Evaluación del impacto de la producción de aceite de palma sobre el calentamiento global (II) Modelo para un cultivo individual

Evaluating the Global Warming Impact of Palm Oil Production (II) An Estate Model

AUTORES

Ian E. Henson
7 Richmond Dale, Bristol BS8 2UB, Reino Unido
K. C. Chang
111 Jalan 12/14, 46200 Petaling Jaya, Selangor, Malasia

Palabras CLAVE

Palma de aceite, cambio en el uso de suelo, secuestro de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero, modelo de monocultivo.

Oil palm, land use change, carbon sequestration, greenhouse gas emission, single crop model.

Tomado de:
The Planter, Kuala Lumpur, 85 (998): 251-265 (2009)

Resumen

La cada vez más apremiante necesidad de evaluar el impacto que tienen los cultivos individuales de palma de aceite sobre el medio ambiente únicamente se puede lograr si existen procedimientos y herramientas apropiadas. Uno de dichos impactos es el del calentamiento global, en términos de su efecto sobre el secuestro y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y particularmente del dióxido de carbono. Anteriormente, la mayoría de las evaluaciones se realizaban utilizando datos generales o modelados para un cultivo individual, o se realizaban a nivel de la totalidad de la industria, con datos para todo el país. Este trabajo describe un enfoque intermedio que se ha desarrollado con el fin de ser utilizado en plantaciones individuales o unidades productivas de palma de aceite. La presente prueba se realizó sobre la base de un cultivo hipotético con una historia de utilización de suelos y datos de entrada y salida nominales, utilizando las condiciones generales de Malasia. La intención fue la de establecer una metodología apropiada para ser utilizada en plantaciones reales con el fin de evaluar el impacto sobre el balance de GEI en diferentes escenarios. Se describen las características y la historia del uso de la tierra de una plantación virtual y se presentan los presupuestos de carbono, mostrando el balance neto de carbono para toda la plantación, por hectárea y por tonelada de aceite de palma producido. Se exploran algunas oportunidades para reducir las emisiones totales. Los principales factores que contribuyen al presupuesto son: i) El uso inicial del suelo; ii) Las emisiones de metano por parte de los estanques de efluentes de las plantas de beneficio de palma de aceite (EPBAP), y iii) la utilización o no de material de siembra mejorado para las resiembras. Se describen algunos efectos resultantes de la variación de estos factores sobre el presupuesto de C.

Abstract

The increasing need for oil palm estates to undertake assessments of their environmental impacts can only be met if appropriate procedures and tools are available. One such impact involves global warming, as influenced by the sequestration and emission of greenhouse gases (GHG), principally carbon dioxide. Previously, such assessments have involved the use of generalized or modelled data relating to a single crop, or have operated at a whole industry level, making use of country-wide data. This report describes an intermediate approach developed for use with individual oil palm estates or units. It was tested for an estate with a hypothetical history of land use and with national inputs and outputs based on Malaysian conditions. The intention was to establish methodology appropriate for use with real estates and to assess the impact of different scenarios on the GHG balance. The characteristics and history of land use for the virtual estate are described and carbon budgets are presented giving the net carbon balance for the whole estate and per hectare and per tonne of palm oil produced. Opportunities for reducing the total emissions are explored, with the chief contributory factors to the budget being: i) initial land uses, ii) methane emission from POME ponds, and iii) the use or otherwise of improved oil palm planting materials for replanting. Some effects of varying these factors on the C budget are described.

Cada vez más la agroindustria de la palma de aceite tiene la necesidad de evaluar el impacto de sus actividades sobre el medio ambiente y de tomar medidas para asegurar la sostenibilidad de sus negocios. En particular, deben evaluar el balance de carbono y su impacto sobre el calentamiento global. Si bien, actualmente no existe ningún requisito de evaluar el balance de C o de gases de efecto invernadero (GEI) para cumplir con criterios de sostenibilidad, estos podrían convertirse en requisitos obligatorios a futuro, dada la creciente utilización y desarrollo de los sistemas de certificación para el aceite de palma.

La evaluación del balance de GEI es tanto difícil como costosa y es probable que solo las compañías más grandes tengan actualmente los recursos para realizarla. En este trabajo describimos un modelo de computador diseñado para que la mayoría de los administradores de plantaciones puedan evaluar su impacto de C, o su "huella", con base en la historia de su plantación en particular y sus opciones de gestión. (Aquí utilizamos el término plantación para referirnos a un área de tamaño relativamente grande donde se ha desarrollado un cultivo de palma de aceite asociado a una planta de beneficio del tamaño apropiado para procesar la totalidad de los racimos de fruto fresco producidos. El terreno cultivado no necesariamente tiene que ser continuo y la planta de beneficio puede estar ubicada en un lugar diferente.)

Anteriormente se han realizado varias evaluaciones sobre el flujo de los GEI derivados del cultivo, del procesamiento y del cambio en el uso del suelo (CUS) de la palma de aceite. Estas se han diferenciado en los enfoques e incluyen estudios generales basados en diversos datos genéricos que se encuentran en la literatura (Reijnders y Huijbregts, 2006; Beer et ál., 2007; Germer y Sauerborn, 2007; Reinhardt et ál., 2007; Schmidt, 2007; Chen, 2008), análisis sobre una sola localidad (Henson y Chang, 2009) y evaluaciones a nivel nacional, utilizando los datos oficiales de la industria y el gobierno (Henson, 2004 y 2009). Tanto los estudios nacionales como los de una sola localidad han llevado al desarrollo de modelos de computador a una escala adecuada. El presente artículo describe el desarrollo de un modelo que se puede aplicar a la totalidad de un cultivo y que puede ayudar a los administradores de plantación a cumplir con requisitos futuros de contabilidad ambiental.

Metodología

El objetivo fue diseñar y desarrollar un modelo que fuese a la vez robusto y flexible para calcular los cambios en el balance de los GEI en un cultivo a lo largo del tiempo. En vez de basar el modelo en una plantación específica, este se desarrolló, y se ilustra por medio de una plantación hipotética, con una historia relativamente compleja, con el fin de incorporar el

mayor número de factores que se encuentren en los casos reales y lograr que el modelo esté relativamente libre de restricciones en cuanto a las condiciones específicas de cada cultivo individual. Sin embargo, el modelo es lo suficientemente flexible para satisfacer las necesidades de la mayoría de las plantaciones y también puede ser utilizado en cultivos pequeños.

El enfoque general de la construcción del presupuesto, los valores por defecto y los métodos de cálculo se ha desarrollado según estudios previos (Henson, 2009; Henson y Chang, 2009).

Escalas de tiempo

El modelo funciona con base en datos anuales, con una escala cuyo punto de partida es el año en que se sembró el primer cultivo de palma de aceite, terminando en el año final del último cultivo sembrado. El modelo permite variar la vida del cultivo o el Tiempo del Ciclo de Resiembra (TCR) desde 15 hasta 30 años, siendo este último el valor por defecto. Utilizando los datos por defecto, se producen resultados durante 63 años correspondientesael periodo 1964 y 2026.

Área y condiciones de la plantación

El tamaño de la plantación está programado por defecto en 7.500 ha y se asume que tiene su propia planta de beneficio. Se supone que las condiciones locales son el "promedio" de Malasia, sin presentarse extremos en temperaturas, suelos o terrenos. Si bien se supone que la mayoría del terreno consiste en suelos minerales fértiles y bien estructurados, se incluye una pequeña área de suelo de turba con el fin de ilustrar los factores adicionales que se deben tener en cuenta para este tipo de suelo.

Historia del uso del suelo

El uso previo del suelo tiene un alto impacto en el balance de carbono de una localidad. Se libera una gran cantidad de carbono durante las operaciones de desmonte y limpieza anteriores a la siembra del cultivo, aunque las cantidades varían según la naturaleza y la densidad de la vegetación anterior, y en el caso de los bosques, de la magnitud del cambio debido a la tala de maderables. La cantidad de C de biomasa que se pierde durante el desmonte es alta y la práctica más común es descontar o amortizar esta pérdida a lo largo de la vida del cultivo siguiente. La alternativa es tratar cada desmonte como un evento independiente. El resultado final es el mismo cuando se utiliza una escala de tiempo lo suficientemente larga, pero es preferible la amortización con el fin de suavizar las tendencias anuales.

La mayoría de las plantaciones grandes se han desarrollado de manera progresiva, y no de una sola vez, ampliándose en la medida en que las circunstancias económicas y la disponibilidad de tierras aledañas lo permitían. La plantación hipotética de este estudio se desarrolló en 18 etapas a lo largo de 34 años, con 18 campos o unidades productivas (Tabla 1). Anteriormente existían cultivos de caucho o coco, pero aparte de contabilizar la biomasa perdida durante el desmonte, no se tienen en cuenta las contribuciones de estos cultivos en términos de su impacto ambiental y producción económica.

Con la excepción del último cultivo sembrado, cuando la palma de aceite llega a la edad en que se debe tumbar, se supone que se resiembra, y que la biomasa perdida (de las palmas existentes, la cobertura vegetal y los desechos) nuevamente se amortiza a lo largo de la vida del cultivo siguiente. En el presente modelo, las especificaciones del cultivo resembrado son las mismas que las del cultivo anterior.

Biomasa existente en la vegetación tumbada

Se deben ingresar los valores para el carbono en la biomasa que se pierde durante el desmonte. Cuando no existen mediciones directas en la localidad, se deben utilizar los valores por defecto que se indican en la Tabla 1 (tomados de Henson, 2009). Estos son los datos que resultan de la biomasa existente y el contenido promedio de carbono de cada material. El valor de la biomasa para bosques secundarios o que han sido talados anteriormente, con la excepción de la turba [que se supone tiene una mayor densidad de biomasa (DB) que la existente en los bosques en suelos minerales (Adi Jaya et ál., 2007)], permite una reducción en la DB a través del tiempo debido a una mayor tala de árboles (Henson, 2009), donde:

$$DB\ (t\ ha^{-1}) = 239 - (1{,}7 \times (año - 1980))$$

Se asume que los cultivos anteriores de árboles han llegado al final de su vida económica útil al momento

Tabla 1. Datos históricos de la plantación por defecto

Cultivo	Año de desmonte y sembrado	Área (Ha)	Tipo de suelo	Opción de cosecha de palma de aceite [1]	TCR[2] (años)	Vegetación anterior	Pérdida de C de biomasa en el desmonte (t ha^{-1})[3]
1	1964	600	mineral	PN	30	Bosque secundario	119,8
2	1966	200	mineral	PN	30	Bosque secundario	118,3
3	1970	700	mineral	PN	30	Bosque secundario	115,2
4	1973	250	mineral	PN	30	Bosque secundario	112,9
5	1974	500	mineral	PN	30	Bosque secundario	112,1
6	1976	500	mineral	PN	30	Bosque secundario	110,6
7	1977	150	mineral	PN	30	Bosque secundario	109,8
8	1979	200	mineral	PN	30	Bosque secundario	108,3
9	1981	1000	mineral	PN	30	Bosque secundario	106,8
10	1982	200	mineral	PN	30	Pastos/Tierras arables	4,98
11	1983	800	mineral	PN	30	Bosque secundario	105,3
12	1985	180	mineral	PN	30	Bosque secundario	103,7
13	1987	370	mineral	PN	30	Coco maduro	44,35
14	1988	500	mineral	PN	30	Caucho maduro	61,64
15	1989	400	mineral	PN	30	Caucho maduro	61,64
16	1992	200	mineral	PN	30	Caucho maduro	61,64
17	1993	450	mineral	PN	30	Caucho maduro	61,64
18	1997	300	turba	PN	30	Bosque primario	132,92

Notas:

1. PN o promedio nacional para la palma de aceite
2. Tiempo de ciclo de resiembra
3. Excluye el C retirado del sitio por las cosechas de productos maderables, pero incluye los desechos dejados que se pudren en la localidad (que desaparecen a lo largo del ciclo de vida del cultivo). Se supone que todos los árboles están maduros al momento del desmonte.

del desmonte. Se incluye para efectos comparativos un área de pastos u otros materiales vegetales bajos en biomasa, aunque esta clase de terreno generalmente no se encuentra disponible para sembrar en Malasia. Por consiguiente, los CUS representan siete clases de uso anterior del suelo (bosque primario, bosque secundario, caucho maduro, cacao maduro, coco maduro, palma de aceite madura, y pastos u otros tipos de vegetación bajos en biomasa).

Las cantidades de biomasa perdida para la plantación por defecto durante el desmonte tanto de la vegetación inicial como la de los cultivos subsiguientes de palma de aceite se indican como eventos independientes en la Figura 1 y como valores amortizados en la Figura 2. Este último además muestra cómo la pérdida de C amortizada se afecta según el tipo de cultivo de palma de aceite que se seleccione (ver más adelante).

Crecimiento, producción y acumulación de biomasa en el cultivo

Para probar el modelo se utilizaron tres conjuntos de datos simulados de crecimiento y producción de palma de aceite, pero en una plantación real se deben utilizar los datos de producción realmente registrados. Los datos por defecto se presentan según el promedio nacional (PN) de palma de aceite (Henson, 2003). Aquí comparamos el PN con material de siembra "mejorado" que representa el mejor de los otros dos. El material mejorado se siembra como una alternativa al PN a partir del año 1981. En la Tabla 2 se presentan algunas de las características de ambos materiales.

Para la evaluación de los cambios en el almacenamiento total de C de la plantación se incluyeron todos los componentes, es decir, las palmas de

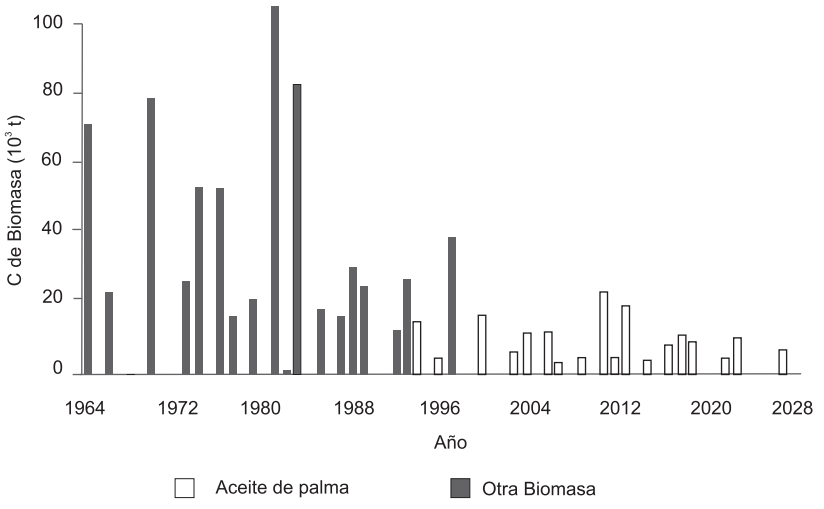

Figura 1. Ocurrencia y cantidades totales de pérdida de carbono durante el desmonte de la biomasa anterior a la siembra de un nuevo cultivo de palma de aceite. Los datos de palma de aceite son para la opción por defecto del promedio nacional de palma de aceite, la cual se tumba treinta años después de haber sido cultivada.

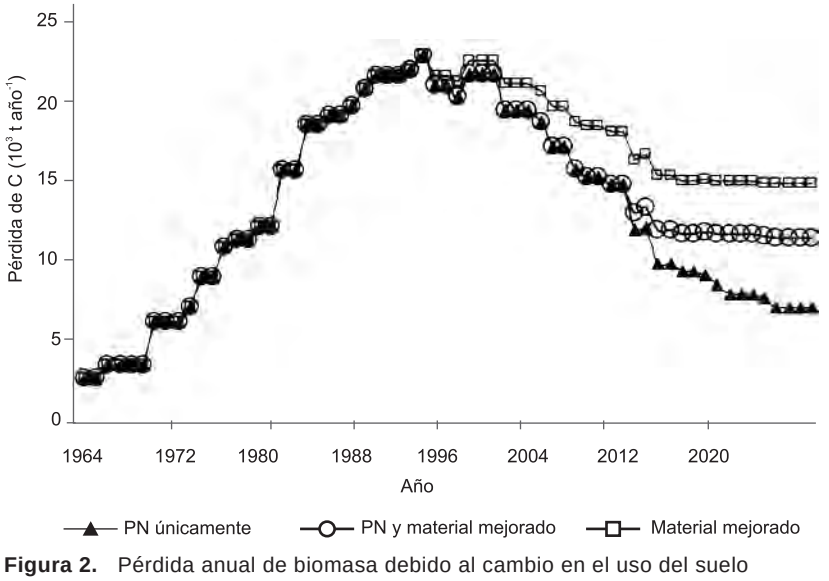

Figura 2. Pérdida anual de biomasa debido al cambio en el uso del suelo (CUS) en la plantación, amortizada en treinta años, en tres esquemas de cultivo: utilización del promedio nacional (PN) de palma de aceite únicamente, PN sustituido por material mejorado a partir del año 1981, y material mejorado a lo largo de todo el ciclo, todos tumbados treinta años después de haber sido sembrados.

aceite (incluyendo las raíces), la cobertura vegetal (incluyendo sus desechos) y los desechos de la palma de aceite (montones de hojas, residuos de bases de hojas caídas e inflorescencias masculinas caídas), y se contabilizaron según se ha indicado en estudios anteriores (Henson, 2009). Se debe tener en cuenta que la biomasa de la cobertura vegetal es más baja en el caso del material vegetal mejorado, debido a la menor transmisión de la luz solar a través del follaje más denso de la palma de aceite.

Los cambios en las áreas sembradas y en la producción de RFF a lo largo del periodo de 63 años se muestran en la Figura 3, tanto para material del PN sembrado en todos los campos, como para la utiliza-

Tabla 2. Características de los materiales sembrados en los cultivos de palma de aceite y asociados a la biomasa de la plantación usada en el presente estudio

Ítem	Material de siembra PN	Material de siembra mejorado
	Toneladas C ha^{-1}	
Biomasa de la palma de aceite	30,57	34,08
Biomasa de cobertura vegetal	1,98	1,58
Desechos del cultivo	3,32	4,38
Total	35,87	40,04
	Toneladas ha^{-1} $año^{-1}$	
Producción de RFF	16,91	23,36

ción de material de siembra mejorado sembrado en los campos que se reemplazaban a partir del año 1981.

Utilización de productos y subproductos de la planta de beneficio

Wood y Corley (1993) suministraron datos con base en una planta de beneficio de capacidad de 40 t $hora^{-1}$, los cuales han sido utilizados para este modelo. Se supone que la planta es auto suficiente en términos de energía debido a la reutilización de subproductos (fibra y cuesco) como combustible para los generadores, y permite la opción de reutilizar la totalidad de los racimos de fruto vacíos (RFV) y los efluentes de las plantas de beneficio de palma de aceite (EPBPA) tratados como fertilizantes y acondicionadores de suelos. Sin embargo, actualmente no se ofrece una opción para incluir los ahorros en el uso de fertilizantes inorgánicos gracias a dicha reutilización y, por tanto, los ahorros en el uso de combustibles fósiles debido a la falta de datos suficientes sobre la compensación en los costos de transporte y aplicación.

Los RFV no se queman. Por defecto, se asume una tasa de extracción de aceite (TEA) del 20% (pero este parámetro se puede modificar), y se calcula la producción de aceite de palma crudo (APC) con base en los RFF producidos. Las cantidades de otros productos de la planta de beneficio (aceite de palmiste y torta de palmiste) y de subproductos (RFV, EPBPA, fibra, cuescos) se calculan a partir de los RFF en proporciones fijas según datos de Wood y Corley (1993).

El carbono secuestrado en los productos y subproductos de la planta de beneficio de RFF, incluyendo los materiales que se reutilizan en los campos, se calculó según el método descrito por Henson (2009).

Emisiones de la planta de beneficio

En cuanto a las emisiones de GEI de la planta de beneficio, únicamente se tienen en cuenta las fuentes diferentes al CO_2, dado que éste representa el reciclamiento de C que se había fijado anteriormente en el cultivo. En cambio, los otros GEI, tales como el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) representan cargas adicionales debido a que tienen un mayor potencial de calentamiento global (PCG). La principal forma de gases emitidos por la planta de beneficio es el CH_4, el cual es liberado por los estanques de EPBAP. También existen emisiones de GEI de la chimenea del quemador de combustible, pero las cantidades son muy pequeñas (Vijaya et ál., 2008), por lo que no son tenidas en cuenta aquí.

Emisiones de metano

El EPBAP es la mayor fuente de metano en la planta de beneficio. La cantidad generada se calculó con base en datos de Yacob et ál. (2006). Es posible reducir y hasta eliminar la carga de GEI del metano convirtiéndolo en CO_2 mediante la quema, o mediante su captura y utilización como biogás, en cuyo caso se convierte en una fuente de energía que sustituye a los combustibles fósiles. El cálculo de las ganancias de C resultantes del uso de biogás para la generación de energía se basa en datos de Schmidt (2007) y supuestos de Chase y Henson (2009), según los cuales la producción de energía por kilo de CH_4 es de 45,1 MJ, y un MJ es equivalente a 0,177 Kg de CO_2.

También es probable que los RFV generen metano, pero esta fuente no ha sido incluida debido a la falta de información.

Emisiones de carbono del suelo

Con la excepción de los suelos de turba, no se tienen en cuenta pérdidas ni ganancias de C de los suelos. Aunque algunas actividades de preparación del terreno durante el desmonte podrían generar una pérdida de C de los suelos (Germer y Sauerborn, 2007), también hay evidencia de que la materia orgánica del suelo podría incrementarse a lo largo de la vida del cultivo (Haron et ál., 1998). En general, hay pocos datos sobre los cambios de C en los suelos cultivados con palma de aceite (ver Henson, 2004 para mayores referencias y una discusión sobre el tema), y en consecuencia,

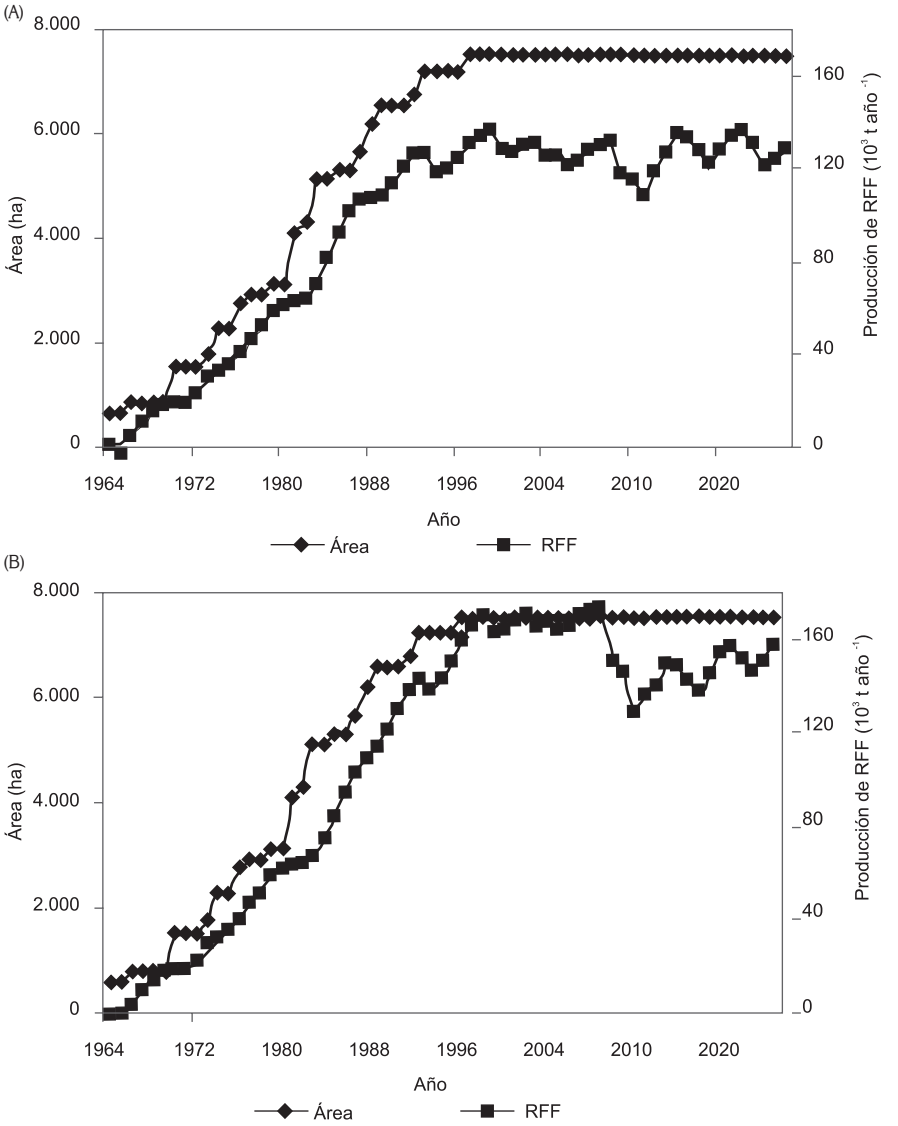

Figura 3. Cambios en el área sembrada con palma de aceite y la producción total de racimos de fruto fresco (RFF) en el cultivo a lo largo de un periodo de 63 años. En (A) se utilizó el material vegetal de siembra del promedio nacional durante todo el periodo; y en (B) se utilizó material de siembra mejorado en los cultivos nuevos a partir de 1981.

para el modelo de campo se presupone una condición constante de C en el suelo (Henson y Chang, 2009).

En el caso de suelos de turba utilizados para cultivar palma de aceite existe una pérdida continua de C debido a los procesos de oxidación que se originan luego del drenaje de lo que era anteriormente un substrato de naturaleza primordialmente anaeróbica. Sin embargo, existe mucha incertidumbre sobre la magnitud de estas emisiones. El modelo permite calcular una tasa de pérdida de C que puede ser constante o decreciente a lo largo del tiempo, con base en supuestos de valores de la densidad de masa inicial, el contenido de carbono, la tasa de remisión y la proporción de remisión debido a la oxidación (Wosten et ál., 1997; Melling et ál., 2007).

Utilización de combustibles fósiles equivalentes en los suministros

La utilización de suministros para el cultivo tales como fertilizantes, agroquímicos, etc., afecta indirectamente el balance de GEI, debido a que su producción y transporte implican el consumo de combustibles fósiles. También se consumen estos combustibles en los equipos de transporte y la maquinaria del cultivo. Las

cantidades que se utilizan, su energía y C equivalentes se calcularon con base en los datos de Wood y Corley (1993), ajustando para un menor consumo de fertilizantes en los primeros y últimos años de desarrollo de la palma de aceite.

Se consumen algunos combustibles fósiles directamente en la planta, pero las cantidades son generalmente pequeñas (Vijaya et ál., 2008), y por consiguiente no fueron incluidas en el análisis.

Emisiones de óxido nitroso

Los suelos de turba y las aplicaciones de fertilizantes a base de N emiten N_2O, el cual tiene un PCG 296 veces mayor a la masa equivalente de CO_2. Las tasas de emisión de la turba se basan en datos de Melling et ál. (2004) y para los fertilizantes a base de N se utiliza un factor de emisión calculado para condiciones tropicales por Caliman et ál. (2005).

Presentación de datos

Los datos se presentan en términos de C-equivalentes (C_{eq}), lo que permite ajustar las diferencias en el PCG de las emisiones de gases.

Los presupuestos

Presupuestos por defecto

Con el fin de ilustrar el potencial del modelo se desarrollaron tres presupuestos para la plantación por defecto: Uno que utiliza el PN de palma de aceite a lo largo de la totalidad del periodo; un segundo que utiliza una palma de aceite mejorada a partir del año 1981, y un tercero que utiliza una palma de aceite mejorada a lo largo de todo el periodo. La Tabla 3 presenta un resumen de los tres presupuestos. Si bien el secuestro de C se incrementa del caso 1 al 3, este aumento se contrarresta con el aumento de emisiones, lo que resulta en un aumento en las pérdidas de C. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 4, el mejor material de palma de aceite produce menores emisiones por tonelada de APC.

Contribución del metano de la planta de beneficio a las emisiones totales

El efecto de reducir las emisiones de metano de EPBPA sobre el balance de C, ya sea convirtiéndolo en CO_2 (quemándolo localmente) o atrapándolo y utilizándolo para producir electricidad, también se investigó (Tabla 5). Cuando se deja fluir sin tratamiento, el metano contribuye entre el 18 y el 21% de las emisiones brutas de carbono. Esto se reduce a < de 3% cuando se quema y < de 5% cuando se utiliza como biogás. Aunque este último produce ganancias adicionales de C debido a la producción de energía, la quema parece una mejor opción debido a la menor cantidad de CH_4 que se genera.

Tendencias en el tiempo

Se presentan las ganancias, pérdidas y el balance de C anuales para las opciones del PN y para la palma de aceite mejorada en las Figuras 4 y 5. Las fluctuaciones que se evidencian a partir del año 1993 representan discontinuidades en los patrones de las cosechas debido a las resiembras de cultivos.

Efectos del CUS

El CUS tiene un efecto sustancial sobre el balance de C de la plantación, como ha sido demostrado anteriormente para cultivos individuales (Germer y Sauerborn, 2007; Henson y Chang, 2009). Esto se puede demostrar al asumir que un solo tipo de vegetación precede a la palma de aceite en todos los lotes de la plantación. Los resultados de este análisis, el cual presupone la utilización continua de uno de los dos tipos de materiales de siembra, se presentan en la Tabla 6. Los cambios a lo largo del tiempo en el balance neto de C con diferentes usos del suelo anteriores y para el promedio nacional de palma de aceite se muestran en la Figura 6.

En los cuatro casos (cero vegetación, pastos, coco y caucho), el balance neto promedio de carbono fue positivo en los primeros veinte años aproximadamente, para volverse negativo a partir de ese año (Figura 6). Las fluctuaciones en los balances en los años posteriores ocurren debido a las reducciones temporales en la biomasa de la palma de aceite luego de la resiembra. En esta etapa, aún con la ausencia de la vegetación anterior, el balance se vuelve negativo, puesto que con el tiempo las oportunidades de ganancias de carbono disminuyen, mientras que las pérdidas (utilización de combustibles fósiles y producción de óxido nitroso y metano) se mantienen constantes o tienden a aumentar. Los balances más negativos se presentan en

Tabla 3. Presupuestos de carbono anuales promedio para la plantación por defecto utilizando tres alternativas de programas de siembra

Caso	Secuestro de carbono			Emisiones de carbono	
	Fuente		t/año	Fuente	t/año
PN de palma de aceite sembrada desde 1964 hasta 1997	Biomasa de la palma de aceite		3.705	CUS	12.932
	Cobertura vegetal		233	Oxidación en el suelo de turba	1.052
	Desechos del cultivo		391	Consumo de combustibles fósiles	1.794
	Productos de la planta de beneficio		179	Emisiones de metano	3.632
	Subproductos de la planta de beneficio:	Dejados en la planta	59	Emisiones de N_2O	893
		Reincorporados en los suelos	137		
	Secuestro total del carbono		4.704	Total de emisiones de C	20.303
				Balance de C	-15.599
PN de palma de aceite sembrada desde 1964 hasta 1979 y palma de aceite mejorada sembrada desde 1981 hasta 1997	Biomasa de la palma de aceite		3.718	CUS	13.720
	Cobertura vegetal del suelo		246	Oxidación en el suelo de turba	1.052
	Desechos del cultivo		374	Consumo de combustibles fósiles	1.794
	Productos de la planta de beneficio		218	Emisiones de metano	4.214
	Subproductos de la planta de beneficio: - Dejados en la planta		72	Emisiones de N_2O	893
	- Reincorporados en los suelos		172		
	Secuestro total del carbono		4.800	Total de emisiones de C	21.673
				Balance de C	-16.873
Palma de aceite mejorada sembrada desde 1964 hasta 1997	Biomasa de la palma de aceite		3.976	CUS	15.065
	Cobertura vegetal del suelo		255	Oxidación en el suelo de turba	1.052
	Desechos del cultivo		371	Consumo de combustibles fósiles	1.794
	Productos de la planta de beneficio		246	Emisiones de metano	4.862
	Subproductos de la planta de beneficio: Dejados en la planta		81	Emisiones de N_2O	893
	Reincorporados en los suelos		194		
	Secuestro total del carbono		5.123	Total de emisiones de C	-23.666
				Balance de C	-18.543

Nota: Los datos son promedios anuales de 1964 a 2006.

Tabla 4. Pérdida neta de C por hectárea y por tonelada de APC para la plantación por defecto utilizando tres alternativas de programas de siembra

Caso[1]	Área promedio de palma de aceite	Producción anual de APC		Pérdida neta anual de C	
	ha	toneladas	t ha^{-1}	t ha^{-1}	toneladas/tonelada^{-1} de APC
1	5.572	18.724	3,36	2,80	0,833
2	5.572	21.722	3,90	3,03	0,777
3	5.572	25.063	4,50	3,33	0,740

Nota:

1. Ver los detalles en la Tabla 3

Tabla 5. Efecto sobre las emisiones netas de C del cultivo al mitigar las emisiones de metano del EPBPA

Caso [1]	Sin tratar		Quemado[2]		Utilizado como biogás[3]	
	t ha^{-1}	t t^{-1} APC	t ha^{-1}	t t^{-1} APC	t ha^{-1}	t t^{-1} APC
1	2,80	0,833	2,15	0,639	2,18	0,649
2	3,03	0,777	2,27	0,583	2,31	0,593
3	3,33	0,740	2,46	0,546	2,50	0,557

Notas:
1. Ver los detalles en la Tabla 3
2. Atrapados y quemados. Se supone una conversión del 90% a CO_2
3. Atrapado y utilizado como combustible para un generador. Se supone que el 16% del CH_4 se genera en las emisiones y que el 31% se utiliza efectivamente para la generación de energía eléctrica (Schmidt, 2007)

bosques sobre suelos de turba, aunque en este caso las emisiones de C de la turba decrecen en la medida en que las tasas de remisión y, por tanto, las tasas de emisión de C decrecen, lo que hace que la tendencia se reverse.

Discusión

El presente estudio se realizó con el fin de facilitar el desarrollo de un modelo a nivel de plantación, que complemente otros modelos que cubren la totalidad de la industria y datos de una sola localidad. En la práctica,

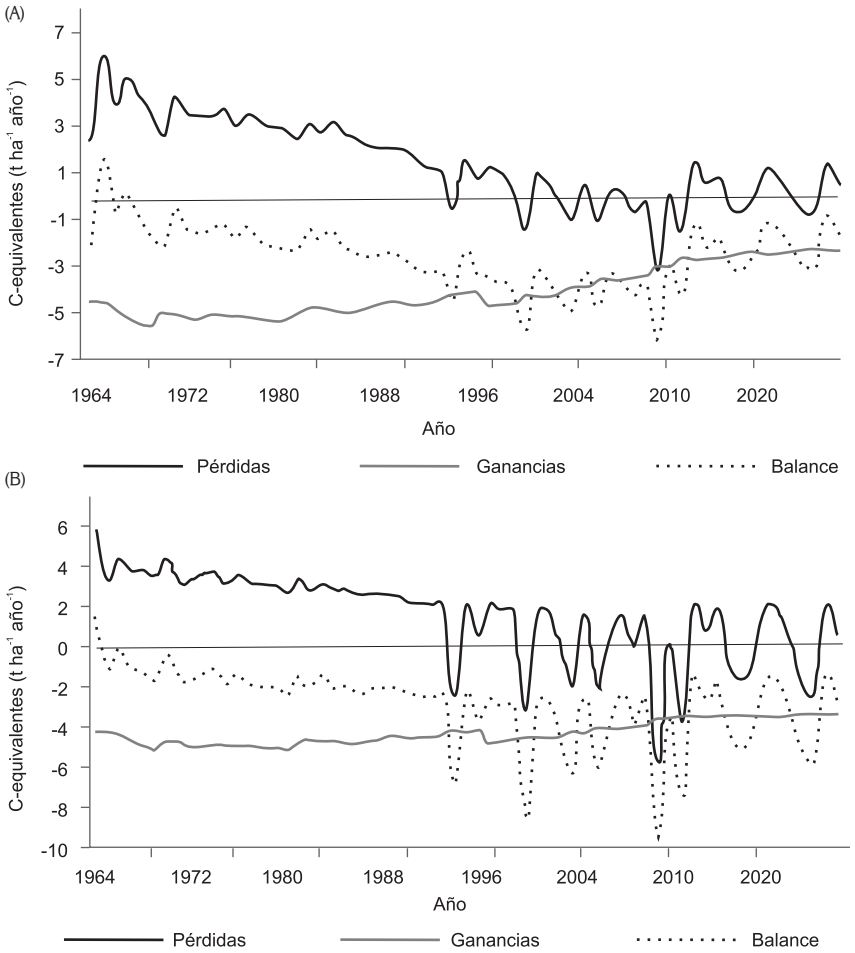

Figura 4. Tendencias anuales de ganancias, pérdidas y balance de carbono por hectárea para (A) el promedio nacional y para (B) siembras de palma de aceite mejorada, luego de amortizar la pérdida inicial de biomasa.

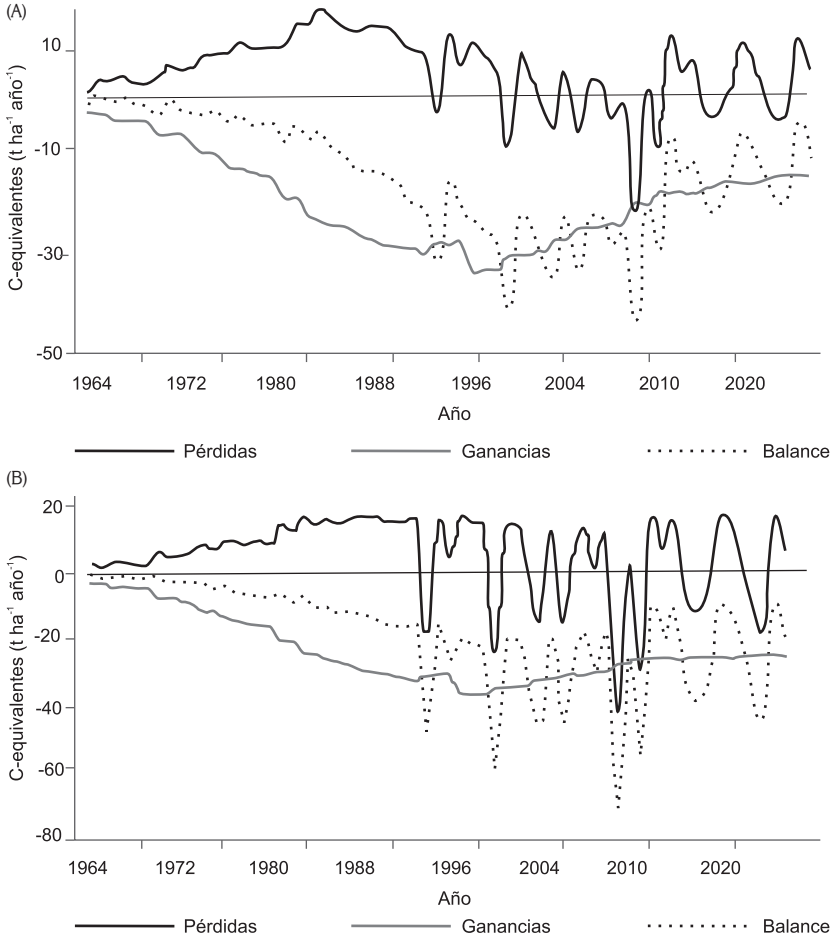

Figura 5. Tendencias anuales de la totalidad del cultivo en términos de ganancias, pérdidas y balance de carbono para (A) el promedio nacional y para (B) siembras de palma de aceite mejorada luego de amortizar la pérdida de biomasa inicial.

es probable que el análisis a nivel de plantación sea el de mayor utilidad, debido a que cubre la totalidad de la operación completa y la unidad económica sobre la cual se toman e implementan decisiones de gestión. Este es además el nivel al cual es probable que operen los esquemas de certificación, aún para las grandes empresas donde una plantación individual puede ser solo una de varias. El presente estudio utilizó un solo ejemplo, aunque hipotético, teniendo en cuenta dos criterios: El primero es que comprenda una unidad cuyo tamaño sea lo suficientemente grande para ser representativo de una agroindustria moderna y bien administrada, y el segundo, que incluyera áreas con diferentes historias de utilización de suelo y cultivos anteriores, incluyendo un área de suelo de turba. Dicha diversidad ofrece un amplio rango de posibilidades que probablemente puedan surgir en diferentes cultivos a ser representados y, por tanto, manejados. Esto permitió que los datos utilizados para construir los presupuestos fueran lo más diversos y amplios posibles.

Con el fin de ofrecer mayor variedad en el ejercicio, se desarrollaron presupuestos para dos materiales de siembra de palma de aceite diferentes, el primero de los cuales representa el desempeño promedio de la industria de palma de aceite en Malasia, y el segundo, representando un material de mayor productividad y "mejorado" con rendimientos similares a los que se obtienen en muchas de las localidades costeras. También se simuló el efecto de sustituir el primer material por el segundo en la mitad del tiempo total de desarrollo de la plantación. Por supuesto que se podrán sustituir sin ningún inconveniente los datos modelados por los datos realmente registrados en una plantación.

Tabla 6. Efectos del cambio de uso del suelo sobre el balance de carbono en la plantación. utilizando dos materiales vegetales de siembra de palma de aceite[1]

Uso del suelo antes del primer cultivo de palma de aceite[2]	Pérdida de C debido a CUS[3]	Pérdida total de C[4]	Balance neto de C		
	Toneladas C/año^{-1}		10^3 t C año^{-1}	t C año^{-1}	t C t^{-1} APC
Promedio nacional de palma de aceite					
Sin vegetación	1.560	8.932	-4.228	-0,759	-0,226
Pasto	2.153	9.525	-4.821	-0,865	-0,258
Coco	6.853	13.464	-8.760	-1,572	-0,468
Caucho	8.898	15.509	-10.805	-1,939	-0,577
Bosque secundario	14.346	21.718	-17.014	-3,053	-0,909
Bosque primario	17.384	24.756	-20.052	-3,599	-1,071
Bosque primario en turba	17.384	55.626	-50.922	-9,139	-2,720
Palma de aceite mejorada					
Sin vegetación	3.963	12.295	-7.171	-1,287	-0,286
Pasto	4.286	12.888	-7.765	-1,394	-0,310
Coco	8.986	16.827	-11.704	2,101	-0,467
Caucho	11.032	18.872	-13.750	-2.468	-0,549
Bosque secundario	16.480	25.081	-19.958	-3,582	-0,796
Bosque primario	19.517	28.119	-22.996	-4,127	-0,918
Bosque primario en turba	19.517	58.989	-53.867	-9,667	-2,149

Notas:

1. Para efectos de cálculo se utilizó un ciclo de resiembra de treinta años. una TEA del 20% y reutilización de los RFF y EPBPA en los lotes. Las ganacias de C son las mismas para cada uso de sulero previo y. por lo tanto. no se muestra.
2. Se aplica a la totalidad de la plantación pero únicamente incluye la vegetación que se encontraba presente antes del primer cultivo de palma de aceite.
3. Amortizado a lo largo de treinta años.
4. Incluye pérdidas debido al CUS. Otras opciones eran las de la historia de la plantación por defecto de la Tabla 1.

El tratamiento de la pérdida inicial de carbono causado por cada cambio en el uso del suelo (de la vegetación anterior a la palma de aceite) es problemático. La pérdida podría ser tratada como un evento que ocurre una sola vez, pero es una práctica generalizada descontar o amortizar dichas pérdidas a lo largo del ciclo de vida del nuevo cultivo, tal y como se realizó en este trabajo.

Actualmente el modelo no incluye las emisiones de GEI debido a la quema de la biomasa. Las quemas generan emisiones de metano, óxido nitroso y monóxido de carbono. Las quemas abiertas para el desmonte de la biomasa son cada día menos utilizadas debido a la adopción de técnicas de cero quemas, y las evaluaciones preliminares indican que se genera únicamente un incremento del 6% en las emisiones de CUS luego de su inclusión.

Cuando un cultivo de palma de aceite sustituye a otro y se utiliza el mismo material para la resiembra, la ganancia y la producción de la resiembra serán idénticas a las del cultivo anterior, lo que resulta en un secuestro neto de carbono de cero. Únicamente cuando se utiliza un material mejorado para la resiembra, con quizás un mayor crecimiento de vegetación además de una mayor producción de RFF, se aumenta el secuestro de C durante el crecimiento del nuevo cultivo. Este aumento en la producción, aunque aumenta las emisiones netas totales, genera menores emisiones por tonelada de APC (Tabla 4), lo que significa que la utilización del material mejorado es benéfica, no solo desde el punto de vista de mayor productividad sino también por la reducción de emisiones específicas de GEI. Esto se logra a pesar de un incremento en los suministros requeridos para sostener el cultivo y a pesar del incremento en algunas de las emisiones directas que se generan (por ejemplo, de los estanques de EPBPA y la utilización de combustibles fósiles).

Podrían existir oportunidades en el futuro para reducir las emisiones totales. Un ejemplo obvio es la reducción de emisiones de metano a partir de los

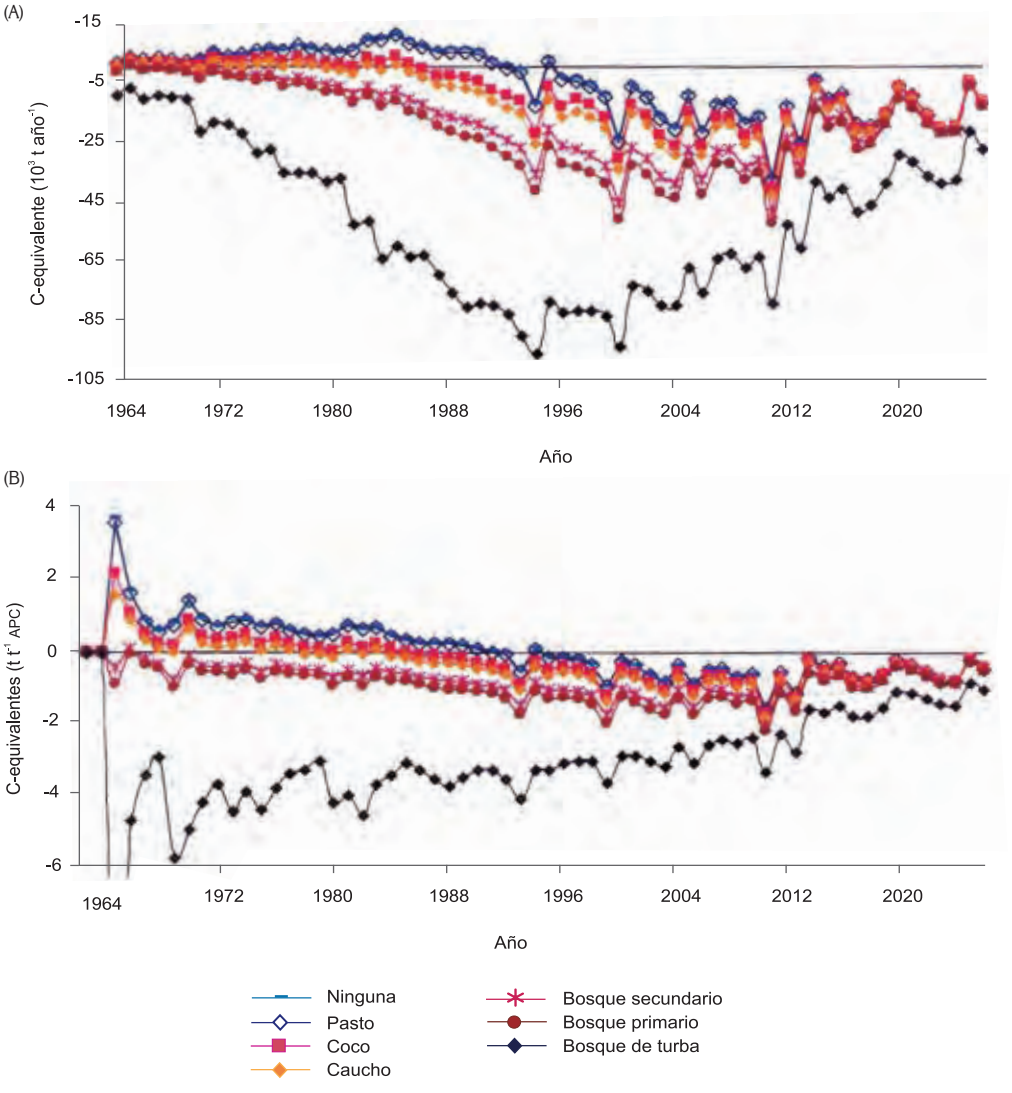

Figura 6. Balance neto de carbono para (A) toda la plantación y (B) por tonelada de aceite crudo de palma, según los diferentes tipos de vegetación que fueron reemplazados por la palma de aceite, utilizando el material de siembra del promedio nacional. El bosque primario tiene la misma biomasa que el bosque de turba, pero se encuentra en suelo de turba; en todos los demás casos se supone que los suelos son minerales con la excepción del Campo 18 (ver la Tabla 1).

estanques de EPBPA abiertos (Tabla 5). El atrapar y luego quemar los gases emitidos permite convertir el metano en CO_2 (lo que consecuentemente reduce la carga de GEI). La recolección y extracción de la energía en el biogás debería generar mayores ahorros, aunque con la tecnología actual esto parece ser menos eficiente que quemarlo (debido a la pérdida o fuga de CH_4). Se requerirán mejoras en la tecnología disponible para aprovechar esta posibilidad, aunque existen limitaciones tanto económicas y técnicas para lograr su adopción generalizada.

Un desarrollo que probablemente impedirá reducir las emisiones es el establecimiento de plantaciones en suelos de turba. La palma de aceite es actualmente el principal cultivo que se está estableciendo en suelos de turba tropical, y la conversión de pantanos de turba que soportaban bosques con un alto contenido de biomasa (y una rica biodiversidad), genera una pérdida alta inicial de carbono que luego se refuerza con una pérdida de carbono sustancial y recurrente todos los años de la turba misma.

Conclusiones

Con base en el presente análisis y otros estudios anteriores es evidente que cuando existe una pérdida grande de C durante el desmonte, el cultivo de la palma de aceite genera emisiones netas de GEI a la atmósfera, a pesar de su productividad relativamente alta y la ganancia de carbono del cultivo. El problema es que estas ganancias son transitorias y se pierden cuando se desmontan y generan pocos cambios a partir de ese momento en la biomasa existente y en el inventario de C promedio a lo largo del tiempo. Si bien se puede aumentar el inventario de C un poco mediante la resiembra utilizando material de siembra de más alto rendimiento, este efecto es limitado. Solo si se seleccionan sitios con baja biomasa inicial se puede lograr un aumento neto en el C secuestrado.

Surge la pregunta de si otros cultivos presentan un mejor desempeño en términos del balance de GEI, dado que los mismos factores se aplican. La palma de aceite tiene la ventaja con relación a las demás oleaginosas de que es el de mayor productividad y que requiere de menos tierra para producir la misma cantidad de aceite. Sin embargo, este factor se debe sopesar con respecto a otros factores, el principal de los cuales es la reducción potencial de hábitats naturales irreemplazables y su biodiversidad asociada.

Agradecimientos

Agradecemos al Profesor J.M. Anderson, al Sr. Laurence Chase, al Dr. Khalid Haron, al Dr. Jason Yapp y al Dr. Zulkifli Hashim por sus valiosas sugerencias y su revisión de una versión preliminar del texto. Al Sr. Edison Too por su asistencia en el desarrollo del modelo de software y al Malaysian Palm Oil Board por facilitar parte de este estudio.

Bibliografía

Adi, J.; Siregar, U.J.; Massijaya, M. Y.; Rieley, J.O. and Page S. 2007. Biomass content and biodiversity of tropical peat swamp forest under various land cover conditions. Paper presented at International Symposium and Workshop on Tropical Peatland. International Peat Society. Yogyakarta, Indonesia, 27-31 August, 2007.

Beer, T.; Grant, T. and Campbell, P.K. 2007. *The greenhouse and air quality emissions of biodiesel blends in Australia*. Report number KS54C/1/F2.29. CRIRO, Australia. 115 p.

Caliman, J.P.; Carcasses, R; Girardin, P.; Pujianto, Dubos, B. and Liwang, T. 2005. Development of agri-environmental indicators for sustainable management of oil palm growing: general concept and the example of nitrogen. In: *Proceedings of the PIPOC 2005 International Palm Oil Congress (Agriculture, Biotechnology and Sustainability)*. 413 - 432.

Chase, L. D.C. and Henson, I. E. 2009. A detailed model for estimating greenhouse gas emissions during palm oil production. In preparation.

Chen, S.S. 2008. The LCA approach to illustrate palm oil's sustainability advantage. Paper presented at International Palm Oil Sustainability Conference, Kota Kinabalu, 13 - 15 April 2008. MPOC, Kuala Lumpur.

Germer, J. and Sauerborn, J. 2007. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment, Development and Sustainability*, 10, 697 - 716.

Haron, K; Brookes, P.C.; Anderson, J.M. and Zakaria, Z.Z. 1998. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations, West Malaysia. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 547 - 552.

Henson, I.E. 2003. The Malaysian national average oil palm: concept and evaluation. *Oil Palm Bulletin*, 46, 15 - 27.

Henson, I.E. 2004. Modelling carbon sequestration and emissions due to oil palm cultivation and associated land use change in Malaysia. *MPOB Technology*, 27, 51 pp.

Henson, I.E. 2009. Modelling carbon sequestration and greenhouse gas emissions associated with oil palm cultivation and land-use change in Malaysia. A re-evaluation and a computer model. *MPOB Technology*, 31, 116 p.

Henson, I.E and Chang, K, C. 2009. Evaluating the global warming impact of palm oil production. I. A field model. *The Planter*, 85 (997): 193-211.

Melling, L.; Hatano, R. and Goh, K.J. 2004. Global warming potential from soils in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Phyton*, 45, 275 - 284.

Melling, L.; Goh, K. J; Beauvais, C. and Hatano, R. 2007. Carbon flow and budget in a young mature oil palm agroecosystem on deep tropical peat. Presented at International Symposium and Workshop on Tropical Peatland. International Peat Society. Yogyakarta, Indonesia, 27-31 August 2007. 5 p.

Reijnders, L. and Huijbregts, M. A. J. 2006. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, 16,477-482.

Reinhardt, G.; Retienmaier, N.; Gartner, S. and Pastowski, A. 2007. *Rainforest for biodiesel? Ecological effects of using palm oil as a source of energy*. WWF Germany, Frankfurt am Main. 50 p.

Schmidt, J.H. 2007. Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. PhD Thesis. Aalborg University, Denmark. Part 3. 275 p.

Vijaya, S,; Ma, A. N.; Choo, Y.M. and Nik Meriam, N.S. 2008. Life cycle inventory of the production of crude palm oil- A gate to gate case study of twelve palm oil mills. *Journal of Oil Palm Research*, 20, 484-494.

Wood, B.J. and Corley R, H.V. 1993. The energy balance of oil palm cultivation. In: *Proceedings of 1991 PORIM International Palm Oil Conference, Agriculture*. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, Pp. 130-143.

Wöstenj, H.M.; Ismail, A.; Band Van Wijk A. Lm. 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma*, 78, 25-36.

Yacob, S.; Mohd Ali, H.; Shirai, Y.; Wakisaka, M. and Subash, S. 2006. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Science of the Total Environment*, 366, 187 - 196.

´´**FEDEPALMA** expresamente advierte a todos los usuarios, miembros y consultantes, y demás terceros interesados, que los informes que adelanta o resultados que socializa, exposiciones, presentaciones, conferencias, documentos; así como en general la información que difunde como consecuencia de los estudios, inferencias y demás análisis realizados al interior de la misma o contratados por ella, -sin perder su rigor y profundidad profesional-, sólo tienen carácter informativo, de consulta, de difusión y de referencia estadística, académica o consultiva; puesto que en ningún caso constituyen axiomas para su estricta observancia, ya que en el mejor de los casos podrían interpretarse como simples consejos o recopilaciones de experiencias analizadas, para que sean estudiadas, utilizadas, o aplicadas por quienes acceden a ellas de acuerdo con su propio criterio, bajo su exclusiva responsabilidad, según su leal saber y entender; ya que cada situación resulta única y particular, y requiere de tratamientos o soluciones especificas que escapan de la competencia de **FEDEPALMA**. Por tanto, se trata de socializaciones según el estado actual de la técnica y de los avances científicos idóneamente realizados, que han sido valorados por esta última hasta ese momento; sin tener en cuenta escenarios concretos detallados, ni casos particulares¨.