

Secuestro de carbono en suelo cafetalero con alta pendiente en la Sierra de Santa Marta

Carbon sequestration in soil coffee with high slope in the Sierra de Santa Marta

Dinora Vázquez-Luna^{1✉}; María del Carmen Cuevas-Díaz²; Teresita de Jesús Perera-Escamilla²;
Ángel Héctor Hernández Romero¹; Alejandro Retureta-Aponte¹

¹ Facultad de Ingeniería en Sistemas de producción Agropecuaria, Universidad Veracruzana. Dirección: Carretera Costera del Golfo km. 220, Col. Agrícola y Ganadera Michapan, C.P. 96100, Acayucan, Veracruz, México. Teléfono: 01 (924) 247-91-22 Fax: (921) 211-57-21. E-mail: divazquez@uv.mx

✉ Autora de correspondencia

² Facultad de Ciencias Químicas campus Coatzacoalcos. Universidad Veracruzana. Av. Universidad Km 7.5 Col Santa Isabel. CP 96538 Coatzacoalcos, Veracruz, México. Teléfono: 01 (921) 211-57-13

Recibido: 5/06/2014

Aceptado: 10/11/2014

RESUMEN

En este estudio se analizó el potencial de secuestro de carbono de un suelo proveniente de un cafetal con sombra, influenciado por una pendiente del 34%. El carbono total secuestrado a lo largo de la pendiente fue cuantificado mediante el aporte de la hojarasca, las ramas, el mantillo y el suelo. La población de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (BFNVL) y el contenido de materia orgánica (MO) fueron usados como indicadores de la calidad del suelo. Finalmente, se determinó el impacto de los beneficios económicos del secuestro de carbono bajo esas condiciones. Los resultados indicaron que el cafetal bajo sombra ofrece condiciones favorables para el secuestro de carbono, debido al aporte continuo de carbono proveniente de la hojarasca y las ramas, con la consecuente formación de mantillo; sin embargo, el secuestro de carbono total fue severamente impactado a lo largo de toda la pendiente, debido al posible arrastre del material orgánico y nutrimentos, favorecido por la erosión hídrica, que contribuyó a la formación de zonas heterogéneas. En consecuencia, el contenido de carbono y las poblaciones de BFNVL fueron afectados. Por ello, el potencial de secuestro de carbono fue muy bajo en comparación con otros estudios realizados en cafetales bajo sombra, lo que indica, que bajo estas condiciones, no es apto para competir en el mercado de carbono, afectando negativamente el potencial económico de la zona. Por todo lo anterior, el desarrollo de estrategias de conservación de suelos fue altamente recomendado para este sitio.

Palabras clave: Sustentabilidad/ pérdida de suelo/ servicios ambientales/ desarrollo rural sustentable/ agroforestería.

ABSTRACT

In this study was analyzed the carbon sequestration potential of a soil from a shaded coffee plantation, influenced by a slope of 34%. The total carbon sequestered along the slope was quantified by providing leaf litter, branches, mulch and soil. The population of nitrogen fixing bacteria free-living (NFBFL) and the content of organic matter (OM) were used as indicators of soil quality. Finally, the impact of the economic benefits of carbon sequestration under these conditions was determined. The results indicated that the coffee under shade provides favourable conditions for carbon sequestration due to the continuous supply of carbon from leaf litter and branches, with the consequent formation of mulch; however, the total carbon sequestration was severely impacted along the entire slope, due to possible drag of organic material and nutrients, favoured by water erosion, contributing to the formation of heterogeneous areas. Consequently, the content of carbon and NFBFL populations were affected. Therefore, the carbon sequestration potential was very low compared with other studies in shaded coffee plantations, indicating that under these conditions, is not eligible to compete in the carbon market, adversely affecting the economic potential of zone. For all these reasons, the development of soil conservation strategies was highly recommended for this site.

Keywords: Sustainability / soil loss / environmental services / sustainable rural development / agroforestry.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un tema que desde hace varias décadas ha formado parte de las investigaciones, y ha hecho que los gobiernos del mundo incorporen en sus diferentes agendas el pago de servicios ambientales, por fijación y almacenamiento de carbono, representando una opción para dar valor agregado a la producción agropecuaria (Ordoñez-Díaz, 1999; Dávalos-Sotelo *et al.*, 2008). Esta estrategia debe ser considerada, diseñada e implementada a corto plazo (Pineda-López *et al.*, 2005), bajo el contexto actual de la pérdida de vegetación producto de los cambios de uso de suelo, de bosques a cultivos y a pastizales, que son dos de los principales problemas que ponen en peligro al recurso

suelo (Torres y Guevara, 2002; Caballero, 2010). En este sentido, los sistemas agroforestales han sido una estrategia de importancia en algunas regiones tropicales de México (Torquebiau, 2000), con la consecuente rehabilitación de bosques degradados a largo plazo (Thuille *et al.*, 2000).

Los bosques son reconocidos como sistemas importantes que ofrecen servicios ambientales debido a su capacidad de almacenamiento y secuestro de CO₂; sin embargo, son los cafetales con sombra los sistemas agroforestales con mayor potencial para ser incorporados en el mercado del carbono (Sartorio, 2002; Pineda, 2005). Estos sistemas cuentan con un sinnúmero de ventajas ecológicas y ambientales, con una contribución importante de éstos como servicios ambientales

(Beer *et al.*, 2003). Por un lado, la asimilación de carbono se estima en más del 89%, y ésta corresponde principalmente al carbono del suelo (Ávila *et al.*, 2001), además existe una mejora en la dinámica de nitrógeno y una reducción en la contaminación de mantos freáticos (Ávila *et al.*, 2004). En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue analizar el potencial de secuestro de carbono de un suelo proveniente de un cafetal con sombra, influenciado por una pendiente del 34%, mediante la determinación del aporte de carbono proveniente de la hojarasca, las ramas y el mantillo, así como la evaluación de indicadores de la calidad del suelo por medio de la estimación de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (BFNVL) y el contenido de materia orgánica (MO).

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio se localizó en las coordenadas 18° 16' 20.3" norte y 94° 56' 52.5"

oeste, perteneciente al ejido de El Tulín, municipio de Soteapan, al sur de Veracruz. Este sitio fue seleccionado, debido a que es representativo de los cafetales marginales, de manejo rústico y típicos de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas (Fig. 1A). El clima es Aw2, con precipitación media anual de 3500 a 4000 mm, temperatura media anual de 24°C y con vegetación de selva alta perennifolia (INEGI, 2012). La zona de estudio fue un cafetal con sombra de *Jinicuil schltl*, con 25 años haber sido establecido, caracterizado por tener una pendiente de 34% con una longitud de 104 m. La captura de carbono se estudió mediante el muestreo de tres transectos con tres pseudoréplicas, la distancia entre cada uno fue de 30 m. Cada parcela estudiada fue de 10m² dentro del cual, se muestrearon zonas de 0.25m² de donde se colectó la hojarasca, el mantillo y el suelo (Fig. 1B).



Figura 1. A) Cafetal rústico, típico de la zona y B) representación esquemática del área de estudio, donde T1 corresponde a la zona más alta, el T2 a la parte media y el T3 se refiere a la parte más baja de la pendiente.

El aporte del carbono en la hojarasca se ajustó a los lineamientos técnicos descritos para estudios ecológicos e inventarios de biomasa en bosques y sistemas agroforestales (Rendón y Soto, 2007; Rüginit *et al.*, 2009; Espinoza *et al.*, 2012). Para estimar la cantidad de carbono almacenado en las ramas y mantillo se utilizaron las fórmulas propuestas por Dávalos

et al. (2008). El carbono orgánico y la materia orgánica del suelo se determinaron de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2003). Se evaluó la población de BFNVL como indicador de la calidad del suelo, utilizando el método de cuenta viable por dilución seriada (Madigan *et al.*, 2003), para ello se prepararon diluciones decimales seriadas (1/10⁵) con 10 g

de suelo del cafetal en 90 mL de agua destilada estéril, utilizando el medio de cultivo de carbón combinado (CIAT, 1988). Por último, se determinó el impacto de los beneficios económicos del secuestro de carbono bajo estas condiciones, tomando como referencia el valor utilizado en los proyectos internacionales de 10 U\$ t⁻¹ (Ávila *et al.*, 2001), se realizaron el ANOVA y las correlaciones entre variables.

RESULTADOS

Los resultados indican que la pendiente influyó directamente sobre la acumulación de hojarasca ($y_{hojarasca} = 98.253x - 33.705$, $R^2 = 0.999$), ramas ($y_{ramas} = 202.49x - 103.09$, $R^2 =$

1) y la consecuente formación de mantillo ($y_{mantillo} = 320.85x - 228.48$, $R^2 = 0.9424$), lo que podría deberse al arrastre de las partículas hacia la parte baja de la pendiente (Figura 2A). En este sentido, el pago estimado por secuestro de carbono es mayor en suelo y en forma acumulativa en la zona más baja de la pendiente (Fig. 2B). El porcentaje de carbono en el suelo y su contenido de materia orgánica, no se vio afectado en calidad y en cantidad por gramo de suelo seco analizado (Fig. 3A); sin embargo, si fueron disminuidas las BFNVL, siendo superiores en la parte media y alta, que en la zona más baja (Fig. 3B), esto última posiblemente al exceso de humedad y a la mayor mineralización de carbono.

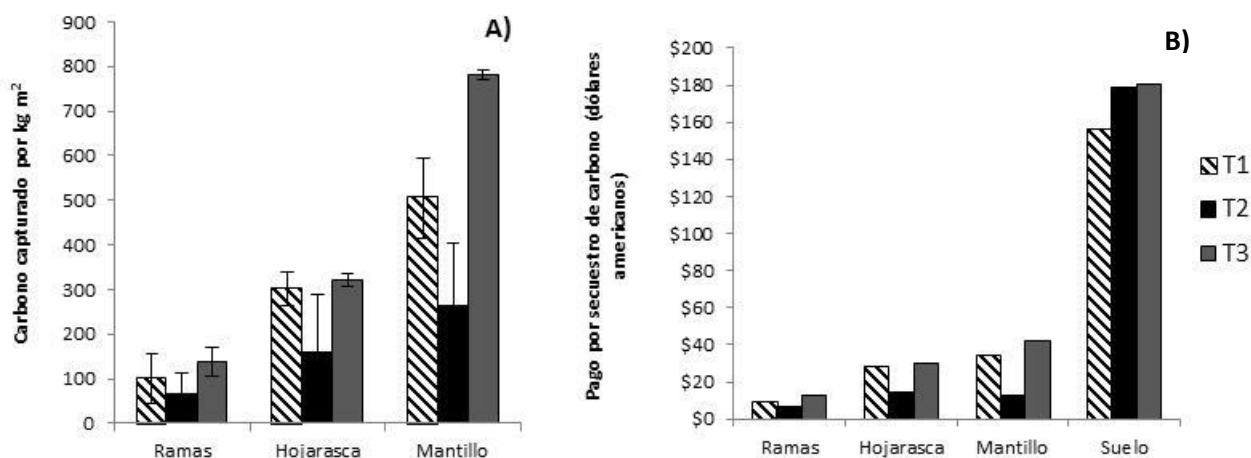


Figura 2. A) Aporte de carbono por parte de las ramas, la hojarasca y el mantillo por metro cuadrado y B) estimación de pago, en dólares americanos, por concepto de secuestro de carbono t ha⁻¹ a lo largo de la pendiente; donde T1 es la parte más alta de la pendiente, T2 (media) y T3 (baja).

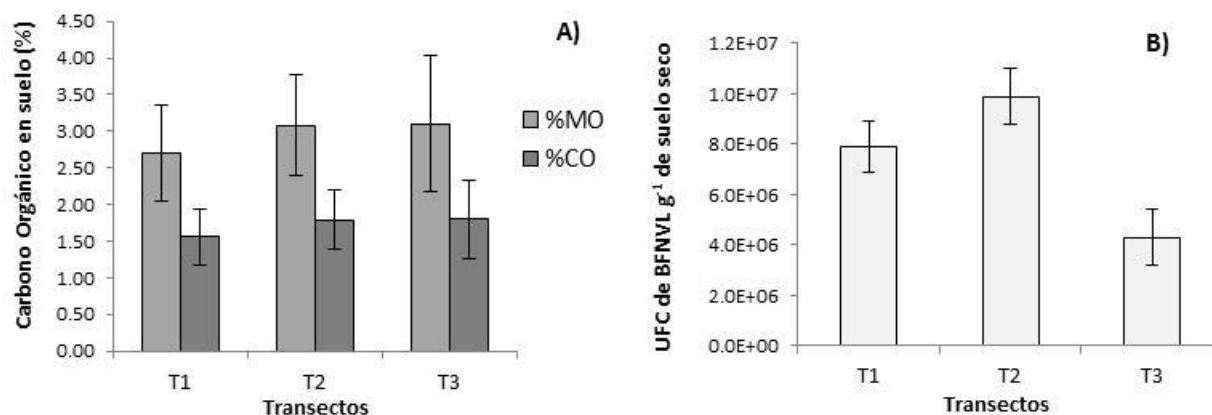


Figura 3. A) Contenido (%) de materia orgánica (MO) y carbono orgánico en el suelo; y B) Unidades Formadoras de colonias (UFC) de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno de Vida Libre (BFNVL) por gramo de suelo seco a lo largo de la pendiente; donde T1 es la parte más alta, T2 (media) y T3 (baja).

DISCUSIÓN

Los sistemas agroforestales son de vital importancia en el estado de Veracruz (Bautista-Tolentino *et al.*, 2011) caracterizados por su efecto en el suelo (Burgarín *et al.*, 2010), por sus funciones ecológicas (Giraldo *et al.*, 2008), por su rentabilidad (Zamudio *et al.*, 2010) y por ser una alternativa en el pago de servicios ambientales (Pérez-García *et al.*, 2009). Sin embargo, dada su complejidad y diversidad de ambientes, los resultados aquí presentados concuerdan en que la hojarasca es la principal fuente de carbono para la síntesis enzimática en la formación de humus, debido a que está compuesta de una fracción lábil que se descompone con rapidez (Chavez-Vergara *et al.*, 2014), en consecuencia el mantillo está determinado por el balance obtenido de la cantidad de hojarasca y su grado de descomposición, mediante factores físicos, químicos y biológicos; por lo que éste es el principal sitio de almacenamiento de carbono y de elementos minerales en el suelo (Martínez y Sarukhan, 1993; Li *et al.*, 2014); siendo también un componente fundamental en los flujos energéticos y en la circulación de

nutrimentos dentro de ecosistema (Falkowski *et al.*, 2000).

Si bien el contenido de materia orgánica en este sitio es alto, la pérdida de suelo es de hasta 6 cm por año (aproximadamente 570 ton ha⁻¹ año⁻¹), además el nitrógeno en el suelo se estimó en 0.36%, éste puede perderse por lixiviación o por erosión hídrica, afectando a las poblaciones de BFNVL (Hernández *et al.*, 2013). Aunque existen estudios que enumeran las ventajas de los cafetales bajo sombra desde el punto de vista ecológico, ambiental, social y económico, las realidades de una pendiente de 34% combinado con las condiciones tropicales (precipitación y características edáficas) y las prácticas de manejo sin obras de conservación de suelo, pueden facilitar el arrastre de materia orgánica de la parte alta hacia la zona más baja, por efecto del arrastre, producto de los escurrimientos superficiales y de esta forma, tener efectos significativos sobre el secuestro de carbono (Hernández-Vásquez, 2012); mientras que la zona media de la pendiente queda parcialmente desprotegida en comparación con la parte alta y la zona baja, indicando que en esta última es donde existe una mayor acumulación de mantillo (García *et al.*, 2006). Esto no sólo pone en peligro la competitividad

socioeconómica de estos cafetales con respecto al pago por servicios ambientales de estos agroecosistemas (Klooster y Masera, 2000; Ninan y Inoue, 2013); sino que también disminuye la fijación del nitrógeno por parte de las poblaciones de bacterias de vida libre (Mantilla-Paredes *et al.*, 2009; Levy-Booth *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El potencial de secuestro de carbono de un suelo proveniente de un cafetal bajo sombra, influenciado por una pendiente del 34% fue severamente afectado, debido a que el aporte de carbono de la hojarasca, las ramas y el mantillo fue mayor en la parte baja de la pendiente; sin embargo, esto no afecta el contenido de materia orgánica por gramo de suelo seco; pero si a las poblaciones de BFNVL, siendo ésta menor en la zona más baja de la pendiente.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio formó parte del proyecto “Diagnóstico para el manejo de la microcuenca de Michapan, Veracruz”, que contó con financiamiento por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la SEP, a través de la convocatoria Fortalecimiento a Cuerpos Académicos. Se agradece además el apoyo a productores del ejido El Tulín, municipio de Sotepan, por las facilidades prestadas para el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

Ávila, G.; F. Jiménez; J. Beer; M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 8(30): 32-35.

Ávila, H.; J. M. Harmand y Dambrine, E. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 41-42: 83-91.

Bautista-Tolentino, M.; S. López-Ortíz; P. Pérez-Hernández; M. Vargas-Mendoza; F. Gallardo-López y F. C. Gómez-Merino. 2011. Sistemas agro y silvopastoril en la comunidad El Limón, municipio de Paso de ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 63-76.

Beer, J.; C. Harvey; M. Ibrahim; J. M. Harmand; E. Somarriba y F. Jiménez. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería de las Américas*, 10(37): 80-87.

Bugarín, J.; J. L. Bojórquez; C. Lemus; R. M. Murray; A. Hernández; H. Ontiveros y J. Aguirre. 2010. Comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas del suelo con diferente sistema silvopastoril en la llanura norte de Nayarit. *Cultivos Tropicales*, 31(2): 48-55.

Caballero, M. D. 2010. La verdadera cosecha maderable en México. *Rev. Mex. Cien. For.* 1:1-16.

Chavez-Vergara, B.; A., Merino; G. Vázquez-Marrufo y F. García-Oliva. 2014. Organic matter dynamics and microbial activity during decomposition of forest floor under two native neotropical oak species in a temperate deciduous forest in

- Mexico. *Geoderma*, 235–236, 133-145.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1988. Simbiosis leguminosa-rizobio. Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Ed. Rev. Proyecto CIAT-UNDP de evaluación, selección y manejo de la simbiosis leguminosa-rizobio para aumentar la fijación de nitrógeno. Sección de Microbiología de Suelos en el Programa de Pastos Tropicales y Sección de Microbiología del Programa de Fríjol (comps.) Cali, Colombia. 178 p.
- Dávalos-Sotelo, R., M. M. I. Rodrigues y Pinillos-Cueto, E. 2008. Almacenamiento de Carbono. *In*: R. Manson; V. Hernández-Ortíz; S. Gallina y K. Mehlreter (EDS). *Agrosistemas cafetaleros en Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación México*: INE. 223-248 p.
- Espinoza-Dominguez, W.; L. Krishnamurthy y A. Y. R. Vázquez-Alarcon. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Rev. Chapingo*, 57-70.
- Falkowski, P.; R. J. Scholes; E. Boyle, J. Canadell; D. Canfield y J. Elser. 2000. The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. *Science*, 290: 291-296.
- García, O. F.; G. Hernández y L. J. F. Gallado. 2006 Comparison of Ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. *Ann. For. Sci.*, 63: 519-523.
- Giraldo, A.; M. Zapata y E. Montoya. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 14(4): 241-245.
- Hernández, R. A. H.; F. A. F. A. Gómez.; A. Retureta; D. Vázquez-Luna; O. N. Rodríguez; M. C. Cuevas-Díaz; R. D. I., Torres y A. K. C. Lozano. 2013. Diagnóstico para el manejo de la microcuenca de Michapan, Veracruz. Componente Suelo y Agua. Informe técnico del proyecto. Universidad Veracruzana.
- Hernández-Vásquez, E.; G. Campos Ángeles; J. Enríquez-Del Valle, G. Rodríguez-Ortíz y V. Velasco-Velasco. 2012. Captura de carbono por *Jinicuil schltl* en un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Rev. Mex. Cien.*, 3(9), 11.
- INEGI. 2012. Guía para la interpretación cartográfica. Uso de suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie IV. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI México. 129 p.
- Klooster, D. y O. Masera. 2000. Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global Environmental Change*, 10(4), 259-272.
- Levy-Booth, D. J.; C. E., Prescott y S. J. Grayston. 2014. Microbial functional genes involved in

- nitrogen fixation, nitrification and denitrification in forest ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 11-25.
- Li, C.; J. Moore-Kucera; J. Lee; A. Corbin; M. Brodhagen; C. Miles y D. Inglis. 2014. Effects of biodegradable mulch on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 79, 59-69.
- Madigan, M.T.; J.M Martinko y J. Parker. 2000. Brock. *Biología de los microorganismos*. In: Gacto FM; García I.; González V. A. T.; Guerrero M. V.; Sánchez O. M. (EDS). 9ª Ed. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 1064 p.
- Mantilla-Paredes, A.J.; G.I. Cardona; C.P. Peña-Venegas; U. Murcia; M. Rodríguez y M.M. Zambrano. 2009. Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Rev. Biol. Trop.* 57: 915-927.
- Martínez, Y., A. y J. Sarukhan. 1993. Cambios estacionales del mantillo en el suelo de un bosque tropical caducifolio y uno subcaducifolio en Chamela, Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana*, 21, 1-6.
- Ninan, K. y M. Inoue. 2013. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't. *Ecological Economics*, 93, 137-149.
- Ordoñez-Díaz, J.A.B. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Primera edición, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP. 73 p.
- Pérez-García, N.; M. Rueda-González; G. E. Rojo-Martínez; R. Martínez- Ruíz; B. Ramírez-Valverde, y J. P. Juárez-Sánchez. 2009. El bambú (*Bambusas* pp.) como sistema agroforestal: una alternativa de desarrollo mediante el pago por servicios ambientales en la sierra nororiental del Estado de Puebla. *Ra Ximhai*, 5(3): 335-346.
- Pineda, L. M. D. R.; G. Ortiz Ceballos y L. R. Sánchez Velásquez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2) 3-14.
- Pineda-López, M. R. 2005. Los cafetales y su captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- Rendón C., N. y L. Soto P. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. ECOSUR. Chiapas, México. 47 p.
- Rügnitz, M. T.; L. M. Chacón y R. Porro. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. Centro Mundial de Agroforestería, Consorcio Iniciativa Amazónica. 92 p.
- Sartorio, B. Á. 2002. Los cafetales de sombra como proveedores de servicios ambientales. *Ciencia y Mar*, 17-18.
- SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de

fertilidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 23/04/2003. México, DF, México. 85 pp.

Thuille, A.; N. Buchmann y E. D. Schulze. 2000. Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the Southern Alps, Italy. *Tree Physiology*, 20, 849-857.

Torquebiau, E.F. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Life Sciences*, 323: 1009-1017.

Torres T. J. M. y S. A. Guevara 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica INE- SEMARNAT* No. 63.

Zamudio S. F. J.; J. L. Romo Lozano y J. O. A. Cervantes Carrillo. 2010. Evaluación financiera y de riesgo de una plantación forestal comercial en Zihuateutla, Puebla. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1): 69-78.