



EMISIONES DE CO₂ Y CONTENIDOS DE CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO EN EL “BOSQUE PROTECTOR MUROCOMBA”, OCCIDENTE DE LOS ANDES ECUATORIANOS

CO₂ EMISSIONS AND CARBON CONTENTS OF THE SOIL MICROBIAL BIOMASS IN “MUROCOMBA PROTECTED FOREST”, WESTERN ECUADORIAN ANDES

Carlos Belezaca Pinargote ^(1*), **Cinthy Morales Escobar** ⁽¹⁾, **Edison Solano Apuntes** ⁽¹⁾,
Alex Solano Apuntes ⁽²⁾, **Paola Díaz Navarrete** ⁽³⁾.

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Ecuador.

² Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Valencia - Ecuador.

³ Universidad Católica de Temuco, Laboratorio de Bioprocesos, Temuco - Chile.

Email: cbelezaca@uteq.edu.ec

<https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.158>

Resumen: Se cuantificaron las emisiones de CO₂, contenidos de carbono orgánico (C_{orgánico}), y biomasa microbiana del suelo (BMS), desde suelos con diferentes usos antropogénicos en el “Bosque Protector Murocomba” (BPM). Se estudiaron cinco tratamientos (bosque primario, bosque secundario, barbecho, plantación de Gmelina arbórea, y pastizal). Por tratamiento se colectaron 3 muestras de suelo, y estimó la BMS (fúngica y bacteriana), emisiones de CO₂ mediante la técnica de respiración inducida de sustrato usando glucosa como inductor, estreptomycin y cloranfenicol para inhibir poblaciones bacterianas, cicloheximida y captan 80, como inhibidores fúngicos. El CO₂ liberado se atrapó en una solución de NaOH (0,1 M) y tituló con HCl (0,1 M). Los contenidos de C_{orgánico} total, biomasa microbiana activa y emisiones de CO₂, fueron superiores en el suelo de bosque primario: 20,0 mg kg⁻¹, 6,7 mg C-microbiano g⁻¹ de suelo seco (mg C-mic g⁻¹ ss), y 50,4 mg CO₂ 100 g⁻¹ s hora⁻¹. En el suelo de pastizal se detectaron los menores contenidos: 12,5 mg kg⁻¹, 2,1 mg C-mic g⁻¹ ss, y 15,9 mg CO₂ en 100 g⁻¹ s hora⁻¹, respectivamente. En todos los suelos predominó la biomasa fúngica, por sobre la bacteriana. Estos resultados evidencian que los suelos del BPM son importantes reservas de C orgánico, sin embargo, las intervenciones antropogénicas generan cambios en la dinámica

Recibido: 19 de mayo de 2021

Online: 31 de enero de 2022

Publicado como artículo científico en la Revista de Investigación Talentos 9 (1), 18-32

Aceptado: 16 de enero de 2022

Publicación: 01 de enero de 2022

de la microbiota y biogeoquímica de estos bosques naturales ubicados en las estribaciones occidentales de los Andes. Este estudio constituye una línea base que puede ubicar al BPM como un punto control para futuros estudios de biogeoquímica global.

Palabras claves: Bosque premontano, capacidad de resiliencia, respiración inducida de sustrato, secuestro y reservas de carbono.

Abstract: CO_2 emissions, organic carbon content ($C_{organic}$), and soil microbial biomass (SMB) were quantified from soils with different anthropogenic uses in the “Murocomba Protective Forest” (MPF). Five treatments were studied (primary forest, secondary forest, fallow, Gmelina arborea plantation, and pastureland). By treatment, 3 soil samples were collected, and SMB (fungal and bacterial), CO_2 emissions were estimated by the substrate induced respiration technique using glucose as inductor, streptomycin and chloramphenicol to inhibit bacterial populations, cycloheximide and captan 80, as inhibitors fungal. The CO_2 released was trapped in a NaOH solution (0.1 M) and titrated with HCl (0.1 M). The contents of total $C_{organic}$, active microbial biomass and CO_2 emissions were higher in the primary forest soil: 20.0 mg kg^{-1} , $6.7 \text{ mg C-microbial g}^{-1}$ of dry soil ($\text{mg C-mic g}^{-1} \text{ ds}$), and $50.4 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ s hour}^{-1}$. In the pastureland soil the lowest contents were detected: 12.5 mg kg^{-1} , $2.1 \text{ mg C-mic g}^{-1} \text{ ds}$, and $15.9 \text{ mg CO}_2 \text{ in 100 g}^{-1} \text{ s hour}^{-1}$, respectively. In all soils the fungal biomass predominated, over the bacterial one. These results show that the soils of the MPF are important reserves of C organic, however, anthropogenic interventions generate changes in the dynamics of the microbial biomass and biogeochemistry of these natural forests located in the western foothills of the Andes. This study constitutes a baseline that can place the BPM as a control point for future global biogeochemistry studies.

Keywords: Induced substrate respiration, premontane forest, resilience capacity, sequestration and carbon stocks.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques pre-montanos, también llamados bosques montanos bajos de las estribaciones de la cordillera de Los Andes, poseen grandes cantidades de carbono (C) almacenado, tanto a nivel aéreo como bajo el suelo (Jobbágy & Jackson, 2000, Stockmann *et al.*, 2013). Estos bosques se caracterizan por su biodiversidad y constituyen el 26% de la superficie forestal mundial (CDS, 2008). Los suelos donde

evolucionaron tienen su génesis a partir de cenizas volcánicas, con bajas concentraciones de nitrógeno (N), (Huygens *et al.*, 2008), altos contenidos de fósforo (P) total, pero en formas disponibles muy limitadas (Redel *et al.*, 2008, Lambers *et al.*, 2012). Bajo tal escenario de restricciones desarrollaron estrategias funcionales compensatorias, donde la transformación y mineralización de

la materia orgánica del suelo (MOS), fijación biológica de N, y ciclaje de nutrientes, entre otros (Pérez *et al.*, 2010), son procesos claves, mediados por la biomasa microbiana del suelo (BMS), (Valenzuela *et al.*, 2001).

La BMS representa solo entre el 1 – 4% del C y entre 2 – 6% del N total del suelo, su presencia juega un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos (Van der Heijden *et al.*, 2008). Sin embargo, a medida que se generan cambios en el uso del suelo por modificación de la cobertura vegetal (actividades antropogénicas), algunos nutrientes pasan a la atmósfera, otros se almacenan en el suelo, permanecen en el sitio como materia muerta, o se exportan por las actividades antropogénicas o procesos naturales (Jangid *et al.* 2011).

Se conoce que los bosques de las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes, constituyen puntos control privilegiados para estudios de biogeoquímica global, que permiten responder interrogantes ecológicas, y proyectar potenciales efectos frente a futuros escenarios de perturbación humana y cambio climático global (Huygens *et al.*, 2011). Las actividades antropogénicas implican cambios en el paisaje natural, a raíz de la tala del bosque con propósitos agropecuarios y silvícolas, fragmentándolos formando un verdadero mosaico de coberturas vegetales aisladas y múltiples usos del suelo, diferentes al original. En este sentido, la presente investigación buscó cuantificar el impacto de las presiones/actividades antropogénicas sobre los contenidos de carbono orgánico ($C_{orgánico}$), biomasa microbiana edáfica y emisiones de CO_2 , desde suelos de un bosque

premontano del occidente de la Cordillera de los Andes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La investigación se realizó en el Bosque Protector Murocomba (BPM) y sus alrededores. El BPM está ubicado en un área remota del cantón Valencia, entre los límites de las provincias de Cotopaxi hacia el Norte y Este, y Santo Domingo de Los Tsáchilas por el lado Oeste, a una altura comprendida entre los 350 - 1500 ms.n.m., con dos estaciones climáticas bien marcadas. De acuerdo a Holdridge comprende las zonas de vida “Bosque muy húmedo pre-montano” y “Bosque pluvial pre-montano”. La estación lluviosa aporta con el 85% - 90%, y la seca entre el 10% - 15% de las lluvias. Las precipitaciones varían en función a la altura, con una distribución polinomial de tercer orden que va en aumento. A los 350 ms.n.m., llueve en promedio 2000 mm, pero cuando la cota alcanza los 900 - 1300 ms.n.m. las precipitaciones pueden superar los 4500 mm. La temperatura promedio anual es de carácter modal, con 23°C (marzo – abril) y 18°C (julio – agosto). La humedad relativa promedio anual está en función de la estación climática, y oscila entre 85 – 87% (estación lluviosa) y 79 – 84% (estación seca) (Cuásquer *et al.*, 2008).

El procesamiento y análisis de muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología Ambiental y Vegetal de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), localizado en el Campus Ing. Manuel Haz Álvarez, km 1,5 de la vía

Quevedo-Quito.

Tratamientos y establecimiento de parcelas.

Se establecieron cinco tratamientos basados en la cobertura vegetal del suelo (usos del suelo), en áreas remotas del BPM y sus alrededores. Para el efecto, por cada tratamiento se delimitaron tres parcelas (replicas) de 100 m² (10 m x 10 m) cada una, representativas de cada tratamiento (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos basados en la cobertura vegetal del suelo (usos) en Bosque Protector Murocomba y sus alrededores.

Códigos	Tratamientos	Ubicación
T1	Bosque primario (control)	BPM
T2	Bosque secundario	BPM
T3	Bosque en regeneración (Barbecho)	BPM
T4	Pastizal	Alrededores
T5	Plantación de Gmelina arborea	Alrededores

Fuente: Los autores de la investigación

Recolección de muestras de suelo. En la estación climática lluviosa del año 2018, desde todas las parcelas se colectaron tres muestras (n=3) de suelo a una profundidad comprendida entre 0 – 20 cm, por tratamiento. Las muestras de suelo se trasladaron al laboratorio de Microbiología Ambiental y Vegetal de la UTEQ en cajas aislantes. El suelo fresco (sin secado previo) se tamizó por una malla con apertura de 2 mm, y almacenó a 5° C para su posterior análisis. Paralelamente, las muestras de suelo se sometieron a análisis químicos: pH, carbono orgánico total (C_{orgánico}), nitrógeno total (N_t), relación C/N, fósforo (P), potasio (K), y magnesio (Mg) de acuerdo a la metodología utilizada por (Sadzawka *et al.*, 2006).

Capacidad de campo. Muestras de suelo tamizadas se secaron en estufa durante 72

horas a 60 °C, hasta peso constante. Luego, 100 g de suelo seco por muestra se colocaron en una probeta de 100 mL, se registró el volumen ocupado por la masa de suelo, añadió 5 mL de agua (gota a gota) en el centro y tapó la probeta. Después de 24 horas se registró el volumen de suelo que no se hidrató (Sadzawka *et al.*, 2006). Para el efecto se empleó la ecuación [1] (Silva *et al.*, 2015):

$$\%CC = \frac{V_1}{(V_1 - V_2)} * \frac{5 \text{ mL}^{-1} \text{ de } H_2O}{100 \text{ mL}^{-1} \text{ de suelo}} * 100 \quad [1]$$

Donde:

V₁ = Volumen inicial (volumen ocupado por los g⁻¹ del suelo)

V₂ = Volumen final (volumen que ha quedado sin humedecerse)

CC = Capacidad de campo

Contenido de humedad. Muestras de suelo húmedo de peso conocido, se introdujeron en una estufa a 60 °C durante 72 horas, hasta obtener un peso constante. Posteriormente, el suelo seco fue nuevamente pesado y el contenido de humedad se calculó mediante la ecuación [2] (Silva *et al.*, 2015):

$$\%H = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} * 100 \quad [2]$$

Donde:

Ph = Peso de suelo húmedo

Ps = Peso de suelo seco

%H = Porcentaje de humedad

Cantidad de agua para añadir a las muestras.

Una vez determinada la capacidad de campo y el contenido de humedad, se estimó la cantidad de agua necesaria para agregar al suelo [3] (Silva *et al.*, 2015):

$$H_2O \text{ a añadir } (mL^{-1}) = \frac{(CC_{\%} - \%H)}{\%H + 100} * g^{-1} \text{ de suelo } [3]$$

Donde:

$CC_{\%}$ = Capacidad de campo por determinarse

$\%H$ = Porcentaje de humedad del suelo

Biomasa microbiana activa del suelo (BMA).

Se determinó mediante la técnica de respiración inducida por sustrato (RIS), descrita por (Chiu *et al.*, 2006; Ananyeva *et al.*, 2006). El CO_2 liberado durante el periodo de incubación (6 horas a 22 °C) fue atrapado en una solución de NaOH (0,1 M) y titulado con HCl (0,1 M). La BMA se calculó en base a que 1 mL de HCl (0,1 M) es equivalente a 2,2 mg de CO_2 y que para un coeficiente de respiración igual a 1: 1 mg de $CO_2/100 \text{ g h} = 20,6 \text{ mg C-biomasa}/100 \text{ g}$.

Inhibición selectiva fúngica y bacteriana.

Se empleó estreptomicina y cloranfenicol como inhibidores bacterianos, mientras que cicloheximida y captan 80, como inhibidores fúngicos. La selección y concentración de los antimicrobianos aplicados al suelo se realizaron de acuerdo a los reportes de (West, 1986; Bailey *et al.*, 2002; Nakamoto & Wakahara, 2004). De la misma manera que la glucosa, los antimicrobianos fueron mezclados con el suelo, y aplicó la cantidad de agua suficiente para humedecerlo, sin

llegar a saturarlo. El CO_2 detectado representó la respuesta a la inhibición de respiración, causada por los inhibidores microbianos y fue expresado en mg C-mic g^{-1} de suelo. Para conocer la biomasa fúngica (BF), bacteriana (BB), y residual (BR), en cada uno de los tratamientos de uso de suelo, las muestras por triplicado recibieron la siguiente combinación de antimicrobianos:

1. Suelo + glucosa (1 mg g^{-1} de suelo).
2. Suelo+glucosa(1 mg g^{-1})+estreptomicina (32 mg g^{-1}) + cloranfenicol (32 mg g^{-1}).
3. Suelo+glucosa(1 mg g^{-1})+cicloheximida (20 mg g^{-1}) + captan (20 mg g^{-1}).
4. Suelo+glucosa(1 mg g^{-1})+estreptomicina (32 mg g^{-1}) + cloranfenicol (32 mg g^{-1}) + cicloheximida (20 mg g^{-1}) + captan (20 mg g^{-1}).

La BF, BB, y BR se calculó de acuerdo a West (1986): A = biomasa microbiana activa; (A-B) = biomasa fúngica; (A-C) = biomasa bacteriana; D = Biomasa residual; (A-B)/(A-C) = relación hongos/bacterias. El porcentaje de inhibición de la biomasa microbiana causado por el empleo de los antibióticos en forma individual y combinada se determinó en función a las ecuaciones [4], [5] y [6].

$$IBB = [(A - C)/A] * 100 \quad [4]$$

$$IBF = [(A - B)/A] * 100 \quad [5]$$

$$IBR = [(A - D)/A] * 100 \quad [6]$$

Donde:

IBB = Porcentaje de inhibición por combinación de antibióticos.

IBF = Porcentaje de inhibición por combinación de antifúngicos.

IBR = Porcentaje de inhibición por combinación de antibióticos y antifúngicos.

Para estimar la proporción de biomasa fúngica [7] y bacteriana [8], se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$100\{[(A - B) + (A - D)] / 2\} / (A - D) \quad [7]$$

$$100\{[(A - C) + (B - D)] / 2\} / (A - D) \quad [8]$$

Relación de aditividad de los inhibidores (RAI). Se calculó de acuerdo a Beare *et al.* (1990), empleando RIS. Se ha establecido que cuando RAI es igual a 1,0, los antimicrobianos no ejercen efecto inhibitorio sobre otros organismos para los cuales no fueron diseñados. Mientras que una relación de aditividad >1,0 indica que los antimicrobianos poseen un efecto inhibitorio sobre otros organismos para los cuales estos no fueron elaborados. Una relación de aditividad <1,0 muestra que estos ejercen un efecto estimulador sobre los microorganismos (Beare *et al.*, 1990; Nakamoto & Wakahara, 2004). RAI fue determinada mediante la ecuación [9].

$$RAI = [(A - B) + (A - C)] / (A - D) \quad [9]$$

Inhibición total por efecto combinado de los inhibidores (ITC). Esta variable expresa el porcentaje de la biomasa microbiana inhibida por la combinación de los antimicrobianos: antibióticos (estreptomycin + cloranfenicol) y antifúngicos (cicloheximida + captan), (Chiu *et al.*, 2006; Susyan *et al.*, 2011). Se calculó en función de la ecuación [10].

$$ITC = \{(A - D) / (A)\} * 100 \quad [10]$$

Emisiones potenciales de CO₂ desde el suelo a nivel de laboratorio. Para el efecto, 10 g de suelo a humedad de campo, previamente tamizados se introdujeron en cámaras de vidrio (100 mL de capacidad) a temperatura ambiente. Posteriormente, el suelo se mezcló con 10 mg de glucosa (1 mg g⁻¹ de suelo), disueltos en la cantidad de agua destilada estéril necesaria hasta alcanzar su capacidad de retención hídrica. El CO₂ liberado durante el periodo de incubación (6 horas a 22 °C) fue atrapado en una solución de NaOH (0,1 M) y titulado con HCl (0,1 M).

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% ($P < 0,05$), previa comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas. Posteriormente se aplicó la prueba LSD (mínima diferencia significativa), con un nivel de significancia del 95% ($P < 0,05$). Para el efecto se empleó el paquete estadístico SYSTAT II versión para Windows (SYSTAT Inc., 2004).

III. RESULTADOS

Análisis químicos de suelos. Se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en los análisis químicos de suelos (pH, NH_4 , P, K, Ca, Mg, MO y $\text{C}_{\text{orgánico}}$) entre los tratamientos en estudio (usos del suelo). Para el pH ($F=16,35$; $P=0,000$) los suelos sometidos a actividades ganaderas (pastizal) presentaron los niveles de mayor acidez con 5,30, ubicándolos en la categoría de “fuertemente ácidos”, mientras que suelos de los demás tratamientos estuvieron en el rango de 5,50 a 6,0, que los ubica en la categoría de “moderadamente ácidos”. En lo referente a cationes, se detectó que las mayores concentraciones de NH_4 ($F=8,53$; $P=0,002$) disponibles estaban en los tratamientos: suelo de bosque primario, suelo de bosque secundario, y suelo de plantación de *G. arborea*, con 19,0; 16,5 y 19,5 ppm, siendo superiores y distintos a los demás tratamientos. Para el caso del P ($F=11,90$; $P=0,000$), K ($F=22,56$; $P=0,000$), Ca ($F=44,12$; $P=0,000$) y Mg ($F=28,27$; $P=0,000$) los suelos de bosque primario, bosque secundario y bosque en regeneración, presentaron las mayores concentraciones, con valores de 13,0; 10,5 y 9,5 ppm (P); 0,42; 0,51 y 0,29 (meq/100 mL) (K); 10,0; 8,0 y 13,5 (meq/100 mL) (Ca), y 1,6; 1,4 y 1,4 (meq/100 mL) (Mg), respectivamente, siendo significativamente superiores a los suelos de pastizal y plantación de *G. arborea*.

Los contenidos de MO ($F=14,62$; $P=0,000$) fueron estadísticamente superiores en los suelos de bosque primario, con 3.4%, siendo

distinto a los suelos de bosque secundario, bosque en regeneración, plantación de *G. arborea* y pastizal, que mostraron rangos de 2,7% a 2,15%. Respecto al $\text{C}_{\text{orgánico}}$ del suelo ($F=14,65$; $P=0,000$), los tratamientos que presentaron las mayores concentraciones fueron los suelos de bosque primario, bosque en regeneración y plantación de *G. arborea* con 20,0; 15,4 y 15,7 (mg/kg), a diferencia de los suelos de bosque secundario y pastizal que presentaron valores de 14,0 y 12,5 mg/kg (Tabla 2).

Tabla 2. Variables químicas analizadas en suelos con diferente cobertura vegetal (usos antropogénicos). Bosque Protector Murocomba, Valencia, Ecuador.

Tratamientos	pH	NH4 (ppm)	P (ppm)	K (meq/100 mL)	Ca (meq/100 mL)	Mg (meq/100mL)	MO (%)	C orgánico (mg/kg)
Bosque primario (control)	5,6 ± 0,1 b	19,0 ± 2,0 a	13,0 ± 2,0 a	0,42 ± 0,06 a	10 ± 0,0 b	1,6 ± 0,20 a	3,4 ± 0,20 a	20,0 a
Bosque secundario	6,0 ± 0,2 a	16,5 ± 6,5 a	10,5 ± 0,5 ab	0,51 ± 0,10 a	8,0 ± 0,0 c	1,4 ± 0,15 b	2,4 ± 0,10 bc	14,0 bc
Bosque en regeneración (Barbecho)	6,0 ± 0,1 a	8,0 ± 2,0 b	9,5 ± 2,5 b	0,29 ± 0,03 b	13,5 ± 0,5 a	1,4 ± 0,10 ab	2,65 ± 0,15 b	15,4 b
Pastizal	5,3 ± 0,0 c	9,0 ± 1,0 b	6,0 ± 0,0 c	0,18 ± 0,02 c	4,0 ± 0,0 d	0,6 ± 0,00 d	2,15 ± 0,25 c	12,5 c
Plantación de Gmelina arbórea	5,5 ± 0,2 bc	19,5 ± 1,5 a	6,0 ± 1,0 c	0,17 ± 0,01 c	7,0 ± 2,0 c	1,0 ± 0,10 c	2,7 ± 0,30 b	15,7 b

Fuente: Los autores de la investigación

* Valores corresponden a promedios de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

Biomasa microbiana activa y relación biomasa fúngica/biomasa bacteriana.

Se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre los suelos con diferente cobertura vegetal (usos antropogénicos), para las variables: biomasa microbiana activa (BMA) ($F=7,60$; $P=0,030$), biomasa fúngica (BF) ($F=5,30$; $P=0,000$), biomasa bacteriana (BB) ($F=4,35$; $P=0,000$), relación biomasa fúngica/biomasa bacteriana (BF/BB) ($F=1,15$; $P=0,000$), mientras que para la variable biomasa microbiana residual (BMR) no se encontraron diferencias ($F=6,10$; $P=0,03$). Los mayores contenidos de BMA se detectaron en los suelos de bosque primario (control) y bosque secundario, con 6,65 mg C-mic g⁻¹ de suelo seco (mg C-mic g⁻¹ ss), y 5,75 mg C-mic g⁻¹ ss, respectivamente, siendo estadísticamente similares pero superiores a los contenidos encontrados en los suelos de bosque en regeneración, y plantación de *G.*

arborea, con 5,40 mg C-mic g⁻¹ ss, y 5,10 mg C-mic g⁻¹ ss. No obstante, los menores contenidos de BMA se detectaron en el suelo de pastizal, con 2,10 mg C-mic g⁻¹ ss.

En todos los tratamientos predominó la BF por sobre la BB, lo cual se ve reflejada en la relación BF/BB superior a 1,11 para todos los tratamientos. El suelo procedente del bosque primario mostró los mayores valores de BF, BB, y BF/BB con 3,75; 2,27; 1,65 mg C-mic g⁻¹ ss, respectivamente. Mientras en el suelo procedente del pastizal se detectaron contenidos menores. Los valores de BMR encontrados en todos los suelos fueron estadísticamente similares (Tabla 3).

Tabla 3. Contenidos de biomasa microbiana activa (BMA), fúngica (BF), bacteriana (BB), residual (BR) en mg g⁻¹ de suelo seco, y relación biomasa fúngica/biomasa bacteriana (BF/BB) en suelos con diferente cobertura vegetal (usos). Bosque Protector Murocomba, Valencia, Ecuador.

TRATAMIENTOS	BMA (mg g ⁻¹)*	BF (mg g ⁻¹)*	BB (mg g ⁻¹)*	BF/BB *	BMR (mg g ⁻¹)*
Bosque Primario	6,65 (±0,15) a	3,75 (±0,20) a	2,27 (±0,38) a	1,65 (±0,80) a	0,63 ns
Bosque secundario	5,75 (±0,27) a	3,26 (±0,09) a	2,15 (±0,55) a	1,51 (±0,92) a	0,34 ns
Bosque en regeneración	5,40 (±0,35) b	2,95 (±0,41) b	1,72 (±0,18) b	1,71 (±0,36) a	0,73 ns
Pastizal	2,10 (±0,25) c	0,80 (±0,33) c	0,72 (±0,20) c	1,11 (±0,22) b	0,58 ns
Plantación de Gmelina arborea	5,10 (±0,35) b	2,90 (±0,65) b	1,80 (±0,41) b	1,61 (±0,75) a	0,35 ns

Fuente: Los autores de la investigación

* Valores corresponden a promedios de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

Efecto inhibitorio de los antimicrobianos.

No se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) para las variables inhibición de la biomasa fúngica (% IBF), inhibición de la biomasa bacteriana (%

IBB), e inhibición por efecto combinado de los antifúngicos y antibióticos (% ITC), así como también en la relación de aditividad de los inhibidores (RAI), (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de inhibición de la biomasa fúngica (% IBF), bacteriana (% IBB), inhibición por efecto combinado de los antimicrobianos (% ITC), y relación de aditividad de los inhibidores (RAI), en suelos con diferente cobertura vegetal (usos). Bosque Protector Murocomba, Valencia, Ecuador.

TRATAMIENTOS	% IBF (C + C) *	% IBB (E + C) *	% ITC (F + A) *	RAI *
Bosque Primario	44,35 (±8,40) ns	29,44 (±11,50) ns	83,79 (±7,08) ns	1,07 (±0,06) ns
Bosque secundario	50,27 (±6,46) ns	27,33 (±18,47) ns	87,60 (±5,82) ns	1,14 (±0,24) ns
Bosque en regeneración	47,85 (±7,10) ns	26,99 (±3,81) ns	84,84 (±6,43) ns	1,08 (±0,09) ns
Pastizal	46,81 (±12,49) ns	20,86 (±7,80) ns	87,67 (±2,03) ns	1,35 (±0,21) ns
Plantación de Gmelina arborea	45,98 (±5,60) ns	28,61 (±6,04) ns	84,59 (±3,80) ns	1,18 (±0,12) ns

Fuente: Los autores de la investigación

* Valores corresponden a promedios de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. ns equivale a no significativo ($P < 0,05$).

Emisiones de CO₂ desde el suelo. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($F=4,2$; $P=0,03$). Los suelos procedentes de bosque primario liberaron 50,38 mg CO₂ en 100 g⁻¹ de suelo hora⁻¹ (mg CO₂ 100 g⁻¹ s hora⁻¹), cuyas emisiones fueron estadísticamente superior a las procedentes

desde suelos de bosque secundario, bosque en regeneración y plantación de *G. arborea*, con 43,56; 40,91 y 38,64 mg CO₂ 100 g⁻¹ s hora⁻¹, respectivamente. Mientras que los suelos de pastizal liberaron 15,91 mg CO₂ 100 g⁻¹ s hora⁻¹, emisiones estadísticamente inferiores a las liberadas desde los suelos con

otras coberturas vegetales (Tabla 5).

Tabla 5. Emisiones de CO₂ (mg CO₂ 100 g⁻¹ s hora⁻¹) a nivel de laboratorio, desde suelos con diferente cobertura vegetal (usos). Bosque Protector Murocomba, Valencia, Ecuador.

Tratamientos	mg CO ₂ 100 g ⁻¹ s hora ⁻¹ *
Bosque Primario	50,38 (± 1,25) a
Bosque secundario	43,56 (± 1,30) b
Bosque en regeneración	40,91 (± 1,45) b
Pastizal	15,91 (± 0,90) c
Plantación de G. arborea	38,64 (± 1,50) b

Fuente: Los autores de la investigación

* Valores corresponden a promedios de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

Discusión

Los mayores contenidos de C_{orgánico} del suelo detectados en los tratamientos con cobertura forestal: bosque primario, bosque secundario, bosque en regeneración y plantación de *G. arborea* (20,0; 14,0; 15,4 y 15,7 mg/kg, respectivamente), probablemente estarían asociados a la presencia de MOS disponible en los suelos, dada por aportes constantes de litera fina y gruesa, y la progresiva descomposición de los mismos, a diferencia de los suelos de pastizal donde se obtuvieron menores contenidos de C_{orgánico}, atribuible a la disminución en la disponibilidad de C y N en la MOS, como consecuencia de la acelerada mineralización de la misma, cambios en el microclima, volatilización hacia la atmosfera y mecanismos de lixiviación de nutrientes, factores asociados a la actividad ganadera intensiva (Galicia *et al.*, 2016; Céspedes-Flores *et al.*, 2018). Este fenómeno se ha detectado en otros estudios de suelos

cubiertos por bosques, donde el reciclaje interno, mecanismos de conservación y retención de nutrientes son eficientes en ecosistemas similares a los suelos cubiertos por bosques, analizados en el presente estudio (Zanabria & Cuellar, 2015; Suárez-Duque *et al.*, 2016), con concentraciones de biomasa microbiana edáfica superiores a aquellos ecosistemas intensamente intervenidos antropogenicamente, como los suelos de pastizales.

En todos los tratamientos predominó la BF por sobre la BB, lo cual se refleja en la relación BF/BB superior a (1,10). El tratamiento bosque primario mostró los mayores valores de BF, BB, y BF/BB con 3,75 mg C-mic g⁻¹ ss, 2,27 mg C-mic g⁻¹ ss, y 1,65, respectivamente, debido que la abundancia de bacterias por unidad de materia orgánica fue menos variable que la biomasa fúngica, lo cual se correlaciona con lo encontrado y reportado por Findlay *et al.* (2002), quienes indican que las bacterias son un componente muy predecible dentro de la BMS, sin embargo, las poblaciones bacterianas a pesar de poseer más individuos (células) por unidad de peso que la fúngica, son más pequeñas, pero no menos importantes para la biogeoquímica de los ecosistemas. Los bajos contenidos de BF en el suelo de pastizal, obedecería a los bajísimos aportes y disponibilidad de materia orgánica para la BMS, en comparación a los suelos cubiertos con bosques.

Las mayores emisiones de CO₂ desde el suelo de bosque primario (50,38 mg CO₂ en 100

g⁻¹ ss hora⁻¹), seguramente están asociadas a la intensa actividad de la BMS durante el proceso de biodegradación y mineralización de los suministros de litera fina (hojarasca, ramas finas, flores, frutos, cortezas) y litera gruesa (troncos, ramas gruesas, raíces, tocones de árboles caídos) abundante en este tipo de ecosistemas, frente a un menor aporte de biomasa al suelo por parte de otras coberturas vegetales como los pastizales (15,91 mg CO₂ en 100 g⁻¹ ss hora⁻¹), que están asociadas una menor actividad de la BMS por falta de recursos carbonados, tal como lo señala Céspedes-Flores *et al.* (2018). Las emisiones de CO₂ desde los suelos de bosque secundario, bosque en regeneración y plantación de *G. arbórea* (43,56; 40,91; 38,64 mg CO₂ en 100 g⁻¹ ss hora⁻¹, respectivamente) demuestran que sus aportes de materia orgánica y tamaño de la BMS son similares, lo que indicaría que la liberación de CO₂ desde este tipo de ecosistemas es sostenida y conserva las reservas de C en el suelo. Por otra parte, el hecho que los suelos cubiertos con bosques, analizados en esta investigación liberen más CO₂ que el pastizal, no significa que transformando estos ecosistemas en pastizales evitaría la liberación de C desde el suelo, por el contrario, se liberaría la mayor parte del conservado. Mientras que el ciclaje de carbono en ecosistemas boscosos es muy dinámico, con mayores entradas de C que se inmovilizan por largos periodos de tiempo (tiempo de residencia) en la biomasa vegetal, con una liberación gradual e inferior de CO₂ en comparación al fijado por el ecosistema. En este sentido la literatura científica da cuenta que el pool de la BMS y su actividad metabólica, está estrechamente relacionada

con los aportes de materiales carbonados, resultados de la producción primaria neta dentro de ecosistemas terrestres (Pardo-Plaza *et al.*, 2019; Rosero *et al.*, 2019), situación que se correlaciona con los resultados obtenidos en esta investigación.

Considerando que la BMS es un indicador biológico sensible para la detección de cambios en la dinámica del carbono, a raíz de perturbaciones antropogénicas en suelos de ecosistemas boscosos, los resultados obtenidos muestran la importancia que tiene la conservación de los bosques de las estribaciones occidentales de los Andes ecuatorianos, como permanentes almacenes de carbono. No obstante, el empleo de la BMS como biosensor de cambios en la dinámica del carbono edáfico tiene sus limitaciones metodológicas (época de evaluación, tipo y tamaño de las muestras de suelo, reactivos a nivel de laboratorio, etc.), mismas que pueden influir en la obtención de resultados inconsistentes y/o confusos en futuros estudios del mismo ecosistema. Por otra parte, se debe resaltar que este tipo de estudios son escasos o nulos para ecosistemas de estribación en los Andes de Ecuador, debido principalmente a que se encuentran ubicados en áreas remotas de difícil acceso.

IV. CONCLUSIONES

Se demostró que los suelos protegidos con coberturas boscosas contribuyen a la conservación del $C_{orgánico}$ almacenado en los suelos del “Bosque Protector Murocomba” en aproximadamente un 40%. Sin embargo, las presiones antropogénicas dirigidas a convertir los bosques en pastizales son la principal causa de pérdidas de C desde los pool del suelo, generando modificaciones en los balances de nutrientes, $C_{orgánico}$, y BMS. Esta investigación es en el primer reporte del efecto del cambio de uso del suelo por actividades antropogénicas (bosque natural a pastizales) sobre los contenidos de $C_{orgánico}$, emisiones de CO_2 y BMS en suelos de bosques ubicados en las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes Ecuatorianos, empleando como indicador biológico de dichos cambios a la BMS. Este estudio constituye una línea base para futuros estudios de biogeoquímica local, regional y global.

V. AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación FOCICYT–UTEQ–PFOC–3–1–2016, “Emisiones de CO_2 y contenidos de carbono de la biomasa microbiana del suelo en bosque montano de las estribaciones Occidentales de los Andes Ecuatorianos, sometidos a cambios de uso por presiones antropogénicas”.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ananyeva, N.D.; Susyan, E.A.; Chernova, O.V.; Chernov, I.Y. & O.L. Makarova. 2006. The ratio of fungi and bacteria in the biomass of different types of soil determined by selective inhibition. *Microbiology* 75(6): 702-707.
- Bailey, V.; Smith, J. & H. Bolton Jr. 2002. Fungal to bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 997-1007.
- Beare, M.H.; Naylor, C.L.; Coleman, D.C. & W.L. Hargrove. 1990. A Substrate induced respiration (SIR) method for measurement of fungal and bacterial biomass on plant residues. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 285-594.
- CDS (Comisión sobre el Desarrollo Sostenible). 2008. Sinopsis de los progresos hacia el desarrollo sostenible: examen de la ejecución del Programa 21, del Plan para su ulterior ejecución y del Plan de Aplicación de las Decisiones de Johannesburgo, ONU Informe E/CN.17/2008/16-18.
- Céspedes-Flores, F.E.; Fernández, J.A.; Giménez, L.; Leonhardt, E.A. & A.C. Bernerdis. 2018. Carbon retained by litter and roots in different land uses in the semiarid region of Chaco province. *Chilean Journal of Agricultural &*

- Animal Sciences* (ex Agro-Ciencia). 34(2): 165-172.
- Chiu, CY.; Chen, TH.; Imberge, K. & G. Tian. 2006. Particle size fractionation of fungal and bacterial biomass in subalpine grassland and forest soils. *Geoderma* 130: 265-271.
- Cuásquer, E.; González, C.; Gaybor, A.; Jiménez, E. & C. Gonzales. 2008. Plan de manejo del bosque y vegetación protectora "Murocomba" cantón Valencia, provincia de Los Ríos. UTEQ-GAD Valencia-MAE. 46 p.
- Findlay, S.; Tank, J.; Dye, S.; Valett, H.; Mulholland, P.; McDowell, W.; Johnson, S.; Hamilton, S.; Edmonds, J.; Dodds, W. & W. Bowden. 2002. A cross-system comparison of bacterial and fungal biomass in detritus pools of headwater streams. *Microbial Ecology*, 43(1):55-66.
- Galicia, L.; Gamboa-Cáceres, A.M.; Cram, S.; Chávez-Vergara, B.P.; Peña-Ramírez, V.S.; Saynes, V. & C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1-29.
- Huygens, D.; Boeckx, P.; Templer, P.; Paulino, L.; van Cleemput, O., Oyarzún, C.; Muller, C. & R. Godoy. 2008. Mechanisms for retention of bioavailable nitrogen in volcanic rainforest soil. *Nature Geoscience* 1: 543-548
- Huygens, D.; Roobroeck, D.; Cosyn, L.; Salazar, F.; Godoy, R. & P. Boeckx. 2011. Microbial nitrogen dynamics in south central Chilean agricultural and forest ecosystems located on an Andisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89:175-187.
- Jangid, K.; Williams, M.A.; Franzluebbers, A.J.; Schmidt, T.M.; Coleman, D.C. & W.B. Whitman. 2011. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. *Soil Biology and Biochemistry* 43(10): 2184-2193.
- Jobbágy, E.J. & R.B. Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10(2): 423-436.
- Lambers, H.; Bishop, J.G.; Hopper, S.D.; Laliberté, E. & A. Zúñiga-Feest. 2012. Phosphorus-mobilization ecosystem engineering: the roles of cluster roots and carboxylate exudation in young P-limited ecosystems. *Annals of Botany* 110(2): 329-348.
- Nakamoto, T. & S. Wakahara. 2004. Development of substrate induced respiration (SIR) method combined with selective inhibition for estimating fungal and bacterial biomass in humic andosols. *Plant Production Science* 7: 70-76.
- Pardo-Plaza, Y.J.; Paolino-Gómez, J.E. &

- M.E. Cantero-Guevara. 2019. Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 2(1): 1-8.
- Pérez, C.A.; Carmona, M.R.; Fariña, J.M. & J.J. Armesto. 2010. Effects of nitrate and labile carbon on denitrification of southern temperate forest soils. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(2): 251-258.
- Redel, Y.; Rubio, R.; Godoy, R. & F. Borie. 2008. Phosphorus fractions and phosphatase activity in an Andisol under different forest ecosystems. *Geoderma* 145(3-4): 216-221.
- Rosero, J.; Vélez, J.; Burbano, H. & H. Ordoñez. 2019. Respiration and microbial biomass quantification in Southern Colombia Andisols. *Agro Sur*; 47(3): 15-25.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R.; Mora, M.; Flores, H. & A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile (revisión 2006). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Serie Actas INIA N° 34. 164 p.
- Silva, P.; Silva, H.; Garrido, M. & E. Acevedo. 2015. Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago –Chile. 82 p.
- Stockmann, U.; Adams, M.A.; Crawford, J.W.; Field, D.J.; Henakaarchchi, N.; Jenkis, M.; Minasny, B.; McBratney, A.B.; Courcelles, B.; Singh, K.; Wheeler, I.; Abbott, L.; Angers, D.A.; Baldock, J.; Bird, M.; Brookes, P.C.; Chenu, C.; Jastrow, J.D.; Lal, R.; Lehmann, J.; O'Doonell, A.G.; Parton, W.J.; Whitehead, D. & M. Zimmermann. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164: 80-99.
- Suárez-Duque, D.; Acurio, C.; Chimbolema, S. & X. Aguirre. 2016. Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2): 171-177.
- Susyan, E.A.; Wirth, S.; Ananyeva, N.D. & E.V. Stolnikova. 2011. Forest succession on abandoned arable soils in European Russia e impacts on microbial biomass, fungal-bacterial ratio, and basal CO₂ respiration activity. *European Journal of Soil Science* 47: 169-174.
- SYSTAT Inc. (2004). <http://www.systat.com/products/sigmaplot>
- Valenzuela, E.; Leiva, S. & R. Godoy. 2001. Potencial enzimático de microhongos asociados a la descomposición de hojarasca de *N. pumilio*. *Revista Chilena*

de Historia Natural 74: 737-749.

Van der Heijden, M.G.; Bardgett, R.D. & N.M. van Straalen. 2008. The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11: 296-310.

West, A.W. 1986. Improvement of the selective respiratory inhibition technique to measure eukaryote:prokaryote ratios in soil. *Journal of Microbiological Methods* 5: 125-138.

Zanabria, R. & J.E. Cuellar. 2015. Carbono total almacenado en los depósitos de diferentes sistemas de uso de tierra del ecosistema alto andino, valle del Mantaro, Junín. *Xilema*, 28: 43-52.