

Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras

Pablo Ignacio Páliz Larrea

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Pablo Ignacio Páliz Larrea

Zamorano, Honduras

2016-11-01

Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras

Pablo Ignacio Páliz Larrea

Resumen. El carbono orgánico es uno de los elementos más importantes del suelo y está influenciado por la altitud, temperatura, precipitación y textura. Los objetivos de este estudio fueron determinar el efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en los suelos, caracterizar el suelo a partir de los 1,600 msnm hasta los 1,950 msnm y su relación con la captura de carbono orgánico en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. Se establecieron cinco áreas de estudio de 100 m² a 1,600 – 1,700 – 1,800 – 1,900 y 1,950 msnm. Se midió el carbono orgánico del suelo (COS) en (g.cm⁻²) ajustado a la pedregosidad y la densidad aparente a 30 cm de profundidad. Se midió el carbono orgánico de la hojarasca (COH) en (g.cm⁻²) en 1 m². También se caracterizó el suelo y se midió la textura del mismo. El COH varía entre medias de altitudes ($P \leq 0.05$) y el grupo a 1,600 msnm con todos los demás grupos ($P \leq 0.05$). El COS varía entre medias de altitudes ($P \leq 0.05$) y entre las alturas de 1,900 y 1,600 msnm ($P \leq 0.05$). Entre las demás altitudes no hubo diferencia significativa. Entre el COS y la altitud no hay una evidente correlación, tampoco entre el COS y las texturas arenosas y arcillosas. Se concluye que la altitud en la Reserva Biológica Uyuca influye en el contenido de carbono orgánico, pero se modifica por la intervención y uso que se la ha dado a través del tiempo.

Palabras clave: Áreas protegidas, edafología, suelos forestales.

Abstract. The organic carbon is one of the most important elements of the soil and its influenced by the altitude, temperature, precipitation and texture. The main objectives of this investigation were determine the altitude effect in the soil organic carbon (SOC), characterize the soil since 1,600 to 1,950 meters above sea level (MASL) and their relation with the capture of organic carbon at the Uyuca Biological Reserve, Honduras. It established five 100 m² study areas located on 1,600 – 1,700 – 1,800 – 1,900 and 1,950 MASL. The SOC was measured on(g.cm⁻²), adjusting it with the bulk density, depth of soil sample, and rock fragments. The leaf litter organic carbon (LOC) was measured on (g.cm⁻²) in 1 m². Also the texture was measured. The mean leaf litter organic carbon varies between altitudes ($P \leq 0.05$) and the altitude 1600 MASL vary with all the altitudes ($P \leq 0.05$).. The median SOC vary between altitudes ($P \leq 0.05$) and between altitude 1,900 - 1,600 MASL groups ($P \leq 0.05$). There is no correlation between SOC and altitude, neither between SOC and clay and sand texture. It concludes the altitude in Uyuca Biological Reserve impacts on the organic carbon content, but it modifies by the historic land use.

Key words: Edafology, forest soils, protected areas.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES.....	18
6. LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de las características morfológicas y físicas del suelo a 1,600-1,700 - 1,800 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras	11
2. Descripción de las características morfológicas y físicas del suelo a 1,900 y 1,950 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	12
3. Carbono orgánico de suelo, hojarasca y total a diferentes altitudes en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	13
4. Textura del suelo en las parcelas de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras....	14

Figuras	Página
1. Distribución de las parcelas de estudio para determinar carbono orgánico en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	4
2. Distribución de mediciones de campo en las parcelas de muestreo instaladas para determinar carbono orgánico en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	5
3. Precipitación vertical de enero hasta julio en la Reserva Biológica Uyuca del 2016.....	8
4. Horizontes de los suelos de 1,600 a 1,950 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	9
5. Relación entre la altitud y el contenido de carbono orgánico del suelo de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras.....	14
6. Relación entre el contenido de arena y Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	15
7. Relación entre el contenido de arcilla y Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.....	16

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos forestales son la sumatoria de áreas sobre la superficie terrestre que sirven como medios para la sostenibilidad de la vegetación forestal. Tienen varias características adquiridas por la influencia pedogenética de tres factores poco comunes en otros suelos como son: presencia de hojarasca, raíces gruesas y profundas y organismos específicos cuya existencia depende de la vegetación forestal (Wilde, 1958). La topografía, geología y el clima crean diferentes tipos de suelos forestales los cuales pueden variar en cortas distancias. Las propiedades físicas, químicas y biológicas son constantemente modificadas por una serie de factores climáticos, los cuales incluyen: lixiviación, estancamiento y adición de materia orgánica (Forestry Commission, 2011).

La mayoría de los suelos forestales son muy pobres para ser utilizados para la producción de cultivos agrícolas. Son suelos más jóvenes, menos desarrollados y tienen desbalances en su constitución química. Toda su fertilidad proviene de material vegetal y animal caído que, a pesar de su poca contribución, sí es significativa (Lutz y Chandler, 1966).

Los suelos forestales cumplen varias funciones importantes en el ambiente, una de ellas es la captura y retención de carbono dependiendo de humedad y temperatura del sitio. El carbono orgánico almacenado en el suelo por el ciclo de carbono representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera superando a la vegetación y a la litósfera (Batjes, 1996; Batjes y Som-broek, 1997). Las consecuencias de la captura de carbono en el suelo serán siempre positivas las cuales incluyen una mayor fertilidad y menores tasas de degradación sean físicas químicas y biológicas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2002). Además, el carbono orgánico es uno de los elementos más importantes en el suelo debido a que influye en el crecimiento de las plantas por ser una fuente importante de energía e incentiva la disponibilidad de nutrientes a través de la mineralización. También es la principal fuente de energía y nutrientes para microorganismos (SoilQuality, 2011).

La hojarasca es una capa superficial en el suelo del bosque de restos orgánicos sueltos que consta de partes de la planta como ramas, hojas y frutos recién caídos y ligeramente descompuestos (Herman y Talbot, 1984). Los mayores aportes de carbono orgánico en el suelo son por raíces de plantas forestales, aunque la hojarasca también aporta cantidades considerables de dicho elemento, pero depende del tipo de la misma presente en el suelo (Céspedes, s.f). Además, crea protección en forma de cobertura natural evitando altas tasas de erosión por precipitación en suelos descubiertos.

El carbono orgánico en los bosques forestales se distribuye en los individuos vegetales, el suelo, la hojarasca, la necromasa (horizonte O) y el material parental (MacDicken, 1997).

Fonseca, Alice, Montero, Toruño y LeBlanc. (2008) determinaron en plantaciones forestales de Costa Rica de corpos (*Vochysia guatemalensis*), pilón (*Hieronyma alchorneoides*) y bosques secundarios, que la mayor proporción de carbono orgánico se encuentra en el suelo. Además, Gamarra (2001) reportó que la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a las reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en los árboles.

Actualmente se mide el carbono orgánico almacenado en el suelo (COS) multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por la densidad aparente por el porcentaje de pedregosidad y por la profundidad de muestreo (Batjes, 2000; Gardi et al., 2014; Kern, 1994; Lettens, Orshoven, Wesemael, y Muys, 2006; Meersmans, De Ridder, Canters, De Baets y Van Molle, 2008). Sin embargo, aún no se ha estandarizado la profundidad de muestreo, aunque la más utilizada es a 100 centímetros (cm) de profundidad para ecosistemas intervenidos (Li et al., 2015). Álvarez, García, Krasilnikov y García (2013) usaron una profundidad de 30 cm en bosques latifoliados de Oaxaca, México encontrando diferencias significativas al comparar resultados obtenidos a 1,500- 2,000 msnm de 220 toneladas carbono orgánico por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$) con resultados de altitudes mayores de 2,400 msnm con $158 t \cdot ha^{-1}$.

Las predicciones de COS deben ser tomadas con cautela debido a que el suelo es un ente muy dinámico y sus valores dependerán de múltiples factores, sean estos biológicos, ambientales y topográficos. La temperatura y la humedad son los factores más influyentes en la síntesis de dicho elemento. Lal (2002) demostró que en ecosistemas desérticos existen porcentajes entre 0.1 y 0.5% (rara vez sobrepasan el 1%) de COS debido a que a mayor temperatura existen escapes de carbono en forma de CO_2 a la atmósfera. Por el contrario, abundantes lluvias incentivan la descomposición de materia orgánica a ser transformada en carbono orgánico y además, incrementan las tasas de lixiviación de nutrientes y reducción de pH (Schuur y Matson, 2001).

La altitud es un factor que influye en las diferentes variaciones de carbono orgánico que pueden suceder en el suelo. Investigaciones hechas por Griffiths et al. (2009) en la zona montañosa de Oregon, Estados Unidos, concluyeron que, a mayor altitud, existen diferencias significativas en el incremento de síntesis de carbono orgánico lábil, precipitaciones anuales, presencia de materia orgánica, actividades microbianas y amonio extractable. Solo el pH y la temperatura tienen una reducción significativa al incrementar la altitud.

La Reserva Biológica Uyuca (RBU) es una pequeña área protegida dedicada exclusivamente a la conservación de la biodiversidad, bienes, servicios (especialmente de agua) y a la investigación científica. La reserva consta de una zona de amortiguamiento de 580 ha y una zona núcleo de 237 ha. El perímetro de la RBU es de 7,313 metros. Actualmente el Departamento de Ambiente y Desarrollo (IAD) de la Universidad Zamorano se encuentra a cargo de la RBU desde el año 1985 la cual es dueña de 356.2 ha. La reserva cuenta con un plan de manejo aprobado por el Instituto Nacional de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) el cual cumple con todos los requisitos de manejo y protección (Mora y Lopez, 2011).

En el plan de manejo de la Reserva Biológica Uyuca se calculó el total de carbono que se está almacenando en el bosque nublado y en el bosque de pino en individuos con un DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor a 10 cm. Se logró estimar que la reserva contiene 102,503 t de carbono en el bosque nublado y 56,749 t de carbono en el bosque de pino dando un total de 159,252 t de carbono capturado (Mora, Lopez, Acosta y Maradiaga, s.f).

A pesar que se ha calculado el carbono capturado en individuos forestales, no existe ninguna investigación dedicada a calcular el carbono orgánico en el suelo. Tampoco existen investigaciones sobre cómo factores topográficos y climáticos podrían influir en la química, física y microbiología del suelo de la RBU.

La investigación edafológica en la RBU no ha tenido la misma oportunidad que los suelos agrícolas. Una investigación del carbono orgánico en el suelo contribuirá en conocer mejor los procesos naturales que ocurren en la reserva y sobre el estado de síntesis de carbono orgánico en el Uyuca como un área protegida.

Los objetivos del presente estudio fueron determinar el efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Biológica Uyuca, caracterizar el suelo del Uyuca a partir de los 1,600 msnm y su relación con la captura de carbono orgánico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Reserva Biológica Uyuca, la cual está situada a 15 km al sureste de la ciudad de Tegucigalpa y a 14 km de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. El sitio de estudio tiene una temperatura media anual entre 14.8 y 16.6 °C, basado en un gradiente térmico de 6 °C de descenso en la temperatura por cada 100 msnm. La precipitación promedio total anual es de 2,000 mm (Pérard, 2011). La evapotranspiración promedio es 0.25-0.5 mm a alturas mayores de 1,700 msnm (Mora et al., s.f). El estudio se realizó de enero hasta julio del 2016 en cinco parcelas permanentes ubicadas a 1,600 - 1,700 - 1,800 - 1,900 y 1,950 msnm (Figura 1).

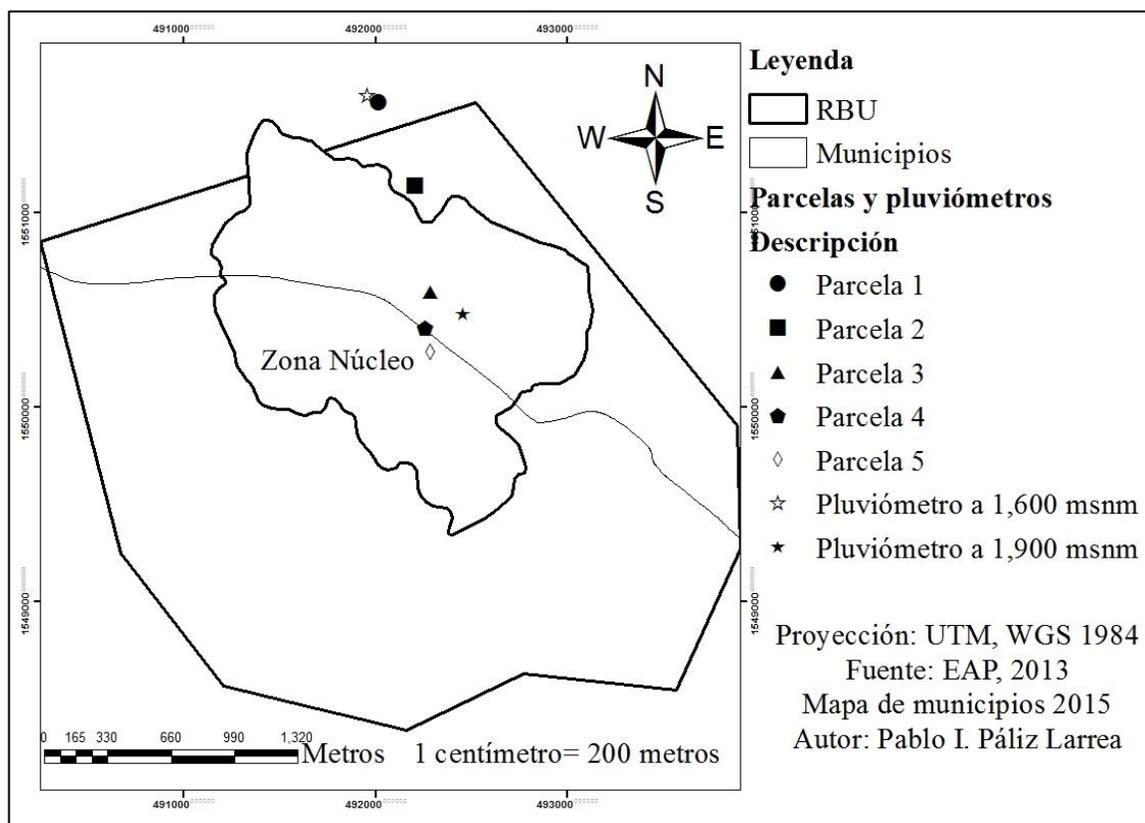


Figura 1. Distribución de las parcelas de estudio para determinar el carbono orgánico en la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras.

En la RBU existen tres zonas de vida de acuerdo a la clasificación de Holdridge (1967). La más predominante en el área de estudio y en la zona núcleo es el Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MBS) (Mora y Lopez, 2011).

La cobertura del suelo en los sitios de estudio a los 1,600 msnm es muy escasa con hojas de cítricos poco descompuestas, a los 1,700 msnm la cobertura es principalmente hojarasca de pino. A partir de los 1,800 msnm hasta los 1,950 msnm la cobertura que presenta es típica de bosques de coníferas y latifoliados poco intervenidos.

Las parcelas de estudio midieron 10×10 m para un área de 100 m^2 y fueron divididas internamente en 25 cuadrantes de 4 m^2 cada una. Las parcelas de 1,700 a 1,900 msnm no han sufrido ninguna intervención antropogénica, mientras que la parcela ubicada a 1,600 si la ha tenido y hay indicios de intervención en la parcela localizadas a 1,950 msnm.

Metodología de campo.

Precipitación del Uyuca. Se midió la precipitación diaria en la reserva desde enero hasta julio del 2016 utilizando dos pluviómetros estándar manuales, uno instalado a los 1,600 msnm con coordenadas 492020.76, 1551563.91 y el otro a los 1,900 msnm con coordenadas 492457, 1550481.

Características físicas del suelo. Se caracterizó el suelo mediante calicatas de $1 \times 1 \times 1$ m si la profundidad lo permitió. La elección del sitio para la elaboración de las calicatas fue al azar en las parcelas. Se analizaron condiciones físicas tales como profundidad de cada horizonte, color, textura, estructura, resistencia a la penetración, presencia de raíces y pedregosidad siguiendo el protocolo establecido por FAO (2009).

Toma de muestras. En cada parcela instalada se seleccionaron cuatro subparcelas de 4 m^2 elegidas al azar (Figura 2). Se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad usando un barreno. Siguiendo la recomendación de Griffiths y Swanson (2001), cada barrenación se realizó por lo menos a 5 m de distancia para que sean estadísticamente independientes. Se pesó toda la hojarasca encontrada en 1 m^2 y se obtuvo una submuestra homogénea.

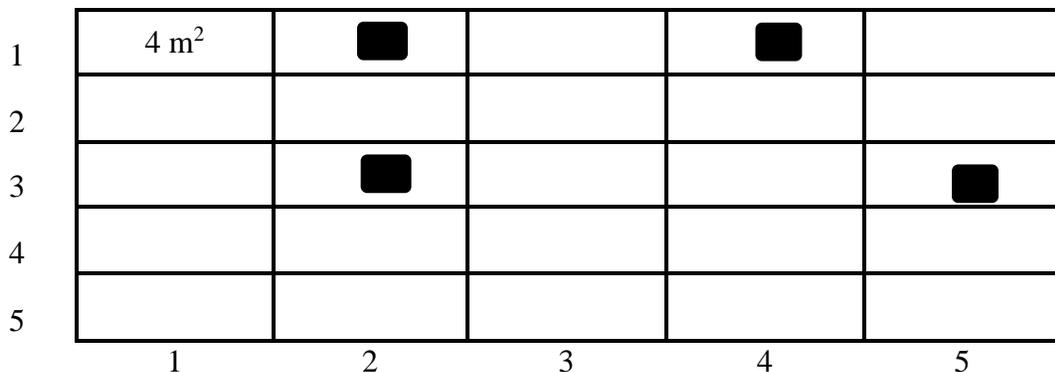


Figura 2. Distribución de mediciones de campo en las parcelas distribuidas en la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras.

Metodología de laboratorio.

Cálculo Carbono Orgánico en Hojarasca (COH). Para determinar el carbono en hojarasca se utilizó la ecuación [1] establecida por Serrato, Adame, Lopez y Flores (2014).

$$\text{COH} = \frac{Y \times \% \text{COH}}{\text{AM}} \quad [1]$$

Donde:

COH= Carbono orgánico de hojarasca (g.cm^{-2})

Y= Biomasa (g)

%COH= Carbono orgánico en hojarasca (%)

AM= Área de muestreo (cm^2)

La biomasa se calculó utilizando la ecuación [2] establecida por Cerrato et al. (2014).

$$Y = (\text{Pft}) - (\text{Pft} \times \text{CH}) \quad [2]$$

Donde:

Pft= Peso fresco total de hojarasca recolectada en 1 m^2 (g)

CH= Contenido de humedad (%)

El contenido de humedad se calculó utilizando la ecuación [3] establecida por Cerrato et al. (2014).

$$\text{CH} = \frac{(\text{Pfs} - \text{Pss})}{\text{Pfs}} \quad [3]$$

Siendo:

Pfs= Peso fresco de la submuestra (g)

Pss= Peso seco de la submuestra (g)

Carbono Orgánico en Suelo (COS). Para determinar la cantidad de carbono orgánico en el suelo se utilizó la ecuación [4] establecida por Gardi et al. (2014).

$$\text{COS} = \% \text{COS} \times \text{DA} \times \text{T} \times (1 - \text{FG}) \quad [4]$$

Donde:

COS = Carbono orgánico del suelo (g.cm^{-2})

%COS= Carbono orgánico en el suelo (%)

Da= Densidad aparente del suelo en (g.cm^{-3})

T= Espesor de la capa o muestreo o profundidad de barrenación (cm)

FG= Contenido de cuerpos gruesos mayores a 2 mm (% peso seco)

Los resultados pueden ser expresados en g.cm^{-2} , kg.cm^{-2} , kg.m^{-2} o t.ha^{-1} totales (FAO, 2002). En este estudio se utilizó la unidad g.cm^{-2} .

Se calculó la densidad aparente del suelo utilizando el método de la probeta, el cual consiste en dividir el peso seco del suelo calentado a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ a peso estable para su volumen aparente en una probeta (Arévalo y Gauggel, 2013).

Para determinar el porcentaje de carbono orgánico del suelo y de la hojarasca se utilizó el método internacionalmente validado de Walkley y Black, el cual consiste en la oxidación de la materia orgánica con una solución de dicromato de potasio en un medio sulfúrico (Rowell 1994). Después se multiplicó el valor resultante por 0.58, esto debido a que se ha demostrado que el 58% de la materia orgánica es carbono orgánico (Pribyl, 2010). Para las muestras de hojarasca se siguió el mismo protocolo, pero fueron previamente molidas para su correcta descripción.

Cálculo Carbono Orgánico Total (COT). Para determinar el carbono total se sumó el carbono del suelo más el carbono orgánico de la hojarasca. Los datos fueron expresados en g.cm^{-2} .

Análisis textural de los suelos. Se identificó la textura de cada sitio de muestreo utilizando el método de Bouyoucus (Arévalo y Gauggel, 2013).

Variables medidas. Carbono orgánico de la hojarasca, carbono orgánico del suelo, carbono orgánico total.

Tratamientos y diseño experimental. Los tratamientos de carbono orgánico del suelo se plantearon en función de la altura de cada parcela evaluada a 1,600 - 1,700 – 1,800 – 1,900 y 1,950 msnm. El diseño fue de parcelas al azar divididas con cuatro repeticiones por tratamiento dando un total de 20 unidades experimentales.

Análisis estadístico. Se determinaron diferencias significativas de cantidad de carbono orgánico del suelo, hojarasca y total entre las diferentes altitudes de muestreo. Se utilizó la prueba estadística ANOVA de un factor para la separación de medias por medio de un test Tukey a $P \leq 0.05$ utilizando el programa estadístico Excel Statistic®. Además, se buscaron regresiones y correlaciones de Pearson entre el contenido de carbono orgánico, arena y arcilla, y una correlación entre altura y contenido de carbono orgánico del suelo, con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS®) versión 19.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación en la RBU. Los valores obtenidos muestran un cambio en la época de lluvias siendo los meses de enero y febrero los de menor precipitación, mientras que Mora et al. (s.f) menciona que los meses más secos son marzo y abril. Además, hubo mayor precipitación a menor altura obteniendo casi 100 mm más que en el mes de mayo (Figura 3). La precipitación total fue 382.8 mm a 1,900 msnm y 1,109.6 mm a 1,600 msnm.

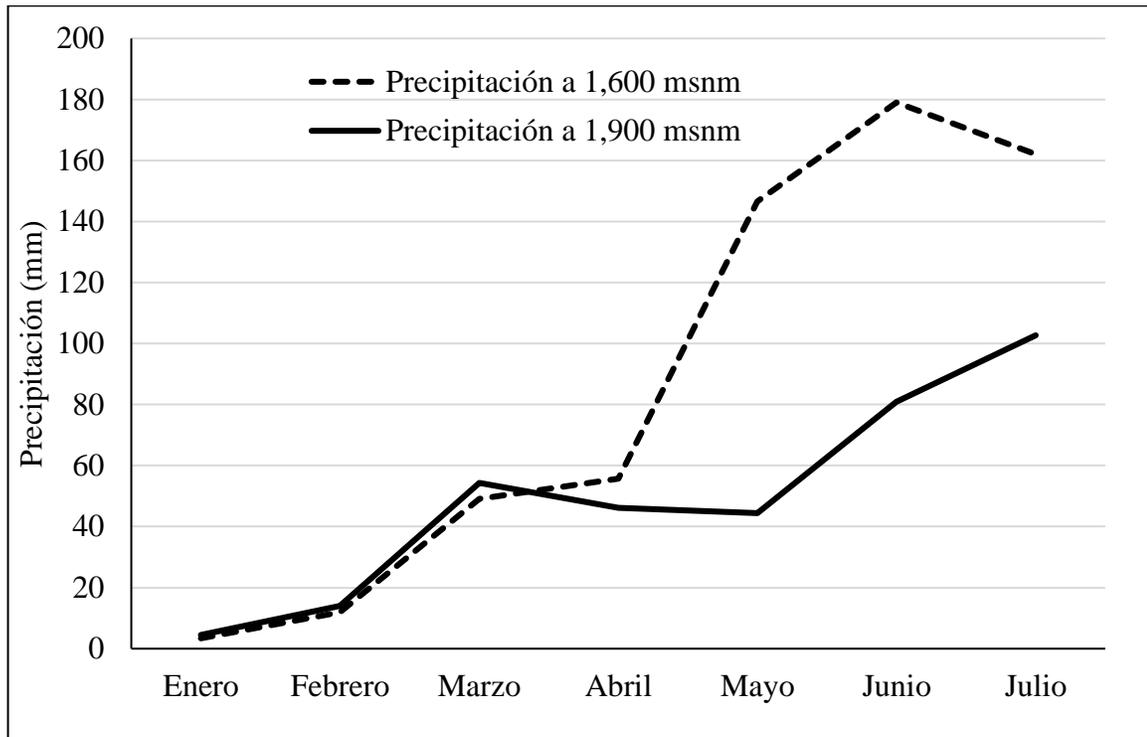


Figura 3. Precipitación vertical de enero hasta julio del 2016 en la Reserva Biológica Uyuca.

Suelos. Las características cualitativas del suelo de los sitios muestreados a diferentes estratos altitudinales son variables y presentan particularidades relevantes. Los suelos caracterizados de las parcelas presentan rasgos típicos de suelos con horizontes superficiales ricos en materia orgánica y variables en profundidad, los cuales son más evidentes a medida que incrementa la altitud (Figura 4).

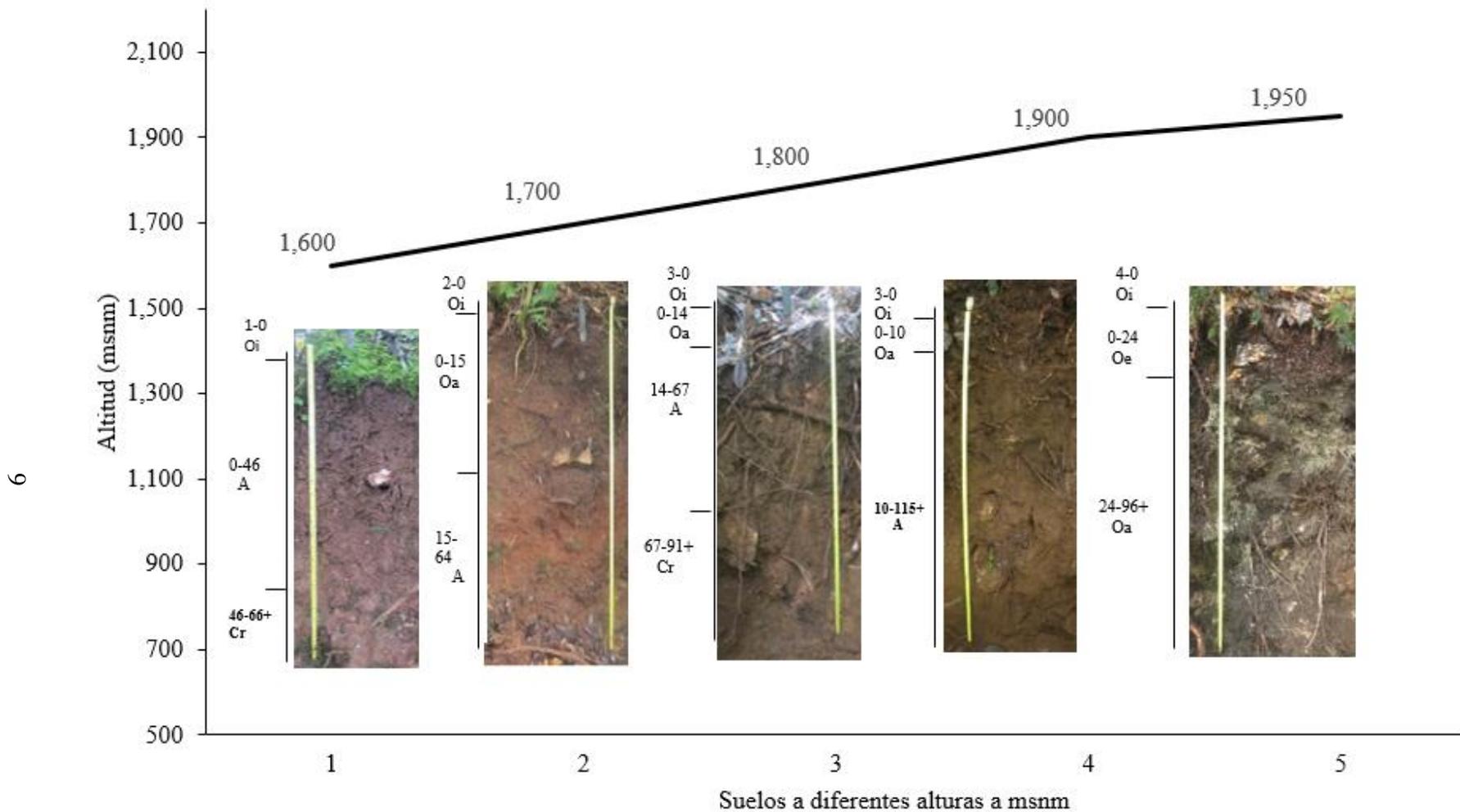


Figura 4. Horizontes de los suelos de 1,600 a 1,950 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

Símbolos: Oi= Horizonte con materia orgánica poco descompuesta, A= Horizonte A, Cr= Horizonte con roca madre meteorizada, Oa= horizonte con materia orgánica descompuesta, Oe= horizonte con materia orgánica medianamente descompuesta.

A la altitud de 1,950 msnm los suelos presentan mayor profundidad del horizonte “O”, encontrándose en diferentes estados de descomposición. Dichas características se reflejan en horizontes orgánicos poco descompuestos (Oi), medianamente descompuestos (Oe) y totalmente descompuestos (Oa) (Arévalo y Gauggel 2013).

Se determinaron los colores de los suelos de las parcelas los cuales son colores pardos oscuros (predominando los colores 10 YR 3/2, 10 YR 3/3, 10YR 4/3 y 10 YR 4/6) y este que denota la síntesis de materia orgánica (Cuadros 1 y 2). Los colores 10YR muestran un contenido de carbono orgánico de aproximadamente 0.1 kilogramos por metro cuadrado por centímetro de profundidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Arévalo, Brito y Sarmiento, 2014). Dichos resultados son relativamente bajos comparados con colores de 2.5 YR y 5 YR que muestran una síntesis media carbono en el suelo de $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}^{-1}$.

En su mayoría, la estructura de los suelos es de tipo bloques subangulares con grado moderado y clase media, los cuales son comunes en suelos con poco contenido de arcilla. La presencia de raíces es abundante en los horizontes más superficiales, lo cual influye positivamente a la unión mecánica de los agregados en conjunto con hifas de hongos en el suelo. Además, las raíces producen compuestos orgánicos llamados exudados que actúan como cementantes y adherentes naturales (Osman, 2013).

Carbono Orgánico.

Carbono Orgánico de la Hojarasca (COH). El COS a 1,600 msnm fue mayor ($0.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) ($P \leq 0.01$) respecto al contenido de COH en las demás altitudes (1,700 a 1,950 msnm), donde varió de 0.1 a $0.08 \text{ (g}\cdot\text{cm}^{-2})$ y entre las cuales no hubo diferencias significativas (Cuadro 3). Dicho fenómeno se puede atribuir a que, a 1,600 msnm, la cobertura de hojarasca es de cítricos y aún no se ha incorporado al suelo, por lo que ha permanecido sin descomponerse. A partir de los 1,700 msnm la hojarasca ha tenido el tiempo y condiciones necesarias para poder descomponerse e incorporarse al suelo, ya que la cobertura a esas alturas es de bosque latifoliado y mixto.

El aporte de la hojarasca, al carbón total, es menor de 10% desde los 1,700 msnm hasta altitud. A los 1,600 msnm el aporte de carbono de la hojarasca al total de carbono del 21%. Es común que las cantidades de carbono orgánico por hojarasca sean bajas en comparación al suelo y material vegetal esto debido a su fácil pérdida por lluvias y deslizamientos (Fonseca et al., 2008). Valores similares fueron encontrados por Serrato et al. (2014) (0.08 a $0.36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) en bosques de coníferas de la Biósfera Mariposa Monarca, Chincua, México.

Carbono Orgánico del Suelo (COS). A los 1,900 msnm el aporte del COS fue el más alto ($1.82 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) pero estadísticamente similar a los suelos de altitudes superiores a 1,700 msnm, donde varió de 1.18 a $1.24 \text{ (g}\cdot\text{cm}^{-2})$. Se obtuvo diferencias significativas entre altitudes de 1,600 msnm y 1,900 msnm ($P \leq 0.05$). Los valores se encuentran por debajo de los reservorios de carbono orgánico en el suelo de los bosques montanos de Niebla de México ($4.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) (Alvarez et al., 2013), pero por encima de los suelos del sur de los Himalayas, India ($0.42 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) de 1,769 a 2,500 msnm (Dorji, Odeh y Field, 2014).

Cuadro 1. Descripción de las características morfológicas y físicas del suelo a 1,600 – 1,700 y – 1,800 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

N°	Ho	Prof (cm)	Color	Text	Estructura			Consistencia			R.P kg/cm ²	Poros			Raíces		Pedreg	
					Tip	Grad	Clas	Sec	Hu	Mo		Tam	For	Can	Ta	Ca	Ta	Can (%)
	Oi	1-0																
1	A	0-46	10 YR 4/3	FAR	ba	m	m	d	fi	mpg, mp	0.5	m	t	f	tg	p	m	<25
	Cr	46-66+	10 YR 4/6								5.0						g	>75
Observaciones: nivel freático a los 45 cm de profundidad																		
	Oi	2-0																
2	Oa	0-15	10 YR 4/2	FARa	mi	d	m	b	f	pg, pl	0.3	t	t	m	tg	f	m	>20
	A	15- 64	10 YR 4/4	FARa	bsa	m	m	ld	f	lp,lp	2.0	g	t	p	m	p	m	>20
	Cr	64-124+	10 YR 3/2	F	mi	d	m	ld	f	pg, lp	1.5	f	t	p	m	p	m	>50
	Oi	3-0																
3	Oa	0-14	10 YR 3/2	FA	mi	d	f	b	mf	lp, np	0.2	t	t	a	tg	m	mf	<5
	A	14-67	10 YR 4/6	FAR	bsa	d	f	ld	fi	pg,p	0.5	g	t	f	tg	m	m	>20
	Cr	67-91+	10 YR 4/6								5.0						g	>50

Números: 1= parcela a 1,600 msnm, 2= parcela a 1,700 msnm, 3= parcela a 1,800 msnm. Símbolos: Ho= horizonte, Prof= profundidad. Textura= textura, FA=: franco arenoso, F= franco, FARa= franco arcillo arenoso, FAR= franco arcilloso, Text= textura, Tip=tipo, bsa= bloques subangulares, ba= bloques angulares, g= granular, mi= migajosa; Grad=grado, m= moderado, d= débil; Clas= clase, m= mediana, f= fina, Sec= seco, d= duro, b= blando, ld= ligeramente duro. Hu= húmedo, mf= muy friable, f= friable, Mo= mojado, lp =ligeramente pegajoso, p= pegajoso, mp= muy pegajoso, np= no plástico, lp= ligeramente plástico, p= plástico. R.P= Resistencia a la penetración. Poros: Tam= tamaño, g= gruesos, m= mediano, f= finos, For=forma, t= tubular; Can= cantidad, , p= pocos, f= frecuentes, m= muchos. Ta=tamaño, tg= todos los grosores, m= mediana; Ca= cantidad, p= pocos, f= frecuentes, m= muchos; Pedreg= pedregosidad, Ta= tamaño, g= gruesa, m= mediana; Can= cantidad.

Cuadro 2. Descripción de las características morfológicas y físicas del suelo a 1,900 y 1,950 msnm en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

N°	Ho	Prof (cm)	Color	Text	Estructura			Consistencia			R.P kg/cm ²	Poros			Raíces		Pedreg	
					Tip	Grad	Clase	Sec	Hu	Moj		Tam	For	Can	Ta	Ca	Ta	Cant (%)
4	Oi	3-0																
	Oa	0-10	10 YR 3/3	FARL	bsa	m	m	ld	f	lpg, lp	0.5	t	t	m	tg	m	m	<10
	A	10-115+	10 YR 4/6	FAR	bsa	m	m	ld	fi	lp,p	0.7	t	t	f	tg	m	g	>50
5	Oi	4-0																
	Oe	0-24	10 YR 3/3	FA	mi	d	f	b	f	lpg, lp	0.3	t	t	m	tg	m	m	<20
			10 YR 4/3 (50%)															
	Oa	24-96	10 YR 6/2 (50%)	L	bsa	m	m	b	f	pg, p	0.5	t	t	m	tg	m	m	>25
	Cr	96-124+									5.0						g	>75

Números: 4= parcela a 1,900 msnm, 5= parcela a 1,950 msnm. Símbolos: Ho= horizonte, Prof= profundidad, Text= textura, FA= franco arenoso, FARL= franco arcillo limoso, L= franco limoso, FAR= franco arcilloso, Tip= tipo, bsa= bloques subangulares, mi= migajosa, Grad= grado, m= moderado, d= débil; clase= m: mediana, f= fino, Sec= seco, b= blando, ld= ligeramente duro, Hu= húmedo, f= friable; Moj= mojado, lp= ligeramente pegajoso, pg= pegajoso, np= no plástico, lp= ligeramente plástico, p= plástico. RP= Resistencia a la penetración, Tam= tamaño, t= todos los tamaños, For= forma, t= tubular; cant= cantidad, f= frecuentes, m= muchos, Raíces: Ta= tamaño, tg= todos los grosores, Cant= cantidad, m= mucho, Pedreg= pedregosidad; Ta= tamaño, g= gruesa, m= mediana, Cant= cantidad.

Cuadro 3. Aporte de carbono orgánico de suelo, hojarasca y total a diferentes altitudes en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

Altitud msnm	g.cm-2					Aporte %	
	COH		COS		COT	COH	COS
1600	0.18 ± 0.02	a	0.67 ± 0.10	b	0.86 ± 0.10	21	79
1700	0.10 ± 0.01	b	1.24 ± 0.20	a	1.35 ± 0.30	8	92
1800	0.08 ± 0.00	b	1.18 ± 0.20	a	1.26 ± 0.20	6	94
1900	0.09 ± 0.01	b	1.82 ± 0.29	a	1.91 ± 0.29	5	95
2000	0.10 ± 0.01	b	0.95 ± 0.06	a	1.05 ± 0.05	9	91
P	**		*		ns		

Símbolo: COS= carbono orgánico del suelo, COH= carbono orgánico de hojarasca, COT= carbono orgánico total, ±= error estándar de la media, Sig= significancia, *=significancia entre 0.05-0.01, **= significancia entre 0.01- 0.0002, ns= no significante.

Los valores de COS a los 1,950 msnm son contrarios al comportamiento predecible de un mayor contenido de COS por la reducción de temperatura y aumento de materia orgánica (Dorji et al., 2014; Jones, Hiederer, Loveland y Montanarella, 2003). Una posible explicación de la reducción de carbono orgánico a esta altitud se debe a que el sitio ubicado a 1,950 msnm en el pasado de ocupó por agricultores de las comunidades cercanas para cultivar maíz y papa antes de ser declarada Reserva Biológica¹. Las actividades agrícolas reducen la cantidad de carbono orgánico en el suelo, esto por incrementar las emisiones como CO₂ a la atmósfera por remoción de agregados (Farage, Perry y Ball, 2003).

Se obtuvo una ecuación [5] entre el COS y la diferencia de altitud de ($R^2= 0.14$) con un ($r= 0.36$). Los resultados no se ajustan a un modelo evidente, por lo que no es posible utilizar una curva exponencial para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (Figura 5).

$$\text{COS}=0.1237e^{0.0012 \times (\text{altitud en msnm})} \quad [5]$$

Carbono Orgánico Total. No hubo diferencia de medias de altitud COT ($P \geq 0.05$), por lo que el contenido de COT es el mismo en todas las altitudes muestreadas. El carbono orgánico total muestra una media de 0.86, 1.35, 1.26, 1.91 y 1.05 g.cm⁻² desde los 1,600 a 1,950 msnm respectivamente (Cuadro 3). El aporte de la hojarasca es mayor comparado a los reportados por Delaney, Brown, Lugo, Torres-Lezama y Quintero, (1997) quienes encontraron valores de 1.4 a 5.9% de aporte de carbono orgánico de hojarasca del total en bosques húmedos tropicales. El aporte del carbono orgánico del suelo es menor si se le compara con cifras de Fonseca et al. (2008) con aportes de 86% de carbono orgánico del suelo en bosques secundarios de Costa Rica.

¹. A. Vallecillo, Guardabosque de la reserva Biológica Uyuca, Comunicación personal, 23 de Julio del 2016.

Textura de los suelos. Los suelos muestran una predominancia de textura arenosa a partir de los 1,700 msnm, mientras que a los 1,600 msnm presentan texturas arcillosas (Cuadro 4). Los altos porcentajes de arena influyen en la débil estructura del suelo. El limo y la arena no tienen las propiedades de adhesión ni cohesión (como las arcillas), por lo que no pueden formar agregados por sí solos (Osman, 2013). El bajo contenido de arcilla influye en los valores de resistencia a la penetración baja de 0.5 a 1.5 (kg.cm⁻²).

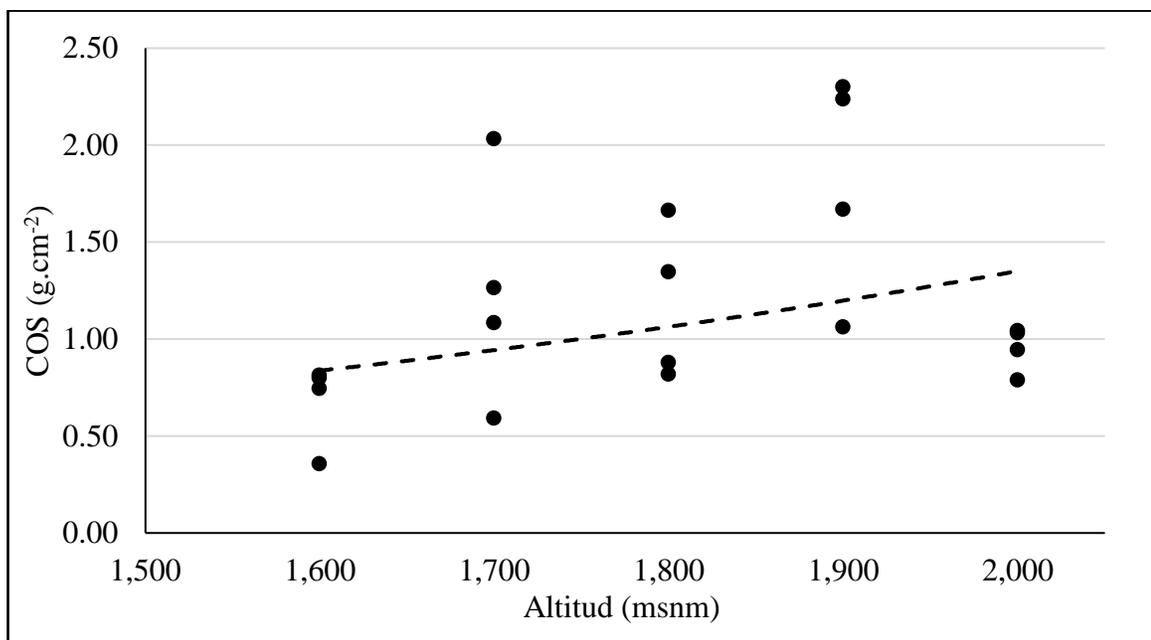


Figura 5. Relación entre la altitud y el contenido de Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras.

Carbono orgánico del suelos y textura. Las ecuaciones [6] y [7] indican que existe una relación entre el COS y la textura. La relación es directamente proporcional a la arena con ($R^2 = 0.43$) ($r = 0.59$) (Figura 6) e inversa al contenido de arcilla con ($R^2 = 0.41$) ($r = 0.52$) (Figura 7).

$$\text{COS (g.cm}^{-2}\text{)} = 0.2684e^{0.0246 (\% \text{ arena})} \quad [6]$$

$$\text{COS} = 14.435e^{-0.027 \times (\% \text{ arcilla})} \quad [7]$$

Cuadro 4. Textura del suelo en las parcelas de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

Altitud msnm	Textura	%			
		Predominancia	Arena	Limo	Arcilla
1,600	Ar	25	30	26	44
	FAr	25	38	28	34
	F	50	39	37	24
1,700	F	25	48	42	10
	FA	75	59	31	9
1,800	L	25	44	50	6
	FA	75	64	31	5
1,900	FA	100	65	29	6
1,950	FA	75	58	36	6
	AF	25	76	22	2

Símbolos: Ar= Arcillosa, FAr= franca arcillosa, F= franca, FA= franca arenosa, AF= arena franca, FL= franca limosa.

Los modelos no se ajustan claramente a un modelo ni a una correlación considerable, por lo que no se puede utilizar una curva exponencial para determinar el COS conociendo la arena o la arcilla.

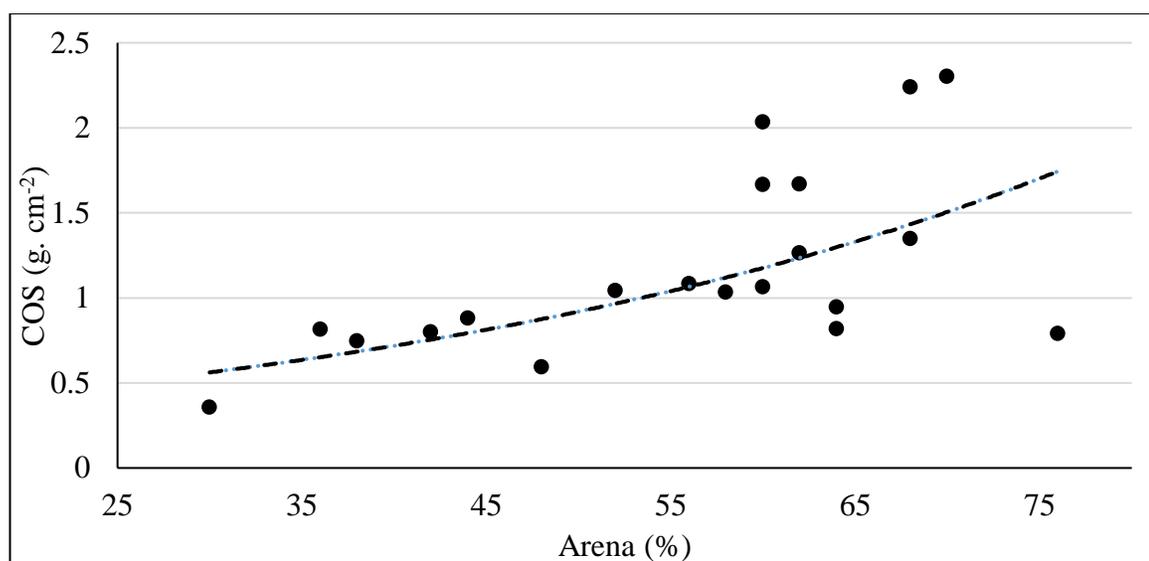


Figura 6. Relación entre el contenido de arena y Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

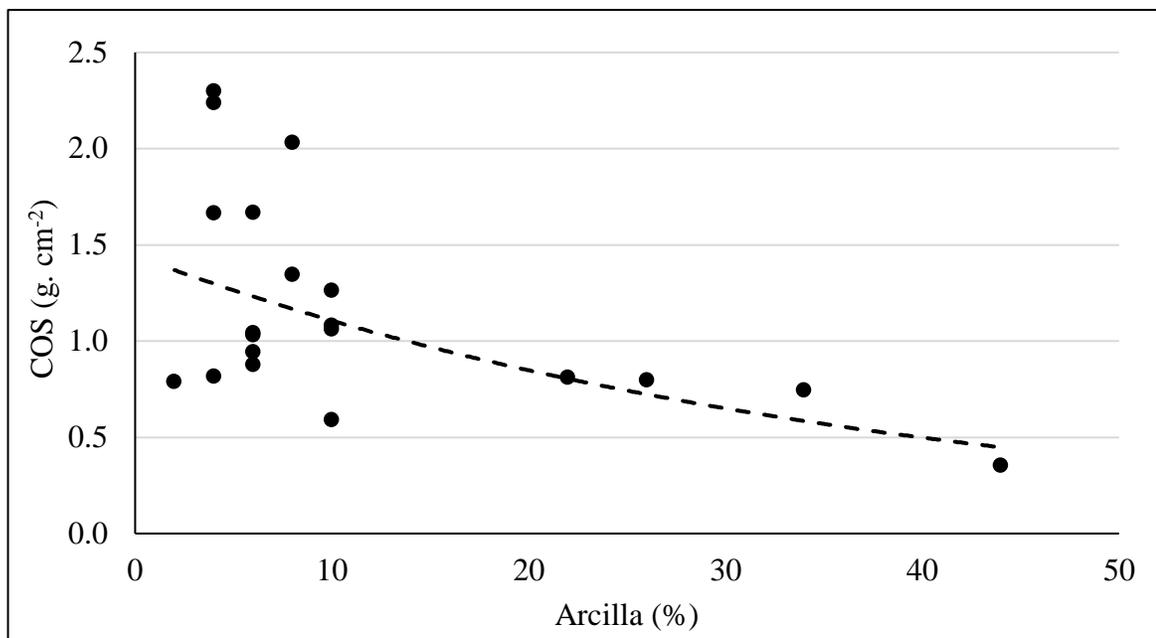


Figura 7. Relación entre el contenido de arcilla y Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.

Comúnmente se encuentran mayores concentraciones de carbono orgánico a mayor porcentaje de arcilla, esto por aportar mayor estabilidad al suelo y reducción de oxidación de la materia orgánica, lo cual se debe a su mal drenaje y menor aireación (Meersmans, De Ridder, Canters, De Baets y Van Molle, 2008) La importancia de la textura en el contenido de COS es muy variable, por lo que difícilmente se explica su interacción. Estudios realizados por Percival, Parfitt y Scott (2000) en suelos agrícolas concluyen que la textura no influyó en las variaciones del COS. Por el contrario, Konen, Burrasy Sandor (2003) reportan altas correlaciones ($r= 0.71$) entre valores de COS y contenido de arcilla.

4. CONCLUSIONES

- El contenido de Carbono Orgánico del suelo de la Reserva Biológica Uyuca no muestra una acumulación clara respecto a la altitud y está influenciado por el tipo de cobertura y la intervención del bosque natural.
- El suelo de la Reserva Biológica Uyuca representa el mayor aporte a la reserva de carbono total evaluado. Los suelos contienen altos porcentajes de arena y bajos en arcilla, lo que produce estructuras frágiles y ante esto un cambio de uso pondría en riesgo la condición del suelo y su papel como reservorio de carbono.

5. RECOMENDACIONES

- Ampliar este estudio a otras áreas de la reserva, especialmente en la zona de amortiguamiento y cuantificar el contenido de carbono orgánico a profundidades de 1 m.
- Cuantificar el carbono orgánico almacenado en raíces e individuos forestales para conocer cuál es su aporte y compararlo con la síntesis de carbono del suelo.
- Mantener un seguimiento en el tiempo de las fluctuaciones de carbono orgánico en el suelo de la RBU, especialmente a 1,950 msnm para conocer el tiempo estimado de recuperación del carbono orgánico.

6. LITERATURA CITADA

- Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P., y García, F. (2013). Almacenes de carbono en Bosques Montanos de Niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47, 171-180.
- Arévalo, G. y Gauggel, C. (2013). *Manual del Laboratorio de Ciencia de Suelos y Aguas* (2nd ed., p. 39-43). Tegucigalpa.
- Arévalo, G., Brito, R y Sarmiento, R. (2014). *Estimación del carbón orgánico por medio del color en suelos de Honduras*. Presentación, Cusco- Peru.
- Batjes, N. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal Of Soil.Science*, 47(2), 151-163. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13652389.1996.tb01386.x>
- Batjes, N. y Sombroek, W. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global.Change.Biology*, 3(2), 161-173. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00062.x>
- Batjes, N. (2000). Effects of mapped variation in soil conditions on estimates of soil carbon and nitrogen stocks for South America. *Geoderma*, 97(1-2), 135-144. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(00\)00031-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(00)00031-8)
- Céspedes, F. (s.f). *Carbono retenido por hojarasca y la biomasa radicular en diferentes usos del suelo del oeste de la provincia de El Chaco, Argentina*. Presentado en convención proyectos de incentivo para la conservación de servicios ecosistémicos de importancia global, Chaco, Argentina
- Serrato, R., Adame, s., Lopez, J., y Flores, D. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario Sierra Chincua, Mexico. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 5(1), 37-39.
- Delaney, M., Brown, S., Lugo, A., Torres-Lezama, A., y Quintero, N. (1997). The distribution of organic carbon in major components of forests located in five life zones of Venezuela. *Trop..Ecol.*, 13(05), 697-708. <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467400010877>
- Dorji, T., Odeh, I., y Field, D. (2014). Vertical Distribution of Soil Organic Carbon Density in Relation to Land Use/Cover, Altitude and Slope Aspect in the Eastern Himalayas. *Land*, 3(4), 1232-1250. <http://dx.doi.org/10.3390/land3041232>

- Farage, P., Perry, J y Ball, A. (2003). Biophysical aspects of carbon sequestration in drylands. Seminar paper presented at University of Essex, UK, 24.
- Fonseca, W., Alice, F., Montero, J., Toruño, H., y LeBlanc, H. (2008). Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforesteria De Las Américas*, 46, 58-61.
- Forestry Commission. (2011). *Forests and Soil*. (p.1-60). Edinburgh, Reino Unido. Forestry Commission.
- Gamarra, J. (2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* labill, en Junin, Perú. *Ecotecnia Para El Desarrollo Sostenible Urbano Rural*, 21.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz-Gaistardo, C., Encina Rojas, A.,... Vargas, R.(2013). *Atlas de suelos de America Latina y el Caribe*. Luxembourg: Publications Office.
- Griffiths, R. y Swanson, A. (2001). Forest soil characteristics in a chronosequence of harvested Douglas-fir forests. *Canadian Journal Of Forest Research*, 31(11), 1871-1879. <http://dx.doi.org/10.1139/x01-126>
- Griffiths, R., Madritch, M., y Swanson, A. (2009). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology And Management*, 257(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.010>
- Herman, G., Talbot., S. (1984). *Glossary of Landscape and Vegetation Ecology for Alaska* . Anchorage, Alaska: Alaska State Office.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Jones, R., Hiederer, R., Loveland, P., y Montanarella, L. (2003). *The map of organic carbon in topsoils in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Kern, J. (1994). Spatial Patterns of Soil Organic Carbon in the Contiguous United States. *Soil.Science.Society.Of.America.Journal*,.58(2),.439. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800020029x>
- Konen, M., Burras, C, y Sandor, J. (2003). Organic Carbon, Texture, and Quantitative Color Measurement Relationships for Cultivated Soils in North Central Iowa. *Soil Science.Society.Of.America.Journal*,.67(6),.1823. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1823>

- Lal, R. (2002). Carbon sequestration in dryland ecosystems of West Asia and North Africa. *Land Degradation & Development*, 13(1), 45. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.477.abs>
- Letten, S., Orshoven, J., Wesemael, B., y Muys, B. (2006). Soil organic and inorganic carbon contents of landscape units in Belgium derived using data from 1950 to 1970. *Soil Use And Management*, 20(1), 40-47. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00335.x>
- Li, Y., Xia, Y., Lei, Y., Deng, Y., Chen, H., y Sha, L. (2015). Estimating changes in soil organic carbon storage due to land use changes using a modified calculation method. *Iforest.-Biogeosciences.And.Forestry*, 8(1), 45-52. <http://dx.doi.org/10.3832/ifor1151-007>
- Lutz, H. y Chandler, R. (1966). *Forest Soils* (2nd ed., p. 30-35). New York, forestry editions.
- MacDicken, K. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects* (p. 87). Arlington, United States Of America: Winrock International.
- Meersmans, J., De Ridder, F., Canters, F., De Baets, S., y Van Molle, M. (2008). A multiple regression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). *Geoderma*, 143(1-2), 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.08.025>
- Mora, J. y López, L. (2011). El Manejo de la Reserva Biológica Uyuca en el Contexto Nacional y Global del Sistema de Áreas Protegidas. *Ceiba*, 52(1). <http://dx.doi.org/10.5377/ceiba.v52i1.976>
- Mora, J., Lopez, L., Acosta, M., y Maradiaga, P. Plan de Manejo Reserva Biológica Uyuca 2013-2025 (pp. 35-40). Escuela Agrícola Panamericana.
- Munsell, A. H. (2009). Munsell book of color. Michigan, Munsell Color.
- Osman, K. (2013). *Forest soils* (p. 19-44). Switzerland, Springer International Publishing.
- Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma, Italia. 61.
- Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2009. Guía para la descripción de Suelos, (4 th ed.). Roma, Italia. 54.
- Osman, K. (2013). Soils: principles, properties and management. *Choice Reviews Online*, 11, 50- 56. <http://dx.doi.org/10.5860/choice.50-6198>
- Perárd, S. (2011). Cuantificación de la precipitación horizontal en el bosque latifoliado maduro del Cerro Uyuca (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Francisco Morazán Honduras.

- Percival, H., Parfitt, R., y Scott, N. (2000). Factors Controlling Soil Carbon Levels in New Zealand Grasslands. *Soil Science Society Of America Journal*, 64(5), 1623. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2000.6451623x>
- Pribyl, D. (2010). *A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma*, 156(3-4), 75-83.
- Rowell, D. (1994). *Soil Sciences: Methods and Applications* (p. 48-49). London. Longman Group Limited, Longman Scientific & Technical.
- Schuur, E. y Matson, P. (2001). Net primary productivity and nutrient cycling across a mesic to wet precipitation gradient in Hawaiian montane forest. *Oecologia*, 128(3), 431-442. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420100671>
- SoilQuality,..(2011). Soil quality indicators: Total Organic Carbon. Soilquality.org. Retrieved.27.October.2016,.recuperado.de: http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html
- Wilde, S. (1958). *Forest Soils* (p. 5-25). Madison, United States of America: The Ronald Press Company.