

## Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz

Ma. del Rosario Pineda-López<sup>1</sup>  
Gustavo Ortiz-Ceballos<sup>1,2</sup>  
Lázaro Rafael Sánchez-Velásquez<sup>1</sup>

### RESUMEN

En las últimas dos décadas, la humanidad ha intensificado su interés sobre el efecto invernadero provocado por las emisiones de CO<sub>2</sub>. El protocolo de Kyoto es un instrumento consensuado por la mayoría de los países como una estrategia para disminuir la tasa de emisión de CO<sub>2</sub>. Los bosques son reconocidos como sistemas importantes en servicios ambientales, por ejemplo; el almacenamiento y la captura de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, existen sistemas agroforestales que pueden tener la misma función ambiental que muchos de los bosques manejados. Los cafetales con sombra son sistemas agroforestales con potencial de ser incorporados en la venta de almacenamiento y captura de CO<sub>2</sub>. En este ensayo planteamos el potencial que tienen los agroecosistemas cafetaleros del centro del Estado de Veracruz para el almacenamiento y captura de CO<sub>2</sub>.

### PALABRAS CLAVE:

Agroecosistemas, almacenamiento de CO<sub>2</sub>, cafetal, captura de CO<sub>2</sub>, servicios ambientales, Veracruz.

### ABSTRACT

During last two decades human interest in the greenhouse effect caused by CO<sub>2</sub> emissions has increased. At global scale, the Kyoto Protocol is an Agreement signed by almost all countries, as the main mechanism to diminish CO<sub>2</sub> emissions. It is well known that agroforestry systems can contribute to CO<sub>2</sub> capture at a level similar to that of many managed forests. Shaded coffee plantations are agroforestry systems likely to be included as CO<sub>2</sub> capture and storage mechanisms. We explain in this essay, the potential of coffee agroecosystems from central Veracruz State, to capture and store CO<sub>2</sub>.

### KEY WORDS:

Agroecosystems, CO<sub>2</sub> storage, coffee plantation, CO<sub>2</sub> capture, environmental services, Veracruz.

<sup>1</sup> Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada (LABIOTECA), Dirección General de Investigaciones, Universidad Veracruzana, AP 251, Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte, Av. Presidentes, Xalapa, Ver., México. ce:rpineda@uv.mx, ce:lasanchez@uv.mx

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Veracruzana Zona Universitaria, Av. Presidentes, Xalapa, Ver., México. ce:gusortiz@uv.mx

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es, sin duda alguna, uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. El clima y la temperatura media de la superficie de la Tierra, dependen del balance entre la energía solar que recibe el planeta y la energía (radiación infrarroja) que éste emite. La atmósfera que envuelve nuestro planeta está principalmente constituida por nitrógeno, oxígeno y argón, pero también tiene otros gases en más bajas concentraciones: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) conocidos como "gases de efecto invernadero". Este efecto mantiene la temperatura de la superficie del planeta más caliente de lo que sería sin su existencia y es responsable, en mucho, de la vida en la Tierra (Garduño, 2004).

A partir del siglo XVIII, la concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado de manera constante debido, principalmente, a la quema de combustible fósil (IPCC, 2001; Martínez y Fernández, 2004). Este gas es el que más ha contribuido al aumento de la temperatura de la tierra, en los últimos cien años. Al aumentar sus concentraciones parte de la radiación saliente, de onda larga emitida por la tierra al espacio, es re-emitida a la superficie de la tierra por el efecto del bióxido de carbono, aumentando la temperatura y consecuentemente alterando el clima del planeta (Magaña, 2004). La quema de biomasa principalmente la asociada a la deforestación, las emisiones derivadas de la producción de cemento y del cambio de uso del suelo (bosque-áreas de cultivo), han contribuido también al incremento de CO<sub>2</sub> (Nebel y Wrigth, 1996; PNUMA *et al.*, 2004; Garduño, 2004; Grace, 2004).

A pesar de que existen varios factores que pueden afectar el clima, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), en su informe de 2001, concluyó que hay evidencias sólidas de que el calentamiento observado en la Tierra durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas (IPCC, 2001). Cerca del 90% de las emisiones históricas de gases de efecto invernadero, provienen de los países industrializados (Smith, 1991) (ver Tabla 1).

Las implicaciones del calentamiento global para la conservación de las especies y las comunidades de plantas y animales han sido abordadas en varios trabajos (IPCC, 1996; Sala *et al.*, 2000). McCarthy (2001) señala, que el calentamiento global podría provocar cambios a todos los niveles de organización ecológica: cambios poblacionales, cambios en la distribución de los organismos, en la composición de las especies y cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. El efecto en las plantas incluye, entre otros, aumento de la productividad primaria, sesgos en los límites de distribución de las especies, cambios en la germinación y cambios en la estructura y dinámica de las comunidades. El efecto invernadero también se ha considerado responsable de cambios en las fechas de reproducción de algunas especies animales (Ceuleman, *et al.*, 1999; Bradley *et al.*, 1999; Ni *et al.*, 2000; McCarthy, 2001; Martin, 2001; Moss *et al.*, 2001).

La acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se debe a que los sumideros naturales (los bosques de viejo crecimiento o de estados sucesionales avanzados, la vegetación en general y su disolución en el mar), no alcanzan a capturar su creciente emisión.

Según Schimel (1995), existe un déficit en la captura del carbono al comparar las cantidades de este gas emitido (combustibles fósiles, industria del cemento y cambio en el uso del suelo), que es de 7.1 Gton C/año, *versus* los sumideros (atmósfera, océano, crecimiento de bosques), que es de 5.7 Gton C/año; el déficit resultante es de 1.4 Gton C/año. En este sentido, a escala mundial se ha identificado como una línea necesaria de acción, la mitigación del incremento de bióxido de carbono a través del aumento de los sumideros, es decir, de reservorios de dicho gas y también una reducción de las emisiones (Phillips *et al.*, 1998; Trexler y Haugen, 1995).

Los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la biosfera y la atmósfera (Jaramillo, 2004; Rosa *et al.*, 2004). Estos ecosistemas funcionan como sumideros, si capturan CO<sub>2</sub> y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO<sub>2</sub> si es liberado a la atmósfera a través de su quema. Conocer el papel dual de los bosques, y en general de las plantas y los suelos terrestres (hay suelos marinos), para

entender su relación en el cambio climático, ha sido fuente de debate en torno a la incorporación de este sector a las estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (Maser *et al.*, 2001). No obstante, el futuro de este sumidero natural es incierto, como consecuencia del avance de la frontera agrícola y ganadera, incendios, deforestación y degradación de los bosques, entre otros (Magaña, 2004).

Si bien los agroecosistemas no son reconocidos como parte de los sumideros y captura de carbono, porque aun no se conoce mucho sobre su potencial (Ávila *et al.*, 2001), Ortiz-Ceballos (2004) demuestra que los agroecosistemas cafetaleros, con sombra diversificada, son sistemas potenciales en la captura de carbono. Estos sistemas representan una opción para los productores de café, no solo para dar un valor ecológico agregado, sino también para contar con una fuente económica alternativa que les permita integrarse al desarrollo sustentable del país. La alternativa económica que ofrecen dichos ecosistemas es a través del pago de bonos por captura de carbono, estrategia que debe ser considerada, diseñada e implementada a corto plazo.

Tabla 1. Porcentaje de CO<sub>2</sub> emitido a escala mundial y los principales actores (2002)\*

País	Cantidad de CO <sub>2</sub> emitida a la atmósfera (%)
Estados Unidos de América	25
Europa Occidental	19
Ex URSS y Europa del Este	19
Japón	6
Canadá	2
Australia	1
China	10
Otros Países en Desarrollo	10

\* Fuente: UNFCC Mayo 2003

<sup>(1)</sup> gigatonelada = 10<sup>9</sup> toneladas

Los bonos de carbono son un instrumento de gestión ambiental y surgen a partir de proyectos relacionados con el Mecanismo de Desarrollo Limpio, con un doble propósito. Por un lado, permitir a los países industrializados cumplir con sus obligaciones de mitigación de GEI (Gases de Efecto Invernadero), a través del pago para la obtención de Certificados de Reducción de Emisiones (CER), y por otro lado, implementar proyectos en los países en vías de desarrollo que favorezcan su desarrollo sustentable, como la vía para la certificación de la reducción de emisiones de los países industrializados.

#### **NUEVO ORDEN ECONÓMICO VERDE MUNDIAL**

Posterior al Protocolo de Kyoto (1997), en octubre del 2004 Rusia ratificó el protocolo, lo que significó que dicho protocolo entrara en vigor en febrero del 2005, aún cuando Estados Unidos de América no lo haya ratificado. Los países industrializados firmantes del Protocolo de Kyoto, 34 en total y la mayor parte europeos, se han comprometido a reducir las emisiones de seis gases contaminantes en un promedio de 5.2 % entre los años 2008-2012, en relación con los niveles registrados en 1990 (PK, 1997; Guzmán *et al.*, 2004). El Protocolo de Kyoto estableció tres mecanismos para facilitar el logro de los objetivos de la Convención en el Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y ayudar a los países industrializados a alcanzar sus compromisos de mitigación. Dichos mecanismos son: la Implementación Conjunta, El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Intercambio de Emisiones y Créditos. De estos, el MDL es el más relevante para los países en desarrollo, ya que se refiere a proyectos para la mitigación de GEI llevados a cabo por países

industrializados en territorio de países en desarrollo. De esta manera, se pretende proveer una fuente de capital para financiar el desarrollo limpio en dichos países a través de proyectos que reduzcan la deforestación y la degradación de los bosques (Márquez, 2000). Los otros dos mecanismos, están relacionados con la vinculación entre países industrializados, ya sea implementando proyectos de manera conjunta (Implementación Conjunta) o intercambiando CER's (Intercambio de Emisiones y Créditos).

De los proyectos desarrollados hasta el 2003 en América Latina dentro del MDL, los principales compradores de carbono fueron: el Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial, Fondos Holandeses y fondos mixtos de empresas como MGM International y Ecoenergy International (Eguren, 2004).

Dentro de este contexto, el pago por servicios ambientales se está constituyendo como un mecanismo implementado a escala mundial, para tratar de remediar el daño ambiental por emisiones de CO<sub>2</sub>. El régimen de "comercio de los derechos de emisión" en su artículo 17 del Protocolo de Kyoto permite a los países industrializados que sobrepasen sus cuotas de emisión, comprar y vender mutuamente "unidades de carbono" a países que emiten menos (PK, 1997). De esta manera, hay 2 grupos de países, aquellos del anexo "B" que incluye a todos los países industrializados que se adhieren al Protocolo, y un grupo "No Anexo B" que integra a los países en vías de desarrollo, que no están comprometidos con límites de emisiones, y a China, a pesar de que este último país no esta reconocido como país industrializado, pero que contribuye de manera importante a las emisiones de GEI por el alto uso del carbón mineral en su balance energético (De Alba

2004) (Tabla 1). Con lo que debe mitigar el continente europeo, habrá un mercado de venta de carbono anual que asciende de 7 500 millones a 10 500 millones de dólares. Si Estados Unidos tomara la decisión de ratificar el Protocolo de Kyoto, el mercado se incrementaría en un 25%, representando un monto de 2 500 a 3 500 millones de dólares por año.

En este sentido, los países que cuentan con importantes superficies deforestadas deberían establecer estrategias para comercializar las "unidades de carbono" y de esta manera contribuir directamente al desarrollo de la economía local de las comunidades rurales (Pagiola *et al.*, 2003), que hasta el momento, no habían tenido ningún valor agregado dentro de los sistemas económicos locales. Hoy el carbono está en el preciso momento de ser un bien ("*commodity*") muy cotizado por los países industrializados, y necesario porque ya comienza a formar parte de las estrategias de mercado y de la mercadotecnia mundial. En México, las estrategias de mantener y preservar los ecosistemas forestales por la vía de la restricción en la explotación o por la promoción de plantaciones, no han tenido los resultados que se esperaban, además, debido al proceso de deforestación acelerado, se están convirtiendo en una fuente de emisiones importantes (Masera *et al.*, 1997).

No obstante, en el país existen más de 17 proyectos al nivel de estudios de caso que tienen impacto en: la generación de nuevo conocimiento sobre almacén y captura de carbono, obtención de información para formular estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y aportación de elementos para una línea base (Ordóñez, 1999; CICC, 2001).

Por otro lado, los países en vías de desarrollo, presentan áreas importantes dentro del paisaje conformadas por agroecosistemas (como el caso de México) que brindan servicios ambientales aun no valorados (conservación de la biodiversidad y del suelo, recarga de mantos acuíferos y captura de carbono, entre otros) (Bishop y Landell-Mills, 2003). Estos tipos de agroecosistemas, solo se han visto como sistemas productivos tradicionales de subsistencia y como una fuente económica subvalorada, tal es el caso de los cafetales con sombra diversificada en la región centro del estado de Veracruz.

#### **LOS CAFETALES DE LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ Y SU CONTRIBUCIÓN A LA CAPTURA DE CARBONO**

**Características generales.** En México, después del Petróleo, el cultivo del café fue la actividad económica más importante en captación de divisas hasta antes de 1980. En los últimos 23 años, el precio promedio mensual del café a nivel internacional no se ha recuperado, ha tendido a la baja en todos los tipos de café, debido principalmente a una sobreproducción, lo que ha permitido incrementar las existencias físicas en países consumidores (Ortiz-Ceballos *et al.*, 2004). Esta situación ha ocasionado que la cafecultura se convierta en una actividad de subsistencia para los pequeños y medianos productores. Los bajos precios del café han ocasionado, en la región este de México, un paisaje con fragmentos de cafetales abandonados y la reconversión productiva hacia el cultivo de caña de azúcar, o a pastizales en el mejor de los casos.

Algunas de las opciones para mejorar los ingresos de los pequeños y medianos

productores de café, han sido, el enriquecimiento de los cafetales con especies maderables, y/o la diversificación de la producción del café asociada con otros cultivos como la vainilla y frutales, entre otros. Sin embargo, estas opciones sólo se han planteado principalmente en los sistemas de café localizados en zonas de baja altura (< 800 msnm). Actualmente la producción de café no es económicamente viable, aunque ambientalmente sea adecuado para la región centro de Veracruz. El estado de Veracruz tiene 152 000 hectáreas fragmentadas de superficie cafetalera, manejadas por 67,227 cafecultores, el 94,1 % de ellos cultivan menos de 5 ha (Ortiz-Ceballos *et al.*, 2004).

La región Xalapa-Coatepec del estado de Veracruz, es una de las zonas cafetaleras más importantes del país, y se considera que el 98,8 % de esta superficie tiene cafetales con sombra diversificada que ofrece diferentes servicios ambientales conformado zonas con una alta complejidad de hábitats que contribuyen a conservar la biodiversidad, el paisaje y captura de carbono (Moguel y Toledo, 1999). Para esta región, Ortiz-Ceballos (2004) reporta la presencia de cafetales asociados a especies arbóreas que alcanzan alturas de 20 m y con densidades de 7 a 11 individuos ha<sup>-1</sup>, con alto potencial para almacenar C, por ejemplo; palo blanco (*Zinowiewia integerrima*), ixpepel (*Trema micrantha*), avin (*Lonchocharpus guatemalensis*), piocho (*Melia azederach*), guarumo (*Cecropia obtusifolia*), nacaxtle (*Enterolobium cyclocarpum*), y nogal (*Juglans sp.*), entre otros (Ortiz-Ceballos *et al.*, 2004).

Existen evidencias acerca del papel que juegan los bosques naturales y las plantaciones forestales como sumideros importantes de carbono (Vitousek, 1994; FAO, 2001; Beaumont y Merenson, 1999;

Masera *et al.*, 2001; Ordóñez y Masera, 2001; Grace, 2004; Martínez y Fernández, 2004). Sin embargo, otros autores como Dixon *et al.* (1994) y Brown *et al.* (1993), destacan la importancia de los sistemas agroforestales y agroecosistemas como componentes valiosos para la captura de carbono; no obstante, hay poca información sobre su potencial de almacenamiento y fijación (Ávila *et al.*, 2001).

## DISCUSIÓN

**Una propuesta para la venta de carbono a partir de los cafetales de la zona centro del estado de Veracruz.** Al iniciar el siglo XXI, México enfrenta no sólo el reto de conservar su biodiversidad y recursos naturales, sino detener y revertir el deterioro ambiental acumulado. Al igual que otros servicios ambientales, la captura de carbono recientemente está siendo considerada en el ámbito normativo de la gestión ambiental; el caso de los agroecosistemas como los cafetales es de lo más reciente o poco explorado. Sin embargo, el reciente programa nacional PSA-CABSA de la SEMARNAT (publicado el 24 de noviembre del 2004), en su vertiente "Mejoramiento de Sistemas Agroforestales Preexistentes", Art.16 de las Reglas de Operación de dicho programa, establece ciertas restricciones. Solo considera el apoyo a proyectos para captura de carbono en cafetales, cuando un cafetal de sol o de sombra especializada, se convierte a sombra diversificada introduciendo diversas especies útiles con productos de interés para el agricultor, generalmente mezclas de especies maderables y/o frutales, o mejor aun, cuando cambia a un sistema orgánico. Por otro lado, establece que el cambio de uso del suelo, y sus causas aparentes, es necesario que se haya llevado a cabo en los

últimos 5 años, es decir a partir de 1999, si se considera que dicho programa fue publicado en noviembre del 2004. Para poder proponer proyectos relacionados con captura de carbono en los cafetales establecidos con más de 5 años de edad, que representan en casi la totalidad de los cafetales de la región centro del Estado de Veracruz, se requerirá considerar la introducción de especies maderables y/o frutales o cambiar a un sistema orgánico a partir de 1999.

En la región Xalapa-Coatepec de Veracruz existen por lo menos seis sistemas de cultivo de café, el 0,3 % es de dicha región esta cubierta por café sin sombra, la otra porción la conforman cafetales asociados a jinicuil (*Inga* spp.), chalahuite (*Inga* sp.) chalahuite-huisache (*Acacia* spp.), mango, mango-cítricos, y a especies del bosque mesófilo de montaña. En esta región, Ortiz-Ceballos (2004) estimó (a través de muestreos en campo y utilizando modelos alométricos no destructivos), que se tiene un almacén potencial de C de 2 606 039 t en una superficie de 39 921 ha de café con sombra diversificada a un promedio de 65 t ha<sup>-1</sup> (Ortiz-Ceballos, 2004). El sistema que más CO<sub>2</sub> almacena corresponde al café asociado a las especies del bosque mesófilo de montaña (73.3 t ha<sup>-1</sup>) y el más bajo es el café asociado al chalahuite y huisaches (38.5 t ha<sup>-1</sup>). La asociación del café con jinicuil, chalahuite y con especies del bosque mesófilo de montaña cubren el 88 % de la superficie de café con sombra, conformando un sistema con importantes relictos de vegetación tropical y alta complejidad de hábitats (Moguel y Toledo, 1999). Lo anterior sugiere que dichos sistemas agroforestales deberían tomarse en cuenta como sumideros de C, de ser así, el pago por secuestro de C puede contribuir a promover un desarrollo regional y manejo sostenible de estos ecosistemas,

situación que no se obtendría si estos son destruidos.

Cabe señalar que Romero-Alvarado *et al.* (2002) encontraron en una región de Chiapas, que la producción de café es independiente del tipo de sombra, lo cual coincide con Nolasco (1985), es decir, que la sombra diversificada, no afecta de manera importante la producción de café. Además, éste sistema de sombra, promueve la protección de la biodiversidad, ofrece productos alimenticios, medicinales, nutricionales, para la construcción, y ornamentales, entre otros. Esto habría que evaluarse en los cafetales con sombra diversificada de la zona centro del estado de Veracruz.

Si bien en términos de estudios del cambio climático, la adopción de decisiones se realiza en condiciones de incertidumbre general (IPCC, 2001), lo cierto es que la pérdida y degradación de la riqueza biótica es un hecho. Ante este escenario, el mantenimiento de los cafetales con sombra diversificada constituye una alternativa para disminuir la pérdida de servicios ambientales, ya que permiten, mitigar el efecto del cambio climático a través de la fijación de carbono, y al mismo tiempo favorece la conservación de la biodiversidad. De esta manera, considerar a los cafetales sistemas ecológicos integrados en el esquema de Pagos por Servicios Ambientales, puede representar un mercado alternativo para las regiones cafetaleras y otros cultivos del centro del estado de Veracruz, y al mismo tiempo impulsar el desarrollo sostenible de la región.

## RECOMENDACIONES

A escala de la región central cafetalera del Estado de Veracruz, y a partir de una perspectiva intermunicipal, se requiere promover un programa que incluya:

1) Una propuesta para la consideración de los cafetales con sombra diversificada en la captura y almacén de CO<sub>2</sub>, que incluya no solo los elementos de justificación ambiental, sino también la dimensión jurídica correspondiente.

2) La revaloración el sistema productivo de café de sombra y sensibilizar a los productores cafetaleros de la región, sobre la necesidad de conservar estos sistemas productivos. Esto debe hacerse bajo un esquema de oportunidades de ingresos económicos por el pago de servicios ambientales, y dentro de un proceso de autogestión, que permita la constitución de organizaciones locales para el manejo integral de los cafetales.

3) Sensibilizar a las autoridades municipales, sobre la necesidad de fomentar el mantenimiento de los cafetales con sombra diversificada, como proveedores de servicios ambientales locales, y proponer su consideración como parte del Plan de Desarrollo Municipal, así como de su Reglamento Ambiental Municipal, en el entendido de que gran parte de la economía de la región esta basada en la cafecultura.

4) Integrar esfuerzos, entre el municipio, el gobierno estatal y la federación, en la inversión y apoyo a los cafecultores. Esto se debe dar por el pago de los servicios ambientales actuales y para potenciar el agroecosistema en la captura de CO<sub>2</sub>, a

través de la siembra de árboles maderables y frutales.

5) Elaborar un análisis de costos relativos de la permanencia de los cafetales con sombra en la región, y comparar dicho análisis a nivel intermunicipal, con la finalidad de evaluar los costos económicos y sociales que se pueden derivar en un escenario de falta de los servicios ambientales locales que provee el cultivo de café con sombra.

6) Diseñar un instrumento que permita caracterizar, monitorear y evaluar geográficamente los ecosistemas y su contribución a la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en el ámbito local y regional, con la finalidad de priorizar acciones de pago, manejo y/o conservación de los mismos, desde una perspectiva de desarrollo regional.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a la Universidad Veracruzana a través de la Dirección General de Investigaciones por impulsar este tipo de proyectos. El primer autor es además, estudiante del doctorado en Ciencias del Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia y este documento forma parte de la revisión para la elaboración del trabajo de investigación. Este trabajo es un producto de la línea de investigación y generación del conocimiento: Servicios ambientales de los sistemas forestales y agroforestales, del Cuerpo Académico Ecología y Manejo de la Biodiversidad Forestal. Agradecemos las valiosas aportaciones que hicieron dos revisores anónimos.

## REFERENCIAS

- Avila, J. F., J. Beer, M. Gomez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Revista Agroforestería de las Americas* 8: 32-35.
- Beaumont, R. E. y C. E. Merenson. 1999. El protocolo de Kyoto y el Mecanismo para un Desarrollo Limpio: Nuevas Posibilidades para el Sector Forestal de América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Departamento de Montes. FAO. ROMA. 109 p.
- Bishop, J. y N. Landell-Mills. 2003. Los servicios ambientales de los bosques: información general. *In*, S. Pagiola, J. Bishop, y N. Landell-Mills, eds. *La Venta de Servicios Ambientales Forestales: Mecanismos Basados en el Mercado para la Conservación y el Desarrollo*. INE-SEMARNAT. México. p. 43-75.
- Bradley, N.L., A.C. Leopold J. Roos y W. Huffaker. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 96:9701-9704
- Brown S., C. Hall, W. Knave, J. Raich, M. Trexler y P. Woome. 1993. Tropical forest: their past, present and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water, Air and Soil Pollution* 70:71-94.
- Ceuleman, R., L.A. Janssens y M.E. Jach. 1999. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on trees and forest: lesson to be learned in view of future ecosystem studies. *Ann. Bot.* 84:577-590.
- CICC (Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático). 2001. México: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. D.F. 374 p.
- Dixon, R. K., J. Winjum., K. Andrasko, J. Lee y P. Schroeder. 1994. Integrated systems: assessment of promising agroforest and alternative land-use practices to enhance carbon conservation and sequestration. *Climate Change* 30: 1-23.
- De Alba, E. 2004. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *In*, Martínez, J. y A. Fernández. 2004. *Cambio Climático: una Visión desde México*. INE-SEMARNAT. p. 143-153.
- Eguren, C. L. 2004. El Mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Santiago de Chile. Marzo 2004. Serie 83. ISBN 92-1-322357-9
- FAO, 2001. *State of the World's Forests*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-304590-6. 175 p.
- Garduño, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero?. *In*, J. Martínez y A. Fernández, comp. *Cambio Climático: una Visión desde México*. INE-SEMARNAT. p. 29-39.

- Grace, J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology* 92:189-2002.
- Guzmán, A., I. Laguna y J. Martínez. 2004. Los mecanismos flexibles del protocolo de Kioto de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *In: Martínez, J., A. Fernández (comp.) 2004. Cambio climático: una visión desde México. 1ª.edic. INE-SEMARNAT. p. 177-187.*
- IPCC. 1996. Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts.
- IPCC, 2001. 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., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson, eds. Cambridge, University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p.
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. *In, J. Martínez y A. Fernández, comp. Cambio Climático: una Visión desde México. INE-SEMARNAT. p. 77-85.*
- Magaña, R. V. O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. *In, J. Martínez y A. Fernández, comp. Cambio Climático: una Visión desde México. INE-SEMARNAT. p. 17-27.*
- Márquez, L. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono. Fundación Solar. Guatemala. 29 p.
- Martin, T.E. 2001. Abiotic vs. Biotic influences on habitat selection of coexisting species: climate change impacts?. *Ecology* 82:175-188.
- Martínez, J. y A. Fernández. 2004. Cambio Climático: una Visión desde México. INE-SEMARNAT. 521p.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Masera, O. R., A. D. Ceron y J. A. Ordoñez. 2001. Forestry mitigation options for México: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change* 6: 291-312
- Masera, O. R. 2002. Bosques y cambio climático en América Latina: Análisis y perspectivas. *In, E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty y L. P. Romero, comp. La Transición hacia el Desarrollo Sustentable: Perspectivas de América Latina y el Caribe. PNUMA, UAM-X, INE-SEMARNAT. p. 211-235.*
- McCarthy, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation biology* 15:320-331.
- Moguel, P., V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:1-12.

- Moss, R., J. Oswald y D. Baines. 2001. Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *J.Anim. Ecol.* 70: 47-61.
- Nebel, B. J. y R. T. Wriqth. 1996. *Environmental Science*. Prentice Hall. Fifth edition. Paramus, NJ. USA.
- Ni, J., M. T. Sykes, I.C. Prentice y W. Cramer. 2000. Modelling the vegetation of China using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model BIOME3. *Global Ecol. Biogeogr. Letter* 9:463-479.
- Nolasco, M. 1985. *Café y sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo. México. 454 p.
- Ordóñez, A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: El caso de San Juan Nuevo, Michoacán. *INE-SEMARNAP. México, D.F.*: 72.
- Ordóñez, J. A. B. y O. Masera. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7: 3-12
- Ortiz-Ceballos, G. 2004. *El Agroecosistema Café: Crisis de Mercado y Sustentabilidad*. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz. México. 125 p.
- Ortiz-Ceballos. G., M. Vargas M., M. A. Mendoza B., M. M. Ojeda R. y L. Trujillo O. 2004. Análisis comparativo de la producción-demanda del café en el mercado internacional (1980-2003). *Rev. Interciencia* 29: 621-625.
- Pagiola, S., N. Landell-Mills, y J. Bishop. 2003. *La Venta de Servicios Ambientales Forestales: Mecanismos Basados en el Mercado para la Conservación y el Desarrollo*. INE-SEMARNAT. México. 457 p.
- Phillips, O. L., N. Y. Malhi, P. Higuchi, V. Nuñez, R. M. Vazquez, S. Laurence, L. V. Ferreira, M. Stern, S. Brow y J. Grace. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long term plots. *Science* 282: 439-442.
- PK (Protocolo de Kyoto). 1997. [http://unfccc.int/int/essential\\_background/kyoto/items/1351.php](http://unfccc.int/int/essential_background/kyoto/items/1351.php).
- PNUMA, ORDALC, SEMARNAT, Universidad San Paulo Brasil, Unidad de Cambio Climático, Ministerio de Salud y Medio Ambiente de Argentina, GRID Arendal. 2004. *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Versión Preliminar*. 98 p.
- Romero-Alvarado, Y., L. Soto-Pinto, L. García-Barríos y J. K. Barrera-Gaytan. 2002. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga sp.* vs. multiple species in Chiapas México. *Agroforestry Systems* 54: 215-224.
- Rosa, H., S. Kandel y L. Dimas. 2004. *Compensación por Servicios Ambientales y Comunidades Rurales: Lecciones de las Americas y Temas Críticos para Fortalecer Estrategias Comunitarias*. INE, SEMARNAT, PRISMA, CCMSS. México. 124 p.
- Sala, O. E., F. Stuart Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber- Sanwald, L.F. Hueneke, R.B.

- Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Hoesterheld, N. LeRoy Poof, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker y D. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770-1774.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1:77-91
- Smith, K. R. 1991. Allocating responsibility for global warming: the natural Debt index. *AMBIO* 20: 95-96
- Trexler, M. C. y C. Haugen. 1995. Keeping it Green: Tropical Forestry Opportunities for Mitigating Climate Change, World Resources Institute. Washington D.C.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming ecology and global change. *Ecology* 75: 1861-1876.

Manuscrito recibido el 6 de mayo de 2005.  
Aceptado el 27 de septiembre de 2005.

Este documento se debe citar como:  
Pineda L., M. R, G. Ortiz-Ceballos y L. R. Sánchez-Velázquez. 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