

Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México

Organic carbon of the litter in the forests of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, sierra Chincua, México sanctuary case

O carbono orgânico na maca em florestas do evento Borboleta Reserva da Biosfera da Monarch Sanctuary viu Chincua, México

Rodolfo Serrato Cuevas¹, Salvador Adame Martínez², José López García³ & David Flores Román⁴

¹Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Magister en Edafología, Doctor en Ciencias Ambientales. ²Licenciado en Geografía, Maestro en Ciencias con especialidad en Edafología y Doctor en Ciencias con especialidad en Edafología. ³Licenciado en Biología, Especialista en Fotointerpretación, Magister en Ciencias, Doctor en Ciencias. ⁴Licenciado en Biología, Magister en Ciencias, Doctor en Ciencias.

¹Facultad de Ciencias Agrícolas. ²Facultad de Planeación Urbana y Regional. ³Instituto de Geografía. ⁴Departamento de Edafología. Instituto de Geología. ^{1,2}Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex).

¹seccum@yahoo.com.mx, ²adame_ms@yahoo.com, ³jlopez@unam.mx, ⁴dflores@unam.mx
^{3,4} Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Resumen

Se estimó el porcentaje de carbono orgánico (CO) y CO capturado en la hojarasca de los bosques de la sierra Chincua de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. El muestreo de la hojarasca se realizó en ocho sitios, a partir de un cuadrado de 0,25 m² (50 cm x 50 cm), en laboratorio se determinó el porcentaje de CO total, resultando para el sitio 3 y 9 y horizonte L un rango de 26.59 a 54.26% y en el resto de sitios y horizonte F, rango de 36.32 a 40.41%. El CO almacenado en t ha⁻¹, a nivel de horizontes, el F varía de 8.82 a 35.96 t ha⁻¹, el L varía entre 1.41 y 34.10 t ha⁻¹. A nivel de sitios, el 2, 3 y 9 varía entre 1.41 y 8.82 t ha⁻¹, en el resto de los sitios varía entre 22.97 a 35.96 t ha⁻¹. Sin diferencia estadística en sitio de muestreo, horizontes y fisiografías para por ciento y almacenamiento de carbono orgánico (F = 0.0776, 0.7270, 0.3157 para % de CO y F = 0.8265, 0.5807, 0.3915 para CO almacenado) respectivamente. En com-

paración de medias, en sitios de muestreo se presentan cinco grupos del por ciento de CO, variando de 26.59 a 54.26%, para carbono almacenado no hay diferencia estadística. Se concluye que el porcentaje de carbono de la hojarasca presenta amplia variación, en los porcentajes de CO y el CO almacenado por la hojarasca en t ha⁻¹.

Palabras clave: hojarasca, fisiografía, horizontes L y F, almacenamiento carbono.

Abstract

It was estimated the percentage of organic carbon (CO) and CO captured in the leaf litter of the sierra Chincua forest in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. The sampling of the litter was carried out in eight places, from a square of 0.25 m² (50 cm x 50 cm), in the laboratory it was determined the total percentage of CO, proving to the site

3 and 9 L horizon and a range of 26.59 to 54.26 % and the rest of places and horizon F, range of 36.32 to 40.41 %. The CO stored in $t\ ha^{-1}$, at the level of horizons, the F varies from 8.82 to 35.96 $t\ ha^{-1}$, the L varies between 1.41 and 34.10 $t\ ha^{-1}$. At place level, the 2, 3 and 9 varies between 1.41 and 8.82 $t\ ha^{-1}$, in the other places it varies between 22.97 to 35.96 $t\ ha^{-1}$. Without a statistical difference in the sampling place, horizons and physiography for percent and storage of organic carbon ($F = 0.0776$, 0.7270 , 0.3157 for % CO and $F = 0.8265$, 0.5807 , 0.3915 for CO stored) respectively. In comparison of averages, in the sampling places there are five groups of the percent of CO, ranging from 26.59 to 54.26 %, for carbon stored there is no statistical difference. It was concluded that the percentage of carbon from the litter presents wide variation in the percentages of CO and stored CO by the litter in $t\ ha^{-1}$.

Key-words: litter, physiography, horizons L and F, carbon storage

Resumo

Foi estimada a porcentagem de carbono orgânico (CO) e CO capturado na serapilheira de florestas da Reserva da Biosfera da Serra Chincua

Reserva Borboleta-monarca, no México. Amostragem da serapilheira foi realizada em oito locais, a partir de um quadrado de $0,25\ m^2$ ($50\ cm \times 50\ cm$). A porcentagem do total de CO foi determinado no laboratório, resultando para o local 3 e 9 e o horizonte L um intervalo de 26,59-54,26% e o resto dos locais e o horizonte F, um intervalo entre 36,32-40,41%. O CO armazenado em $t\ ha^{-1}$, ao nível de horizontes, o F varia 8,82-35,96 $t\ ha^{-1}$, o L varia entre 1,41 e 34,10 $t\ ha^{-1}$. Ao nível de locais 2, 3 e 9 varia entre 1,41 e 8,82 $t\ ha^{-1}$, no resto dos locais varia 22,97-35,96 $t\ ha^{-1}$. Não houve diferença estatística no local de amostragem, horizontes e fisiografia para o armazenamento e por cento de carbono orgânico ($F = 0,0776$, $0,7270$, $0,3157\%$ para porcentagem de CO e $F = 0,8265$, $0,5807$, $0,3915$ para CO armazenado), respectivamente. Na comparação das médias nos locais de amostragem apresentaram-se cinco grupos do porcentagem de CO, que vão 26,59-54,26%, sem diferença estatística para o carbono armazenado. Conclui-se que a porcentagem de carbono na serapilheira tem grande variação nas taxas de CO e CO armazenado pela serrapilheira em $t\ ha^{-1}$.

Palavras-chave: serapilheira, fisiografia, horizontes L e F, armazenamento de carbono

Introducción

En la actualidad se está dando mayor importancia a la conservación de los bosques, para que puedan ser considerados como una fuente de captura de carbono y para tratar de mitigar la acumulación de gases de efecto invernadero que se ligan al cambio climático, así es como se han creado las reservas de la biósfera en México, como es la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Por otro lado, se conoce que los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono de la vegetación. Por tal motivo, merecen atención especial cuando se

estudia el secuestro de carbono. Así, es sabido que el carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, razón por la cual es fundamental conocer el contenido de carbono en este depósito, ya que a su vez es una fuente importante de C, N y P fácilmente mineralizables para el metabolismo microbial en ecosistemas forestales.

El ciclo del carbono

Hoy se mira a los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio

climático, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. Así tenemos que, en el ecosistema terrestre, aproximadamente 120 Gt de carbono se eliminan por la fotosíntesis anualmente. Casi la mitad es retornada a la atmósfera por la respiración de las plantas y otros medios, vía respiración microbial y descomposición de la biomasa. Sin embargo, el suelo almacena aproximadamente 2.300 Gt que son potencialmente vulnerables para liberarse a la atmósfera (DOE/-108, 2008; IPCC, 2007). La comprensión de los procesos que intervienen en este delicado balance y cómo van a responder en futuras condiciones climáticas es un objetivo importante para múltiples agencias gubernamentales.

Los científicos del sistema tierra y los responsables políticos se basan en modelos de ecosistemas, como el “Modelo Comunidad de la Tierra” (CLM) (Oleson *et al.*, 2010) para hacer predicciones sobre las respuestas del ciclo del carbono con el cambio climático en las décadas futuras.

Sin embargo el modelo desarrollado y la validación han resultado difíciles por dos razones princi-

pales: primero, algunos procesos bajo el suelo (tales como impactos hidrológicos, y geoquímicos en el ciclo del C) son indicadores o no representativos en estos modelos; segundo, los procesos bajo el suelo que impactan y el ciclismo son inherentemente complejos y operan a escalas temporal y espacial que abarcan varios órdenes de magnitud. La cuestión de la complejidad de los procesos de múltiples escalas puede estar representada en los modelos del ciclo del C de la próxima generación, aún no se han resuelto (Oleson *et al.*, 2010).

Los ecosistemas bajo el suelo son diversos y heterogéneos. Los procesos y mecanismos que operan son complejos, frecuentemente acoplados y varían ampliamente en las escalas temporales y espaciales. El estudio de los procesos biogeoquímicos debajo del suelo es especialmente difícil porque están ocultos directamente de observaciones y mediciones in situ. A pesar de la complejidad y la variabilidad dependiente del ecosistema, hay elementos y procesos críticos que afectan el ciclo del carbono en la mayoría de los ecosistemas bajo el suelo (Figura 1). Sin embargo la importancia relativa puede variar de ecosistema a ecosistema (U.S. Department of Energy, 2013).

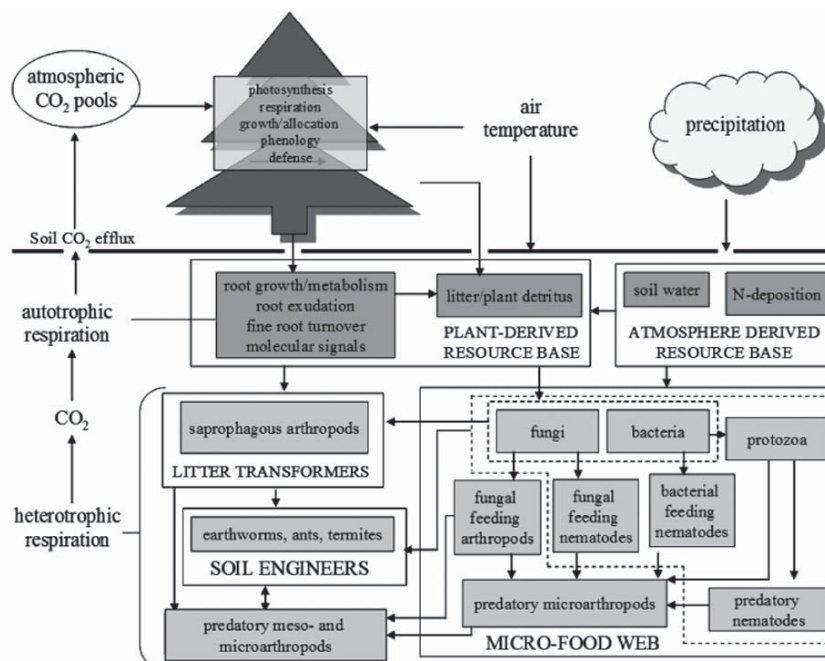


Figura 1. Representación esquemática de algunos procesos y elementos claves del ecosistema terrestre bajo el suelo que impactan al ciclo del carbono (Fuente: Pritchard 2011).

Hoy en día, los cambios en el ciclo del carbono están ocurriendo debido a la gente. El ciclo del carbono es perturbado por la quema de combustibles fósiles y de la limpieza de la tierra. Al limpiar los bosques, se quita un crecimiento denso de las plantas que habían almacenado carbono en la madera, tallos y hojas-biomasa. Mediante la eliminación de un bosque, se eliminan las plantas que de otra manera tomarían el carbono de la atmósfera a medida que crecen. Se tiene la tendencia a sustituir el crecimiento denso con cultivos o pastos, que almacenan menos carbono. Los seres humanos están actualmente emitiendo poco menos de un billón de toneladas de carbono a la atmósfera cada año a través de uso de la tierra (NASA, 2011).

A pesar de lo anterior, el ciclo del carbono ha sido estudiado en cinco grandes espacios, que son conocidos como los grandes almacenadores o “pools”. Estos almacenadores corresponden a la atmósfera con 805 Pg C, los océanos con 38000 Pg C, los depósitos de combustibles fósiles con 5000-10000 Pg C, los ecosistemas boscosos 550 +/- 100 Pg C y los suelos (1500-2000 Pg C en la superficie y a 3 m de profundidad, cerca de 2300 Pg C; (Houghton *et al.*, 2007). Cualquier movimiento de este elemento dentro de estos reservorios, se denomina flujo y las conexiones que se generen entre ellos, formaran un “ciclo cerrado” que teóricamente debe encontrarse en equilibrio o estar balanceado (Houghton *et al.* 2007).

El carbono en el sistema suelo

La biosfera terrestre incluye el carbono orgánico en todos los organismos vivos de la tierra, vivo y muerto, al igual que el carbono almacenado en los suelos. Cerca de 500 Gt de carbono se almacenan en la superficie de las plantas y otros organismos vivos, (Prentice, 2001), mientras que el suelo tiene una capacidad aproximada de 1.500 Gt de carbono. La mayoría de carbono en la biosfera terrestre es el carbono orgánico, mientras que alrededor de un tercio del carbono

del suelo se almacena en formas inorgánicas, tales como carbonato de calcio (Rattan, 2008). El carbono orgánico es un componente principal de todos los organismos que viven en la tierra. Los autótrofos lo extraen del aire en forma de dióxido de carbono, convertirlo en carbono orgánico, mientras que los heterótrofos reciben carbono por el consumo de otros organismos (Rattan, 2008).

El carbono abandona a la biosfera terrestre de varias maneras y en diferentes escalas de tiempo. La combustión o respiración de carbono orgánico libera carbono rápidamente a la atmósfera. También puede ser exportado a los océanos a través de los ríos o permanecer secuestrado en el suelo en forma de carbono inerte. El carbono almacenado en el suelo puede permanecer allí durante miles de años antes de que sea vertido a los ríos por erosión o liberado a la atmósfera a través de la respiración del suelo.

Entre 1989 y 2008 la respiración del suelo aumentó alrededor de 0.1 % por año (Bond-Lamberty & Thomson, 2010). En 2008, el total mundial de CO₂ liberado de la tierra alcanza unos 98 mil millones de toneladas, alrededor de 10 veces más carbono que los humanos están colocando a la atmósfera cada año. Hay algunas explicaciones posibles de esta tendencia, pero la explicación más probable es que el aumento de las temperaturas ha incrementado las tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo, lo que ha incrementado el flujo de CO₂. La longitud de secuestro de carbono en el suelo es dependiente de las condiciones climáticas locales y de este modo cambia en el curso del cambio climático.

Despliegues enormes de carbono en los suelos de los bosques de Estados Unidos podrían ser liberados por el aumento global de las temperaturas, según un estudio realizado por la Universidad de California Irvine y otros investigadores en una edición en línea reciente de la revista de la Academia Nacional de Ciencias (University of California, 2012).

Los científicos encontraron que el calentamiento del suelo en los bosques de Wisconsin y Carolina del Norte por 10 y 20 °C aumentó la liberación de dióxido de carbono hasta en ocho veces. Ellos demostraron por primera vez que la mayor parte de carbono en la superficie del suelo es vulnerable a este efecto de calentamiento (University of California, 2012).

“Se ha encontrado que con décadas de antigüedad, el carbono en los suelos superficiales se libera a la atmósfera más rápido cuando las temperaturas se vuelven más cálidas”. “Esto sugiere que los suelos podrían acelerar el calentamiento global a través de un círculo vicioso en el que el calentamiento por el hombre libera carbono de los suelos a la atmósfera, lo cual, a su vez, calentaría más al planeta” (University of California, 2012).

El suelo, que toma su riqueza, color café por las grandes cantidades de carbono de la descomposición de las hojas y las raíces, sostiene más del doble de la mayor parte del elemento como lo hace la atmósfera, según informes de Naciones Unidas. Anteriormente, no se sabía si el carbono alojado en el suelo durante una década o más serían liberado más rápido a temperaturas más altas, porque es difícil de medir. El equipo, usando isótopos de carbono, descubrió que el carbono más viejo del suelo es de hecho susceptible al calentamiento (Hopkins *et al.*, 2012).

Por lo tanto, los suelos han sido objeto de investigación durante más de un siglo y la ciencia del suelo tiene conexiones profundas con la ecología, la agricultura y la conservación de la naturaleza. De acuerdo a lo anterior, las aplicaciones prácticas más importantes de la ciencia del suelo (en suelos agrícolas, así como en suelos sin disturbar) son, diagnósticos y mantenimiento de la fertilidad del suelo, aspecto que se considera como la capacidad que posee el suelo de proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo en forma equilibrada y, más recientemente, la definición del papel de los suelos en el balance del carbono terrestre en el contexto del aumento

de la concentración atmosférica de CO₂ y el efecto invernadero (Kutsch, Bahn & Heinemeyer, 2009).

El ciclo del carbono en un bosque

El ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono. Si queremos estudiar este ciclo, lo más importante que debemos entender, es la diferencia entre un stock y un flujo de carbono (Honorio & Baker, 2010). Así, por ejemplo, tierras forestales de Wisconsin y Carolina del Norte, que contienen alrededor de 104 mil millones de toneladas de reservas de carbono, han sido una de las mayores incógnitas en predicciones de cambio climático. Bosques del noreste que antes eran campos de cultivo son actualmente uno de los sumideros de carbono benéficos de la Tierra, sostienen casi 26 mil millones de toneladas. Pero los científicos del clima temen que los árboles y los suelos podrían convertirse en fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en lugar de repositorios (Hopkins *et al.* 2012).

El carbono en la hojarasca

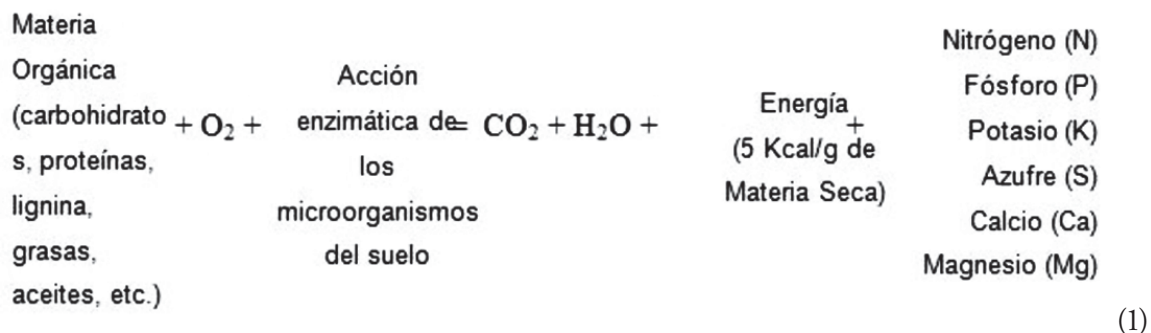
El sistema de la hojarasca es la parte del ecosistema en el que la hojarasca sobre el suelo se acumula y descompone. La mayoría de los estudios sobre la descomposición y el ciclo de los nutrientes han sido conducidos en este ambiente específico. Los sistemas de la hojarasca son muy diferentes en su morfología y en sus composiciones de su comunidad. Esto se refleja en los tipos modales reconocidos en clasificaciones anteriores de los tipos de humus y por las distintas comunidades microbiana y de invertebrados que caracterizan a la hojarasca de diferente calidad (Lavelle & Spain, 2005).

La hojarasca se caracteriza por ser residuos vegetales frescos, sin descomponer, y fácilmente reconocible (por especie y tipo). Esto puede ser cualquier cosa, desde hojas, conos, agujas, ramas,

cortezas, semillas, frutos secos, troncos u órganos reproductivos (por ejemplo, los estambres de las plantas con flores). Elementos de más de 2 cm de diámetro se denominan como hojarasca gruesa, mientras que cualquier cosa más pequeña se conoce como mantillo fino o mantillo. El tipo de hojarasca es el más directamente afectado por el tipo de ecosistema. Por ejemplo, los tejidos de hojas representan aproximadamente el 70 por ciento de la hojarasca en los bosques, pero los residuos leñosos tienden a aumentar con la edad del bosque (Londsdale, 1988).

Por otro lado, en muchos enfoques conceptuales se distinguen tres formas de materia orgánica, que se conocen como, materia orgánica activa del suelo fácilmente descomponible (materia orgánica lábil), las sustancias húmicas más lentas

y las sustancias húmicas pasivas, también a menudo llamada la fuente recalcitrante. Estas fuentes reciben materia orgánica fresca (caída de hojarasca) a través de la entrada de hojarasca, así como del retorno microbiano y otros eventos como los incendios. La hojarasca y las sustancias húmicas resultantes son descompuestas, principalmente por la mayoría de los microorganismos que comprenden a las bacterias, hongos y la meso y macro-fauna del suelo, esa actividad microbiana da como resultado la respiración microbiana y posterior emanación de CO₂ del suelo y cambios en la composición química de la materia orgánica del suelo (MOS), (Kutsch, Bahn & Heinemeyer, 2009). La descomposición o mineralización de los residuos orgánicos por los microorganismos del suelo es netamente un proceso oxidativo, como se muestra en la ecuación 1:



Una vez oxidada, lo que queda de la materia orgánica ha sido definida como humus, que es un material oscuro, heterogéneo y coloidal y responsable en gran parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos (Burés, 2004; Casanova, 2005; Corbella, 2006).

Dado que la materia orgánica del suelo proviene de la hojarasca superficial y las raíces, es más abundante cerca de la superficie que en suelo más profundo. La mayoría de las veces, el carbono y el nitrógeno se concentran dentro de los 30 a 50 cm superficiales de suelo. Esto es importante cuando se considera el manejo de los bosques porque estos centímetros incluyen las capas superficiales de suelo más propensas al daño durante la cosecha y manejo de los bosques. (Ecoplexity, 2010.)

Horizontes orgánicos

En la ciencia del suelo, la hojarasca del suelo se clasifica en tres capas, que se forman en la superficie del horizonte O. Estas son las capas L, F y H (Faculty of Land and Food System, 2012), las características de estas capas son:

L, horizonte orgánico caracterizado por material vegetal relativamente no descompuesto.

F, horizonte orgánico que se encuentra debajo del L se caracteriza por la acumulación de materia orgánica parcialmente descompuesta.

H, horizonte orgánico debajo del F caracterizado por la acumulación de materia orgánica descompuesta en su mayoría completamente indiscernible.

Por último, la capa de hojarasca es muy variable en su espesor, velocidad de descomposición y contenido de nutrientes y se ve afectada en parte por la estacionalidad, las especies de plantas, el clima, la fertilidad del suelo, la altitud y la latitud (Lavelle & Spain, 2005).

El objetivo del presente estudio fue, cuantificar el porcentaje de carbono orgánico y el almacenamiento de carbono orgánico aportado por la hojarasca de los bosques del Santuario Sierra Chincua de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca se localiza en las estribaciones del Eje Neo-Volcánico, entre los límites de los Estados de México y Michoacán. Se encuentra entre las coordenadas geográficas extremas siguientes:

19°18' a 19°45' latitud norte

100°09' a 100°22' longitud oeste

UTM: Latitud norte 2,184,000 y Latitud oeste 355,000

Latitud norte 2,134,000 y latitud oeste 380,000

Altitud entre los 2 750 y 3 400 msnm.

La reserva cuenta con una superficie total de 56 259 hectáreas (López, 2009). A su vez, se divide en 3 zonas núcleo con una superficie total de 13,551-55-20.445 ha y 2 zonas de amortiguamiento de 42,707-49-86.830 ha de superficie total. La reserva no es un área compacta sino que se presenta en “manchones”, conocidos como “Santuarios”, cuyos nombres listados de norte a sur son: “Cerro Altamirano”, “Sierra Chincua”, “Sierra el Campanario”, “Cerros Chivatí-Huacal” y “Cerro Pelón” (Garduño, 2011).

De acuerdo a lo anterior el presente trabajo corresponde principalmente al santuario de la Sierra Chincua. Con una temperatura media anual de 11.4°C, periodo más cálido entre los meses de mayo a septiembre con temperatura media de 13.4°C y un periodo más frío en el resto de los meses, con temperatura media de 9.1°C. La precipitación total anual es de 907.3 mm, con dos periodos de lluvias, uno con mayor precipitación entre los meses de junio a septiembre con lluvia de 684.8 mm y un periodo de menor precipitación de 222.5 mm repartida entre los meses de octubre a mayo. La evapotranspiración potencial anual es de 630.3 mm, con los mismos periodos de evaporación que los de la lluvia. Con un movimiento y almacenamiento de humedad en el suelo de junio a octubre, periodo de acumulación de agua en el suelo de junio a octubre que corresponde a un periodo de acumulación de agua en el suelo, de noviembre a mayo es el periodo de pérdida de agua del suelo. Las demasías de agua en el suelo se presentan de junio a octubre, las deficiencias de agua en el suelo se presentan de marzo a mayo. Y una humedad relativa del 85%.

El clima que prevalece en esta zona corresponde a un moderadamente húmedo, moderada deficiencia de agua invernal, semifrío y baja concentración de calor en el verano. El método empleado utilizado para definir el clima de la zona de estudio fue el de Thornhtwaite, que es el recomendado en estudios del suelo (SARH, 1978).

La investigación total comprende cuantificar la captura de carbono en los suelos de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, cuya superficie es de 56 259 ha, por tal razón, para el muestreo de los suelos y hojarasca de esta zona se planteó realizarlo en función a la fisiografía, definida a través de interpretación de fotografías aéreas, y ubicar los puntos de muestreo de la hojarasca en dichas fisiografías. En relación a esto, la primer etapa de muestreo correspondió al Santuario denominado Sierra Chincua, donde se definieron 5 unidades fisiográficas y sólo en tres fisiografías se localizó hojarasca, denominándose dichas fisiografías como, laderas andesíti-

cas semiparalelas, laderas basálticas cubiertas con piroclastos y piemonte muy disecado. Por lo tanto, en estas tres fisiografías se ubicaron diez sitios de muestreo de la hojarasca, de los cuales solo ocho contaron con hojarasca (sitios, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9). Así mismo, solo en los sitios de muestreo de la hojarasca 3 y 9 se observaron las capas de hojarasca L y F, en el resto de los sitios de muestreo únicamente contaron con la capa de hojarasca L (Figura 2).

Para el muestreo de la hojarasca, se utilizaron pequeñas parcelas con una superficie de 0.25 m², marcando un cuadrado de 50 x 50 cm.

El proceso de muestreo consistió en coleccionar manualmente todo el material vegetal localizado dentro del cuadrado marcado y se pesó. De cada muestra de hojarasca obtenida, se tomó una submuestra de peso aleatorio, que se guardó en bolsas de plástico, debidamente identificadas. En laboratorio se secaron en horno a 60°C, hasta peso constante, determinándose así la relación entre la masa seca y húmeda (Rügnitz, Chacón & Porro, 2009), y la cantidad de carbono, de acuerdo a la metodología de oxidación en húmedo de Walkley y Black (Scheleger *et al.*, 2001).

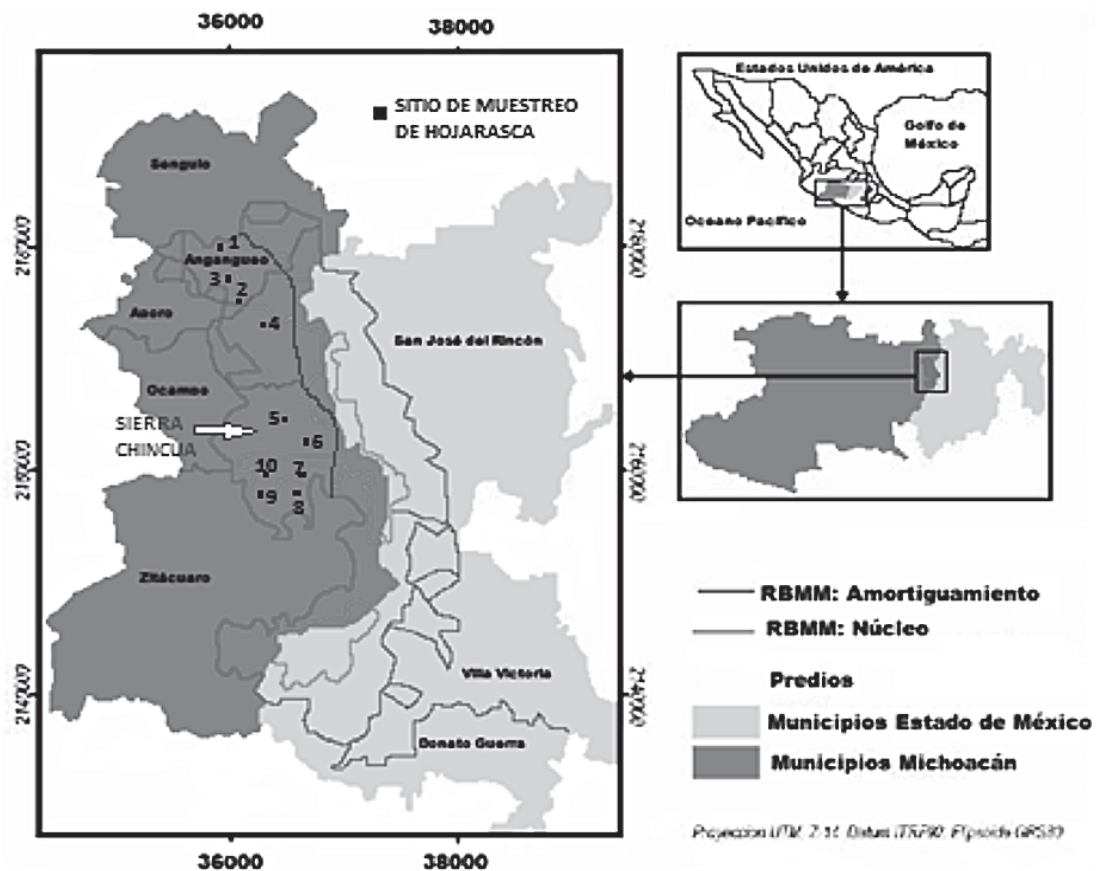


Figura 2. Localización de la Sierra Chincua y sitios de muestreo de la hojarasca.

De acuerdo a lo anterior se obtuvieron 10 muestras de hojarasca (número control de muestra en laboratorio 7, 13, 15, 18, 29, 34, 42, 48, 53, y 54) (Tabla 1).

Tabla 1. Muestras de los perfiles del suelo, capas orgánicas y fisiografías.

Número de muestras por sitio de muestreo	Horizonte orgánico	Fisiografía
6	Sin horizonte orgánico	LACCV
6	L	LASP
5	L y F	LBCP
11	L	LBCP
5	L	LBCP
8	L	LBCP
6	L	LBCP
5	L	PMMD
3	L y F	LASP
4	Sin horizonte orgánico	LAMI

LACCV, laderas andesíticas cubiertas de cenizas volcánicas; LASP, laderas andesíticas semi paralelas; LBCP, laderas basálticas cubiertas con piroclastos; PMMD, piemonte muy disecado; LAMI, laderas andesíticas muy inclinadas.

Con los valores obtenidos se calculó el total de toneladas de materia seca por hectárea (t MS/ha) y posteriormente se calculó la cantidad de carbono por hectárea (t C/ha). Obteniéndose los siguientes datos:

- Peso fresco total de hojarasca en gramos (Pft).
- Peso fresco de la submuestra de hojarasca en gramos (Pfs).
- Peso seco de la submuestra de hojarasca en gramos (Pss).
- Área de la superficie muestreada en m².

Con los datos obtenidos, se procedió a calcular el contenido de humedad de las submuestras de hojarasca con la siguiente fórmula:

$$CH = (Pfs - Pss) / (Pfs) \quad (2)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad

Pfs = Peso fresco de la submuestra

Pss = Peso seco de la submuestra

Conociendo el contenido de humedad, se calculó la biomasa en gramos.

$$Y = (Pft) - (Pft \times CH) \quad (3)$$

Donde:

Y = Biomasa en gramos.

Pft = Peso fresco total

CH = Contenido de humedad

Posteriormente, se divide la biomasa en gramos (valor de “Y”) entre 1,000,000 para obtener toneladas, este resultado lo multiplicamos por 0.5 para obtener toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono fijado se dividen entre el total de metros muestreados, esta operación da toneladas de carbono por metro cuadrado ($t\ C/m^2$) y al multiplicarlo por 10,000, se obtienen toneladas de carbono por hectárea (Delgadillo & Quechulpa, 2006).

La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener carbono es porque se considera, en base a la literatura, que la mitad del peso seco (peso del material sin considerar agua o humedad) es carbono. Utilizar el valor de 0.5 puede resultar en datos poco precisos, en los que se puede sobreestimar el cálculo de fijación de carbono (Delgadillo & Quechulpa, 2006).

Para contar con resultados más apropiados se determinó el contenido de carbono orgánico de la hojarasca en laboratorio. La metodología empleada fue la de la oxidación en húmedo de acuerdo

con la metodología de Walkley y Black (Delgadillo & Quechulpa, 2006; Schelegel *et al.*, 2001).

Los resultados se analizaron con el programa estadístico JMP, un software de SAS que permite explorar y analizar los datos de manera muy sencilla y dinámica gracias a la organización de los métodos estadísticos por área (análisis descriptivo, análisis bivariado, modelización, etc.). La versión utilizada en el presente trabajo fue la 10.0. Así, dicho programa permitió realizar un análisis de una vía para el análisis de la varianza, y comparación de medias de acuerdo a la t de Student (por la baja cantidad de datos, se compararon solo pares de datos).

Resultados

Carbono orgánico en la Hojarasca.

Los resultados del análisis de las muestras de la hojarasca en laboratorio, dieron como resultado el porcentaje de carbono y las toneladas de carbono almacenado, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Carbono orgánico acumulado en la hojarasca de los suelos de la Sierra Chincua

Num. Muestra	Sitio de muestreo	Horizonte orgánico	CH (contenido de humedad)	Y (biomasa, g)	t (toneladas)	%C	C fijado	t ha ⁻¹
7	2	L	0.10	2.61	0.261x10 ⁻⁵	54.26	0.000141076	1.41
13	3	L	0.12	17.69	1.769x10 ⁻⁵	40.88	0.0007231672	7.23
15	3	F	0.11	24.30	2.430x10 ⁻⁵	36.32	0.000882576	8.82
18	4	L	0.11	49.93	4.993x10 ⁻⁵	46.18	0.0023055767	23.05
29	5	L	0.13	57.85	5.785x10 ⁻⁵	39.75	0.002297802	22.97
34	6	L	0.11	66.93	6.693x10 ⁻⁵	26.59	0.0027648783	27.64
42	7	L	0.09	55.42	5.542x10 ⁻⁵	41.31	0.0022894002	22.89
48	8	L	0.12	99.00	9.900x10 ⁻⁵	34.13	0.003409587	34.10
53	9	L	0.06	8.46	0.846x10 ⁻⁵	41.31	0.0003494826	3.49
54	9	F	0.10	89.01	8.901x10 ⁻⁵	40.41	0.0035968941	35.96

El análisis de los datos del carbono orgánico (CO) de las muestras de la hojarasca, muestra la siguiente división: los sitios 2, 3 (horizontes L y F) y 9 del horizonte L, presentan un total de carbono orgánico capturado menor a 10 t ha⁻¹ variando entre 1.14 a 7.23 t ha⁻¹ en los sitios 4, 5, 6, y 7, la cantidad de carbono capturado en el horizonte L es mayor a 20t ha⁻¹ variando de 22.89 a 27.64 t ha⁻¹ los sitios 8 (horizonte L) y 9 (horizonte F) cuentan con un total de carbono capturado mayor a 30 t ha⁻¹ con una variación entre 34.10 a 35.96.

El porcentaje de CO se presenta de la siguiente forma, el sitio 2 cuenta con el mayor valor de CO con 54.26 %, los sitios 3 (horizonte L), 4, 7, 9 (ho-

rizontes L y F) su valor es mayor a 40%, variando de 40.41% a 46.18%, el resto de los sitios 3 (horizonte F), 5, 8, su porcentaje de CO es mayor a 30 %, variando de 34.13 % a 39.75 %.

Análisis de Varianza

Análisis de varianza para el porcentaje de carbono orgánico.

En la Tabla 3, se observa que el porcentaje de Carbono Orgánico (CO), es prácticamente igual para los sitios de muestreo de la hojarasca estudiados, ya que no presentan diferencia estadística (F = 0.0776).

Tabla 3. Análisis de Varianza del % de CO en la hojarasca de los suelos de la Sierra Chincua

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Relación de F	Prob > F
Sitios de muestreo	7	462.89549	66.1279	12.2439	0.0776
Horizontes	1	7.62129	7.6213	0.1308	0.7270
Fisiografías	2	132.95382	66.4769	1.3657	0.3157

A nivel de las capas orgánicas L y F tampoco tienen diferencia estadística, por lo tanto se comportan igual en la proporción de CO que contienen (F = 0.7270).

Por fisiografía la hojarasca se comporta igual que en los sitios de muestreo y horizontes orgánicos, o sea que no difieren estadísticamente (F = 0.3157).

Análisis de varianza para carbono orgánico almacenado en toneladas por hectárea (t ha⁻¹).

Tabla 4. Análisis de Varianza del CO almacenado en la hojarasca de los suelos de la Sierra Chincua

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Relación de F	Prob > F
Sitios de muestreo	7	770.4902	110.070	0.4399	0.8265
Horizontes	1	50.5350	50.535	0.3313	0.5807
Fisiografías	3	298.7640	149.382	1.0756	0.3915

La Tabla 4, en cuanto al CO almacenado en los sitios de muestreo de la hojarasca no presenta ninguna diferencia estadística (F = 0.8265).

El carbono orgánico en los horizontes F y L de la hojarasca son iguales, ya que no hay diferencia estadística ($F = 0.5807$).

El comportamiento del CO a nivel de fisiografías de la hojarasca, es igual que en los sitios de muestreo y los horizontes F y L de la hojarasca, sin diferencia estadística ($F = 0.3915$).

Comparación de medias

Carbono orgánico en porcentaje

Sitios de muestreo

En la Tabla 5, se presenta la comparación de medias a nivel de CO en los sitios de muestreo de la hojarasca con cinco grupos, que son, el sitio 2 con el valor más alto de las medias con 54.26%, siguiéndole los sitios 4 y 7 con un valor medio de 46.18 y 41.31% respectivamente, Posteriormente se presenta el sitio 9 con una media de 40.86%, así mismo los sitios 3, 5 y 8, cuentan con un valor medio entre 34.13 y 38.60%, por último tenemos al sitio 6 cuya media es de 26.59%, los valores de las medias se representan en la Figura 3.

Tabla 5. Comparación de medias del CO de los perfiles del suelo

Sitio	% Carbono Orgánico
2	54.26a
4	46.18ab
7	41.31ab
9	40.86b
5	39.72bc
3	38.60bc
8	34.13bc
6	26.59c

Valores con misma literal son estadísticamente semejantes.

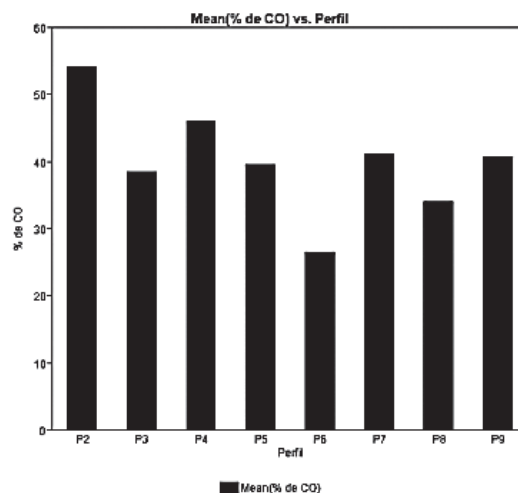


Figura 3. Comparación de medias entre el porcentaje de carbono orgánico y los sitios de muestreo.

2. Horizontes del suelo

La Tabla 6, presenta la media del CO y horizontes de la hojarasca, sin diferencia entre los valores medios, como se observa igualmente en la Figura 4.

Tabla 6. Comparación de medias del umbral de la matriz del análisis del CO horizontes de la hojarasca

HorizontesAbs Dif)-LSD	L	F
L	-8.801	-11.733
F	-11.733	-17.601

Los valores positivos indican pares de medias que son significativamente diferentes

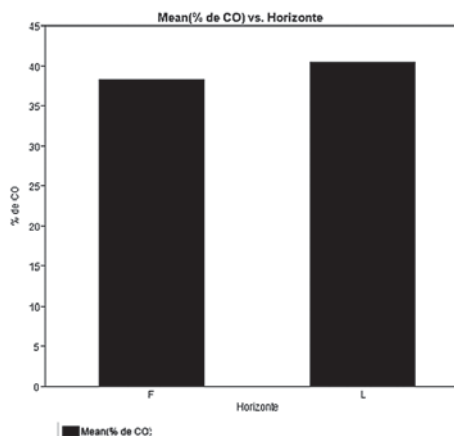


Figura 4. Comparación de medias entre el porcentaje de carbono orgánico y los horizontes de la hojarasca.

El análisis de la tabla 7 indica que, en cuanto a las fisiografías la comparación de medias del carbono orgánico tampoco presentó diferencias estadísticas significativas, ya que se concentran en un grupo. Unidades fisiográficas

Tabla 7. Comparación de medias del CO de unidades fisiografías

Fisiografía	Por ciento de Carbono Orgánico
Ladera andesítica semiparalelas	45.33a
Laderas basálticas cubiertas con piroclastos	38.50a
Piemonte muy disecado	34.13a

Valores con misma literal son estadísticamente semejantes.

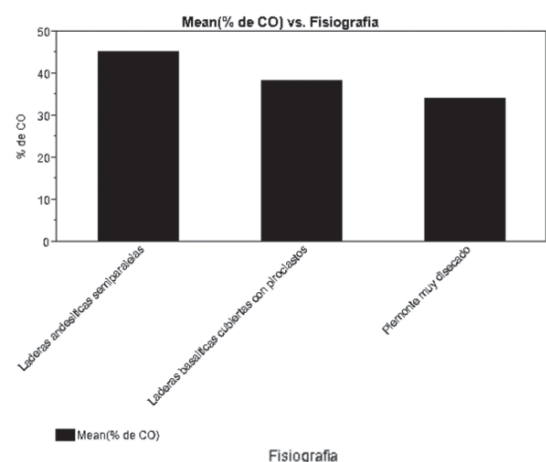


Figura. 5. Comparación de medias entre el porcentaje de carbono orgánico y fisiografías del suelo.

Al considerar la Figura 5, se observa una diferencia numérica entre las fisiografías del porcentaje de carbono, las laderas andesíticas semiparalelas con 54.26%, siguiéndole las laderas basálticas cubiertas con piroclastos, con 38.50% y cerca el piemonte muy disecado, con 34.13 % de carbono orgánico.

Carbono Orgánico Almacenado en toneladas por hectárea

Sitios de muestreo de la hojarasca

La Tabla 8 y Figura 6 agrupan al CO almacenado de la hojarasca de los sitios en un solo grupo, lo que indica que entre sitios no existe ninguna diferencia estadística.

Tabla 8. Comparación de medias del CO almacenado en t ha⁻¹ de los sitios de la hojarasca.

Sitio	Carbono Orgánico Almacenado
Sitio 8	33.10a
Sitio 4	22.60a
Sitio 7	22.60a
Sitio 5	22.20a
Sitio 9	19.30a
Sitio 6	17.40a
Sitio 3	7.825a
Sitio 2	1.39a

Valores con misma literal son estadísticamente semejantes.

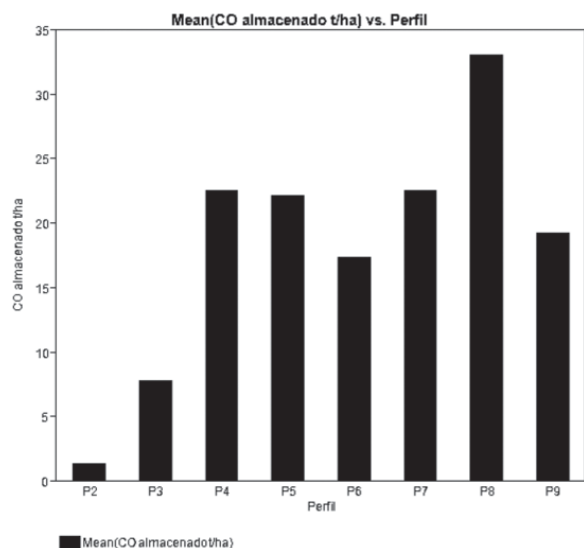


Figura 6. Comparación de medias entre el sitio del suelo y el carbono almacenado en t ha⁻¹

Analizando la Figura 6, numéricamente se observa diferencia entre los sitios de muestreo, siendo el sitio 2 el que presenta el menor valor de 1.39 t ha⁻¹, el sitio 3 con 7.825 t ha⁻¹ el sitio 6 y 9, con valores similares de 17.40 y 19.30 t ha⁻¹ respectivamente, los sitios 4, 5 y 7 se agrupan en valores un poco mayores de 22 t ha⁻¹ y el sitio 8 con el mayor valor de 33.1 t ha⁻¹

Tabla 9. Análisis del CO almacenado t ha⁻¹ en el umbral de la matriz de los sitios de muestreo de la hojarasca

HorizontesAbs (Dif)-LSD	L	F
F	-28.482	-16.897
L	-16.897	-14.241

Los valores positivos indican pares de medias que son significativamente diferentes

El carbono orgánico almacenado en los horizontes de la hojarasca, es prácticamente igual en el horizonte F y L, ya que no hay diferencia estadística.

A pesar de lo anterior, numéricamente existe una pequeña diferencia, siendo ligeramente mayor el carbono almacenado en t ha⁻¹ del horizonte F con 28.48 t ha⁻¹, en comparación con el horizonte L con 16.895 t ha⁻¹, como se observa en la Figura 7.

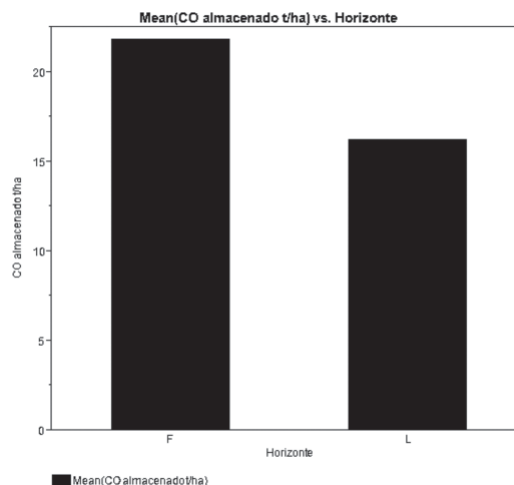


Figura 7. Comparación de medias entre el horizonte de la hojarasca y el carbono almacenado en t ha⁻¹.

3. Unidades fisiográficas

Tabla 10. Comparación de medias del CO almacenado en t ha⁻¹ por fisiografías del suelo

Fisiografía	Porcentaje de Carbono Orgánico almacenado
Piemonte muy disecado	33.10a
Laderas andesíticas semiparalelas	13.33a
Laderas basálticas cubiertas con piroclastos	16.742a

Valores con misma literal son estadísticamente semejantes. Las fisiografías no presentan diferencia estadística significativa en los valores de las medias del carbono orgánico almacenado en t ha⁻¹, por lo tanto se concentran en un grupo.

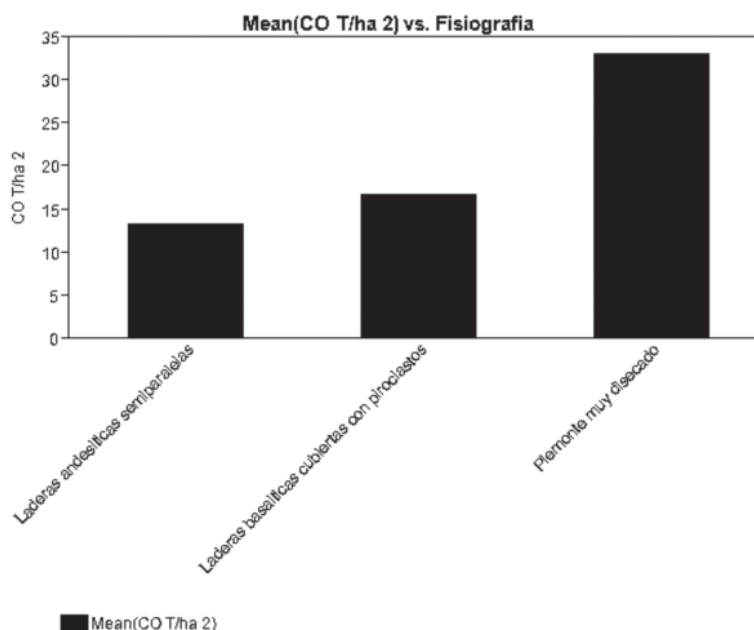


Figura 8. Comparación de medias entre la fisiografía y el carbono orgánico almacenado en $t\ ha^{-1}$.

Nuevamente, al observar la Figura 8, la ladera andesítica semiparalela presenta el menor valor de $13.33\ t\ ha^{-1}$ de carbono orgánico almacenado, a diferencia del piemonte muy disecado con el valor más alto de $33.10\ t\ ha^{-1}$ de carbono orgánico almacenado, en cambio la fisiografía de laderas basálticas cubiertas con piroclastos cuenta con valores de carbono orgánico almacenado de 16.742 , muy cercanos al valor de la primera fisiografía.

Discusión

Ramos *et al.* (1999), al evaluar el contenido de carbono en los componentes del sistema hojarasca definieron que en forma general, las hojas y las ramas que caen con la hojarasca aportan entre 4.3 y $6.2\ t\ ha^{-1}$ de C al año.

En un estudio sobre las reservas de C en suelos forestales de la Gran Bretaña, se evaluó el aporte de C de los suelos y la hojarasca, así como de los horizontes de fermentación, en el caso de las dos últimas fuentes, aportaron adicionalmente 7.3 y $8.8\ t\ ha^{-1}$ de C, respectivamente, al C de la reserva del suelo (Vanguelova *et al.*, 2013).

La relevancia del estudio en los aguacales de la cuenca del río Aguaytía, Perú, fue hacer mediciones sobre estimaciones del carbono en la biomasa aérea, necromasa y carbono orgánico del suelo. Así, el nivel de carbono de la necromasa tiene un promedio de $10.41\ t\ C\ ha^{-1}$ para la zona baja, valor ligeramente mayor a los reportados por Freitas *et al.*, 2006 de $6.59\ t\ C\ ha^{-1}$ en el aguajal denso. El nivel del carbono de la necromasa de la zona alta tiene un promedio de $6.50\ t\ C\ ha^{-1}$, valor ligeramente menor a los reportados por Freitas *et al.*, 2006 que reportan un promedio de $7.38\ t\ C\ ha^{-1}$ en el aguajal mixto (García *et al.*, 2012).

En el estudio comparativo de la concentración de carbono orgánico de la sierra norte de Oaxaca, en el caso de la hojarasca los porcentajes medios de carbono más altos se encontraron en los bosques y acahuales (44.7%), en tanto que los cafetales presentaron los porcentajes medios más bajos (42.3%) (Figuroa, 2001).

Lo anterior concuerda con los valores de carbono orgánico encontrado en la hojarasca de los suelos de la Sierra Chincua.

Por otro lado, un estudio realizado por Gayoso 2002, sobre la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile, la presencia de carbono en la hojarasca se presenta de la siguiente forma; bosque Putraique 4.88 Mg C/ha, San Juan 6.80 Mg C/ha, Boquial 6.65 Mg C/ha, Chaihuin 13.80 Mg C/ha, Llanacura 5.87 Mg C/ha, Buenavista 3.40 Mg C/ha, Jauja manejado 8.20 Mg C/ha y Pino 23 años 1.33 Mg C/ha.

Valores que concuerdan con los valores más bajos obtenidos en el presente trabajo.

En un estudio realizado en sistemas agroforestales y forestales en Nicaragua, se encontró que la fuente de hojarasca del sistema pino, aporta un valor máximo de 8.7 t C/ha y promedio de 3.71 t C/ha. En el sistema de plantaciones con fines energéticos, la hojarasca aporta entre 0.67 y 3.04 t C/ha y un promedio de 0.74 t C/ha. En el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural, el aporte es de 0.67 a 1.32 t C/ha y promedio de 0.96 t C/ha (Connolly y Corea, 2007).

De nueva cuenta, valores que concuerdan con los valores más bajos obtenidos en el presente trabajo.

En porcentaje, el sistema pino aporta 1.75%, plantación energética 1.54% y regeneración natural 0.90%, siendo los valores en por ciento, más bajos que los encontrados en los bosques de la Sierra Chincua (Connolly & Corea, 2007).

Finalmente, el contenido de carbono en la hojarasca de un bosque depende del grado de descomposición de sus elementos y la tasa de descomposición, a su vez, está determinada por la composición química y física de los mismos, así como por las condiciones climáticas del lugar (Heath *et al.*, 2002; Pritchett, 1986).

Conclusiones

El estudio realizado del carbono orgánico presente en la hojarasca de los suelos de la sierra

Chincua en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, México, determinó que el porcentaje de carbono de la hojarasca presenta amplia variación en el porcentaje de CO y el CO almacenado por la hojarasca en t ha⁻¹.

Las laderas andesíticas semiparalelas presentan un rango de variación del CO entre el porcentaje más alto al porcentaje intermedio; las laderas basálticas cubiertas con piroclastos, presentan los valores de CO más variables; los piemonte muy disecados, presentan valores de CO bajos.

En cuanto al CO almacenado, la fisiografía de piemonte muy disecado presenta el mayor almacenamiento de CO; La fisiografía de laderas andesíticas semi paralelas, presenta el almacenamiento de CO que varía de medio a bajo y la fisiografía de laderas basálticas cubiertas de piroclastos, presentan el almacenamiento de CO medio.

Literatura citada

1. Bond-Lamberty & Thomson AI. (2010). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Journal name: Nature Volume: 464*, Pages: 579–582
2. Burés, S. (2004). La Descomposición de la Materia Orgánica. [Documento en línea]. Recuperado de: <http://www.infororganic.com/node/484>
3. Casanova, E. (2005). Introducción a la Ciencia del Suelo. Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico – Universidad Central de Venezuela.
4. Conolly, W. & Corea, S. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales y forestales en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Trabajo de Diploma. Managua, Nicaragua.
5. Corbella, R. & Fernández de Ullivarri, J. (2006). *Materia Orgánica del Suelo*. Argentina. Facultad de Agronomía y Zootecnia – Universidad Nacional de Tucumán.
6. Delgadillo Ramírez Marcela & Quechulpa Montalvo Sotero. (2006). Manual de Monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales, Quechulpa Montalvo. AMBIO, S.C de R.L. México.
7. DOE/SC-108. (2008). “Carbon Cycling and Biosequestration, Integrating biology and climate through systems science: Report from the March 2008 Workshop,” U.S.
8. Ecoplexity. (2010). Porcentaje de materia orgánica. Portland State University. Teaching ecological complexity, 2 pag.

9. Faculty of Land and Food System. (2012). Soil Classification. The university of British Columbia.
10. Figueroa, C.I. (2001). Comparación de la concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación en la sierra norte de Oaxaca” tesis profesional Chapingo, Texcoco, México.
11. Freitas, L., Otárola, E., Del Castillo, D., Linares, C., Martínez, P. & Malca, G. (2006). Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la reserva nacional Pacaya Samiria, Loreto - Perú, Documento técnico N° 29. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, 65pp.
12. García S. D, Honorio, C. E. & Del Castillo D. (2012). Determinación del stock de carbono en aguajales de la cuenca del río Aguaytía, Perú. Ucayali. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Vol. 21 N° 1-2. 153-160.
13. Garduño, N. (2011). Diagnostico Fitosanitario Forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca en el Estado de México. Gobiernos del Estado de México.
14. Gayoso, J. (2002). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Universidad Austral de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1* N° 1.
15. Heath, L.S., Birdsey, R.A. & Williams D.W. (2002): Methodology for estimating soil carbon for the forest carbon budget model of the United States. *Environ. Pollut.*, 116: 373-380.
16. Honorio, C., Eurícide, N. & Baker Timothy, R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carboo en bosques amazónicos. Insituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
17. Hopkins, M. F., Torn, S. M. & Trumbore, E. S. (2012). Warming accelerates decomposition of decades-old carbon in forest soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, June 11, 2012 DOI: 10.1073/pnas.1120603109.
18. Houghton, R. A. (2007) Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 35:313-47. 10.1146/annurev .earth.35.031306.140057
19. IPCC. (2007). Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Released in four sections: Working Group I Report: The Physical Science Basis; Working Group II Report: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Working Group III Report: Mitigation of Climate Change; and The Synthesis Report: Summary for Policymakers. Cambridge University Press, New York.
20. Kutsch W., Bahn M. & Heinemeyer, A. (2009). Soil Carbon Dynamic: an integrated methodology Cambridge University Press. New York.
21. Lavelle, P. & Spain, A. V. (2005). Soil Ecology. Published by Springer. Netherlands.
22. Lonsdale, W. M. (1988). “La predicción de la cantidad de hojarasca en los bosques del mundo”. *Annals of Botany* 61 (3): 319-324.
23. López, G. J. (2009). “Análisis de cambio en la cobertura forestal en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: 2003 – 2006”. En: R. Aguirre (Coord.) “*Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*”. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 365 pp.
24. NASA. (2011). The Carbon Cycle, updated primer by NASA Earth Observatory, 2011
25. Oleson, K.W., D.M. Lawrence, G.B. Bonan, M.G. Flanner, E. Kluzek, P.J. Lawrence, S. Levis, S.C. Swenson, P.E. Thornton, A. Dai, M. Decker, R. Dickinson, J. Feddes, C.L. Heald, F. Hoffman, J.-F. Lamarque, N. Mahowald, G.-Y. Niu, T. Qian, J. Randerson, S. Running, K. Sakaguchi, A. Slater, R. Stockli, A. Wang, Z.-L. Yang, Xi. Zeng, & Xu. Zeng, (2010): Technical Description of version 4.0 of the Community Land Model (CLM). NCAR Technical Note NCAR/TN-478+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 257 pp.
26. Prentice, I.C. (2001). “The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide”. Climate change 2001: the scientific basis: contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Houghton, J.T. [edit.] Retrieved 31 May 2012.
27. Pritchard, S.G. (2011). “Soil organisms and global climate change,” *Plant Pathology* 60:82-99.
28. Pritchard, W.L. (1986). Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Noriega. Ed. Limusa. 643 pp.
29. Rattan, Lal. (2008). “Sequestration of atmospheric CO2 in global carbon pools.” *Energy and Environmental Science* 1: 86–100.
30. Rüginitz, M.T; Chacón, M.L; Porro R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Manual técnico 11. 1ed. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). 79 pag.
31. Scheleger, B., Gayoso, J. & Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
32. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1978). Cálculo del clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. Subdirección de Agrología. Publicación Num. 7. Segunda edición. México.
33. U.S. Department of Energy’s, Office of Biological and Environmental Research, (2013). Belowground Carbon Cycling Processes at the Molecular Scale. Pacific Northwest National Laboratory.
34. University of California - Irvine. (2012). “Global warming threat seen in fertile soil of northeastern U.S. forests.” Science Daily. Science Daily.
35. Vanguelova, E. I., Nisbet, T. R., Moffat, A. .J., Broadmeadow, S., Sanders, T. G. M. & Morison, J. I. L. (2013). A new evaluation of carbon stocks in Britis forest soils. *Soil Use and Management. Volume* 29, Issue 2, pages 169-181.

Recibido: 8 de julio de 2013

Aceptado: 18 de septiembre de 2013