

CAPTURA DE CARBONO EN BIOMASA ÁEREA DE ÁRBOLES DE SOMBRA ASOCIADOS A *Coffea arabica* L. EN EL SOCONUSCO CHIAPAS, MÉXICO

CARBON CAPTURE IN AERIAL BIOMASS OF SHADE TREES ASSOCIATED WITH *Coffea arabica* L. IN SOCONUSCO, CHIAPAS, MEXICO

Salgado-Mora, M.G.^{1*}; Ruiz-Bello, C.¹; Moreno-Martínez, J. L.¹; Irena-Martínez, B.¹; Aguirre-Medina, J.F.¹

¹Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus IV. Entronque Carretera Costera-Pueblo de Huehuetán. Huehuetán, Chiapas. C. P. 30660.

*Autor de correspondencia: msalgadomora@hotmail.com

RESUMEN

La investigación se realizó en dos localidades, Ahuacatlán y Agustín de Iturbide, ambos pertenecen al municipio de Cacaohatán, en la región del Soconusco, Chiapas. El objetivo fue evaluar de manera cuantitativa la capacidad de concentración de carbono en la biomasa aérea en árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. En cada localidad se identificaron las especies de sombra, la densidad relativa, frecuencia e índice de valor de importancia, altura del árbol, distancia a altura de pecho (DAP), estimación del contenido de carbono y de nitrógeno en madera y hoja. La mayor densidad relativa árboles de sombra se presentó en Ahuacatlán con dominancia de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel) Exell y *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. En Agustín de Iturbide lo fue *Inga micheliana* Harms. La estimación de la concentración de carbono y biomasa se incrementó en el sitio con dominancia de *T. amazonia* en comparación con *I. micheliana* y presentó diferencia estadística ($P \leq 0.05$). El mayor porcentaje de carbono en todas las especies se encontró en la madera en comparación con la hoja, pero el aumento en el contenido de nitrógeno se registró en las hojas durante la temporada de lluvias.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, estructura arbórea, estimación de carbono, contenido de nitrógeno.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp. 120-126.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.

ABSTRACT

The research was carried out in two localities, Ahuacatlán and Agustín de Iturbide, both belonging to the municipality of Cacaohatán, in the region of Soconusco, Chiapas. The objective was to quantitatively evaluate the carbon concentration capacity in the aerial biomass of shade trees associated to *Coffea arabica* L. In each locality the shade species were identified, as well as the relative density, frequency and importance value index, tree height, distance to chest height (DCH), estimation of carbon and nitrogen content in wood and leaf. The highest relative density of shade trees were presented in Ahuacatlán with dominance of *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell and *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. In Agustín de Iturbide it was *Inga micheliana* Harms. The estimation of carbon concentration and biomass increased at the dominance site of *T. amazonia* compared to *I. micheliana*, and showed a statistical difference ($P \leq 0.05$). The highest percentage of carbon in all species was found in the wood compared to the leaf, but the increase in nitrogen content was found in the leaves during the rainy season.

Keywords: Agroforestry systems, tree structure, carbon estimation, nitrogen content.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en los ejidos Ahuacatlán (92° 15' y 670 msnm) en una plantación de 60 años de edad y en Agustín de Iturbide (14° 59' LN y 92° 10' LO y 480 msnm), con plantas de 15-25 años. Ambas pertenecen al municipio de Cacaohatán, Chiapas, México. La investigación se desarrolló durante 12 meses, de febrero de 2010 a enero de 2011. El tipo de clima es cálido-húmedo con lluvias en verano y con influencia de monzón, presenta dos temporadas de secas, una pequeña e intermedia a la mitad de la temporada lluviosa (canícula) y la otra al final de la misma temporada de lluvias (época de secas). El tipo climático según García (1987), es Am (F) (w'') ig. La precipitación pluvial es de 4720 mm anuales y la temperatura media anual de 25.4 °C. El tipo de vegetación es selva alta perennifolia con especies típicas de guayabo volador como *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell, y otras como *Cedrela odorata* L., *Ficus cotinifolia* Kunth, *F. involuta* (Liebm.) Miq., *Swietenia macrophylla* King, y *Aspidosperma megalocarpum*, Müll. Arg., entre otras. El tipo de suelo en Ahuacatlán pertenece al grupo de los Cambisoles y en Agustín de Iturbide es Andosol (INEGI, 2005). Se realizaron cuatro muestreos en los periodos febrero-abril, abril-junio, junio-septiembre y septiembre-enero.

Arboles de sombra

El cafetal localizado en el ejido Ahuacatlán está asociado a sombra predominante de *Terminalia amazonia* (J.F.Gmel.) Exell (Combretaceae); mientras que, el que se encuentra en el ejido Agustín de Iturbide, con sombra predominante de guagua *Inga micheliana* Harms,

INTRODUCCIÓN

La actividad antrópica en todo el mundo ha influenciado el aumento en la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera y en consecuencia se ha incrementado la temperatura ambiental (Huang *et al.*, 2009). Las implicaciones ambientales, sociales y culturales de este fenómeno constituyen una discusión global. El aumento en la concentración de CO₂ se puede regular a través del proceso de la fotosíntesis y en especial por las plantas leñosas presentes en los bosques naturales y cultivados que lo almacenan en sus estructuras (González *et al.*, 2008). En México, los sistemas de producción de *Coffea arabica* L. se desarrollan en ecosistemas ricos en flora y fauna en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país (Moguel y Toledo, 1996), con sombra (Soto-Pinto *et al.*, 2000), o bien, en sistemas de monocultivo expuestos al sol con fuerte dependencia de insumos químicos sintéticos (Aranda, 2004). Los sistemas de producción de café al conservar la cobertura arbórea derivan en diversos beneficios ambientales, además de abrigar amplia diversidad biológica (Aguirre-Cadena *et al.*, 2016). Estos sistemas agroforestales han aportado a la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento del carbono en la misma planta de café, además de la captación que ocurre en los árboles de sombra, que son importantes reservas estables de carbono (De Jong *et al.*, 2007). En ambos casos, la capacidad de fijar carbono depende de la densidad de árboles, la edad de los mismos, su diámetro y altura en cada estrato y de la comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000). Con estos antecedentes se planteó el objetivo de evaluar de manera cuantitativa la capacidad de concentración de carbono en la biomasa aérea en árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en dos localidades del Soconusco, Chiapas.

(leguminosas), y *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb (Lauraceae).

Análisis de la estructura arbórea

La unidad experimental en los dos sitios fue de 50x50 m y en la misma se determinaron las especies arbóreas de acuerdo a lo descrito por Pennington y Sarukhán (2000). En los dos sitios se determinaron los parámetros densidad (número de individuos/área muestreada), densidad relativa (densidad por especie/densidad de todas las especiesx100) y frecuencia (número de árboles de la misma especie). Además el índice de valor de importancia según Curtis y MacIntosh (1951) que se refiere al producto de los valores relativos de frecuencia, densidad y dominancia asignado a cada especie.

Variables en los árboles de sombra

En los árboles adultos y jóvenes se registró diámetro a la altura de pecho (DAP) con cinta diamétrica y la altura (Clinómetro electrónico Häglof, Finlandia).

Estimación de carbono y biomasa

La estimación de carbono se derivó según Brown (citado por Rendón y Soto-Pinto, 2007), con base a los datos de la densidad de los árboles. Para calcular biomasa por individuo se utilizó la fórmula propuesta por Chave et al. (2005) que se indica a continuación.

$$Y = \exp(-2.97 + \ln(\rho D^2 h))$$

Dónde: Y=biomasa (kg árbol⁻¹), exp=2.718, ln=logaritmo

natural (base e=2.718), ρ =densidad de los árboles tropicales (0.48 g cm⁻³), D o DAP=diámetro a la altura del pecho (cm) y h=altura (m).

Análisis de contenido de carbono y nitrógeno en madera y hoja

Se determinó el contenido de carbono en hojas y madera (Walkley y Black) y el contenido de nitrógeno (Micro-Kjeldahl). Los tratamientos fueron los dos tipos de sombra de los sitios la sombra predominante en ambos sitios. Se utilizó el diseño completamente al azar para comparar el carbono acumulado por periodo y al final en cada sitio de estudio fue comparada como dos poblaciones independientes mediante la prueba t de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de especies e Índice de valor de importancia

En ambos sitios se encontraron 50 individuos, de los cuales 46 eran árboles de sombra y cuatro arbustos pertenecientes a seis familias, ocho géneros y ocho especies. La familia Fabaceae fue el grupo con mayor diversidad, representadas por chalum (*Inga micheliana* Harms) y guagua (*Inga* sp.). También se destaca la presencia de guayabo volador (*T. amazonia* (J.F. Gmel.) Exell) de la familia Combretaceae. Estas especies son ampliamente utilizadas como sombra del cultivo de café en la región (Cuadro 1).

En el Sitio Ahuacatlán se encontró predominancia de *T. amazonia* (J.F. Gmel.) Exell y en el Sitio Agustín de Iturbide

Cuadro 1. Especies de árboles de sombra en dos sistemas agroforestales con *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas, México.

| Familia | Especie | Nombre común | Origen | Índice de valor de importancia | |
|----------------------------------|---|-----------------|-------------|--------------------------------|------------|
| | | | | Densidad relativa | Frecuencia |
| Sitio Ahuacatlán | | | | | |
| Combretaceae | <i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell | Guayabo volador | Nativa | 57.89 | 11 |
| Fabaceae | <i>Inga micheliana</i> Harms | Chalum | Nativa | 36.80 | 7 |
| Lauraceae | <i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb. | Tepemixtle | Nativa | 5.26 | 1 |
| Sitio Agustín de Iturbide | | | | | |
| Fabaceae | <i>Inga micheliana</i> Harms | Chalum | Nativa | 48.38 | 15 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose | Primavera | Introducida | 6.45 | 2 |
| Agavaceae | <i>Yucca elephantipes</i> Regel ex Trel. | Izote | Nativa | 12.90 | 4 |
| | <i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb. | | | 6.45 | 2 |
| Fabaceae | <i>Inga</i> sp | Guagua | Nativa | 6.12 | 5 |
| Rutaceae | <i>Citrus nobilis</i> Lour. | Mandarina | Introducida | | |
| Lauraceae | <i>Persea americana</i> Mill. | Aguacate | Introducida | 3.22 | 1 |

se presentó mayor diversidad de árboles de sombra con dominancia de las especies del género *Inga*, y la más frecuente *I. micheliana* Harms, asociada además con árboles frutales como aguacate (*Persea americana* Mill.), mandarina (*Citrus nobilis* Lour.) y maderables como *Tabebuia donnell-smithii* R. Miranda (1998) reporta que la vegetación original de la región del Soconusco corresponde a una selva alta perennifolia con número elevado de especies arbóreas, sin que algunas de ellas muestren un predominio definitivo. La estructura arbórea en los sistemas de producción de café es diversa. Así, Goldberg y Jiménez (1980), describen tres estratos, uno con *Inga leptoloba* Schlecht., otro con *Inga jinicuil* Schltl. como árboles de sombra, y un tercer estrato intercalado con árboles frutales de plátano y naranjo.

En relación a la densidad de árboles por hectárea, se encontraron 76 en Ahuacatlán y 108 árboles en Agustín de Iturbide. Este hecho define la alta densidad de árboles en los sistemas de sombra múltiple, en contraste con los sistemas de sombra específica. En el norte de Chiapas, Romero *et al.* (2002) citan densidad de arbórea de 282 ± 159 árboles por hectárea en sistemas agroforestales con café bajo sombra de *Inga* sp y en cafetales con sombra de especies múltiples la densidad va de 457 ± 257 de árboles de sombra por hectárea. La riqueza de especies en 100 m^2 fue de 1.6 ± 0.7 y 3 ± 1 . En cafetales tradicionales bajo sombra en el Soconusco Chiapas, México, Soto-Pinto *et al.* (2002) encontraron en promedio 2.6 estratos de sombra. La riqueza de especies de sombra fue 3.5 y un rango de 1 a 8 especies en 100 m^2 . El índice de diversidad de 3.5 con un mínimo de 0 y un máximo de 6.72 en 100 m^2 . En cambio, en el norte de Chiapas, se cita densidad promedio de 371.4 árboles ha^{-1} y se nota la importancia de los agrosistemas de cafetal bajo sombra como hábitat para la fauna asociada (Soto-Pinto *et al.*, 2001). En otras regiones del país, en fincas cafetaleras activas y abandonadas (10-20 años) la riqueza promedio de árboles va de 51 a 61 especies de árboles en 4000 m^2

con distribuciones espaciales agregadas (López y Williams, 2006).

Altura y DAP de los árboles adultos y juveniles

La altura y el DAP de los árboles de sombra, adultos y juveniles de *T. amazonia* en el sitio Ahuacatlán fue en promedio de 15.34 m de altura y de 100.99 cm, respectivamente. En el sitio Agustín de Iturbide, el DAP promedio fue de 32.86 a 34.01 cm y se registró una altura de 9.91 m en árboles de especies del género *Inga* sp.

Los promedios de alturas y DAP en Ahuacatlán fueron mayores y no presentaron diferencias entre los periodos de muestreo. En este sistema de producción se informó que los árboles de *T. amazonia* tenían 60 años de edad. En cambio, en el sitio Agustín de Iturbide, los árboles en crecimiento de *Inga* sp. e *I. micheliana* Harms, tenían edad entre 15 -25 años con pequeñas diferencias numéricas entre los periodos de evaluación.

Carbono acumulado y biomasa

Durante los cuatro periodos de muestreo, en Ahuacatlán no hubo incremento significativo del almacenamiento de carbono, mientras que, en Agustín de Iturbide, se

presentó incremento gradual durante los cuatro periodos (Figura 1).

Esto puede deberse al aumento en la dinámica de crecimiento de las especies de ese sitio. En *Bambusa oldhamii*, Castañeda *et al.* (2005) citan resultados semejantes con el aumento gradual de la biomasa con la edad de la plantación mediante el incremento del diámetro del tallo, además de la acumulación de carbono. En cambio en Ahuacatlán, los árboles de *T. amazonia*, habían alcanzado su máximo crecimiento.

En El Salvador los sistemas agroforestales con café presentan valores de almacenamiento de carbono que van de 101 t ha^{-1} en sistema tradicional a 196 en bosque (De Melo y Abarca, 2008). Estos resultados se asemejan al sistema de café con sombra predominante de *T. amazonia* en el sitio Ahuacatlán.

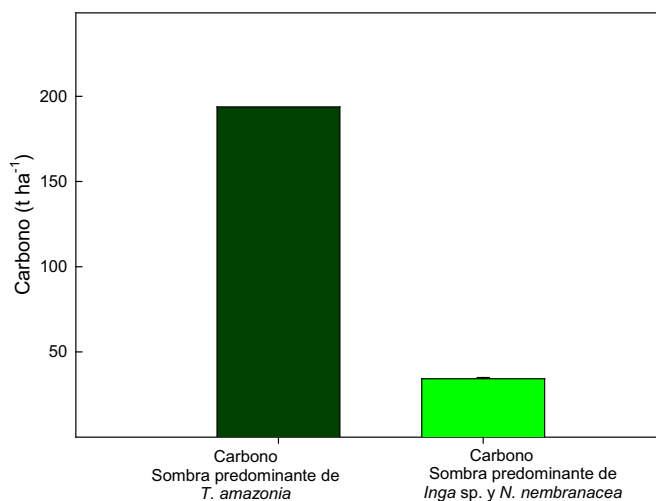


Figura 1. Carbono acumulado en dos sistemas agroforestales de café con sombra. Los valores son promedios de cuatro repeticiones \pm error estándar.

En la Amazonía Peruana en un sistema de café con sombra, Callo-Concha *et al.* (2002) citan fijación de carbono de 45.4 t ha⁻¹. En el sur de Costa Rica, De Miguel *et al.* (2004) al comparar una plantación a pleno sol de café y otra con sombra de *Eucalyptus deglupta*, citan aumento de 17 t ha⁻¹ de almacenamiento de carbono en la fitomasa por encima del suelo. En Veracruz, México, Espinoza-Domínguez *et al.* (2012) estudiaron el contenido de carbono en diversos sistemas agroforestales asociados con frutales, maderables y pastoreo de ovinos en comparación con un bosque primario y una pradera. El sistema agroforestal con mayor carbono aéreo fue el café-cedro con 114 t C ha⁻¹.

En otros casos, Lapeyre *et al.* (2009) cuantificaron el contenido de carbono en un sistema agroforestal con cacao asociado a especies forestales de 15 años y encontraron 47.2 t C ha⁻¹ de los cuales, 0.028 t C ha⁻¹ correspondieron al componente herbáceo y 5.07 t C ha⁻¹ a mantillo. Estos mismos autores evaluaron las mismas variables en un sistema agroforestal de café-guaba (*Inga edulis*) de cuatro años y encontraron 19.3 t C ha⁻¹, de las cuales, 0.027 t C ha⁻¹ corresponden al componente herbáceo y 3.98 t C ha⁻¹ al mantillo.

La biomasa total acumulada en los sitios presenta mayor incremento en Ahuacatlán con la presencia dominante de *T. amazonica*, en comparación al sitio Agustín de Iturbide con especies de tamaño mediano y menor edad.

Concha *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables

y frutales en Perú y encontraron la captura de carbono en cada sistema agroforestal varió de 26.2 t C ha⁻¹ en la plantación de cinco años, a 45.07 t C ha⁻¹ en la de 12 años.

De acuerdo con las comparaciones por parcelas independientes, muestra que en los cuatro periodos en el Sitio Ahuacatlán, la media fue de 17.6218 y se mantuvo con esa misma cantidad de media durante los cuatro periodos. El Sitio Agustín de Iturbide los valores promedio aumentaron gradualmente en cada periodo (Cuadro 3).

El carbono acumulado presentó diferencias estadísticas significativas (p≤0.05). El incremento más alto de carbono se presentó en Ahuacatlán.

Porcentaje de carbono en hoja y madera

El carbono acumulado en la biomasa viva de ambos sitios se incrementó en la madera. En Ahuacatlán, la acumulación de carbono en la madera fue 47.8 %; en las hojas de *T. amazonia* fue de 39.8 %. En Agustín de Iturbide, en la madera de *Inga* sp. la acumulación de carbono representó el 50.1 % y en la hoja 39.8 %.

En *Inga micheliana* Harms la proporción de carbono en la hoja fue de 38.6 % y en la madera de 47.4 %; mientras que, en *N. membranacea* (Sw.) Griseb, en hoja fue de 39.4 % y en madera de 49.3 % (Figura 2).

En el Sur de Camerún, Sonwa (2004), estudió la acumulación de carbono en un sistema agroforestal con cacao y demostró que almacena en promedio 243 mg de carbono al año. Además encontró, que la asociación de las

Cuadro 2. Estadístico de prueba t de Student, comparación de medias por parcelas independientes.

| Sitio | Febrero-abril | Abril-junio | Junio-septiembre | Septiembre-enero | Total de carbono acumulado |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| | *t=7.0144 | t=6.9814 | t=6.9471 | t=6.9068 | t=6.9629 |
| Ahuacatlán | (α=0.05, gl=30)=2.042 | (α=0.05, gl=30)=2.042 | (α=0.05, gl=30)=2.042 | α=0.05, gl=30)=2.042 | (α=0.05, gl=30)=2.042 |
| Agustín de Iturbide | (α=0.01, gl=30)=2.750 | α=0.01, gl=30)=2.750 | α=0.01, gl=30)=2.750 | α=0.01, gl=30)=2.750 | α=0.01, gl=30)=2.750 |

t-Student, **gl= grados de libertad.

Cuadro 3. Comparación de medias del carbono acumulado (t ha⁻¹) por sitio y periodo de evaluación.

| Sitio | Febrero-abril | Abril-junio | Junio-septiembre | Septiembre-enero | Promedio |
|---------------------|---------------|-------------|------------------|------------------|----------|
| Ahuacatlán | 17.62 a* | 17.62 a | 17.62 a | 17.62 a | 17.62 a |
| Agustín de Iturbide | 1.56 b | 1.60 b | 1.65 b | 1.70 b | 1.63 b |

*Las letras diferentes entre las columnas indican diferencia estadística significativa según Tukey (p≤0.05). Los valores son promedios de 12 repeticiones.

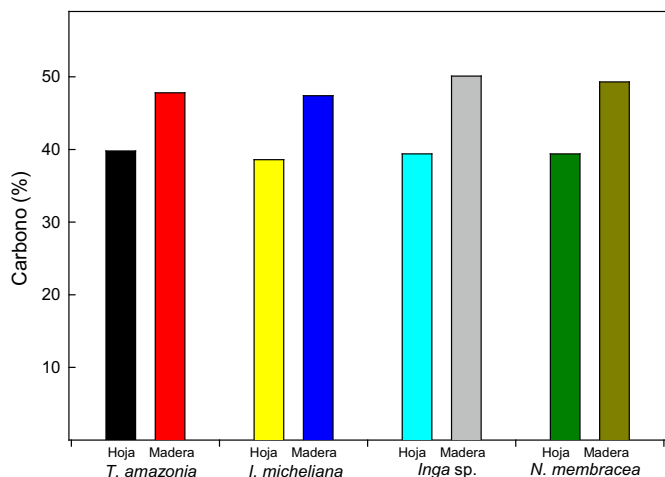


Figura 2. Contenido de carbono en hoja y madera de las especies de sombra presentes en dos sistemas agroforestales en el Soconusco, Chiapas.

plantas con el cacao representó el 70 % de almacenamiento de carbono, mientras que los árboles de cacao representaron 15 %. Las especies de árboles asociadas, *T. superba* Engels. & Diels (Combretaceae), contribuyen en gran medida al almacenamiento de carbono. Resultados semejantes se encontraron en el presente estudio con un miembro de la misma familia.

Contenido mineral de la hoja y madera

En las hojas de las cuatro especies evaluadas se incrementó el contenido de N, durante los dos primeros periodos de evaluación, que correspondieron a los meses de febrero a junio. Sin embargo, la mayor cantidad de este nutrimento se presentó en *N. membranacea* (Sw.) Griseb. en el segundo periodo de abril a junio.

En la madera, el mayor contenido de N de las cuatro especies se presentó en el periodo cuatro, de septiembre a enero y la mayor acumulación fue en *I. micheliana* (Figura 3).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales para la producción de café presentan diversas especies de sombra con dominancia de las familias Fabaceae y Combretaceae.

Se incrementó el carbono acumulado en la biomasa aérea en el sistema de café con sombra predominante de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell.

El aumento en el contenido de nitrógeno en las especies de sombra de los dos sistemas agroforestales está influenciado por la época de lluvias.

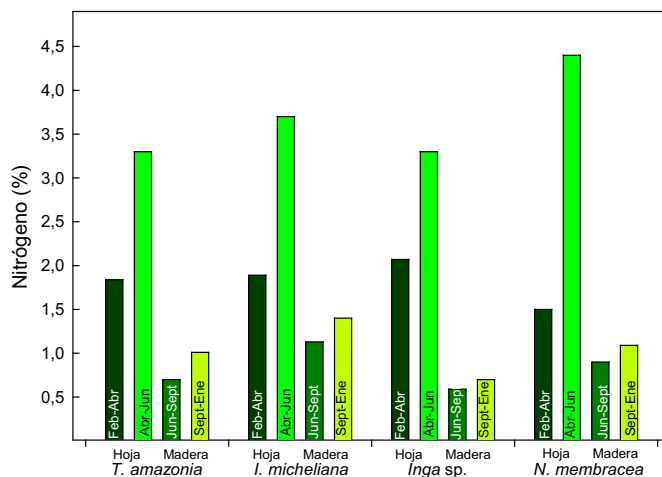


Figura 3. Contenido de nitrógeno en madera y hoja de las especies dominantes de sombra asociadas a *Coffea arabica* L.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Cadena J.F., Cadena Iñiguez J., Ramirez Valverde B., Trejo-Téllez B.I., Juárez Sánchez J.P., Morales-Flores F.J. 2016. Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. Acta Universitaria 26: 30-38.
- Alegre J., Ricse A., Arévalo L., Barbarán J., Palm C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). Boletín informativo 12: 8-9.
- Aranda J. 2004. El sistema campesino-indígena de producción de café: <http://www.jornada.unam.mx/2004/08/30/eco-c.html>
- Callo Concha D., Krishnamurthy L., Alegre J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8:101-106.
- Castañeda M.A., Vargas H.J., Gómez G.A., Valdez H.J., Vaquera H.H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. Agrociencia 39:107-116.
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Folster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99.
- Concha J.Y., Alegre J.C., Pocomucha V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. Ecología Aplicada 6: 1-8.
- Curtis, J.T., McIntosh R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie- forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.
- De Jong B., Jiménez F.G., Soto P.L. 2007. Agroforestería y secuestro de carbono, Agroforestería Pecuaria en Chiapas, México. pp. 9-31.
- De Melo V.F.E., Abarca S.M. 2008. Cafetales para servicios ecosistémicos. El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE. CATIE-FUNACAFOR-COCCAFAE-OIKOCREDI. Costa Rica. 61 p.
- De Miguel M.S., Harmand J.M., Hergoualc'h, K. 2004. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y el mantillo en sistemas agroforestales de café en el suroeste de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 41-42: 98-104.

- Espinoza-Domínguez W., Krishnamurthy L., Vázquez-Alarcón A., Torres- Rivera, A. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18: 57-70.
- García E. 1987. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. INEGI. México. 217 p.
- Goldberg A.D., Jiménez E.A. 1980. Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal. *In: Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos, México. pp. 55-63.
- González P., Hassan R., Lakada P., McCallum I., Nilson S., Pulhin J., van Rosenburg B., Scholes B. 2008. Forest and woodland systems: Chapter 21. pp. 587-614. Recuperado el 12 de febrero 2013, de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.290.aspx.pdf>.
- Huang Y., Yu Y., Zhang W., Sun W., Liu S., Jiang J., Wu J., Yu W., Wang Y., Yang Z. 2009. Agro C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 106-129.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2005. Marco Geoestadístico Municipal, versión 3.1. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Consultado el 1 de marzo del 2017. en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21158.pdf>
- Lapeyre T., Alegre J., Arévalo I. 2009. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Biología Aplicada* 3: 35-44.
- López G.A.M., Williams L.G. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad de Botánica de México*. No. 78. Sociedad Botánica de México, A. C. México, D. F. pp. 7-15.
- Miranda F. 1998. La vegetación de Chiapas, Tercera Ed. Consejo Estatal Para la Cultura y las Artes de Chiapas, México.
- Moguel P., Toledo. V.M. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43: 40-51.
- Pennington T.D., Sarukhán J. 2000. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. 523 p.
- Rendón C., Soto-Pinto L. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de carbono, El Colegio de la Frontera Sur. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT. México. 47 p.
- Romero A.Y., Soto-Pinto L., García L.B., Barrera G.F. 2002. Coffee yield and soil nutrients under the shade of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, México. *Agroforestry Systems* 54: 215-224.
- Sonwa D.J. 2004. Biomass management and diversification within cocoa agroforest in the humid forest zone of Southern Cameroon. Cuvillier Verlag, Göttingen. pp. 76-80
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Castillo- Hernández J., Caballero- Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal Zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 80: 61-69.
- Soto-Pinto L., Romero Y.A., Caballero J.N., Segura G.W. 2001. Woody plant diversity and structure of shade- grown- coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 49: 901-911.
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Caballero N.J. 2002. Shade over coffee: its effects on Berry borer, leaf rust and spontaneous herb in Chiapas, México. *Agroforestry Systems* 55: 37-45.

