitud distribuidos a lo largo del gradiente altitudinal: 1200, 1400, 1600 y 1800 m s.n.m. Dentro de cada nivel se establecieron dos parcelas permanentes de 20 m x 20 m con una separación aproximadamente de 50 m entre parcelas, procurando que las parcelas posean características similares de vegetación y pendiente. Todas las parcelas fueron instaladas con una misma orientación, hacia el noreste. El tipo de muestreo de suelos dentro de las parcelas fue sistemático **(Fig. 1),** todas las muestras fueron recogidas con un barreno cilíndrico y se tomó 18 muestras a dos profundidades (9 de 0 a 10 cm y 9 de 10 a 20 cm). Los datos de temperatura y precipitación fueron tomados de Castro y Espinosa (2016).

Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente y pasadas por un tamiz de 2 mm. Para la determinación del C se utilizó el método de calcinación o ignición (Konen et al. 2002) y para el N se empleó el método de Kjeldahl modificado por Ramírez (2013). Para determinar las reservas de C y N nos basamos en la ecuación de Lemenih e Itanna (2004), que considera el valor del C o N, la profundidad y la densidad aparente de cada muestra.

$$SOC = z * Pb * C$$

Donde:

z: Espesor de cada profundidad de muestra (cm).

Pb: Densidad aparente (g cm³)

C: Concentración de carbono de cada muestra y de cada profundidad.

Las existencias totales de N (Mg N-ha^{-1}) también fueron calculadas con la misma fórmula.

Análisis estadístico

Para determinar el efecto de la altitud (gradiente con cuatro niveles) y la profundidad (dos niveles) sobre las reservas de C y N en el suelo, se utilizó un modelo lineal mixto (Zuur et al. 2009). Los factores altitud y profundidad se consideraron como factores fijos y la parcela de muestreo del suelo como factor aleatorio, con el fin de tener en cuenta la autocorrelación espacial de ambas profundidades en el diseño experimental. Se verificó la normalidad de los residuos de las variables de respuesta (reservas de C y N) utilizando la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0.05$). Evaluamos tres modelos lineales mixtos: en el primer modelo se consideró el intercepto aleatorio pero no la interacción entre altitud y profundidad, en el segundo modelo se consideró el intercepto aleatorio y la interacción entre factores, y el tercer modelo a diferencia del segundo modelo, incluyó la pendiente aleatoria. La diferencia de modelos se evaluó mediante la prueba de razón de verosimilitud y en base a las diferencias en AIC (Criterio de Información de Akaike) entre modelos, seleccionándose el modelo de mejor ajuste (Aho et al. 2014). Finalmente, para el modelo de mejor ajuste, y utilizando la prueba F, se evaluó el efecto de la altitud, la profundidad y su interacción, en las reservas de C, N.

El ajuste de los modelos mixtos se realizó con el paquete "nlme" (Pinheiro et al. 2018) del programa R (R Core Team 2015), y el resto de análisis estadísticos con el paquete "stats" del mismo programa R. Los valores que se presentan en el texto y figuras son medias +/- 1 ES (error estándar).

Resultados y discusión

Reservas de carbono del suelo a dos profundidades

La variación de la reserva de C orgánico del suelo en el área de estudio, respecto de la profundidad significativa **(Fig. 2, Tabla 1).** Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ji et al. (2015), quienes reportaron que las reservas de C disminuían con la profundidad en un ecosistema subtropical (elevación 1600 a 1800 m s.n.m y una temperatura de 19.3 ºC). De igual manera, Fang et al. (2012) encontraron mayores cantidades de C a 0 – 10 cm que las capas más profundas de suelos con diferentes usos en un clima semiárido. Estos incrementos en la reserva de C en los primeros centímetros del suelo podrían estar asociados a factores climáticos de precipitación y humedad ambiental (Lal 2005). Otro factor importante para el aumento en la reserva de C en los primeros 10 cm del suelo es por los organismos presentes en la capa superior del suelo (costra biológica). Por ejemplo, las algas y musgos presentes en la superficie del suelo en ambientes áridos fijan C ayudando a la fertilidad del suelo (Zhao et al. 2009). En nuestras zonas de estudio a 1400 y 1600 m s.n.m. se ha identificado varias especies de briofitos, cianobacterias y líquenes que forman la costra del suelo (Castillo-Monroy et al. 2016). Por otro lado, las hojas, ramas y restos vegetales que caen en la superficie del suelo y se incorporan paulatinamente, en forma de materia orgánica, en los primeros centímetros del suelo también podrían contribuir a los mayores valores de C a 0 – 10 cm que las capas más profundas del suelo (Reeder y Schuman 2002). Por último, se considera que la mayor reserva de C está relacionada con el sistema radicular de la vegetación presente (Li et al. 2013), que en nuestra área de estudio se encuentra mayoritariamente situada en los primeros 10 cm del suelo.

La prueba de razón de verosimilitud (LRT), reveló que los modelos para C con interacción (2 y 3) son similares (L-ratio= 1.428,

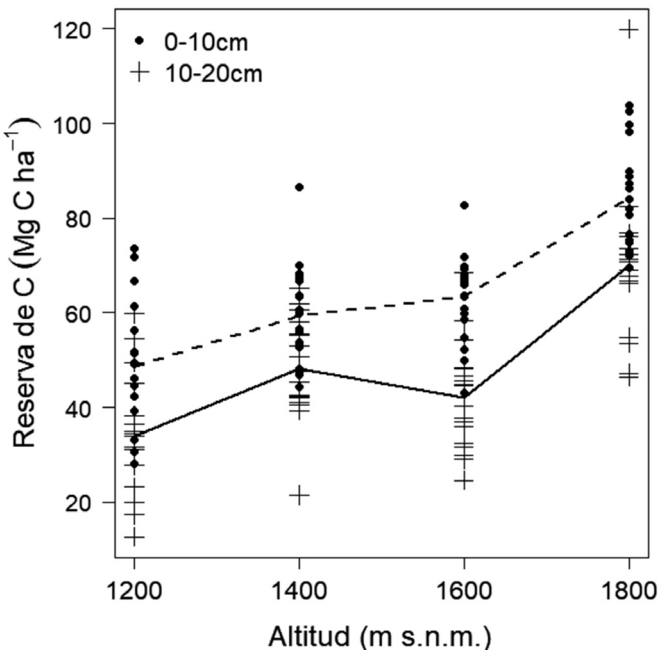


Figura 2*. Modelos ajustados para la reserva de C en cada profundidad. Línea sólida para la profundidad 10-20 cm y línea discontinua para la profundidad 0-10 cm, cada símbolo representa el valor de una muestra.*

Figure 2*. Adjusted models for the C reserves in each soil depth. Solid line for depth 10-20 cm and dashed line for depth 0-10 cm, each symbol is the value of a sample.*

Tabla 1. *Prueba F de efectos fijos para los modelos de la reserva de C y N con mejores ajustes.*

Table 1*. Fixed effects test F for the models of the reserve of C and N with better adjustments.*

Término	Valor F	p
Carbono		
Elevación	58.38	< 0.001
Profundidad	17.86	< 0.001
Elevación: profundidad	1.16	0.3347
Nitrógeno		
Elevación	17.35	< 0.001
Profundidad	0.4159	0.522
Elevación: profundidad	0.6731	0.569

p = 0.489) y presentaron ligeramente un mejor ajuste que el modelo sin interacción. Por ello, seleccionamos el modelo con interacción y evaluamos el efecto de cada factor (**Tabla 1**). De manera similar para el N, la prueba LRT reveló que no difieren significativamente los tres modelos (L-ratio= 2.548, p = 0.466), pero para identificar si la interacción entre factores tuvo algún efecto, seleccionamos el modelo 2 (**Tabla 1**).

Luego de evaluar las reservas de C y N mediante los tres modelos lineales mixtos, se ha visto que el modelo sin interacción **(modelo 1, Tabla 2)** es suficiente ya que la prueba de razón de verosimilitud (LTR) no reveló diferencias significativas entre los tres modelos evaluados tanto para el C como para el N (L-ratio= 1.428, p = 0.489; L-ratio= 2.548, p = 0.466), respectivamente, y además la interacción resultó no significativa **(Tabla 1).**

Variación de las reservas de C del suelo a lo largo del gradiente altitudinal

Encontramos diferencias significativas en las reservas de C del suelo con la altitud (**Tabla 1**), presentando la mayor reserva de C en la zona de 1800 m s.n.m., y la más baja en la zona de 1200 m s.n.m. **(Fig. 2).** En este gradiente altitudinal se observó también un aumento de la precipitación y un descenso de la temperatura media con el aumento en altitud. Así, el índice de correlación de Spearman indica que existe una fuerte correlación de la reserva de C con las variables climáticas en la zona **(Tabla 3)**; y, en concreto, en el caso de la temperatura se observó correlación negativa, lo que nos indica que a mayor temperatura menor reserva de C. La descomposición de la materia orgánica en zonas que presentan menor temperatura y mayor precipitación es más lenta (Charan et al. 2012; Zhang et al. 2012). De acuerdo a Navarro y Navarro (2000) la materia orgánica se puede incrementar dos o tres veces cada 10 ºC de disminución de temperatura. En este estudio se observa que,

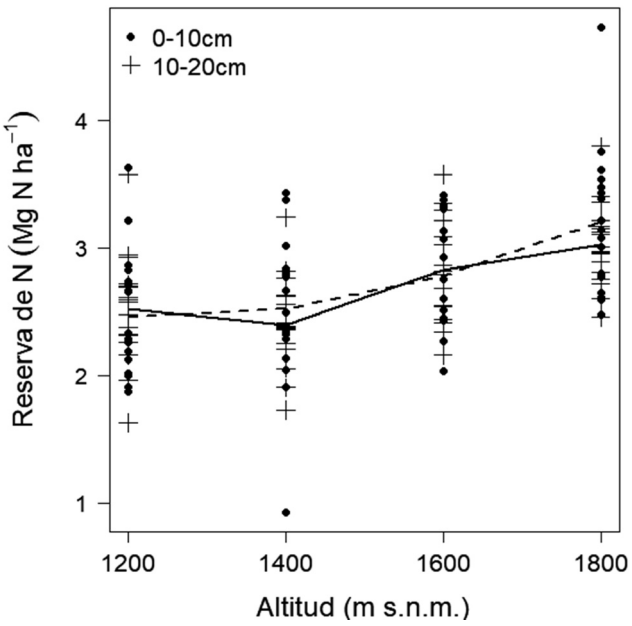


Figura 3. *Modelos ajustados para la reserva de N en cada profundidad. Línea sólida para la profundidad 10-20 cm y línea discontinua para la profundidad 0-10 cm, cada símbolo es el valor de una muestra.*

Figure 3. *Adjusted models for the N reserves in each soil depth. Solid line for depth 10-20 cm and dashed line for depth 0-10 cm, each symbol is the value of a sample.*

aunque la diferencia en temperatura no fue mucho mayor que 2,5 °C, la diferencia en las reservas de C entre la zona de 1200 y 1800 m s.n.m. es aproximadamente el doble (**Tabla 4**). Además, se considera que la caída de hojarasca y acumulación de materia orgánica y la mortalidad de las raíces son los factores principales que contribuyen a la entrada de C en el suelo en ecosistemas desérticos (Guru et al. 2012).

Los hallazgos de esta investigación señalan que el gradiente térmico disminuyó en aproximadamente 1.0 ºC por cada piso altitudinal, a excepción de las parcelas en las cotas más altas (1600 y 1800 m s.n.m.) en donde la temperatura varió en menos de 0.5 ºC entre el gradiente altitudinal **(Tabla 4),** correspondiendo la media a 0.9 ºC por cada 200 metros de elevación. En la zona de 1200 m s.n.m. se detectaron los valores más bajos de precipitación, en cambio, los valores más altos se observaron en el piso altitudinal de 1800 m s.n.m. (**Tabla 4**). Hubo grandes diferencias en las reservas de C en el suelo a lo largo del gradiente altitudinal (por ejemplo, con diferencias acusadas al comparar los suelos a 1200 frente a 1800 m s.n.m.), posiblemente porque las condiciones más cálidas de la zona

Tabla 2. *Selección de los modelos para las reservas de C y N, utilizando el criterio de información de Akaike (AIC).*

Table 2. *Selection of the models for the reservations of C and N, using the Akaike information criterion (AIC).*

Modelo	g.l.	AIC(C)	Δ AIC(C)	AIC(N)	Δ AIC(N)
Sin interacciónN ~ Altitud + profundidad + (1|parcela)	7	1115.87	12.58	200.91	0
Con interacciónN ~ Altitud * profundidad + (1|parcela)	10	1103.29	0	209.46	8.55
Con interacción y pendiente aleatoriaN ~ Altitud * profundidad + (profundidad | parcela)	12	1105.55	2.26	213.46	12.55

Tabla 3. *Correlaciones de los variables de C y N con las variables climáticas a nivel del gradiente altitudinal.*

Table 3. *Correlations of the variables of C and N with the climatic variables at the altitudinal gradient level.*

Variables edáficas	Variables climáticas	Correlación	p-valor
C	Altitud	0.748	<0.001
	Temperatura	-0.748	<0.001
	Precipitación	0.760	<0.001
N	Altitud	0.619	<0.001
	Temperatura	-0.619	<0.001
	Precipitación	0.447	<0.001

Tabla 4. *Variables climáticas y reservas de C y N del suelo a lo largo del gradiente altitudinal. Los valores son medias (+/- ES en el caso de C y N).*
Table 4. *Climatic variables and reserves of C and N of the soil along the altitudinal gradient level. The values are means (+/- ES in the case of C and N).*

Altitud m s.n.m.	Temperatura (ºC) (promedio/año)	Precipitación(mm/año) (promedio/año)	Profundidad	Reserva C (Mg ha^{-1})	Reserva N (Mg ha^{-1})
1200	24.78	84.11	0-10cm	46.00±12.44	2.43±0.48
			10-20cm	38.62±11.96	2.52±0.42
1400	23.77	210.26	0-10cm	55.19±8.44	2.52±0.58
			10-20cm	49.08±10.40	2.40±0.37
1600	22.46	198.34	0-10cm	57.03±10.90	2.78±0.41
			10-20cm	47.08±10.08	2.83±0.40
1800	22.20	270.93	0-10cm	80.18±15.93	3.20±0.55
			10-20cm	68.61±9.98	3.02±0.32

Fuente: *Castro y Espinoza (2016). Para las variables climáticas.*

baja favorecen la interacción de los organismos del suelo y, por tanto, la descomposición de los tejidos orgánicos (Wang et al. 2010). La mayor precipitación y las condiciones edáficas más favorables, como el mayor contenido de materia orgánica, podrían influir en la vegetación presente en la zona más alta, lo que a su vez influye en la presencia de carbono y otros nutrientes en el suelo (**Tabla 4**).

Los valores de reserva de C más elevados a los 1800 m s.n.m., también podrían deberse a factores edáficos como la textura. Los suelos arenosos suelen contener menor cantidad de materia orgánica que los arcillosos, principalmente porque contienen menor porcentaje de humedad y porque son suelos con mayor aireación, lo que favorece la oxidación de la materia orgánica.

Castillo-Monroy et al. (2016) encontró un mayor contenido de arena en la zona de 1400 m s.n.m. que a 1600 m s.n.m de altitud, indicando que al incrementarse la altitud disminuye la arena y aumenta la arcilla, la cual está relacionada con la adsorción y estabilidad de la materia orgánica (Jobbágy y Jackson 2000).

Otro factor determinante en la reserva de C podría ser la distribución desigual del ganado vacuno en las cuatro zonas. Así lo demostraron Schulz et al. (2016) en un estudio realizado en un área semiárida en el nordeste de Brasil, en donde encontraron que las parcelas con intensidades de pastoreo intermedio y fuerte presentaron una reserva de C en el suelo más baja. Si el ganado no se maneja de manera estabulada, el estiércol estará de manera aleatoria en el suelo tal y como se observó durante el muestreo en campo, lo cual puede favorecer la degradación del suelo debido a que la actividad del ganado influye en algunas propiedades físico – químicas edáficas como la acumulación de C (Céspedes et al. 2012; Schulz et al. 2016; Whalen et al. 2000).

Reservorio de N del suelo a dos profundidades

Las reservas de N no presentaron diferencias significativas estadísticas respecto de la profundidad (**Tabla 1, Fig. 3**). Los resultados de nuestro estudio no coincidieron con otras investigaciones realizadas por Kaur et al. (2000), Song et al. (2016) y Selim et al. (2016), en donde mencionan que los valores más altos de N están en la capa más superficial del suelo. A pesar de que en nuestros resultados no encontramos diferencia significativa en las reservas de N con la profundidad, se puede mencionar que este patrón, es una constante en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Groppo et al. 2015; Kaur et al. 2000; Su, 2007; Wang et al. 2009).

Es importante señalar que en este tipo de ecosistemas la actividad microbiana esta frecuentemente limitada por la humedad, por lo que las tasas de mineralización e inmovilización del N están ligadas a la precipitación y a la entrada de materia orgánica (Celaya y Castellanos 2011). Si bien en nuestro estudio, los valores de humedad del suelo fueron mayores en la profundidad de 10-20 cm con el 1% frente a la capa de 0-10 cm a nivel de todo el gradiente altitudinal (datos no publicados), a diferencia de los valores de materia orgánica que fueron superiores y mucho más marcados en la capa más superficial. Además, se podría considerar que la fijación del N por parte de los microorganismos presentes en las leguminosas (*Vachellia macracantha*), comunes en las zonas de estudio, podrían ser las responsables de la ausencia de la diferencia significativa en la profundidad del suelo.

Variación de las reservas de N del suelo a lo largo del gradiente altitudinal

La reserva de N en el suelo aumentó con la altitud, como también lo reportaron otros autores que realizaron estudios en altitudinales de 100 – 4000 m s.n.m. en diferentes ecosistemas forestales (*Betula ermanii*, *Picea*, *Abies*, *Pinus koraiensis*, rodales y bosques mixtos) (Vieira et al. 2011; Zhang et al. 2012; Lozano-García y Parras-Alcántara et al. 2015). Este aumento también se mantiene incluso en suelos destinados a uso agrícola (Kaur et al. 2000; Selim et al. 2016).

Los compuestos nitrogenados se pueden perder por el incremento en la velocidad de mineralización de la materia orgánica, por lixiviación, desnitrificación, o podrían ser tomados por las plantas y microorganismos (Navarro y Navarro 2000). Otro aporte de N a nivel del gradiente altitudinal podría darse por la riqueza y diversidad de la comunidad de la costra biológica del suelo que se incrementó con la altitud según lo reportado por Castillo-Monroy y Benítez (2015). Además, según Belnap (2002), especies como *Collema* spp. y *Petula* spp. y cianobacterias como *Nostoc commune* contribuyen a fijar el N del suelo. Esas especies de líquenes y cianobacterias fueron más frecuentes en la zona de 1600 m s.n.m. (125 líquenes y 83 cianobacterias frente a 112 y 67 respectivamente) (Castillo-Monroy y Benítez, 2015).

Conclusiones

Las reservas de C y N en el suelo de los matorrales secos montanos del sur de Ecuador mostraron un incremento con la altitud, mientras que la profundidad presentó efecto únicamente en la reserva de C. De acuerdo a estos resultados se podría decir que las zonas altas de los matorrales secos del sur del Ecuador son más fértiles, principalmente por la influencia de variables climáticas como, baja temperatura y alta precipitación que influyen en la tasa de descomposición y acumulación de materia orgánica. Podemos considerar a la altitud como un factor influyente en la variación de las reservas de C y N en los ecosistemas de matorral seco ecuatoriano. La conservación de estos sumideros de C y N es importante para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y atenuar los efectos del calentamiento global en ecosistemas de matorral seco neotropical. Complementando con una gestión adecuada del uso de estos suelos que evite

la perdida de estas reservas de C y N en el suelo de los matorrales secos.

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. Agradecemos asimismo las valiosas aportaciones realizadas por los revisores para mejorar este artículo. La investigación fue financiada por la Universidad Técnica Particular de Loja (PROY_CCNN_0030) y por el proyecto PIC-13-ETAPA-005 de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT). Agradecemos también a la Universidad de Cuenca por los esfuerzos administrativos.

Referencias

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, Ecuador.

Aguirre-Mendoza, Z., Kvist, L. P. 2005. Floristic composition and conservation status of the dry forests in Ecuador. *Lyonia* 8(2): 41–67.

Aho, K., Derryberry, D., Peterson, T. 2014. Model selection for ecologists: the worldviews of AIC and BIC. *Ecology* 95(3): 631-636.

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 carbon stocks and projected changes according to land use and management: a case study for Kenya. *Soil Use and Management* 20: 350–356.

Batjes, N.H. 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 65(3): 4–21.

Belnap, J. 2002. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biology and Fertility of Soils* 35(2): 128–135.

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.

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.

Castillo-Monroy, A. P., Benítez, Á., Reyes-Bueno, F., Donoso, D. A., Cueva, A. 2016. Biocrust structure respbonds to soil variables along a tropical scrubland elevation gradient. *Journal of Arid Environments* 124: 31–38.

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.

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.

Chhabra, A., Palria, S., Dadhwal, V.K. 2003. Soil organic carbon pool in Indian forests. *Forest Ecology and Management* 173:187–199.

Celaya, M.H., Castellanos, V.A. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29(3): 343–356.

Céspedes, F.E., Fernandez, J.A., Gobbi, J.A., Bernardis, A. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raices de un pastizales y una pradera bajo pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(1): 79–86.

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.

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.

Groppo, J.D., Lins, S.R.M., Camargo, P.B., Assad, E.D., Pinto, H.S., Martins, S.C., Martinelli, L. A. 2015. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. *Biogeosciences 12*(15): 4765–4780.

Guru,C., 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.

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.

Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications,* 10(2), 423–436.

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.

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.

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* 66: 1878-1881.

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220(1–3): 242–258.

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.

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.

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.

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.

Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L. 2015. 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.

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 Gualel de la Provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Navarro, S., Navarro, G. 2000. *Química agrícola.* Segunda edición. Editorial Mundiprensa, España.

Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Galán-Espejo, A. 2015. Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despenaperros Natural Park, southern Spain. *Solid Earth 6*(1): 125–134.

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., R Core Team 2018. Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-131.1. *R software*

Ramírez, F.D. 2013. *Análisis de laboratorio de suelos y aguas.* Grupo Latino Editores S.A.S., Colombia.

R Core team. 2015. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing,* Vienna, Austria.

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.

Reynolds, J.F., Stafford Smith, D.M., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S. P.J., Walker, B. (2007). Ecology: Global desertification: Building a science for dryland development. *Science* 316(5826): 847–851.

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 surgarcane soil. *Soil & Tillage Research* 155: 401-411.

Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J. S., Kowarik, I., Walz, A., Cierjacks, A. 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *Forest Ecology and Management* 367: 62–70.

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.

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.

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.

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 semi-arid region of the Loess Plateau, China. *Catena* 143: 159–166.

Su, Y.Z. 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa forage land in northwest China. *Soil and Tillage Research* 92(1–2): 181–189.

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.

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.

Wang, Q., Zhang, L., Li, L., Bai, Y., Cao, J., Han, X. 2009. Changes in carbon and nitrogen of Chernozem soil along a cultivation chronosequence in a semi-arid grassland. *European Journal of Soil Science* 60(6): 916–923.

Wang, S., Ruan, H., Han, Y. 2010. Effects of microclimate, litter type, and mesh size on leaf litter decomposition along an elevation gradient in the Wuyi Mountains, China. *Ecological Research* 25(6): 1113–1120.

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. En: Lal, R., Singh, B., Mwaseba, D., Kraybill, D., Hansen, D., Eik L. (eds.), *Sustainable Intensification to Advance Food Security and enhance climate resilience in Africa,* pp. 113-133. Springer International Publishing Switzerland.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W., Carefoot, J.P. 2000. Cattle Manure Amendments Can Increase the pH of Acid Soils. *Soil Science Society of America Journal* 64(3): 962.

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.

Zhao, J., Zheng, Y., Zhang, B., Chen, Y., Zhang, Y. 2009. Progress in the study of algae and mosses in biological soil crusts. *Frontiers of Biology in China* 4(2): 143–150.

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.

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.* Springer, New York, EE.UU.