

CAPÍTULO 5

TIERRAS DE CULTIVO

Autores

Rodel D. Lasco (Filipinas), Stephen Ogle (Estados Unidos), John Raison (Australia), Louis Verchot (ICRAF/Estados Unidos), Reiner Wassmann (Alemania) y Kazuyuki Yagi (Japón)

Sumana Bhattacharya (India), John S. Brenner (Estados Unidos), Julius Partson Daka (Zambia), Sergio P. González (Chile), Thelma Krug (Brasil), Yue Li (China), Daniel L. Martino (Uruguay), Brian G. McConkey (Canadá), Pete Smith (Reino Unido), Stanley C. Tyler (Estados Unidos) y Washington Zhakata (Zimbabwe)

Autores colaboradores

Ronald L. Sass (Estados Unidos) y Xiaoyuan Yan (China)

Índice

5	Tierras de cultivo	
5.1	Introducción	5.6
5.2	tierras de cultivo que permanecen como tales	5.7
5.2.1	Biomasa	5.7
5.2.1.1	Elección de métodos	5.7
5.2.1.2	Elección de los factores de emisión	5.8
5.2.1.3	Elección de los datos de la actividad	5.12
5.2.1.4	Pasos de cálculo para los Niveles 1 y 2	5.12
5.2.1.5	Evaluación de incertidumbre	5.13
5.2.2	Materia orgánica muerta	5.14
5.2.2.1	Elección del método	5.14
5.2.2.2	Elección de los factores de emisión/absorción	5.15
5.2.2.3	Elección de los datos de la actividad	5.16
5.2.2.4	Pasos de cálculo para los Niveles 1 y 2	5.16
5.2.2.5	Evaluación de incertidumbre	5.17
5.2.3	Carbono del suelo	5.17
5.2.3.1	Elección del método	5.17
5.2.3.2	Elección de los factores de cambio de existencias y de emisión	5.18
5.2.3.3	Elección de los datos de la actividad	5.22
5.2.3.4	Pasos de cálculo para el Nivel 1	5.26
5.2.3.5	Evaluación de incertidumbre	5.27
5.2.4	Emisiones de gases de efecto invernadero no CO ₂ a partir del quemado de biomasa	5.28
5.2.4.1	Elección del método	5.28
5.2.4.2	Elección de los factores de emisión	5.29
5.2.4.3	Elección de los datos de la actividad	5.29
5.2.4.4	Evaluación de incertidumbre	5.30
5.3	Tierras convertidas en tierras de cultivo	5.30
5.3.1	Biomasa	5.30
5.3.1.1	Elección de métodos	5.30
5.3.1.2	Elección de los factores de emisión/absorción	5.32
5.3.1.3	Elección de los datos de la actividad	5.34
5.3.1.4	Pasos de cálculo para los Niveles 1 y 2	5.35
5.3.1.5	Evaluación de incertidumbre	5.35
5.3.2	Materia orgánica muerta	5.36
5.3.2.1	Elección del método	5.37
5.3.2.2	Elección de los factores de emisión/absorción	5.38
5.3.2.3	Elección de los datos de la actividad	39

5.3.2.4	Pasos de cálculo para los Niveles 1 y 2	5.39
5.3.2.5	Evaluación de incertidumbre	5.41
5.3.3	Carbono del suelo.....	5.41
5.3.3.1	Elección del método	5.42
5.3.3.2	Elección de los factores de cambio de existencias y de emisión	5.43
5.3.3.3	Elección de los datos de la actividad.....	5.44
5.3.3.4	Pasos de cálculo para el Nivel 1	5.45
5.3.3.5	Evaluación de incertidumbre.....	5.46
5.3.4	Emisiones de gases de efecto invernadero no CO ₂ a partir del quemado de biomasa	5.46
5.3.4.1	Elección del método	5.46
5.3.4.2	Elección de los factores de emisión.....	5.47
5.3.4.3	Elección de los datos de la actividad	5.47
5.3.4.4	Evaluación de incertidumbre.....	5.48
5.4	Exhaustividad, series temporales, GC/CC y generación de informes	5.48
5.4.1	Exhaustividad.....	5.48
5.4.2	Desarrollo de una serie temporal coherente	5.49
5.4.3	Garantía de calidad y control de calidad	5.50
5.4.4	Generación de informes y documentación	5.51
5.5	Emisiones de metano del cultivo del arroz.....	5.52
5.5.1	Elección del método	5.52
5.5.2	Elección de los factores de emisión y de ajuste.....	5.56
5.5.3	Elección de los datos de la actividad.....	5.59
5.5.4	Evaluación de incertidumbre.....	5.60
5.5.5	Exhaustividad, series temporales, GC/CC y generación de informes	5.61
Anexo 5A.1	Estimación de los factores de cambio de existencias por defecto para emisiones/absorciones de C de suelos minerales en tierras de cultivo	5.63
Referencias.....		5.63

Ecuaciones

Ecuación 5.1	Emisiones de CH ₄ producidas por el cultivo del arroz	5.53
Ecuación 5.2	Factor ajustado de emisión diaria	5.56
Ecuación 5.3	Factores de ajuste de emisión de CH ₄ adaptado para agregados orgánicos.....	5.58

Figuras

Figura 5.1	Esquema de clasificación para sistemas de tierras de cultivo.	5.25
Figura 5.2	Árbol de decisiones para las emisiones de CH ₄ resultantes de la producción de arroz	5.55

Cuadros

Cuadro 5.1	Coefficientes por defecto de biomasa leñosa aérea y ciclos de cosecha en sistemas de cultivo que contienen especies perennes	5.10
Cuadro 5.2	Depósito potencial de C en sistemas agroforestales de diferentes ecorregiones del mundo.....	5.10
Cuadro 5.3	Biomasa aérea por defecto para distintos tipos de tierras de cultivo de especies perennes (ton há ⁻¹).....	5.11
Cuadro 5.4	Ejemplos de subcategorías de tierras de cultivos perennes que pueden estar presentes en un país	5.12
Cuadro 5.5	Factores relativos de cambio de existencias (F _{LU} , F _{MG} , y F _I) (durante 20 años) para diferentes actividades de gestión en tierras de cultivo	5.20
Cuadro 5.7	Ejemplo de una matriz simple de perturbación (Nivel 2) para los impactos de las actividades de conversión en depósitos de carbono	5.32
Cuadro 5.8	Existencias de carbono en la biomasa por defecto que se eliminan debido a la conversión en tierras de cultivo	5.33
Cuadro 5.9	Existencias de carbono en biomasa por defecto presentes en tierras convertidas en tierras de cultivo durante el año siguiente a la conversión	5.33
Cuadro 5.10	Factores de cambio en las existencias del suelo (F _{LU} , F _{MG} , F _I) para conversiones del uso de la tierra en tierras de cultivo.....	5.43
Cuadro 5.11	Factor básico y por defecto de emisión de CH ₄ suponiendo que no hay inundación durante menos de 180 días previos al cultivo del arroz e inundación permanente durante el cultivo del arroz, sin abonos orgánicos.....	5.57
Cuadro 5.12	Factores de ajuste por defecto de la emisión de CH ₄ para regímenes hídricos durante el período de cultivo relativos a campos permanentemente inundados.....	5.57
Cuadro 5.13	Factores de ajuste por defecto de la emisión de CH ₄ para regímenes hídricos previos al período de cultivo.....	5.58
Cuadro 5.14	Factor de conversión por defecto para diferentes tipos de abonos orgánicos	5.59

Recuadros

Recuadro 5.1	Depósitos de carbono pertinentes para las tierras de cultivo.....	5.6
Recuadro 5.2	Condiciones que inciden sobre las emisiones de CH ₄ producidas por el cultivo del arroz	5.54

5 TIERRAS DE CULTIVO

5.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se suministra una metodología por niveles para estimar y declarar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las tierras de cultivo. Las tierras de cultivo incluyen terrenos arables y labrables, campos de arroz y sistemas agroforestales en los que la estructura de la vegetación está por debajo de los umbrales utilizados para la categoría tierras forestales, y no se espera que se los exceda en el futuro. Las tierras de cultivo incluyen todos los cultivos anuales y perennes, así como barbecho temporario (es decir, tierra que se deja descansar durante uno o varios años antes de volver a cultivarla). Los cultivos anuales incluyen: cereales, oleaginosas, legumbres, raíces y tubérculos, y forrajes. Los cultivos perennes incluyen árboles y arbustos, en combinación con cultivos herbáceos (p. ej., agroforestación) o en forma de huertos, viñas y plantaciones, como los de cacao, café, té, palma noli, coco, árboles de caucho y bananas, excepto donde tales tierras cumplen con los criterios para su categorización como tierras forestales. Se incluyen bajo tierras de cultivo las tierras arables que normalmente se utilizan para cultivos anuales pero que, temporalmente, se emplean para cultivos de forraje o para pastura, como parte de una rotación anual cultivo-pastura (sistema mixto).

La cantidad de carbono almacenado en las tierras de cultivo permanentes, así como la emitida o absorbida depende del tipo de cultivo, de las prácticas de gestión, y de las variables del suelo y del clima. Por ejemplo, los cultivos anuales (cereales, legumbres) se cosechan todos los años, por lo que no hay un almacenamiento de largo plazo del carbono en la biomasa. En cambio, la vegetación leñosa perenne de los huertos, las viñas y los sistemas agroforestales puede implicar significativos depósitos de carbono en biomasa de larga vida, donde la cantidad depende del tipo de especies y cultivar, de la densidad, de las tasas de crecimiento, y de las prácticas de cosecha y de poda. Las existencias de carbono en el suelo pueden ser significativas y los cambios en las existencias pueden producirse conjuntamente con los ocurridos en las propiedades del suelo y en las prácticas de gestión, incluyendo tipo y rotación de cultivos, labranza, drenaje, gestión de desechos y agregados orgánicos. El quemado de residuos de cultivos produce una cantidad significativa de gases de efecto invernadero no CO₂ y se suministran los métodos de cálculo.

Hay orientación aparte para *tierras de cultivo que permanecen como tales* (CC) y para *tierras convertidas en tierras de cultivo* (LC), dada la diferencia en la dinámica del carbono. Habitualmente, las conversiones en el uso de la tierra a tierras de cultivo de tierras forestales, pastizales y humedales traen como resultado una pérdida neta de carbono de la biomasa y el suelo, así como la liberación de N₂O a la atmósfera. No obstante, en las tierras de cultivo establecidas en tierras que previamente tenían una vegetación dispersa o con muchas perturbaciones (p. ej., las tierras de minería) se pueden producir ganancias netas en el contenido de carbono de la biomasa y del suelo. Hay cambios, especialmente los que tienen que ver con el carbono del suelo, que pueden producirse en períodos de más de un año. La orientación cubre los depósitos de carbono que se indican en el Recuadro 5.1.

El término conversión del uso de la tierra sólo se refiere a tierras que pasan de un tipo de uso a otro. En los casos en los que la tierra de cultivos perennes ya existente se vuelva a plantar con los mismos u otros cultivos, las tierras continúan siendo tierras de cultivo; por lo tanto, los cambios en las existencias de carbono deben estimarse empleando los métodos de *tierras de cultivo que permanecen como tales*, según lo descrito más adelante en la Sección 5.2.

RECUADRO 5.1	
DEPÓSITOS DE CARBONO PERTINENTES PARA LAS TIERRAS DE CULTIVO	
	Biomasa
-	Biomasa aérea
-	Biomasa subterránea
	Materia orgánica muerta
-	Madera muerta
-	Hojarasca
	Suelos (materia orgánica del suelo)

Las nuevas características de las *Directrices del IPCC de 2006* con respecto a las *Directrices del IPCC de 1996* son las siguientes:

- la totalidad de la sección tierras de cultivo es nueva;

- el carbono de la biomasa y del suelo se encuentran en la misma sección;
- las emisiones de metano producidas por el arroz se incluyen en la categoría tierras de cultivo;
- las emisiones de gases no CO₂ del quemado de biomasa (*tierras de cultivo que permanecen como tales* y *tierras convertidas en tierras de cultivo*) también se incluyen en el capítulo sobre tierras de cultivo; y
- se suministran valores por defecto para biomasa en áreas de tierras de cultivo y agroforestales.

5.2 TIERRAS DE CULTIVO QUE PERMANECEN COMO TALES

En esta sección se brindan pautas sobre el inventario de gases de efecto invernadero para tierras de cultivo que no se han sometido a ninguna conversión en su uso durante un período mínimo de 20 años, como período por defecto¹. En la Sección 5.3 se brinda orientación sobre *tierras convertidas en tierras de cultivo* más recientemente que lo citado. Las emisiones y absorciones anuales de gases de efecto invernadero de *tierras de cultivo que permanecen como tales* incluyen:

- estimaciones de los cambios anuales en las existencias de C de todos los depósitos y fuentes de C; y
- estimaciones de las emisiones anuales de gases no CO₂ de todos los depósitos y fuentes.

Los cambios en las existencias de carbono en *tierras de cultivo que permanecen como tales* se estiman utilizando la Ecuación 2.3.

5.2.1 Biomasa

5.2.1.1 ELECCIÓN DE MÉTODOS

Puede haber depósitos de carbono en la biomasa de las tierras de cultivo que contienen vegetación leñosa perenne, incluyendo —no exhaustivamente— plantaciones con monocultivos de café, palma noli, coco y caucho, huertos frutales y de frutos secos, y policultivos, como los sistemas agroforestales. La metodología por defecto para estimar los cambios de las existencias de carbono en la biomasa leñosa se encuentran en el Capítulo 2, Sección 2.2.1. Esta sección elabora esta metodología con respecto a la estimación de cambios en las existencias de carbono en la biomasa de las *tierras de cultivo que permanecen como tales*.

El cambio en la biomasa se estima solamente para cultivos leñosos perennes. Se supone que, en los cultivos anuales, el incremento de las existencias de biomasa de cada año equivale a las pérdidas de biomasa producidas por la cosecha y la mortalidad en ese mismo año —por ende, no hay una acumulación neta de existencias de carbono en biomasa.

Los cambios en carbono de la biomasa en tierras de cultivo (ΔC_{CC_B}) pueden estimarse a partir de: (a) las tasas anuales de ganancia y pérdida de biomasa (Capítulo 2, Ecuación 2.7) o (b) de las existencias de carbono en dos momentos dados (Capítulo 2, Ecuación 2.8). El primer enfoque (método de pérdidas y ganancias) nos da un método por defecto de Nivel 1 y puede también emplearse en los niveles 2 o 3 con las mejoras señaladas a continuación. El segundo enfoque (método de diferencia de existencias) se aplica en los Niveles 2 o 3, pero no en el 1. Constituye una *buena práctica* mejorar los inventarios empleando el nivel más alto posible dadas las circunstancias nacionales. Es una *buena práctica* para los países utilizar los métodos 2 o 3 si las emisiones y absorciones de carbono en las *tierras de cultivo que permanecen como tales* es una categoría principal y se considera que la subcategoría de biomasa es significativa. Es una *buena práctica* para los países emplear el árbol de decisiones de la Figura 2.2, Capítulo 2, para identificar el nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en la biomasa.

Nivel 1

El método por defecto implica multiplicar la superficie de tierras de cultivo con leñosas perennes por una estimación de la acumulación neta de biomasa a partir del crecimiento y restarle las pérdidas relacionadas con cosecha, recogida o perturbación (según la Ecuación 2.7 del Capítulo 2). Las pérdidas se estiman multiplicando un valor de existencias de carbono por la superficie de tierras de cultivo en las que se cosechan cultivos leñosos perennes.

¹ Los países que aplican métodos de nivel superior pueden utilizar diferentes períodos según el tiempo que demoren en equilibrarse las existencias de carbono después del cambio en el uso de la tierra.

Las hipótesis por defecto de Nivel 1 son: todo el carbono de la biomasa leñosa perenne recogida (p. ej., biomasa quitada y replantada con un cultivo diferente) se emite en el año de la recogida; y los cultivos leñosos perennes acumulan carbono durante un lapso igual al del ciclo nominal de cosecha/madurez. Esta última hipótesis implica que los cultivos leñosos perennes acumulan biomasa durante un periodo finito hasta que se los recoge por cosecha o hasta que llegan a un régimen permanente en el que no hay acumulación neta de carbono en la biomasa porque las tasas de crecimiento se han hecho más lentas y las ganancias por crecimiento se ven compensadas por las pérdidas debidas a mortalidad natural, poda, etc.

Bajo el Nivel 1, se aplican los factores por defecto que se indican en el Cuadro 5.1 a las estimaciones derivadas en cada país de las superficies de tierra.

Nivel 2

Hay dos métodos que se pueden emplear en el Nivel 2 para la estimación de cambios en la biomasa. El método 1 (también llamado **Método de pérdidas y ganancias**) requiere que la pérdida de carbono de la biomasa se reste del incremento de carbono en la misma para el año de la declaración (Capítulo 2, Ecuación 2.7). El método 2 (también llamado **Método de diferencia de existencias**) requiere inventarios de las existencias de carbono en biomasa para una superficie de tierra dada, en dos momentos diferentes (Capítulo 2, Ecuación 2.8).

En cambio, por lo general, una estimación de Nivel 2 se refiere a los principales tipos de cultivos leñosos por zonas climáticas, utilizando tasas de acumulación de carbono y pérdidas de existencias específicas del país siempre que resulte posible o estimaciones específicas del país de existencias de carbono en dos momentos diferentes. Bajo el Nivel 2, los cambios en las existencias de carbono se estiman para biomasa aérea y subterránea en la vegetación leñosa perenne. Los métodos del Nivel 2 incluyen estimaciones específicas del país o de la región de las existencias de biomasa para los principales tipos de tierras de cultivo y sistemas de gestión, y estimaciones de cambios en las existencias en función de los principales sistemas de gestión (p. ej., cultivo dominante, gestión de la productividad). En la medida de lo posible, constituye una *buena práctica* que se incorporen los cambios de la biomasa en cultivos perennes o árboles empleando datos específicos del país o de la región. Donde falten datos, se pueden usar los datos por defecto.

Nivel 3

En una estimación de Nivel 3 se emplea un método muy desagregado del Nivel 2 o un método específico del país que incluya modelización del proceso y/o medición detallada. El Nivel 3 incluye sistemas de inventario que emplean muestreos de existencias de carbono realizados a través del tiempo sobre la base de estadísticas y/o modelos de procesos, estratificados por clima, tipo de cultivos y regímenes de gestión. Por ejemplo, se pueden emplear modelos validados de crecimiento por especies específicos que tienen en cuenta los efectos de la gestión tales como cosecha y fertilización, con los datos correspondientes sobre las actividades de gestión, para estimar los cambios netos de las existencias de carbono en la biomasa de las tierras de cultivo a través del tiempo. Se pueden usar modelos, quizá acompañados de mediciones como las de los inventarios forestales, para estimar los cambios de existencias y extrapolarlos a todas las superficies de tierras de cultivo, como en el Nivel 2.

Los criterios principales para seleccionar los modelos apropiados son que sean representativos de todas las prácticas de manejo que figuran en los datos de la actividad. Es fundamental que el modelo sea validado mediante observaciones independientes desde lugares de campo específicos del país o de la región que sean representativos del clima, del suelo y de los sistemas de gestión de las tierras de cultivo del país.

5.2.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Entre los factores de emisión y absorción necesarios para estimar los cambios en las existencias de carbono se incluyen: (a) la tasa anual de acumulación o de crecimiento de la biomasa, y (b) los factores de pérdida de biomasa que se ven influenciados por actividades tales como la recogida (cosecha), la recogida de madera combustible y las perturbaciones.

Tasa de crecimiento de la biomasa leñosa aérea

Nivel 1

En los Cuadros 5.1 a 5.3 se suministran estimaciones de existencias de biomasa y de tasas de crecimiento y pérdidas de biomasa de las principales regiones climáticas y los principales sistemas agrícolas. No obstante, dada la gran variación en los sistemas de cultivo, incluyendo árboles y sus productos, es una *buena práctica* buscar datos a nivel nacional sobre la tasa de crecimiento de la biomasa leñosa aérea.

Nivel 2

A una escala más precisa o desagregada, los datos sobre la tasa de crecimiento de la biomasa leñosa aérea pueden obtenerse de fuentes de datos nacionales para distintos sistemas de cultivo y agroforestales. La velocidad de cambio de la tasa de crecimiento de la biomasa leñosa aérea debe estimarse como respuesta a cambios en las actividades específicas de gestión y uso de la tierra (p. ej., fertilización, cosecha, entresacado). Los resultados de

la investigación de campo deben compararse con las estimaciones del crecimiento de la biomasa de otras fuentes, a fin de verificar que se encuentran dentro de los rangos documentados. Al derivar las estimaciones de tasas de acumulación de biomasa, es importante tener presente que las tasas de crecimiento de la biomasa se van a producir fundamentalmente durante los primeros 20 años posteriores a los cambios en la gestión, después de lo cual las tasas tenderán hacia un nuevo nivel de régimen constante con pocos cambios o ninguno, a menos que se produzcan otros cambios en las condiciones de gestión.

Nivel 3

En cuanto al Nivel 3, resultan necesarios factores muy desagregados de la acumulación de biomasa. Entre estos se incluyen la categorización de especies, específica para los modelos de crecimiento que incluyen efectos de la gestión, tales como la cosecha y la fertilización. Es necesaria la medición de la biomasa aérea, como sucede en los inventarios forestales con la medición periódica de la acumulación de la biomasa aérea.

CUADRO 5.1
COEFICIENTES POR DEFECTO DE BIOMASA LEÑOSA AÉREA Y CICLOS DE COSECHA EN SISTEMAS DE CULTIVO QUE
CONTIENEN ESPECIES PERENNES

Región climática	Existencias de carbono en biomasa aérea a la cosecha (ton C ha ⁻¹)	Ciclo Cosecha/Madurez (año)	Tasa de acumulación de biomasa (G) (ton C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Pérdida de carbono de la biomasa (L) (ton C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Rango de error ¹
Templada (todos los regímenes de humedad)	63	30	2,1	63	± 75%
Tropical, seco	9	5	1,8	9	± 75%
Tropical, húmedo	21	8	2,6	21	± 75%
Tropical, muy húmedo	50	5	10,0	50	± 75%

Nota: valores derivados de un sondeo de la bibliografía y de la síntesis publicada por Schroeder (1994).

¹ Representa una estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media.

CUADRO 5.2
DEPÓSITO POTENCIAL DE C EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE DIFERENTES ECORREGIONES DEL MUNDO

Región	Ecorregión	Sistema	Biomasa aérea (ton há ⁻¹)	Rango (ton há ⁻¹)
África	Tropical húmeda alta	Agroforestal	41,0	29 - 53
América del Sur	Tropical húmeda baja	Agroforestal	70,5	39 - 102
América del Sur	Tierras bajas secas	Agroforestal	117,0	39 - 195
Sudeste Asiático	Tropical húmedo	Agroforestal	120,0	12 - 228
Sudeste Asiático	Tierras bajas secas	Agroforestal	75,0	68 - 81
Australia	Tropical húmedo	Silvopastoral	39,5	28 - 51
América del Norte	Tropical húmeda alta	Silvopastoral	143,5	133 - 154
América del Norte	Tropical húmeda baja	Silvopastoral	151,0	104 - 198
América del Norte	Tierras bajas secas	Silvopastoral	132,5	90 - 175
Asia del Norte	Tropical húmeda baja	Silvopastoral	16,5	15 - 18

Fuente: Albrecht y Kandji, 2003

CUADRO 5.3					
BIOMASA AÉREA POR DEFECTO PARA DISTINTOS TIPOS DE TIERRAS DE CULTIVO DE ESPECIES PERENNES (TON HA ⁻¹)					
Tipo de tierra de cultivo	Región	Biomasa aérea	Rango	Error	Referencias
Palma Noli	Sudeste Asiático	136,0	62 - 202	78	
Caucho maduro	Sudeste Asiático	178,0		90	Palm <i>et al.</i> , 1999
Caucho joven	Sudeste Asiático	48,0	16 - 80		Wasrin <i>et al.</i> , 2000
Canela joven (7 años)	Sudeste Asiático	68,0		47	Siregar y Gintings, 2000
Coco	Sudeste Asiático	196,0			Lasco <i>et al.</i> , 2002
Barbecho mejorado					
Barbecho de 2 años	África Oriental	35,0	27 - 44	40	Albrecht y Kandji, 2003
Barbecho de 1 año	África Oriental	12,0	7 - 21	89	Albrecht y Kandji, 2003
Barbecho de 6 años (promedio)	Sudeste Asiático	16,0	4 - 64		Lasco y Suson, 1999
Cultivo en fajas	Sudeste Asiático	2,9	1.5 - 4.5	105	Lasco <i>et al.</i> , 2001
Sistema de cultivo en diversos niveles					
Hevea	Sudeste Asiático	304,0		17	Tomich <i>et al.</i> , 1998
Gmelina-cacao	Sudeste Asiático	116,0		53	Lasco <i>et al.</i> , 2001

Acumulación de biomasa subterránea

Nivel 1

Se supone, por defecto, que no hay cambios en la biomasa subterránea de los árboles perennes de los sistemas agrícolas. No se dispone de valores por defecto para la biomasa subterránea para los sistemas agrícolas.

Nivel 2

Se incluye el uso de datos medidos realmente de biomasa subterránea en vegetación leñosa perenne. Para los cálculos de Nivel 2, se recomienda estimar la acumulación de biomasa subterránea. Las relaciones raíz/tallo muestran una amplia variación de valores, tanto en especies individuales (p. ej., Anderson *et al.*, 1972) como a escala comunitaria (p. ej., Jackson *et al.*, 1996; Cairns *et al.*, 1997). Se dispone de información limitada respecto a la biomasa subterránea y, por ende, en lo posible, se deben utilizar relaciones raíz/tallo derivadas empíricamente y específicas para una región o para un tipo de vegetación.

Nivel 3

Incluye el uso de datos de estudios de campo idénticos a los inventarios forestales y los estudios por modelización, si se adopta el método de la diferencia de existencias.

Pérdidas de biomasa por recogida, madera combustible y perturbaciones

Nivel 1

La hipótesis por defecto es que toda la biomasa perdida se emite en el mismo año. No se dispone de datos sobre pérdidas por remoción de biomasa, recogida de madera combustible y perturbaciones de fuentes de cultivo. La FAO suministra datos del consumo total de rollizos y madera combustible, pero no separados por fuentes (p. ej., tierras de cultivo, tierras forestales, etc.) Está aceptado que las estadísticas sobre madera combustible son muy deficientes e inciertas en todo el mundo. Las estadísticas por defecto de remoción de biomasa y recogida de madera combustible (que se analizan en el Capítulo 4, Sección 4.2) pueden incluir la biomasa procedente de las tierras de cultivo, como cuando se cosecha madera combustible de jardines domésticos. Por ello, es necesario garantizar que no se produzca el cómputo doble de las pérdidas. Si no se dispone de datos de las fuentes de rollizos o madera combustible de tierras de cultivo, el método a utilizar por defecto debe incluir las pérdidas en tierras forestales (Sección 4.2) y excluir las pérdidas de tierras de cultivo.

Niveles 2 y 3

Para estimar la pérdida de biomasa, se pueden emplear datos de nivel nacional a escala más precisa, basados en estudios de inventario o de producción y consumo según diferentes fuentes, incluidos los sistemas agrícolas.

Estos datos se pueden obtener mediante diversos métodos, incluyendo la estimación de la densidad (cobertura de las copas) de la vegetación leñosa a partir de fotos aéreas (o de imágenes satelitales de alta resolución) y trazados de mediciones sobre el terreno. La composición en especies, la densidad y la relación biomasa aérea/biomasa subterránea pueden variar de forma considerable para diferentes tipos de tierras y condiciones de cultivo; por lo tanto, puede resultar más eficaz estratificar muestreos y trazados de sondeos por tipo de tierra de cultivo. En el Capítulo 3, Anexo 3A.3, se brinda una orientación general sobre las técnicas de sondeo y muestreo para inventarios de biomasa.

5.2.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

En esta sección, los datos de la actividad se refieren a estimaciones de las superficies de tierra con existencias en crecimiento y tierras cosechadas con cultivos madereros perennes. Los datos de superficie se estiman empleando los métodos descritos en el Capítulo 3. Se los debe considerar estratos dentro del total de la superficie de tierras de cultivo (para mantener la coherencia de los datos de uso de la tierra) y se los debe desagregar según el nivel que se emplee y la disponibilidad de factores de crecimiento y de pérdida. En el Cuadro 5.4 se suministran ejemplos de subcategorías de tierras de cultivo.

CUADRO 5.4 EJEMPLOS DE SUBCATEGORÍAS DE TIERRAS DE CULTIVOS PERENNES QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN UN PAÍS	
Subcategorías generales	Subcategorías específicas
Huertos frutales	Mango, citrus, manzano
Cultivos de plantaciones	Caucho, coco, palma noli, café, cacao
Sistemas agroforestales	Cultivos en setos (en fajas), barbecho mejorado, sistemas de cultivo a diversos niveles, jardines domésticos, plantación limítrofe, cortavientos

Nivel 1

Bajo el Nivel 1, se utilizan sondeos anuales o periódicos conjuntamente con los métodos delineados en el Capítulo 3 para estimar la superficie promedio anual de cultivos leñosos perennes establecidos y la superficie promedio anual de cultivos leñosos perennes que se cosechan o recogen. A su vez, las estimaciones de superficies se subdividen por regiones climáticas generales o tipos de suelos, para que coincidan con los valores por defecto de ganancia y pérdida de biomasa. En los cálculos de Nivel 1, se pueden utilizar estadísticas internacionales, como las de las bases de datos de la FAO, y otras fuentes para estimar la superficie de tierra dedicada a cultivos leñosos perennes.

Nivel 2

En el Nivel 2, se emplean sondeos anuales o periódicos más detallados para estimar las superficies de tierra con diferentes clases de cultivos de biomasa leñosa perenne. A su vez, las superficies se clasifican por subcategorías pertinentes, de manera que todas las principales combinaciones de tipos de cultivos leñosos perennes y de regiones climáticas estén representadas en cada estimación de superficie. Estas estimaciones de superficie deben coincidir con cualquiera de los valores de incremento y pérdida de carbono en biomasa específicos del país desarrollados para el método de Nivel 2. Si sólo se dispone parcialmente de datos de resolución más detallada específicos del país, se alienta a los países a realizar una extrapolación a toda la base de terreno con cultivos leñosos perennes aplicando hipótesis sensatas a partir de los mejores conocimientos de que se disponga.

Nivel 3

El Nivel 3 exige datos de la actividad de alta resolución, desagregados a nivel subnacional a escalas de grillas más finas. Como sucede en el Nivel 2, la superficie de tierra se clasifica según tipos específicos de cultivos leñosos perennes por las principales categorías de clima y de suelo, y por otras variables regionales potencialmente importantes (p. ej., pautas regionales de las prácticas de gestión). Más aun: es una *buena práctica* detallar estimaciones de superficies espacialmente explícitas con estimaciones locales de incremento de biomasa, tasas de pérdida y prácticas de gestión, para mejorar la exactitud de las estimaciones.

5.2.1.4 PASOS DE CÁLCULO PARA LOS NIVELES 1 Y 2

Resumen de pasos para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa de las tierras de cultivo que permanecen como tales (ΔC_B) empleando los métodos de los Niveles 1 y 2

Utilizando las hojas de trabajo para tierras de cultivo (véase el Anexo 1 – Hojas de trabajo AFOLU), calcular el cambio en las existencias de carbono en biomasa de las *tierras de cultivo que permanecen como tales*:

Paso 1: ingresar las subcategorías de tierras de cultivo del año de la declaración

Es normal que en un país haya diversos tipos de tierras de cultivo con cobertura leñosa perenne y con existencias e incrementos de biomasa variables. Algunos ejemplos: los huertos frutales (p. ej., mango, citrus), las plantaciones agrícolas (p. ej., coco, caucho) y los establecimientos agroforestales.

Paso 2: para cada subcategoría, especificar la superficie anual de tierras de cultivo con biomasa leñosa perenne

Habitualmente, la superficie (A) en hectáreas de cada subcategoría de tierras de cultivo puede conseguirse en organismos nacionales que se ocupan de los usos de la tierra, del Ministro de Agricultura y del Ministerio de Recursos Naturales. Entre las posibles fuentes de datos se incluyen: imágenes satelitales, fotografía aérea y sondeos en el terreno, y la base de datos de la FAO.

Paso 3: para cada subcategoría, especificar las existencias anuales medias de carbono en la acumulación (en ton C há año⁻¹) de biomasa leñosa perenne

Se ingresan los índices anuales de crecimiento (ΔC_G) de cada subcategoría de tierras de cultivo, a partir de las tasas de acumulación de biomasa G del Cuadro 5.1, en la columna que corresponde de las hojas de trabajo.

Paso 4: para cada subcategoría, especificar las existencias anuales de carbono de las pérdidas de biomasa (en ton C há año⁻¹)

Si hay cosecha, se ingresa la cantidad de existencias de carbono de la biomasa cosechada (ΔC_L) en la columna que corresponde. Puede estimarse multiplicando la biomasa aérea leñosa por defecto de las distintas tierras de cultivo del Cuadro 5.3 por la densidad de carbono por defecto de 0,5 ton C/ton biomasa.

Paso 5: calcular los cambios anuales de existencias de carbono en la biomasa para cada subcategoría

Los cambios anuales en las existencias de carbono en biomasa (ΔC_B) se calculan empleando la Ecuación 2.7 del Capítulo 2.

Paso 6: calcular el cambio total en existencias de carbono (ΔC_B) sumando todos los valores de las estimaciones por subcategorías

Ejemplo 1: en el año del inventario, se cultivan 90 000 hectáreas de variedades leñosas perennes en un ambiente tropical húmedo, mientras que la cosecha se realiza en 10 000 hectáreas. La superficie de tierras de cultivo con variedades leñosas perennes inmaduras acumula carbono a razón de 2,6 toneladas de carbono aéreo há⁻¹ año⁻¹. La superficie cosechada pierde todo el carbono de las existencias de biomasa en el año de la recogida. Las pérdidas de existencias de carbono por defecto de las tierras de cultivo con cultivos leñosos perennes en zonas tropicales húmedas son de 21 ton C há⁻¹ año⁻¹. A partir de estos valores, estimativamente, por año, se acumulan 234 000 toneladas de C y se pierden 210 000 toneladas de C. Utilizando la Ecuación 2.7 del Capítulo 2, el cambio neto en las existencias de carbono (aéreo) en el ambiente tropical húmedo es de 24 000 ton C año⁻¹.

5.2.1.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

A continuación se brinda orientación sobre enfoques para determinar la incertidumbre asociada con las estimaciones de carbono en biomasa para los métodos de cada nivel.

Nivel 1

Cuando se emplea el método del Nivel 1, las fuentes de incertidumbre incluyen el grado de exactitud de las estimaciones de la superficie de la tierra (véase el Capítulo 3) y de las tasas de incremento y de pérdida de carbono en biomasa por defecto. Es factible que la incertidumbre sea baja (<10%) en las estimaciones de superficie bajo diferentes sistemas de cultivo, dado que la mayoría de los países estima las superficies de tierras de cultivo anualmente y empleando métodos fiables. Para derivar los datos por defecto del Cuadro 5.1, se utilizó la recopilación publicada en un trabajo de investigación sobre existencias de carbono en sistemas agroforestales (Schroeder, 1994). Dado que los valores por defecto se derivaron de múltiples estudios, no se incluyeron en la publicación sus respectivos rangos de incertidumbre. Por lo tanto, sobre la base de un dictamen de expertos, se

ha asignado un nivel de incertidumbre por defecto de $\pm 75\%$ del valor del parámetro. Se puede usar esta información, con un cierto grado de incertidumbre en las estimaciones de superficie del Capítulo 3 de este Informe, para determinar la incertidumbre en las estimaciones de emisiones y absorciones de carbono de la biomasa en tierras de cultivo, empleando la metodología de Nivel 1. Se brinda orientación sobre análisis de incertidumbre en el Capítulo 3 del Volumen 1.

Nivel 2

En el método de Nivel 2 se reduce el nivel general de incertidumbre porque las tasas de factores de emisión y absorción específicas de cada país deben ofrecer estimaciones más exactas de los incrementos y pérdidas de carbono por sistemas de cultivo y regiones climáticas dentro de las fronteras nacionales. Es una *buena práctica* calcular las estimaciones de error (p. ej., desviaciones estándar, error estándar, o rangos) para tasas de incremento de carbono específicas del país y emplear estas variables para una evaluación básica de la incertidumbre. Es una *buena práctica* que los países evalúen rangos de error en los coeficientes específicos nacionales y los comparen con los de los coeficientes por defecto de acumulación de carbono. Si las tasas específicas del país tienen rangos de error iguales o mayores que los coeficientes por defecto, entonces constituye una *buena práctica* usar un método de Nivel 1 y, a posteriori, refinar las tasas específicas del país con más mediciones de campo.

En los métodos de Nivel 2 también se pueden usar datos de la actividad de resolución más pormenorizados, tales como estimaciones de superficie para diferentes regiones climáticas o para sistemas de cultivo específicos, dentro de las fronteras nacionales. Los datos de resolución más pormenorizada reducen aun más los niveles de incertidumbre cuando se los asocia con los factores de incremento de carbono en biomasa definidos para aquellas bases de superficie de escala más específica (p. ej., cuando la superficie de las plantaciones de café se multiplica por un coeficiente de plantaciones de café, más que por un valor agroforestal genérico por defecto).

Nivel 3

Los métodos de Nivel 3 serán los que ofrezcan el mayor nivel de certeza en comparación con los de Niveles 1 y 2. Es una *buena práctica* calcular las desviaciones estándar, los errores estándar o rangos de todas las tasas de incremento y pérdida de biomasa definidas en el país. Constituye una *buena práctica* que los países desarrollen funciones de densidad de probabilidad para los parámetros del modelo y que se las use en simulaciones de Monte Carlo. Es factible que la incertidumbre, particularmente la referida a estimaciones de superficie, sea menor o no exista en cuanto a sistemas de cultivo.

5.2.2 Materia orgánica muerta

En esta sección, se presentan los métodos para estimar los cambios en las existencias de carbono relacionadas con depósitos de materia orgánica muerta para *tierras de cultivo que permanecen como tales* (CC). Se suministran métodos para dos tipos de depósitos de materia orgánica muerta: 1) madera muerta y 2) hojarasca. En el Capítulo 1 de este informe se encuentran definiciones detalladas de estos depósitos.

Los de madera muerta son depósitos diversos con muchos problemas prácticos para las mediciones de campo y con incertidumbres asociadas respecto a las tasas de transferencia a hojarasca, suelo o emisiones a la atmósfera. El carbono contenido en la madera muerta es muy variable entre las arboledas de un mismo paisaje. Las cantidades de madera muerta dependen del momento en el que se produjo la última perturbación, de la cantidad de entrada agregada (mortalidad) en el momento de la perturbación, de las tasas de mortalidad natural, de las tasas de descomposición y de la gestión.

La acumulación de hojarasca está en función de la cantidad anual de caída de hojarasca, que incluye todas las hojas, brotes y ramitas, heno, frutas, flores y corteza, menos la tasa anual de descomposición. La masa de hojarasca también se ve influenciada por el tiempo transcurrido desde la última perturbación y por el tipo de perturbación. La gestión, incluyendo la cosecha de madera y de hierbas, el quemado y el pastoreo alteran significativamente las propiedades de la hojarasca, pero hay pocos estudios que documenten claramente los efectos de la gestión sobre el carbono de la hojarasca.

En general, las tierras de cultivo contendrán poca o nada de madera muerta, residuos de cultivos u hojarasca, a excepción de los sistemas agroforestales que pueden contabilizarse bajo tierras de cultivo o bajo tierras forestales, según las definiciones adoptadas por los países para la declaración.

5.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El árbol de decisiones de la Figura 2.3 del Capítulo 2 brinda orientación para la selección del nivel de método apropiado para la aplicación de los procedimientos de estimación. La estimación de los cambios en las existencias de carbono en DOM requiere una estimación de los cambios de las existencias de hojarasca (véase la Ecuación 2.17 del Capítulo 2).

Cada uno de los depósitos de DOM (madera muerta y hojarasca) debe tratarse por separado, pero el método para determinar los cambios de cada depósito es el mismo.

Nivel 1

En el método de Nivel 1 se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca no existen en las tierras de cultivo o están en equilibrio, como sucede en los sistemas agroforestales y en los huertos. Por lo tanto, no hay necesidad de estimar los cambios en las existencias de carbono de estos depósitos.

Niveles 2 y 3

Los Niveles 2 y 3 permiten calcular los cambios en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debidos a prácticas de gestión. Se sugieren dos métodos para estimar los cambios en las existencias de carbono en DOM.

Método 1 (También llamado **Método de ganancias y pérdidas**, Ecuación 2.18 del Capítulo 2): El método 1 implica estimar la superficie de tierras de cultivo de las distintas categorías de gestión y el promedio anual de transferencia hacia y desde las existencias de madera muerta y hojarasca. Esto requiere una estimación de la superficie bajo *tierras de cultivo que permanecen como tales* de acuerdo con: i) los diferentes tipos de clima o de tierras de cultivo; ii) el régimen de gestión u otros factores que afecten significativamente los depósitos de carbono en madera muerta y hojarasca; y iii) la cantidad de biomasa transferida a las existencias de madera muerta y hojarasca, así como la cantidad de biomasa transferida de las existencias de madera muerta y hojarasca por hectárea y según los diferentes tipos de tierras de cultivo.

Método 2 (También llamado **Método de diferencia de existencias**, Ecuación 2.19 del Capítulo 2): El método 2 implica estimar la superficie de tierras de cultivo y las existencias de madera muerta y hojarasca en dos momentos dados, t_1 y t_2 . Los cambios ocurridos en las existencias de madera muerta y hojarasca en el año de inventario se calculan dividiendo los cambios en las existencias por el período (años) transcurrido entre dos mediciones. El método 2 se puede aplicar en los países en los que se realizan inventarios periódicos. Este método es más apropiado para los países que adoptan los métodos de Nivel 3. Los métodos de Nivel 3 se emplean en los países que cuentan con factores de emisión específicos del país y con información a nivel nacional. La metodología definida para el país se puede basar en inventarios detallados de parcelas de muestreo permanente de sus tierras de cultivo y/o en modelos.

5.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN/ABSORCIÓN

Fracción de carbono: la fracción de carbono de la madera muerta y la hojarasca es variable y depende de la etapa de descomposición. La madera es mucho menos variable que la hojarasca y se puede utilizar un valor de 0,5 ton C (ton d.m.)⁻¹ para la fracción de carbono.

Nivel 1

En el Nivel 1 se supone que las existencias de carbono en DOM de todas las *tierras de cultivo que permanecen como tales* son insignificantes o que no cambian y, por lo tanto, no se necesita contar con factores de emisión/absorción ni con datos de la actividad. Se alienta a los países que experimentan cambios significativos en la gestión de las tierras de cultivo o perturbaciones que puedan afectar a los depósitos de DOM a que desarrollen información local para cuantificar este impacto y que lo declaren según las metodologías de los Niveles 2 o 3.

Nivel 2

Es una *buena práctica* utilizar datos de nivel nacional sobre DOM para diferentes categorías de tierras de cultivo, en combinación con valores por defecto, si no se dispone de valores específicos del país o de la región respecto a algunas categorías de tierras de cultivo. Los valores específicos del país de transferencia de carbono de árboles vivos que se cosechan a residuos de cosecha, así como las tasas de descomposición (en el caso del Método 1) o el cambio neto en los depósitos de DOM (en el caso del Método 2), pueden derivarse de los datos específicos del país, teniendo en cuenta el tipo de tierras de cultivo, la tasa de utilización de la biomasa, las prácticas de cosecha, y la cantidad de vegetación deteriorada durante las operaciones de cosecha.

Nivel 3

En cuanto al Nivel 3, los países deben desarrollar sus propias metodologías y sus propios parámetros para estimar los cambios de DOM. Estas metodologías pueden derivarse de los Métodos 1 o 2 especificados precedentemente, o se pueden basar en otros enfoques. El método utilizado debe documentarse claramente.

Las estimaciones de carbono en DOM desagregadas a nivel nacional deben determinarse como parte de un inventario nacional de tierras de cultivo, de modelos de nivel nacional o de un programa de inventarios específico para gases de efecto invernadero, con muestreos periódicos según los principios establecidos en el Capítulo 3, Anexo 3A.3. Los datos del inventario se pueden acompañar de estudios de modelización para capturar la dinámica de todos los depósitos de carbono de las tierras de cultivo.

5.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad consisten en las superficies de las tierras de cultivo que permanecen como tales resumidas según principales tipos de tierras de cultivo y prácticas de gestión. El total de la superficie de tierras de cultivo debe ser coherente con lo declarado en otras secciones de este capítulo y, en particular, en la sección de biomasa de tierras de cultivo que permanecen como tales. Si esta información se relaciona con la relativa a suelos, clima, vegetación y otros datos geofísicos nacionales, se facilita la evaluación de los cambios en DOM.

5.2.2.4 PASOS DE CÁLCULO PARA LOS NIVELES 1 Y 2

A continuación, se resumen los pasos para estimar cambios en las existencias de carbono en DOM

Nivel 1

No se requieren datos de la actividad puesto que se supone que el depósito de DOM es estable.

Nivel 2 (Método de ganancias y pérdidas) – Ecuación 2.18 del Capítulo 2

Cada uno de los depósitos de DOM (madera muerta y hojarasca) se deben tratar por separado, pero el método para cada depósito es el mismo.

Paso 1: determinar las categorías o los tipos de tierras de cultivo y sistemas de gestión que se utilizarán en esta evaluación y la superficie representativa. Los datos de superficie se obtendrán empleando los métodos descritos en el Capítulo 3.

Paso 2: determinar el cambio neto en las existencias de DOM para cada categoría. Identificar los valores, a partir de inventarios o estudios científicos, de las entradas y salidas promedio de madera muerta u hojarasca para cada categoría. Los países deben utilizar los datos de que se disponga localmente para las entradas y salidas de estos depósitos. Calcular el cambio neto de los depósitos de DOM restando las salidas de las entradas. Los valores negativos indican una disminución neta de las existencias.

Paso 3: determinar el cambio neto de las existencias de carbono en DOM para cada categoría sobre la base del Paso 2. Multiplicar el cambio en las existencias de DOM por la fracción de carbono de la madera muerta y la hojarasca para determinar el cambio neto en las existencias de carbono en madera muerta. El valor por defecto es de 0,5 ton C (ton d.m.)⁻¹ para madera muerta y de 0,4 ton C (ton d.m.)⁻¹ para hojarasca.

Paso 4: determinar el cambio total de los depósitos de carbono en DOM para cada categoría, multiplicando la superficie representativa de cada categoría por el cambio neto de las existencias de carbono en DOM para esa categoría.

Paso 5: determinar el cambio en total de las existencias de carbono en DOM mediante la suma de los cambios totales en DOM de todas las categorías.

Nivel 2 (Método de diferencia de existencias) – Ecuación 2.19 del Capítulo 2

Cada uno de los depósitos de DOM se debe tratar por separado, pero el método para cada depósito es el mismo.

Paso 1: determinar las categorías a emplear en esta evaluación y la superficie representativa según lo descrito para el Método 1.

Paso 2: determinar el cambio neto en las existencias de DOM para cada categoría. A partir de los datos del inventario, identificar el intervalo entre inventarios, las existencias promedio de DOM del inventario inicial (t_1) y del inventario final (t_2). Utilizar estos valores para calcular el cambio anual neto de las existencias de DOM, y restar las existencias de DOM en t_1 de las existencias de DOM en t_2 y dividir la diferencia por el intervalo. Un valor negativo indica una disminución de las existencias de DOM.

Paso 3: determinar el cambio neto en las existencias de carbono en DOM para cada categoría. Determinar el cambio neto de las existencias de carbono en DOM multiplicando el cambio neto de las existencias de DOM para cada categoría por la fracción de carbono del DOM. El valor por defecto es de 0,5 ton C (ton d.m.)⁻¹ para madera muerta y de 0,4 ton C (ton d.m.)⁻¹ para hojarasca. Un método de Nivel 3 requiere factores de expansión específicos del país o del ecosistema. En un método de Nivel 2 se pueden utilizar factores de expansión de nivel nacional por defecto.

Paso 4: determinar el cambio total de los depósitos de carbono en DOM para cada categoría de actividad multiplicando la superficie representativa de cada categoría por el cambio neto de las existencias de carbono en DOM para esa categoría.

Paso 5: determinar el cambio en total de las existencias de carbono en DOM mediante la suma de los cambios totales en DOM de todas las categorías de actividad.

5.2.2.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

En el Nivel 1 no se requiere la estimación de incertidumbre ya que se supone que las existencias de DOM son estables. Para los Niveles 2 y 3, los datos de superficie y las estimaciones de incertidumbre deben obtenerse usando los métodos del Capítulo 3. La acumulación de carbono y los factores de pérdida deben determinarse localmente.

5.2.3 Carbono del suelo

La gestión de las tierras de cultivo modifica las existencias de C del suelo en distinto grado, según la forma en la que las prácticas específicas influyan sobre las entradas y salidas del sistema del suelo (Paustian *et al.*, 1997; Bruce *et al.*, 1999; Ogle *et al.*, 2005). Las principales prácticas de gestión que afectan a las existencias de C del suelo en las tierras de cultivo son el tipo de gestión de residuos, el manejo de fertilizantes (tanto fertilizantes minerales como abonos orgánicos), la elección del cultivo y la intensidad de la gestión de cultivo (p. ej., cultivo continuo vs. rotación de cultivos con períodos de barbecho limpio), gestión de irrigación y sistemas mixtos con cultivos y pasturas o heno en secuencias rotativas. Además, el drenaje y el cultivo de los suelos orgánicos reducen las existencias de C del suelo (Armentano y Menges, 1986).

Se suministra información general y orientación para estimar los cambios en las existencias de C del suelo (incluyendo ecuaciones) en la Sección 2.3.3 del Capítulo 2. Debe leerse esa sección antes de seguir adelante con las directrices específicas referidas a las existencias de C en el suelo de las tierras de cultivo. Los cambios totales de las existencias de C del suelo en tierras de cultivo se calculan utilizando la Ecuación 2.24 (Capítulo 2), en la que se combinan los cambios en las existencias de C orgánico del suelo para suelos minerales y orgánicos, con los cambios en las existencias de los depósitos de C inorgánico del suelo (Nivel 3 solamente). En esta sección se brinda orientación específica para estimar los cambios en las existencias de C orgánico del suelo. Lo referido a C inorgánico del suelo está cubierto en su totalidad en la Sección 2.3.3.1.

A fin de contabilizar los cambios en las existencias de C del suelo relacionados con *tierras de cultivo que permanecen como tales*, los países deben contar, como mínimo, con estimaciones de la superficie de tierras de cultivo al comienzo y al final del período de inventario. Si los datos sobre uso y gestión de la tierra son limitados, se pueden emplear datos agregados, como las estadísticas de la FAO sobre tierras de cultivo, como punto de partida, así como el conocimiento de expertos sobre la distribución aproximada de los sistemas de gestión de la tierra (p. ej., sistemas de cultivo de media, baja y alta entrada, etc.). Las clases de gestión de las tierras de cultivo deben estratificarse según las regiones climáticas y los principales tipos de suelos, lo que puede basarse en clasificaciones por defecto o específicas del país. Esto se puede lograr con superposiciones de uso de la tierra sobre mapas climáticos y de suelos apropiados.

5.2.3.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Los inventarios pueden desarrollarse empleando métodos de Niveles 1, 2 o 3, en los que cada uno de los sucesivos Niveles requiere más detalles y recursos que el anterior. También es posible que haya países que utilicen diferentes niveles para preparar estimaciones de cada subcategoría de C del suelo (p. ej., cambios en las existencias de C orgánico en suelos minerales y orgánicos; y cambios de existencias relacionados con depósitos de C inorgánico en el suelo). En la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2, se proporcionan árboles de decisión para suelos minerales (Figura 2.4) y para suelos orgánicos (Figura 2.5) a fin de asistir a los compiladores del inventario en la selección del nivel adecuado para su inventario de C del suelo.

Suelos minerales

Nivel 1

En cuanto a los suelos minerales, el método de estimación se basa en los cambios de las existencias de C orgánico del suelo durante un período finito, a consecuencia de cambios en la gestión que repercuten sobre el C orgánico del suelo. Se utiliza la Ecuación 2.25 (Capítulo 2) para estimar los cambios en las existencias de C orgánico del suelo en suelos minerales, restando las existencias de C del año pasado de un período de inventario (SOC_0) de las existencias de C al comienzo del período de inventario ($SOC_{(0-t)}$) y dividiendo por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D). En la práctica, se deben obtener datos específicos del país sobre uso y gestión de la tierra y clasificarlos por sistemas de gestión de la tierra apropiados (p. ej., cultivos de alta, media y baja entrada), incluida la gestión del laboreo, y luego estratificados por regiones climáticas y tipos de suelo del IPCC. Las existencias de C orgánico del suelo (SOC) se estiman para el inicio y la terminación del

período de inventario empleando existencias de carbono de referencia por defecto (SOC_{ref}) y factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , F_{MG} , F_I).

Nivel 2

En cuanto al Nivel 2, se utilizan las mismas ecuaciones básicas que en el Nivel 1 (Ecuación 2.25), pero se incorpora información específica del país para especificar mejor los factores de cambio en las existencias de C de referencia, las regiones climáticas, los tipos de suelo y/o el sistema de clasificación de gestión de la tierra.

Nivel 3

En los métodos de Nivel 3, se pueden utilizar modelos dinámicos y/o mediciones detalladas del inventario de C del suelo como bases para estimar los cambios en las existencias anuales. Las estimaciones de los modelos se calculan empleando ecuaciones acopladas por las que se estiman los cambios netos de C del suelo. Existe toda una diversidad de modelos (p. ej., véanse las revisiones de McGill *et al.*, 1996; y Smith *et al.*, 1997). Los criterios principales para seleccionar un modelo apropiado incluyen su capacidad para representar todas las prácticas y todos los modelos de gestión pertinentes que correspondan a tierras de cultivo; las entradas del modelo (es decir, variables motrices) que sean compatibles con la disponibilidad de datos de entrada de todo el país; y la verificación de los datos experimentales.

Se puede desarrollar también un método de Nivel 3 utilizando un enfoque basado en mediciones en el que se muestrea periódicamente una red de monitorización para estimar los cambios en las existencias de C orgánico del suelo. Es factible que resulte necesaria una densidad mucho mayor de sitios de comparación que con los modelos para representar adecuadamente la combinación de sistemas de uso y gestión de la tierra, clima y tipos de suelos. Se suministra orientación adicional en la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

Suelos orgánicos

Nivel 1

Se utiliza la Ecuación 2.26 (Capítulo 2) para estimar los cambios en las existencias de C en suelos orgánicos (p. e., derivadas de turba, Histosoles). La metodología básica implica estratificar los suelos orgánicos cultivados por región climática y asignar una tasa de pérdida de C anual específica por clima. Las superficies de tierra se multiplican por el factor de emisión y, posteriormente, se suman para estimar las emisiones de C anuales.

Nivel 2

En cuanto al Nivel 2, se utilizan las mismas ecuaciones básicas que en el Nivel 1 (Ecuación 2.26), pero se incorpora información específica del país, para especificar mejor los factores de emisión, las regiones climáticas, y/o el sistema de clasificación de gestión de la tierra.

Nivel 3

En los métodos de Nivel 3 para suelos orgánicos se utilizan modelos dinámicos y/o redes de medición, como se describiera anteriormente para los suelos minerales.

5.2.3.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE CAMBIO DE EXISTENCIAS Y DE EMISIÓN

Suelos minerales

Nivel 1

En el Cuadro 5.5 se incluyen los factores por defecto de cambio de las existencias del método de Nivel 1 para uso de la tierra (F_{LU}), entrada (F_I) y gestión (F_{MG}). El método y los estudios que se emplearon para derivar los factores de cambio de existencias por defecto pueden verse en el Anexo 5A.1 y en las Referencias. El período por defecto para cambios de existencias (D) es de 20 años y se supone que la práctica de gestión influye sobre las existencias hasta una profundidad de 30 cm, que es también la profundidad usada para las existencias de referencia de C del suelo en el Cuadro 2.3 (Capítulo 2).

Nivel 2

Un método de Nivel 2 implica la estimación de factores de cambio de existencias específicos del país. La derivación de factores de entrada (F_I) y de gestión (F_{MG}) se basa en comparaciones con entrada media y laboreo intensivo, respectivamente, porque se las considera prácticas nominales en la clasificación de gestión por defecto del IPCC (véase Elección de los datos de la actividad). Es una *buena práctica* derivar valores para una clasificación de gestión, clima y tipos de suelo de mayor resolución si hay diferencias significativas en los factores de cambio de existencias entre categorías más desagregadas sobre la base de un análisis empírico. En un método de Nivel 2, también se derivan las existencias de C de referencia de datos específicos del país. Se suministra orientación adicional en la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

Nivel 3

Es menos factible que los factores constantes de tasa de cambio de existencias *per se* se estimen a favor de tasas variables que reproduzcan con mayor exactitud los efectos del uso y la gestión de la tierra. Para un análisis más pormenorizado, véase la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

Suelos orgánicos**Nivel 1**

En el Cuadro 5.6 pueden verse los factores de emisión por defecto para suelos orgánicos cultivados. La asignación de factores de emisión para sistemas de árboles perennes, como frutales que se clasifican como tierras de cultivo, se puede basar en los factores para suelos orgánicos cultivados del Cuadro 5.6 o para la gestión forestal de suelos orgánicos (véase el Capítulo 4). Un drenaje más llano lleva a emisiones más parecidas a las de gestión forestal, mientras que el drenaje más profundo de los sistemas de árboles perennes genera emisiones más parecidas a las de los sistemas de cultivos anuales.

Nivel 2

En un enfoque de Nivel 2, los factores de emisión se derivan de datos experimentales específicos del país. Es una *buena práctica* que los factores de emisión se deriven para categorías específicas de gestión de tierras de cultivo en suelos orgánicos y/o mediante una clasificación más pormenorizada de regiones climáticas, suponiendo que las nuevas categorías capturan diferencias significativas en tasas de pérdida de C. Se suministra orientación adicional en la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

Nivel 3

Es menos factible que los factores constantes de tasa de emisión *per se* se estimen a favor de tasas variables que reproduzcan con más exactitud los efectos del uso y la gestión de la tierra.

CUADRO 5.5
FACTORES RELATIVOS DE CAMBIO DE EXISTENCIAS (F_{LU} , F_{MG} , Y F_I) (DURANTE 20 AÑOS) PARA DIFERENTES ACTIVIDADES DE GESTIÓN EN TIERRAS DE CULTIVO

Tipo de valor del factor	Nivel	Régimen térmico	Régimen de humedad	Valores por defecto del IPCC	Error ^{2,3}	Descripción
Uso de la tierra (F_{LU})	Cultivos de largo plazo	Templado / Boreal	Seco	0,80	± 9%	Representa la superficie gestionada en forma continua durante más de 20 años, predominantemente con cultivos anuales. También se aplican los factores de entrada y de laboreo para estimar los cambios en las existencias de carbono. El factor de uso de la tierra se estimó con relación a laboreo total y a niveles nominales («medios») de entrada de carbono.
			Húmedo	0,69	± 12%	
		Tropical	Seco	0,58	± 61%	
			Húmedo / Seco	0,48	± 46%	
		Tropical montano ⁴	n/a	0,64	± 50%	
Uso de la tierra (F_{LU})	Arroz bajo fangueo	Todas	Seco y húmedo/muy húmedo	1,10	± 50%	Cultivo anual a largo plazo (> 20 años) de humedales (arroz de fangueo). Puede incluir doble cultivo con cultivos no inundados. Para el arroz de fangueo, no se utilizan los factores de laboreo y de entrada.
Uso de la tierra (F_{LU})	Cultivo de perennes / Árboles	Todas	Seco y húmedo/muy húmedo	1,00	± 50%	Cultivos de árboles perennes a largo plazo, como frutales y nogales, café y cacao.
Uso de la tierra (F_{LU})	De reserva (< 20 años)	Templado / Boreal y Tropical	Seco	0,93	± 11%	Representa lo reservado temporalmente por año de tierras de cultivo (p. ej., reservas para conservación) u otras tierras de cultivo ociosas que se hayan plantado con pastizales perennes.
			Húmedo / Seco	0,82	± 17%	
		Tropical montano ⁴⁴	n/a	0,88	± 50%	
Laboreo (F_{MG})	Total	Todas	Seco y húmedo/muy húmedo	1,00	ND	Perturbación sustancial del suelo con operaciones de inversión total y/o de frecuente (dentro del año) laboreo. En el momento de plantar, una pequeña parte (p. ej.: <30%) de la superficie está cubierta por residuos.
Laboreo (F_{MG})	Reducido	Templado / Boreal	Seco	1,02	± 6%	Laboreo primario y/o secundario pero con poca perturbación del suelo (generalmente llano y sin una inversión total del suelo). Normalmente, la superficie queda en >30% cubierta por residuos en el momento de plantar.
			Húmedo	1,08	± 5%	
		Tropical	Seco	1,09	± 9%	
			Húmedo / Seco	1,15	± 8%	
		Tropical montano ⁴	n/a	1,09	± 50%	
Laboreo (F_{MG})	Sin laboreo	Templado / boreal	Seco	1,10	± 5%	Sembrado directo sin laboreo primario, con solamente una mínima perturbación del suelo en la zona de sembrado. Habitualmente, se emplean herbicidas para control de las malezas.
			Húmedo	1,15	± 4%	
		Tropical	Seco	1,17	± 8%	
			Húmedo / Seco	1,22	± 7%	
		Tropical montano ⁴	n/a	1,16	± 50%	

CUADRO 5.5 (CONTINUACIÓN)
FACTORES RELATIVOS DE CAMBIO DE EXISTENCIAS (F_{LU}, F_{MG}, Y F_I) (DURANTE 20 AÑOS) PARA DIFERENTES ACTIVIDADES DE GESTIÓN EN TIERRAS DE CULTIVO

Tipo de valor del factor	Nivel	Régimen térmico	Régimen de humedad	Valores por defecto del IPCC	Error ^{2,3}	Descripción
Entrada (F _I)	Bajo	Templado / Boreal	Seco	0,95	± 13%	Se produce un bajo retorno de residuos cuando llega el momento de eliminarlos (por recogida o quemado), frecuente barbecho limpio, producción de cultivos que provocan pocos residuos (p. ej., legumbres, tabaco, algodón), sin fertilización mineral ni cultivos que fijen N.
			Húmedo	0,92	± 14%	
		Tropical	Seco	0,95	± 13%	
			Húmedo / Seco	0,92	± 14%	
		Tropical montano ⁴	n/a	0,94	± 50%	
Entrada (F _I)	Medio	Todas	Seco y húmedo/ muy húmedo	1,00	ND	Representativo de cultivos anuales con cereales en los que todos los residuos del cultivo se reintegran al campo. Si los residuos se quitan, entonces se agrega materia orgánica complementaria (p. ej., estiércol). También se requiere fertilización mineral o un cultivo que fije N en régimen de rotación.
Entrada (F _I)	Alto sin estiércol	Templado / Boreal y Tropical	Seco	1,04	± 13%	Representa sistemas de cultivo con entradas significativamente mayores de residuos de cultivo respecto a la entrada media de C debido a prácticas adicionales, tales como la producción de cultivos con gran volumen de residuos, el uso de estiércol verde, los cultivos protectores, los barbechos mejorados con vegetación, la irrigación, el uso frecuente de pastizales perennes en rotaciones anuales de cultivos, pero sin aplicación de estiércol (véase la siguiente línea).
			Húmedo / Seco	1,11	± 10%	
		Tropical montano ⁴	n/a	1,08	± 50%	
Entrada (F _I)	Alto – con estiércol	Templado / Boreal y Tropical	Seco	1,37	± 12%	Representa sistemas de cultivo con entrada de C significativamente mayor respecto a la entrada media de C debida a práctica adicional de agregado habitual de estiércol animal.
			Húmedo / Seco	1,44	± 13%	
		Tropical montano ⁴	n/a	1,41	± 50%	

¹ Cuando la información fuera suficiente, se determinaron valores por separado para regímenes de temperatura templadas y tropicales; y regímenes de humedad secos, húmedos y muy húmedos. Las zonas templadas y tropicales se corresponden con las definidas en el Capítulo 3; el régimen muy húmedo se corresponde con las zonas húmedas y muy húmedas combinadas de los trópicos y con la zona húmeda de las regiones templadas.

² ± dos desviaciones estándar, expresadas como porcentaje de la media; cuando no se disponga de suficientes estudios para realizar un análisis estadístico para derivar un valor por defecto, se supuso que la incertidumbre era ±50% sobre la base de la opinión de expertos. NA significa «no aplicable», donde los valores del factor constituyen valores de referencia definidos, y las incertidumbres se reflejan en las existencias de C de referencia y en los factores de cambio de existencias para usos de la tierra.

³ Este rango de errores no incluye el potencial error sistemático debido a tamaños pequeños de muestras que pueden no ser representativos del verdadero impacto para todas las regiones del mundo.

⁴ No había suficientes estudios como para estimar los factores de cambio de existencias para suelos minerales en la región climática tropical montana. Como aproximación, se utilizaron los cambios de existencias promedio entre las regiones templada y tropical, para efectuar un cálculo aproximado de los cambios de existencias en el clima tropical montano.

Nota: Véase el Anexo 5A.1 por una estimación de los factores de cambio de existencias por defecto para las emisiones/absorciones de C en suelos minerales de tierras de cultivo.

CUADRO 5.6
FACTORES DE EMISIÓN (EF) ANUALES PARA SUELOS ORGÁNICOS CULTIVADOS

Régimen climático de temperatura ¹	Valor por defecto del IPCC (ton C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Error ²
Boreal/Templado fresco	5,0	± 90%
Templado cálido	10,0	± 90%
Tropicales/Subtropicales	20,0	± 90%

¹ La clasificación de climas puede verse en el Capítulo 3.

² Representa una estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media. Las estimaciones están basadas en Glenn *et al.*, 1993; Kasimir-Klemedtsson *et al.*, 1997; Freibauer y Kaltschmitt, 2001; Leifeld *et al.*, 2005; Augustin *et al.*, 1996; Nykänen *et al.*, 1995; Maljanen *et al.*, 2001, 2004; Lohila *et al.*, 2004; Ogle *et al.*, 2003; Armentano y Menges, 1986.

5.2.3.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Suelos minerales

Nivel 1

Los sistemas de cultivos se clasifican según las prácticas que influyen sobre la permanencia del C en el suelo. El sistema de clasificación de la gestión por defecto se suministra en la Figura 5.1. Los compiladores del inventario deben utilizar esta clasificación para categorizar los sistemas de gestión de manera coherente con los factores de cambio de existencias por defecto del Nivel 1. Esta clasificación se puede desarrollar aun más para los métodos de los Niveles 2 y 3. En general, las prácticas ya conocidas por incrementar los depósitos de C, como la irrigación, la fertilización mineral, los abonos orgánicos, los cultivos protectores y los que producen grandes volúmenes de residuos, tienen entradas más altas, mientras que las prácticas que reducen los depósitos de C, como la quema o la recogida de residuos, el barbecho limpio y los cultivos que producen pocos residuos, tienen entradas menores. Estas prácticas se utilizan para categorizar a los sistemas de gestión y para, posteriormente, estimar los cambios en las existencias de C en el suelo orgánico. No se deben considerar las prácticas que se emplean en menos de 1/3 de una secuencia de cultivo dada (es decir, rotación de cultivos), lo que es coherente con la clasificación de datos experimentales que se utilizara para estimar los factores de cambio de existencias por defecto. La producción de arroz, los cultivos perennes y las tierras reservadas (es decir, tierras retiradas de la producción) se consideran sistemas de gestión de excepción (véase más abajo).

Cada uno de los sistemas de cultivo anuales (de baja, mediana y alta entrada con abono orgánico) se subdivide, a su vez, sobre la base de la gestión de laboreo. Las prácticas de laboreo se dividen en sin laboreo (sembrado directo, sin laboreo primario, y sólo una mínima perturbación del suelo en la zona sembrada; habitualmente se utilizan herbicidas para control de las malezas), laboreo reducido (laboreo primario y/o secundario pero con una reducida perturbación del suelo que generalmente es llana y sin una total inversión del suelo; normalmente deja la superficie con >30% de cobertura con residuos en el momento de plantar) y laboreo total (sustancial perturbación del suelo con inversión total y/o frecuente, en las operaciones de laboreo del año, mientras que se deja <30% de la superficie cubierta con residuos en el momento de plantar). Es una *buena práctica* considerar solamente laboreo reducido y no laboreo si se los usa en forma continua (todos los años) porque incluso una pasada ocasional con un implemento de laboreo total reduce significativamente la permanencia de C orgánico del suelo esperada bajo los regímenes de laboreo reducido o no laboreo (Pierce *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 1998). Evaluar el impacto de los sistemas de laboreo rotativo (es decir, prácticas de mezclas reducidas, no laboreo y/o laboreo total) sobre las existencias de C del suelo va a exigir la aplicación del método de Nivel 2.

Los tipos de datos principales de la actividad en uso de la tierra son: i) estadísticas agregadas (Método 1), ii) datos con información explícita sobre conversiones en el uso de la tierra pero sin referencias geográficas específicas (Método 2), o iii) datos con información explícita sobre conversiones de uso de la tierra y referencias geográficas (Método 3), como inventarios de uso y gestión de la tierra que constituyan una muestra de base estadística de la superficie territorial de un país (véase el Capítulo 3 para un análisis de los métodos). Como mínimo, las estadísticas de que se dispone a nivel mundial sobre uso de la tierra y producción agrícola, como las bases de datos de la FAO (<http://faostat.fao.org/>), ofrecen compilaciones anuales de toda la superficie territorial por los principales usos de la tierra, datos escogidos de gestión (p. ej., tierras irrigadas versus no irrigadas), superficie de tierra con cultivos «perennes» (es decir, viñas, cultivos herbáceos perennes, y cultivos en base a árboles, como los huertos) y cultivos anuales (p. ej., trigo, arroz, maíz, sorgo, etc.). Las bases de datos de la FAO constituyen un ejemplo de datos agregados (Método 1).

Los datos de la actividad de gestión complementan a los de uso de la tierra, pues brindan información para clasificar los sistemas de gestión, tales como tipos de cultivos y rotaciones, prácticas de laboreo, irrigación, aplicación de abonos, gestión de residuos, etc. Estos datos también pueden ser estadísticas agregadas (Método 1) o información sobre cambios de gestión explícitos (Método 2 o 3). Cuando resulte posible, es una *buena práctica* determinar las prácticas de gestión específicas para superficies territoriales relacionadas con los sistemas de cultivo (p. ej., rotaciones y práctica de laboreo), más que sólo superficie por cultivo. Los datos de detección remota constituyen un recurso valioso en cuanto a datos de la actividad en uso de la tierra y gestión, y, potencialmente, el conocimiento experto es otra fuente de información sobre prácticas de cultivo. Es una *buena práctica* solicitar conocimiento experto empleando los métodos provistos en el Volumen 1, Capítulo 2 (solicitud del conocimiento de expertos).

Los inventarios nacionales de uso de la tierra y recursos, basados en repetidos sondeos de las mismas zonas, constituyen datos de la actividad recabados mediante los Métodos 2 o 3, y tienen ciertas ventajas sobre los datos agregados de uso de la tierra y gestión de tierras de cultivo (Método 1). Los datos de series temporales pueden asociarse más fácilmente con un sistema de cultivo en particular (es decir, la combinación del tipo y la gestión de cultivos durante una serie de años) y el tipo de suelo puede determinarse mediante muestreo o buscando referencias del lugar en un mapa de suelos apropiado. Los puntos del inventario que se seleccionan sobre la base de un diseño estadístico apropiado también permiten lograr estimaciones de la variabilidad asociada con los datos de la actividad, lo que puede emplearse como parte de un análisis formal de la incertidumbre. Un ejemplo de un sondeo realizado usando el Método 3 es el Inventario de Recursos Naturales de los Estados Unidos (Nusser y Goebel, 1997).

Los datos de la actividad requieren información adicional del país a fin de estratificar las zonas por clima y por tipo de suelo. Si esta información aún no se ha compilado, un método inicial sería superponer los mapas disponibles de cobertura/uso de la tierra (de origen nacional o de conjuntos de datos mundiales como el IGBP_DIS) con los mapas de suelo y clima de origen nacional o de fuentes internacionales, como los Mapas del suelos del mundo de la FAO y datos climáticos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. En el Anexo 3A.5 del Capítulo 3 se ofrece una descripción detallada de los esquemas de clasificación de clima y suelos por defecto. La clasificación de los suelos se basa en la descripción taxonómica de los suelos y en datos de textura, mientras que la de las regiones climáticas se basa en los valores medios anuales de temperatura y precipitaciones, elevación, frecuencia de heladas, y potencial evapotranspiración.

Nivel 2

Es factibles que los métodos de Nivel 2 incluyan una estratificación más detallada de los sistemas de gestión que los del Nivel 1 (véase la Figura 5.1) si se dispone de suficientes datos. Esto puede incluir más subdivisiones de las categorías de entradas por cultivos anuales (es decir, bajas, medias, altas y altas con agregados), cultivo de arroz, sistemas de cultivos perennes, y reservas. Es una *buena práctica* subdividir aun más las clases por defecto sobre la base de datos empíricos que demuestren diferencias significativas en la permanencia de C en el suelo entre las categorías propuestas. Además, los métodos de Nivel 2 pueden incluir una estratificación más refinada de las regiones climáticas y los tipos de suelos.

Nivel 3

Para la aplicación de modelos dinámicos y/o de un inventario directo basado en mediciones en el Nivel 3, se requieren datos similares o más detallados de las combinaciones de datos climáticos, de suelos, topográficos y de gestión, en comparación con los métodos de los Niveles 1 y 2, aunque los requisitos exactos dependen del diseño del modelo o de la medición.

Suelos orgánicos

Nivel 1

Contrastando con el método para suelos minerales, las tierras de cultivo en suelos orgánicos no se clasifican en sistemas de gestión, bajo la hipótesis de que el drenaje relacionado con todos los tipos de gestión de cultivos estimula la oxidación de la materia orgánica acumulada anteriormente en un ambiente predominantemente anóxico. No obstante, a fin de aplicar el método descrito en la Sección 2.3.3.1 (Capítulo 2), las tierras de cultivo deben estratificarse por regiones climáticas y tipos de suelo (véase el Anexo 3A.5 del Capítulo 3 para una orientación sobre clasificaciones de suelos y climas).

Se pueden emplear bases de datos y métodos similares a los señalados para *Suelos minerales* en lo analizado en el Nivel 1 para derivar estimaciones de superficie. La superficie de tierra con suelos orgánicos que se gestionan para tierras de cultivo pueden determinarse empleando una superposición de un mapa de uso de la tierra sobre mapas de climas y suelos. Se pueden utilizar datos específicos del país sobre proyectos de drenaje con sondeos de uso de la tierra para obtener una estimación más refinada de las superficies pertinentes.

Nivel 2

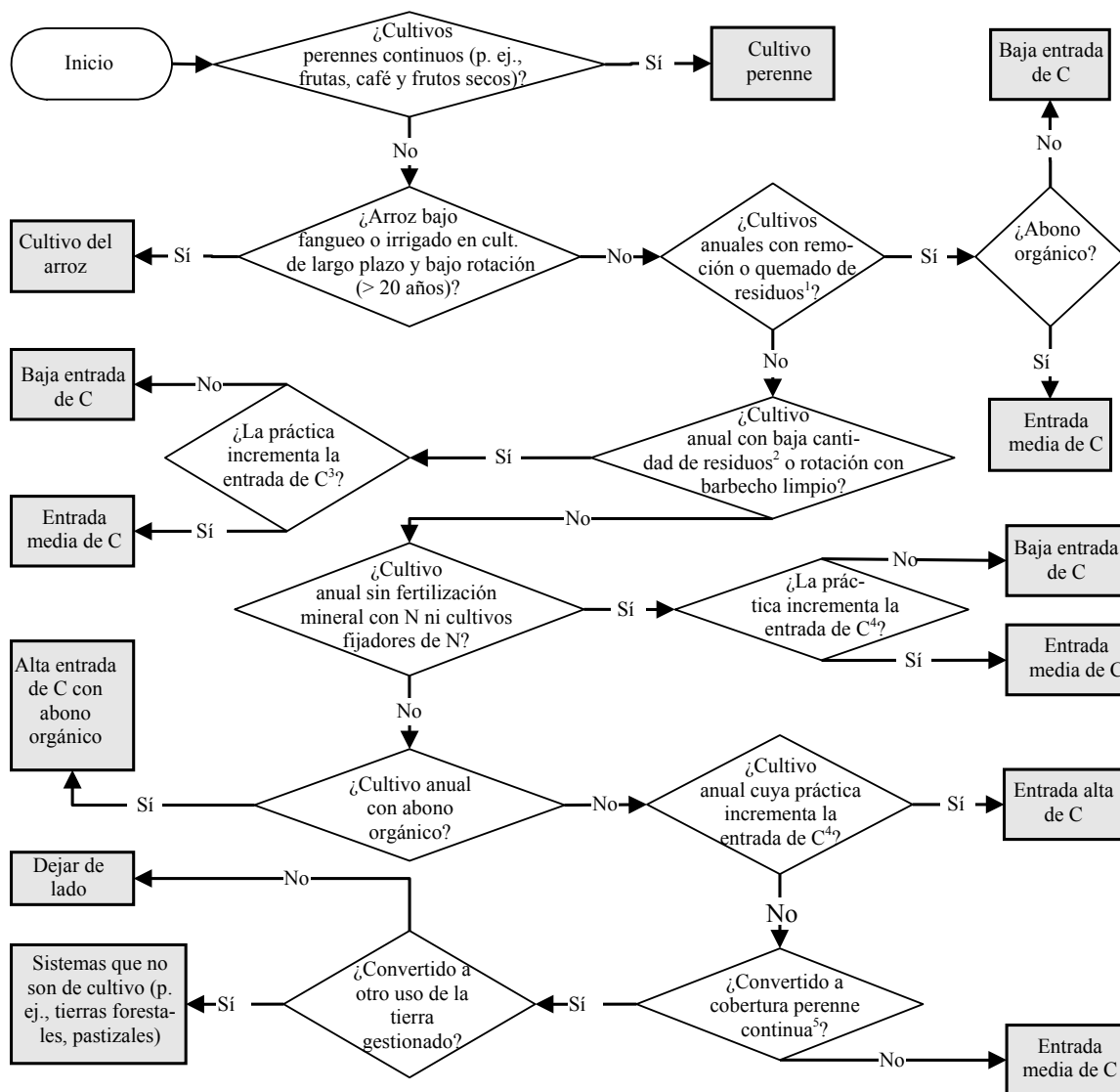
Los métodos del Nivel 2 pueden incluir una estratificación de los sistemas de gestión si se dispone de datos suficientes. Puede incluir subdivisiones de los sistemas de cultivo anuales por clase de drenaje, tipo de cultivo

(Freibauer, 2003) o perturbación por laboreo. Además, los métodos de Nivel 2 pueden incluir una estratificación más refinada de las regiones climáticas.

Nivel 3

Es factible que los métodos del Nivel 3 para suelos orgánicos incluyan datos más detallados sobre clima, suelo, topografía y gestión, en comparación con los métodos de los Niveles 1 y 2, aunque los requisitos exactos dependen del diseño del modelo o de la medición.

Figura 5.1 Esquema de clasificación para sistemas de tierras de cultivo. A fin de clasificar los sistemas de gestión de las tierras de cultivo, el compilador del inventario debe comenzar por la parte superior e ir siguiendo el diagrama respondiendo a las preguntas (moviéndose por las ramas si la respuesta es afirmativa) hasta llegar a un punto terminal del diagrama. El diagrama de clasificación es coherente con los factores de cambio de existencias por defecto del Cuadro 5.5. Las clases de entrada de C (es decir, baja, media, alta y alta con abono orgánico) se subdividen, a su vez, por prácticas de laboreo.



Nota:

1: Habitualmente, no incluye el pastoreo de residuos en el campo.

2: p. ej., algodón, verduras y tabaco.

3: Prácticas que incrementan la entrada de C por encima de la cantidad generada habitualmente por las variedades que producen bajos residuos, como el uso de abonos orgánicos, cultivos de cobertura/estiércol verde, y sistemas mixtos de cultivo/hierba.

4: Prácticas que incrementan la entrada de C realizando la producción de residuos, como el uso de la irrigación, cultivos de cobertura/estiércol verde, barbechos con vegetación, cultivos que generan altos residuos, y sistemas mixtos de cultivo/hierba.

5: Cobertura perenne sin cosechas frecuentes.

Nota: solamente considerar las prácticas, tales como irrigación, quemado/remoción de residuos, fertilizantes minerales, cultivos fijadores de N, abono orgánico, cultivos de cobertura/estiércol verde, cultivos de bajos residuos, o barbecho, si se las aplica, como mínimo, en 1/3 de la secuencia de rotación de cultivos.

5.2.3.4 PASOS DE CÁLCULO PARA EL NIVEL 1

Suelos minerales

Los pasos para estimar SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ y los cambios de existencias netas de C en el suelo por hectárea de *tierras de cultivo que permanecen como tales* en suelos minerales son los siguientes:

Paso 1: organizar los datos por períodos de inventario sobre la base de los años en los que se recabaron los datos de la actividad (p. ej., 1990 a 1995, 1995 a 2000, etc.)

Paso 2: determinar la cantidad de *tierras de cultivo que permanecen como tales* por tipos de suelos minerales y por regiones climáticas del país al comienzo del primer período de inventario. El primer año del período de inventario depende de la periodicidad de los datos de la actividad (0-T; p. ej., hace 5, 10 o 20 años).

Paso 3: clasificar cada Tierra de cultivo por el sistema de gestión apropiado empleando la Figura 5.1.

Paso 4: asignar valores locales de existencias de C de referencia (SOC_{REF}) del Cuadro 2.3 sobre la base del clima y del tipo de suelo.

Paso 5: asignar el factor de uso de la tierra (F_{LU}), el factor de gestión (F_{MG}) y los niveles de ingreso de C (F_I) para cada Tierra de cultivo sobre la base de la clasificación de la gestión (Paso 2). Los valores de F_{LU} , F_{MG} y F_I se encuentran en el Cuadro 5.5.

Paso 6: multiplicar los valores (F_{LU} , F_{MG} , F_I) por las existencias de C del suelo de referencia (SOC_{REF}) para estimar las existencias «iniciales» de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) durante el período del inventario.

Paso 7: estimar las existencias finales de C orgánico en el suelo (SOC_0) repitiendo los pasos 1 a 5 y empleando las mismas existencias de C de referencia del lugar (SOC_{REF}), pero empleando factores de uso, gestión de la tierra y factores de ingreso que representen las condiciones al último año de inventario (año 0).

Paso 8: estimar los cambios anuales promedio de existencias de C orgánico del suelo para *tierras de cultivo que permanecen como tales* ($\Delta C_{Minerales}$) restando las existencias «iniciales» de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) de las existencias finales de C orgánico del suelo (SOC_0), dividiendo entonces por la dependencia en el tiempo de los factores de cambios de existencias (es decir, 20 años empleando los factores por defecto). Si un período de inventario es superior a 20 años, entonces se divide por la diferencia entre el año inicial y el final de ese período.

Paso 9: repetir los Pasos 2 a 8 si hay períodos de inventario adicionales (p. ej., 1990 a 2000, 2001 a 2010, etc.).

A continuación, se ofrece un ejemplo numérico para *tierras de cultivo que permanecen como tales* en suelos minerales, empleando la Ecuación 2.25 y las existencias de C de referencia por defecto (Cuadro 2.3) y los factores de cambio de existencias (Cuadro 5.5).

Ejemplo: en el siguiente ejemplo se muestran los cálculos para superficies agregadas de cambios de existencias de carbono en tierras de cultivo. En un clima cálido/templado muy húmedo y en suelos mollisol, hay 1 Mhá de tierras de cultivos anuales permanentes. Las existencias de carbono de referencia (SOC_{REF}) de la región son de 88 ton C há⁻¹. Al inicio del período de cálculo del inventario (en este ejemplo, 10 años antes, en 1990), la distribución de los sistemas de tierras de cultivo era de 400 000 há de tierras de cultivo, con bajos niveles de entrada de carbono y laboreo total, y de 600 000 há de tierras de cultivos anuales con niveles medios de entrada y laboreo total. Por lo tanto, las existencias iniciales de carbono del suelo eran: $400\,000\text{ há} \bullet (88\text{ ton C há}^{-1} \bullet 0,69 \bullet 1 \bullet 0,92) + 600\,000\text{ há} \bullet (88\text{ ton C há}^{-1} \bullet 0,69 \bullet 1 \bullet 1) = 58,78$ millones de toneladas de C. En el último año del período de inventario (en este ejemplo, el último año es el 2000), hay: 200 000 há de cultivos anuales con laboreo total y baja entrada de C, 700 000 há de cultivos anuales con laboreo reducido y entrada media de C, y 100 000 há de cultivos anuales sin laboreo y con entrada media de C. Entonces, el total de existencias de carbono en el suelo en el año del inventario será: $200\,000\text{ há} \bullet (88\text{ ton C há}^{-1} \bullet 0,69 \bullet 1 \bullet 0,92) + 700\,000\text{ há} \bullet (88\text{ ton C há}^{-1} \bullet 0,69 \bullet 1,08 \bullet 1) + 100\,000\text{ há} \bullet (88\text{ ton C há}^{-1} \bullet 0,69 \bullet 1,15 \bullet 1) = 64,06$ millones de toneladas de C. Entonces, el cambio en las existencias anuales promedio durante el período para toda la superficie será: $64,06 - 58,78 = 5,28$ millones de ton/20 años = 264 000 ton C de incremento de las existencias de C por año. (Nota: 20 años es la dependencia en tiempo del factor de cambio de existencias, es decir, el factor representa la tasa anual de cambio durante 20 años).

Suelos orgánicos

Los pasos para estimar la pérdida de C del suelo en suelos orgánicos drenados son los siguientes:

Paso 1: organizar los datos por períodos de inventario sobre la base de los años en los que se recabaron los datos de la actividad (p. ej., 1990 a 1995, 1995 a 2000, etc.)

Paso 2: determinar la cantidad de *tierras de cultivo que permanecen como tales* sobre suelos orgánicos durante el último año de cada período de inventario.

Paso 3: asignar el factor de emisión apropiado (EF) para las pérdidas anuales de CO₂ en base al clima (del Cuadro 5.6).

Paso 4: estimar las emisiones totales acumulando el producto de la zona (A) multiplicada por el factor de emisión (EF) para todas las zonas climáticas.

Paso 5: repetir para períodos de inventario adicionales.

A continuación, se ofrece un ejemplo numérico para *tierras de cultivo que se mantienen como tales* en suelos orgánicos drenados, empleando la Ecuación 2,26 y los factores de emisión por defecto (Cuadro 5.6).

Ejemplo: En el siguiente ejemplo se muestran los cálculos para superficies agregadas de cambios de existencias de carbono en tierras de cultivo. En un clima cálido/templado muy húmedo y en histosoles, hay 0,4 Mhá de tierras de cultivos anuales permanentes sobre suelos orgánicos drenados. El factor de emisión para este clima es de 10,0 ton C há⁻¹ año⁻¹. Entonces, el cambio anual de existencias de carbono del suelo para suelos orgánicos durante el período del inventario es de: 400 000 há • 10,0 ton C há⁻¹ = 4,0 millones de toneladas de C año⁻¹.

5.2.3.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Existen tres grandes fuentes de incertidumbre en los inventarios de C del suelo: 1) incertidumbres en los datos sobre actividad de uso y gestión de la tierra y sobre el medio ambiente; 2) incertidumbres en las existencias de C de referencia del suelo si se utilizan los métodos de los Niveles 1 o 2 (suelos minerales solamente); y 3) incertidumbres en los factores de emisión/cambios en las existencias y para los métodos de Niveles 1 o 2, error en la estructura/los parámetros del modelo para los métodos basados en el modelo de Nivel 3, o errores de medición/variabilidad en el muestreo relacionados con los inventarios basados en mediciones de Nivel 3. Por lo general, la precisión de un inventario se incrementa y los intervalos de confianza son menores cuando hay más muestreo para estimar los valores de las tres categorías generales, mientras que es más factible que se reduzca el sesgo (es decir, que se mejore la exactitud) a través del desarrollo de un inventario de Nivel superior en el que se incorpore información específica del país.

En cuanto al Nivel 1, las incertidumbres se suministran con las existencias de C de referencia en la primera nota al pie del Cuadro 2.3, los factores de cambio de existencias del Cuadro 5.5 y los factores de emisión para suelos orgánicos del Cuadro 5.6. Las incertidumbres en los datos sobre uso y gestión de la tierra serán abordadas por el compilador del inventario y, posteriormente, combinadas con las incertidumbres de los factores por defecto y las existencias de C de referencia (suelos minerales solamente) empleando un método apropiado, como simples ecuaciones de propagación de errores. Si se emplean estadísticas agregadas de superficies de uso de la tierra para los datos de la actividad (p. ej., datos de la FAO), puede que el organismo a cargo del inventario deba aplicar un nivel de incertidumbre por defecto para las estimaciones de la superficie territorial (±50%). Constituye una *buena práctica* que el compilador del inventario derive las incertidumbres de los datos de la actividad específicos del país en lugar de utilizar un nivel por defecto.

Las existencias de C de referencia y los factores de cambio de existencias para suelos minerales y los factores de emisión para suelos orgánicos por defecto pueden contener incertidumbres inherentemente altas, en particular sesgos, cuando se los aplica a países específicos. Los valores por defecto representan valores de uso de la tierra e impactos de gestión o existencias de C de referencia promediados a nivel mundial, que pueden diferenciarse de los valores específicos de una región (Powers *et al.*, 2004; Ogle *et al.*, 2006). Es posible reducir el riesgo derivando factores específicos del país empleando el método de Nivel 2 o desarrollando un sistema de estimación específico del país de Nivel 3. La base subyacente en los métodos de Nivel superior será la de experimentos realizados en el país o en las regiones vecinas que establezcan el efecto del uso y la gestión de la tierra sobre el C del suelo. Además, es una *buena práctica* minimizar aun más el sesgo contabilizando las diferencias significativas dentro del país en cuanto a los impactos del uso y la gestión de la tierra, como son la

variación entre regiones climáticas y/o tipos de suelos, incluso a expensas de una menor precisión en las estimaciones de factores (Ogle *et al.*, 2006). El sesgo se considera más problemático para declarar cambios en existencias porque no está necesariamente considerado en el rango de incertidumbre (es decir, el verdadero cambio en las existencias puede estar fuera del rango de incertidumbre declarado si hay un sesgo significativo en los factores).

Las incertidumbres en las estadísticas de actividad de uso de la tierra pueden reducirse mediante un mejor sistema nacional por ejemplo, desarrollando o ampliando un sondeo basado en el terreno con un mayor número de puntos de muestreo y/o incorporando la detección remota para lograr una cobertura adicional. Es una *buena práctica* diseñar una clasificación en la que se considere la mayor parte de la actividad en uso y gestión del suelo con un tamaño de muestra suficientemente amplio para minimizar la incertidumbre a escala nacional.

En cuanto a los métodos de Nivel 2, se incorpora la información específica del país al análisis del inventario a fin de reducir el sesgo. Por ejemplo, Ogle *et al.* (2003) utilizaron datos específicos del país para elaborar funciones de distribución de probabilidades para factores específicos de los Estados Unidos, datos de la actividad y existencias de C de referencia de los Estados Unidos respecto a suelos agrícolas. Constituye una *buena práctica* evaluar las dependencias entre factores, existencias de C de referencia o datos de la actividad de uso del suelo y de gestión. En particular, son comunes las fuertes dependencias de los datos de la actividad de uso y gestión del suelo porque las prácticas de gestión tienden a correlacionarse en el tiempo y el espacio. Se pueden combinar incertidumbres en los factores de cambio de existencias o de emisión, existencias de C de referencia y datos de la actividad empleando métodos como las simples ecuaciones de propagación de errores o procedimientos de Monte-Carlo para estimar medias y desviaciones estándar para los cambios en las existencias de C del suelo (Ogle *et al.*, 2003; Vanden Bygaart *et al.*, 2004).

Los modelos de Nivel 3 son más complejos y las simples ecuaciones de propagación de errores pueden no resultar eficaces para cuantificar la incertidumbre asociada de las estimaciones resultantes. Es posible realizar análisis de Monte Carlo (Smith y Heath, 2001), pero puede resultar dificultosa su realización si el modelo tiene muchos parámetros (algunos modelos pueden tener varios cientos de parámetros) porque se deben elaborar funciones conjuntas de distribución de probabilidades con las que se cuantifique la varianza, así como la covarianza, entre los parámetros. También se dispone de otros métodos, tales como los métodos de base empírica (Monte *et al.*, 1996), en los que se emplean mediciones de una red de monitorización para evaluar estadísticamente la relación entre los resultados medidos y los modelados (Falloon y Smith, 2003). En contraste con la modelización, las incertidumbres de los inventarios en base a mediciones de Nivel 3 se pueden estimar a partir de la varianza de las muestras, de errores en la medición y de otras fuentes pertinentes de incertidumbre.

5.2.4 Emisiones de gases de efecto invernadero no CO₂ a partir del quemado de biomasa

Habitualmente, las emisiones de no CO₂ de *tierras de cultivo que permanecen como tales* (particularmente de CH₄, CO, NO_x y N₂O) están relacionadas con el quemado de residuos agrícolas, los que difieren entre países, cultivos y sistemas de gestión. Las emisiones de CO₂ del quemado de biomasa no deben declararse porque se supone que el carbono liberado durante el proceso de combustión es reabsorbido por la vegetación durante la siguiente temporada de crecimiento.

El porcentaje de los residuos de cultivos agrícolas quemados *in situ*, que es la masa de combustible disponible para el quemado, debe estimarse teniendo en cuenta las fracciones recogidas antes del quemado debidas a consumo animal, descomposición en el campo, y uso en otros sectores (p. ej., biocombustible, alimento para el ganado doméstico, materiales de construcción, etc.). Es importante para eliminar la posibilidad del cómputo doble.

La metodología para estimar las emisiones de no CO₂ del quemado de biomasa en *tierras de cultivo que permanecen como tales* sigue la formulación genérica de la Ecuación 2.27 del Capítulo 2. La estimaciones deben basarse en datos anuales.

5.2.4.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El árbol de decisiones de la Figura 2.6 del Capítulo 2 ofrece orientación general respecto a la elección del Nivel apropiado para utilizar. El método de estimación de la emisión de gases de efecto invernadero producida por el quemado de biomasa implica el uso de la Ecuación 2.27 (Capítulo 2). Según un método de Nivel 1, normalmente, los datos de la actividad están muy agregados y los factores de combustión y de emisión son los valores por defecto provistos en el Capítulo 2. Según el Nivel 2, por lo general, las estimaciones se desarrollan para los principales tipos de cultivos por zonas climáticas, empleando tasas de acumulación de residuos y

estimaciones de combustión y emisión específicas del país. El Nivel 3 es un método muy específico del país que incluye la modelización de los procesos y/o las mediciones detalladas.

Todos los países deben esforzarse por mejorar sus métodos de inventario y de declaración aplicando el Nivel más alto posible, dentro de las circunstancias nacionales. Si el quemado en las *tierras de cultivo que permanecen como tales* constituye una categoría principal, los países deben utilizar los métodos de los Niveles 2 o 3.

5.2.4.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Nivel 1

Los países que aplican un método de Nivel 1 deben reemplazar las cantidades M_B y C_f de la Ecuación 2.27 del Capítulo 2 por el valor de consumo de combustible por defecto que resulte apropiado ($M_B \times C_f$) del Cuadro 2.4. Los factores de emisión por defecto a utilizar se suministran en el Cuadro 2.5 para cada uno de los gases de efecto invernadero de interés.

Nivel 2

En este método se amplía lo del Nivel 1 para incluir el uso de factores específicos del país de que se disponga en cuanto a combustible, combustión y emisión. Los países pueden estimar la cantidad de combustible disponible a partir de estadísticas de producción de cultivos y de la relación entre el rendimiento de los cultivos y los residuos producidos. Se necesita realizar estudios de campo para estimar las fracciones de residuos de cultivos que se extraen del campo (en forma de combustible o pienso) y que se deja como residuo para quemado para los diferentes sistemas de cultivo. Los países deben poner especial atención en los cultivos que se queman predominantemente o en los sistemas con biomasa por hectárea y niveles de emisiones por unidad territorial relativamente altos (p. ej., caña de azúcar, algodón).

Nivel 3

Este nivel hace uso de modelos basados en parámetros específicos del país, empleando datos de inventarios nacionales para garantizar que no se omita ninguna quema de residuos de cultivos. El Nivel 3 depende de la medición de campo de la cantidad de residuos que se queman *in situ* para diferentes sistemas de cultivo según las distintas zonas climáticas y los sistemas de gestión, sobre la base de los métodos de muestreo que se describen en el Capítulo 3 (Anexo 3A.3). Los países deben darle prioridad al desarrollo de factores de combustión y emisión específicos del país, poniendo énfasis en los principales residuos de cultivos que se queman.

5.2.4.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Nivel 1

Los datos de la actividad incluyen estimaciones de las superficies territoriales según los tipos de cultivos de los que, normalmente, se queman los residuos agrícolas. Esta información puede obtenerse en consulta con los sectores gubernamentales agrícolas del país, a falta de datos objetivos de imágenes satelitales, por ejemplo. Asimismo, los países pueden estimar la superficie plantada de un cultivo a partir de su producción anual y de una estimación de la productividad promedio por hectárea. Si no se dispone de estimaciones nacionales, se pueden utilizar las estadísticas de la FAO. Es una *buena práctica* hacer una verificación cruzada de los datos de la FAO con las fuentes nacionales.

Nivel 2

Al usar el método de Nivel 2, los países deben utilizar estimaciones de superficie más desagregadas (p. ej., principales tipos de cultivos por zona climática) con tasas de acumulación de residuos específicas del país y de su sistema de gestión de cada cultivo. Puede lograrse mediante el uso de sondeos anuales más detallados o periódicos para estimar las superficies de tierra bajo diferentes clases de cultivos. A su vez, las superficies deben clasificarse por categorías pertinentes, de manera que todas las principales combinaciones de tipos de cultivos y de regiones climáticas estén representadas, y se suministren estimaciones de superficie individuales.

Nivel 3

El Nivel 3 exige datos de la actividad de alta resolución desagregados a nivel subnacional a escalas de grillas finas. Como sucede en el Nivel 2, la superficie de tierra se clasifica en tipos específicos de cultivos según las principales categorías de clima y de suelo, y en otras variables regionales potencialmente importantes (p. ej., pautas regionales de las prácticas de gestión) a utilizarse en los modelos. Los países deben esforzarse por obtener estimaciones de superficie espacialmente explícitas a fin de facilitar una cobertura completa de las tierras de cultivo y asegurarse de que las superficies no se sobreestimen ni se subestimen. Además, las estimaciones de superficie espacialmente explícitas pueden relacionarse con tasas de emisión e impactos de gestión localmente pertinentes, y mejorar la exactitud de las estimaciones. Los datos de superficie para los diferentes sistemas de cultivo que se utilicen deben ser coherentes con las superficies utilizadas en las secciones anteriores (biomasa, materia orgánica muerta), aunque es posible que sólo se quemen residuos en una parte del total de la superficie.

5.2.4.4 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Las estimaciones de la superficie plantada por cada tipo de cultivo de los que normalmente se queman residuos pueden ser muy inciertas. Las estadísticas de producción agrícola de nivel mundial, que pueden variar de manera indirecta en la estimación de la superficie plantada, si no se actualizan anualmente, pueden resultar muy inciertas. Es posible que la fracción de los residuos agrícolas que se quema en el campo sea la variable de mayor incertidumbre. Las estimaciones de Nivel 2 son más precisas, ya que se basan en parámetros específicos del país. Es una *buena práctica* suministrar estimaciones de error (es decir, desviación estándar, error estándar, rangos) para los factores de combustión y emisión específicos del país y para las superficies quemadas.

5.3 TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS DE CULTIVO

A nivel mundial, alrededor del 50% del total de la superficie de la tierra ha sido transformado por la acción directa del hombre, el 20% de los ecosistemas terrestres se han convertido en tierras de cultivo permanentes, y el 25% de los bosques del mundo se han deforestado para diversos usos, como el cultivo agrícola y las pasturas (Moore, 2002). La superficie de tierras de cultivo ha venido aumentando en algunas partes del mundo para satisfacer la demanda cada vez mayor de alimentos y fibras. La mayor parte de la expansión en tierras de cultivo de las últimas dos décadas se ha producido en el Sudeste Asiático, en partes de Asia del Sur, en la región de los Grandes Lagos de África oriental y en la Cuenca del Amazonas (Millennium Ecosystems Assessment, 2005). Durante ese mismo período, la destrucción de bosques en los trópicos ha alcanzado, en promedio, los 12 millones de hectáreas por año, según el Environmental Group Limited (<http://www.environmental.com.au/>). La tasa de deforestación durante la década de 1990 alcanzó, en promedio, a 14.600.000 hectáreas por año. La conversión a tierras de cultivo es el principal cambio en el uso de la tierra después de la deforestación tropical. Las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* pueden ser una fuente principal para muchos países.

La estimación de las emisiones y absorciones anuales de gases de efecto invernadero de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* incluye lo siguiente:

- Estimaciones de los cambios anuales en las existencias de C de todos los depósitos y fuentes de C:
 - Biomasa (biomasa aérea y subterránea);
 - Materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca);
 - Suelos (materia orgánica del suelo).
- Estimaciones de gases no CO₂ (CH₄, CO, N₂O, NO_x) resultantes del quemado de biomasa aérea y DOM.

5.3.1 Biomasa

5.3.1.1 ELECCIÓN DE MÉTODOS

En esta sección se brinda orientación sobre los métodos para calcular los cambios en las existencias de carbono de la biomasa debidos a la conversión de tierras en su condición natural y en otros usos a tierras de cultivo, incluidas la deforestación y la conversión de pasturas y tierras de pastoreo a tierras de cultivo. Los métodos requieren estimaciones del carbono en las existencias de biomasa previas a la conversión y posteriores a ella, sobre la base de estimaciones de las superficies de tierra convertidas durante el período entre sondeos del uso de la tierra. Como resultado de la conversión en tierras de cultivo, se supone (en el Nivel 1) que la vegetación dominante se elimina por completo, lo que conduce a emisiones y produce cantidades cercanas a cero del carbono que permanece en la biomasa. Poco después, se implanta algún tipo de sistema de cultivo, lo que incrementa la cantidad de carbono depositado en la biomasa. La diferencia entre los depósitos de carbono en la biomasa inicial y final se emplea para calcular los cambios en las existencias de carbono debidos a la conversión en el uso de la tierra y, en los años subsiguientes, las acumulaciones y pérdidas de biomasa en la vegetación leñosa perennes de las tierras de cultivo se contabilizan utilizando los métodos indicados en la Sección 5.2.1 (*Tierras de cultivo que permanecen como tales*).

Es una *buena práctica* considerar todos los depósitos de carbono (es decir, los de la biomasa aérea y subterránea, la materia orgánica muerta y los suelos) al estimar los cambios en las existencias de carbono de las *tierras convertidas en tierras de cultivo*. Actualmente, no hay información suficiente como para suministrar un método por defecto, con parámetros por defecto, para estimar los cambios de las existencias de carbono en los depósitos

de materia orgánica muerta (DOM)². Es poco factible que la DOM sea importante, a excepción del año de la conversión. Se supone que no va a haber DOM en las tierras de cultivo. Además, en la metodología que se describe a continuación, se consideran solamente los cambios en las existencias de carbono de la biomasa aérea, ya que la disponibilidad de datos es limitada en cuanto a existencias subterráneas de carbono de las tierras de cultivos perennes.

Las *Directrices del IPCC* describen alternativas cada vez más sofisticadas en las que se incorpora mayor detalle respecto a las tierras convertidas, a la existencia de carbono en las tierras, y a las pérdidas de carbono resultantes de las conversiones de la tierra. Es una *buena práctica* adoptar el nivel apropiado, según el análisis de las fuentes principales, la disponibilidad de datos y las circunstancias nacionales. Todos los países deben esforzarse por mejorar sus métodos de inventario y declaración aplicando el Nivel más alto posible, dentro de las circunstancias nacionales. Es una *buena práctica* que los países empleen un método de Niveles 2 o 3 si las emisiones y absorciones de carbono en las *tierras convertidas en tierras de cultivo* constituyen una categoría principal y si la subcategoría de la biomasa se considera significativa sobre la base de los principios delineados en el Capítulo 4 del Volumen 1. Los países deben utilizar el árbol de decisiones de la Figura 1.3 para ayudarse en la elección del método. Es factible que la categoría *tierras convertidas en tierras de cultivo* constituya una categoría principal para muchos países y, más aun, es factible que la biomasa sea una fuente principal.

Nivel 1

El método del Nivel 1 sigue el enfoque del Capítulo 4 (tierras forestales) donde la cantidad de biomasa que se elimina de las tierras de cultivo se estima multiplicando la superficie convertida en un año por las existencias promedio de carbono en la biomasa de las tierras forestales o pastizales previas a la conversión. Es una *buena práctica* contabilizar en su totalidad las conversiones de tierras en tierras de cultivo. Es por ello que esta sección se amplía el método de forma tal que incluye los diferentes usos iniciales, incluyendo pero no limitándose a los bosques.

En la Ecuación 2.15 del Capítulo 2 se resumen los principales elementos de una estimación de primer orden de los cambios en las existencias de carbono producidas por la conversión de tierras a tierras de cultivo. Se estiman los cambios de las existencias de carbono promedio por hectárea para cada tipo de conversión. Los cambios de existencias de carbono promedio equivalen a los cambios de existencia de carbono debidos a la remoción de biomasa del uso de la tierra inicial (es decir, el carbono de la biomasa inmediatamente después de la conversión menos el carbono de la biomasa previo a ella), más las existencias de carbono de un año de crecimiento en las tierras de cultivos que sigue a la conversión. Es necesario contabilizar solamente toda vegetación leñosa que reemplace a la vegetación que se eliminó durante la conversión en el uso de la tierra. En la *GPG-LULUCF* se combinan el carbono de la biomasa posterior a la conversión con el carbono de la biomasa que crece en la tierra después de la conversión en un solo término. En este método, se los separa en dos términos, $B_{\text{DESPUÉS}}$ y $\Delta C_G t$, para realzar la transparencia.

En el Nivel 1, se supone que las existencias de carbono en la biomasa inmediatamente después de la conversión ($B_{\text{DESPUÉS}}$) equivalen a cero, puesto que la tierra se libera de toda la vegetación antes de la plantación de los cultivos. Los cambios de existencias de carbono promedio por hectárea para una conversión de uso de la tierra dada se multiplican por la superficie estimada de tierras sujetas a tal conversión en un año dado. En los años subsiguientes, se considera que los cambios en la biomasa de los cultivos anuales equivalen a cero porque las ganancias de carbono de la biomasa del crecimiento anual se compensan con las pérdidas por cosecha. Los cambios de la biomasa de los cultivos leñosos perennes se contabilizan siguiendo la metodología de la Sección 2.3.1.1 (Cambios en las existencias de biomasa en tierras que permanecen en una categoría de uso de la tierra).

La hipótesis por defecto para el Nivel 1 es que todo el carbono de la biomasa removida se pierde en la atmósfera mediante el quemado o procesos de descomposición, ya sea *in situ* o en otra parte. En los cálculos del Nivel 1 no se hace diferencia entre las emisiones inmediatas del quemado y otras pérdidas relacionadas con la conversión.

Nivel 2

Los cálculos del Nivel 2 son estructuralmente similares a los del Nivel 1, con las siguientes distinciones. En primer lugar, en el Nivel 2, se confía mucho en las estimaciones específicas del país de las existencias de carbono en los usos inicial y final de la tierra más que en los datos por defecto. Las estimaciones de superficie para *tierras convertidas en tierras de cultivo* se desagregan según la vegetación original (p. ej., de tierras forestales o pastizales) a escalas especiales más pormenorizadas para capturar las variaciones regionales y de cultivos en los valores de las existencias de carbono específicos del país.

En segundo lugar, en el Nivel 2 se puede modificar la hipótesis de que las existencias de carbono inmediatas a la conversión equivalen a cero. Esto le permite a los países tener en cuenta las transiciones de uso de la tierra en las que se elimina parte, aunque no toda, la vegetación del uso de la tierra original.

² Todos los depósitos de hojarasca y de madera muerta (estimados empleando los métodos descritos en la Sección 2.3.2 del Capítulo 2) deberán considerarse como oxidados después de la conversión de la tierra.

En tercer lugar, bajo el Nivel 2, es una *buena práctica* prorratear las pérdidas de carbono según el quemado y los procesos de descomposición, si resulta aplicable. Las emisiones de dióxido de carbono se producen como resultado del quemado y la descomposición en las conversiones de uso de la tierra. Es más, como resultado del quemado, se producen emisiones de gases traza no CO₂. Al diferenciarse las pérdidas por quemado y descomposición, los países pueden calcular también las emisiones de gases traza no CO₂ resultantes del quemado (Sección 5.3.4).

Los impactos inmediatos de las actividades de conversión de la tierra sobre las cinco existencias de carbono se pueden resumir en una matriz de perturbación, en la que se describen la retención, las transferencias y las liberaciones de carbono de los depósitos del ecosistema original que siguen a la conversión a tierras de cultivo. Una matriz de perturbación define, para cada depósito, la proporción que permanece en el depósito y la proporción que se transfiere a otros depósitos. Hay un número reducido de transferencias posibles a las que se describe en la matriz de perturbación del Cuadro 5.7. La matriz de perturbación asegura la coherencia en la contabilización de todos los depósitos de carbono.

Las transferencias de biomasa a madera muerta y hojarasca pueden estimarse empleando la Ecuación 2.20.

Nivel 3

El método del Nivel 3 es similar al del Nivel 2, con las siguientes distinciones: i) en lugar de confiar en las tasas anuales promedio de conversión, los países pueden utilizar estimaciones directas de superficies espaciales desagregadas convertidas por año para cada uso de la tierra inicial y final; ii) los cambios en las densidades de carbono y en las existencias de carbono en el suelo se basan en información específica del lugar, lo que hace posible un enlace dinámico entre la biomasa y el suelo; y iii) los volúmenes de biomasa se basan en inventarios reales. La transferencia de biomasa a madera muerta y hojarasca posteriores a la conversión en el uso de la tierra pueden estimarse empleando la Ecuación 2.20.

CUADRO 5.7
EJEMPLO DE UNA MATRIZ SIMPLE DE PERTURBACIÓN (NIVEL 2) PARA LOS IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES DE CONVERSIÓN EN DEPÓSITOS DE CARBONO

De \ A	Biomasa aérea	Biomasa a subterránea	Madera muerta	Hojarasca	Materia orgánica del suelo	= productos de madera recolectada	Atmósfera	La suma de la fila (debe dar 1)
Biomasa aérea								
Biomasa subterránea								
Madera muerta								
Hojarasca								
Materia orgánica del suelo								

Especifique la proporción de cada depósito del lado izquierdo de la matriz que se transfiere al depósito de la parte superior de cada columna. Todos los depósitos del lado izquierdo de la matriz deben contabilizarse totalmente, de manera que los valores de cada fila deben sumar 1.

Las transiciones que no corresponden están marcadas en negro.

5.3.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN/ABSORCIÓN

Los factores de emisión/absorción necesarios para el método por defecto son: las existencias de carbono previas a la conversión en el uso inicial de la tierra y posteriores a la conversión a tierras de cultivo; y el crecimiento de las existencias de carbono en la biomasa de un año de crecimiento de los cultivos.

Nivel 1

Las existencias de carbono en la biomasa por defecto para las categorías de uso de la tierra iniciales (B_{ANTES}), principalmente tierras forestales y pastizales, pueden verse en el Cuadro 5.8. Se deben obtener las existencias de

carbono sobre la base del uso del suelo para diferentes categorías de tierras forestales o pastizales sobre la base del tipo de bioma, del clima, de los sistemas de gestión del suelo, etc. Se supone que toda la biomasa se elimina cuando se prepara una parcela para su uso como tierra de cultivo, por lo que el valor por defecto de $B_{\text{DESPUÉS}}$ es de 0 ton C há^{-1} .

Además, es necesario contar con un valor para las existencias de carbono después de un año de crecimiento de los cultivos plantados después de la conversión (ΔC_G). En el Cuadro 5.9 pueden verse los valores por defecto de ΔC_G . Se incluyen valores por defecto individuales para los cultivos anuales no leñosos y leñosos perennes. Para las tierras con cultivos anuales, el valor por defecto de ΔC_G es de 5 toneladas de C por hectárea, sobre la base de la recomendación incluida en las *Directrices del IPCC* originales de 10 toneladas de biomasa seca por hectárea (en el Cuadro 5.9, la biomasa seca se ha convertido en toneladas de carbono). A través del tiempo, la acumulación total de carbono en la biomasa leñosa perenne va a exceder a las existencias de carbono por defecto para tierras de cultivos anuales. No obstante, los valores por defecto que se ofrecen en esta sección corresponden a un año de crecimiento inmediato a la conversión, lo que suele dar existencias de carbono más bajas para los cultivos leñosos perennes que para los cultivos anuales.

CUADRO 5.8 EXISTENCIAS DE CARBONO EN LA BIOMASA POR DEFECTO QUE SE ELIMINAN DEBIDO A LA CONVERSIÓN EN TIERRAS DE CULTIVO		
Categoría de uso de la tierra	Existencias de carbono en la biomasa previas a la conversión (B_{ANTES}) (ton C há^{-1})	Rango de error #
tierras forestales	Véanse los Cuadros 4.7 a 4.12 del Capítulo 4 para conocer las existencias de carbono en una gama de tipos de bosques por regiones climáticas. Las existencias están en términos de materia seca. <i>Multiplique los valores por una fracción de carbono (CF) de 0,5 para convertir materia seca en carbono.</i>	Véase la Sección 4.3 (tierras convertidas en tierras forestales)
Tierra de pastura	Véase el Capítulo 6 para conocer las existencias de carbono en una gama de tipos de pastizales por regiones climáticas.	$\pm 75\%$
# Representa una estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media.		

CUADRO 5.9 EXISTENCIAS DE CARBONO EN BIOMASA POR DEFECTO PRESENTES EN TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS DE CULTIVO DURANTE EL AÑO SIGUIENTE A LA CONVERSIÓN		
Tipo de cultivo por región climática	Existencias de carbono en la biomasa después de un año (ΔC_G) (ton C há^{-1})	Rango de error #
Tierra de cultivo anual	5,0	$\pm 75\%$
Tierra de cultivo perenne		
Templada (todos los regímenes de humedad)	2,1	$\pm 75\%$
Boreal, seco	1,8	$\pm 75\%$
Tropical, húmedo	2,6	$\pm 75\%$
Tropical, muy húmedo	10,0	$\pm 75\%$
# Representa una estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media.		

Nivel 2

Los métodos de Nivel 2 deben incluir algunas estimaciones específicas del país de existencias y remociones de biomasa debidas a conversión de la tierra, además de incluir estimaciones de pérdidas *in situ* y en otra parte debidas a quemado y descomposición a causa de la conversión de tierras en tierras de cultivo. Estas mejoras

pueden tomar la forma de estudios sistemáticos sobre el contenido de carbono y las emisiones y absorciones relacionadas con los usos de la tierra y con las conversiones en el uso de la tierra dentro del país y una reevaluación de las hipótesis por defecto empleadas a la luz de las condiciones específicas del país.

Se suministran los parámetros por defecto para emisiones resultantes de quemado y descomposición. No obstante, se alienta a los países a que desarrollen coeficientes específicos del país para mejorar la exactitud de las estimaciones. En las *Directrices del IPCC* se utiliza un valor general por defecto de 0,5 para la proporción de biomasa quemada *in situ* tanto para conversiones de tierras forestales como de pastizales. Hay trabajos de investigación que sugieren que la fracción es muy variable y que podría ser hasta de un mínimo de 0,2 (Fearnside, 2000; Barbosa y Fearnside, 1996; y Fearnside, 1990). En el Capítulo 4 se incluyen proporciones por defecto actualizada de biomasa quemada *in situ* (tierras forestales) para toda una gama de clases de vegetación forestal. Estos valores por defecto se deben usar para transiciones de tierras forestales a tierras de cultivo. Para usos de la tierra iniciales no forestales, la proporción por defecto de biomasa que queda en el campo y quemada es de 0,35. En este valor por defecto se tienen en cuenta trabajos de investigación que sugieren que la fracción debe estar en un rango de entre 0,2 y 0,5 (p. ej., Fearnside, 2000; Barbosa y Fearnside, 1996; y Fearnside, 1990). Es una *buena práctica* para los países usar 0,35 u otro valor dentro de dicho rango, siempre que se documente la razón por la que se lo eligió. No hay valor por defecto para la cantidad de biomasa que se saca del lugar y se quema; cada país debe desarrollar una proporción sobre la base de fuentes de datos nacionales. En el Capítulo 4 (tierras forestales), la proporción por defecto de biomasa oxidada a resultados del quemado es de 0,9, como se señalara originalmente en la *GPG-LULUCF*.

En el método para estimar las emisiones por descomposición se supone que toda la biomasa se descompone en un período de 10 años. A los efectos de la declaración, los países tienen dos opciones: 1) declarar todas las emisiones por descomposición de un año, reconociendo que, en realidad, se producen durante un período de 10 años, y 2) declarar todas las emisiones por descomposición sobre una base anual, estimando la tasa como un décimo de los totales. Si los países eligen la última opción, deben agregar un factor multiplicador de 0,10 a la ecuación.

Nivel 3

Bajo el Nivel 3, todos los parámetros deben definirse por país empleando mediciones o monitorizaciones en pro de valores más exactos que los fijados por defecto. También pueden usarse modelos y funciones de descomposición basados en procesos.

5.3.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Todos los niveles requieren estimaciones de superficies de tierra convertidas en tierras de cultivo. Se deben utilizar las mismas estimaciones de superficie para los cálculos del C en la biomasa y del suelo en *tierras convertidas en tierras de cultivo*. Los niveles superiores requieren mayor especificidad en las superficies. Como mínimo, se deben identificar por separado, para todos los niveles, las superficies de tierras forestales y de pastizales naturales convertidas en tierras de cultivo. Esto implica, por lo menos, cierto conocimiento de los usos de la tierra previos a la conversión. También puede requerir un dictamen de expertos si se usa el Método 1 del Capítulo 3 de estas directrices para la identificación de la superficie de la tierra.

Nivel 1

Se requieren estimaciones por separado de las superficies convertidas en tierras de cultivo desde los usos de la tierra iniciales (es decir, tierras forestales, pastizales, asentamientos, etc.) hasta el tipo de tierra de cultivo final (es decir, anual o perenne) (A_{A_OTRAS}). Por ejemplo, los países deben estimar por separado las superficies de bosques húmedos tropicales convertidas en tierras de cultivo anuales, de bosques húmedos tropicales convertidas en tierras de cultivos perennes, de pastizales húmedos tropicales convertidas en tierras de cultivos perennes, etc. No obstante, para permitir que otros depósitos se equilibren y en pro de la coherencia con la estimación de la superficie de tierra en general, las superficies de tierra deben permanecer en la categoría de conversión durante 20 años (o durante otro período que refleje las circunstancias nacionales) posteriores a la conversión. La metodología supone que las estimaciones de superficie se basan en un marco temporal de un año, lo que es factible que requiera una estimación sobre la base de tasas promedio de conversión del uso de la tierra, determinadas por estimaciones por medición realizadas a intervalos más prolongados. Si los países no cuentan con estos datos, se pueden extrapolar, a través del tiempo, muestras parciales a la totalidad de la base territorial o estimaciones históricas de conversiones a nivel temporal sobre la base del dictamen de expertos locales. En los cálculos de Nivel 1, se pueden utilizar estadísticas internacionales, como las de las bases de datos de la FAO, y otras fuentes, complementadas con hipótesis sensatas, para estimar la superficie de *tierras convertidas en tierras de cultivo* a partir de cada uno de los usos iniciales de la tierra. Para los cálculos de nivel superior, se emplean fuentes de datos específicas del país a fin de estimar todas las posibles transiciones del uso inicial de la tierra el tipo final de cultivo.

Nivel 2

Constituye una *buena práctica* que los países utilicen estimaciones de superficie reales para todas las transiciones posibles del uso de la tierra inicial al tipo de cultivo final. Se puede lograr una cobertura total de todas las superficies de tierra ya sea mediante el análisis de imágenes remotas obtenidas periódicamente de las pautas de uso y cobertura de la tierra, a través de muestreos periódicos en el terreno de las pautas de uso de la tierra, o aplicando sistemas de inventario híbridos. Si se dispone parcialmente de datos de resolución más detallada específicos del país, se alienta a los países a utilizar hipótesis sensatas obtenidas del mejor conocimiento de que se disponga para extrapolarlas a la toda la base del terreno. Las estimaciones históricas de las conversiones pueden extrapolarse a través del tiempo sobre la base del criterio de los expertos nacionales.

Nivel 3

Los datos de la actividad que se empleen en los cálculos de Nivel 3 deben constituir una contabilización completa de todas las transiciones en el uso de la tierra a tierras de cultivo y deben estar desagregados para tener en cuenta las diferentes condiciones dentro de un país. La desagregación puede ser por parámetros políticos (condado, provincia, etc.), bioma, clima o una combinación de ellos. En muchos casos, los países pueden contar con información sobre tendencias de varios años en conversión de la tierra (de inventarios del uso de la tierra y su cobertura obtenidos de inventarios basados en muestreos o por detección remota). Es necesario desarrollar una matriz de los periódicos cambios en el uso de la tierra que suministren las superficies iniciales y finales del uso de la tierra a nivel desagregado y sobre la base de detección remota y sondeos de campo.

5.3.1.4 PASOS DE CÁLCULO PARA LOS NIVELES 1 Y 2

A continuación se resumen los pasos a dar para estimar el cambio en las existencias de carbono en biomasa (ΔC_B) empleando los métodos por defecto

Utilizando las hojas de trabajo que se suministran para *tierras convertidas en tierras de cultivo* (véase el Anexo 1 – Hojas de trabajo AFOLU), calcular el cambio en las existencias de carbono en biomasa de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* de la siguiente manera:

Paso 1: especificar las subcategorías de tierras de cultivo del año de la declaración. También pueden emplearse las subcategorías de tierras de cultivo usadas en la Sección 5.2 para llenar la columna que corresponda de la hoja de trabajo.

Paso 2: para cada subcategoría, determinar la superficie anual de tierras convertidas en tierras de cultivo (A_{A_OTRAS}). Los datos relativos a la superficie anual pueden obtenerse de varias fuentes, a saber: Ministerio de Silvicultura, Ministro de Agricultura, Ministerio de Planificación, o Oficina de Mapeo dentro de cada país.

Paso 3: para cada subcategoría, ingresar las existencias de carbono de la biomasa inmediatamente después de la conversión a tierras de cultivo ($B_{DESPUÉS}$), en ton C $há^{-1}$. Los datos de biomasa y carbono pueden ser valores por defecto o valores específicos del país.

Paso 4: para cada subcategoría, especificar las existencias de carbono de la biomasa inmediatamente anteriores a la conversión en tierras de cultivo (B_{ANTES}), en ton C $há^{-1}$. Los datos de biomasa y carbono pueden ser valores por defecto o valores específicos del país.

Paso 5: calcular los cambios en las existencias de carbono por superficie ($C_{CONVERSIÓN}$) para el tipo de conversión cuando la tierra se convirtió en Tierra de cultivo (Ecuación 2.16).

Paso 6: obtener los valores de los cambios en las existencias de carbono del crecimiento en las tierras de cultivo durante un año (ΔC_G) y la reducción del carbono en la biomasa debida a pérdidas (ΔC_L) utilizando el Cuadro 5.1. Especificar los valores en la columna que corresponda.

Paso 7: estimar los cambios anuales en las existencias de carbono en biomasa de *tierras convertidas en tierras de cultivo* (ΔC_B) empleando la Ecuación 2.15.

Paso 8: sumar todos los cambios anuales de las existencias de carbono en la biomasa.

5.3.1.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Nivel 1

Las fuentes de incertidumbre de este método surgen del uso de tasas de conversión internacionales o nacionales promedio y de estimaciones de superficies de tierras convertidas en tierras de cultivo. Además, el hecho de confiar en parámetros por defecto en cuanto a las condiciones iniciales y finales de las existencias de carbono trae aparejados grados de incertidumbre relativamente altos. Los valores por defecto de este método llevan asociados rangos de error. Para derivar los datos por defecto que se suministran en la Sección 5.2, se utilizó una recopilación publicada en un trabajo de investigación sobre existencias de carbono en sistemas agroforestales (Schroeder, 1994). A pesar de que los valores por defecto se derivaron de múltiples estudios, no se incluyeron en

la publicación sus respectivos rangos de incertidumbre. Por lo tanto, sobre la base de un dictamen de expertos, se supuso un nivel de incertidumbre por defecto de $\pm 75\%$ en las existencias de carbono. Es factible que las *tierras convertidas en tierras de cultivo* constituyan una categoría de fuente principal para muchos países y deberán realizarse todos los esfuerzos posibles por reducir la incertidumbre.

Nivel 2

En el método de Nivel 2 se emplean, como mínimo, valores por defecto definidos para el país, lo que mejora la exactitud de las estimaciones porque esos valores representan mejor las condiciones pertinentes para el país. El uso de valores específicos del país debe implicar suficientes tamaños de muestras o el uso de dictámenes de expertos para estimar las incertidumbres. Esto, junto con las estimaciones de incertidumbre sobre datos de la actividad derivados utilizando lo aconsejado en el Capítulo 3, debe usarse en los métodos para análisis de incertidumbre descritos en el Capítulo 3 del Volumen 1 de este informe.

Nivel 3

Los datos de la actividad de un sistema de inventario sobre uso y gestión de la tierra deben servir de base para asignar estimaciones de incertidumbre a las áreas relacionadas con los cambios en el uso de la tierra. Para combinar datos sobre emisiones y actividad y sus respectivas incertidumbres se pueden utilizar procedimientos de Monte-Carlo, a fin de estimar medias e intervalos de confianza para la totalidad del inventario. Es factible que la incertidumbre sea menor que en los demás niveles, puesto que las estimaciones de cambios en las existencias de carbono se basan en más mediciones y en modelos más refinados.

5.3.2 Materia orgánica muerta

Potencialmente, las tierras forestales, los pastizales, los asentamientos y otras categorías de usos de la tierra se podrían convertir en tierras de cultivo, las que, por lo general, tienen poco o nada de madera muerta u hojarasca, a excepción de los sistemas agroforestales. Se suministran métodos para dos tipos de depósitos de materia orgánica muerta: 1) madera muerta, y 2) hojarasca. En el Capítulo 1 de este informe se encuentran definiciones detalladas de estos depósitos.

Los de madera muerta son depósitos diversos difíciles de medir y con incertidumbres asociadas respecto a las tasas de transferencia a hojarasca, suelo o emisiones a la atmósfera.

La acumulación de hojarasca depende de su caída, que incluye todas las hojas, brotes y ramitas, frutas, flores y corteza, menos la tasa anual de descomposición. La masa de hojarasca también se ve influenciada por el tiempo transcurrido desde la última perturbación y por el tipo de perturbación. Durante las primeras etapas del desarrollo de las tierras de cultivo, la hojarasca aumenta rápidamente. La gestión, incluyendo la cosecha y el quemado de la vegetación alteran significativamente las existencias de hojarasca, pero hay pocos estudios que documenten claramente los efectos de la gestión sobre el carbono de la hojarasca.

En general, las tierras de cultivo contienen poco o nada de madera muerta u hojarasca y, por lo tanto, a menudo, se puede suponer que estos depósitos se aproximan a cero después de la conversión, a excepción de los sistemas agroforestales que pueden contabilizarse bajo tierras de cultivo o bajo tierras forestales, según las definiciones adoptadas por los países para la declaración. Es factible que esto también sea cierto respecto a muchos usos de la tierra previos a la conversión, de manera que los correspondientes depósitos de carbono previos a la conversión también pueden considerarse inexistentes. Las excepciones son los bosques, los sistemas agroforestales y los humedales convertidos en tierras de cultivo, en los que podría haber cantidades significativas de carbono en los depósitos de DOM, así como las áreas forestales alrededor de asentamientos que se puedan haber definido como asentamientos en base al uso cercano y no como cobertura de la tierra.

Estimar los cambios en las existencias de carbono en DOM para tierras convertidas en tierras de cultivo a niveles superiores requiere un método de dos fases. Durante la primera fase, se produce, a menudo, un cambio abrupto en la DOM relacionado con el cambio en el uso de la tierra, en particular el cambio es entonces deliberado y relacionado con las operaciones de preparación del terreno (p. ej., desbroce y quemado). En la segunda fase se consideran los procesos de descomposición y acumulación durante un período de transición a un nuevo sistema de régimen constante. En cierto momento, el ecosistema de tierras de cultivo debe alcanzar un equilibrio, momento en el cual se lo puede considerar *tierras de cultivo que permanecen como tales* y contabilizarse bajo esa categoría. El período de transición debe ser de 20 años, pero algunos países pueden determinar el período de transición apropiado con más exactitud a niveles más altos.

A fin de considerar el período de transición, las tierras convertidas en tierras de cultivo deben tratarse como cohortes anuales. Es decir, las tierras convertidas durante un año dado deben contabilizarse con los métodos de la Fase 1 en el año de la conversión y, con los de la Fase 2, en los 19 años subsiguientes. Al finalizar el período de 20 años, la superficie de tierra de ese año se suma a la contabilizada bajo la categoría *tierras de cultivo que permanecen como tales*.

5.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El árbol de decisiones de la Figura 2.3 del Capítulo 2 ofrece ayuda para la selección del nivel de método apropiado para la aplicación de los procedimientos de estimación. La estimación de los cambios en las existencias de carbono en DOM requiere una estimación de los cambios de las existencias de madera muerta y hojarasca (véase la Ecuación 2.17 del Capítulo 2).

Cada uno de los depósitos de DOM (madera muerta y hojarasca) deben tratarse por separado, pero el método para cada depósito es el mismo.

Nivel 1

Un método de Nivel 1 implica estimar la superficie de cada tipo de conversión de la tierra empleando sólo las categorías de conversión más importantes (p. ej., tierras forestales a tierras de cultivo). Bajo el Nivel 1, el cambio inmediato y abrupto en las existencias de carbono (Fase 1) en madera muerta y hojarasca, debido a la conversión de otras tierras en tierras de cultivo se estima empleando la Ecuación 2.23 del Capítulo 2. Es factible que el término C_0 de la Ecuación 2.23 sea cero y que no haya necesidad de dividir T_{on} . En el Nivel 1, por defecto, se supone que se elimina toda la madera muerta y la hojarasca durante la conversión y que no hay madera muerta ni hojarasca que permanezca o se acumule en las *tierras convertidas en tierras de cultivo*. A los países en los que se sabe que tal hipótesis es falsa (p. ej., donde hay una práctica generalizada de tala de broza y quema) se los alienta a utilizar un nivel superior para contabilizar las tierras convertidas en tierras de cultivo. Además, se supone que las tierras de cultivo alcanzan su biomasa de régimen constante durante el primer año posterior a la conversión. En consecuencia, para el Nivel 1, la Fase 2 no tiene período de transición y las tierras convertidas en tierras de cultivo se transfieren a *tierras de cultivo que permanecen como tales* durante el segundo año posterior a la conversión.

En la mayoría de los sistemas, no se dispone de valores por defecto de madera muerta u hojarasca. En cuanto a los bosques, no hay valores internacionales por defecto para madera muerta, pero sí los hay para hojarasca (Cuadro 2.2 del Capítulo 2). Estos valores son en términos de ton C há^{-1} y no en términos de existencias de hojarasca. Los países deben realizar sus mejores estimaciones y utilizar datos locales de instituciones de investigación forestal y agrícola a fin de suministrar las mejores estimaciones de madera muerta y hojarasca del sistema inicial previo a la conversión.

Nivel 2

Los métodos de Nivel 2 requieren una desagregación mayor que la empleada en el Nivel 1. Deben declararse los datos de la actividad por regímenes de gestión. En el Nivel 2 también se emplea el método de dos fases antes descrito.

Como se recomendara con anterioridad en la sección sobre biomasa, los impactos inmediatos de las actividades de conversión de la tierra sobre las existencias de carbono se pueden resumir en una matriz de perturbación. En la matriz de perturbación se describen la retención, las transferencias y las liberaciones de carbono de los depósitos del ecosistema original que siguen a la conversión en tierras de cultivo. Una matriz de perturbación define la proporción de existencias de carbono que permanece en ese depósito y la proporción que se transfiere a otros depósitos. Hay un número reducido de transferencias posibles las que se describe en la matriz de perturbación del Cuadro 5.7. El uso de una matriz de perturbación garantiza la coherencia en la contabilización de todos los depósitos de carbono.

El cambio inmediato y abrupto de las existencias de carbono en madera muerta debido a la conversión de otras tierras a tierras de cultivo bajo los Niveles 2 y 3 se estimar empleando la Ecuación 2.23 del Capítulo 2, como se sugiriera en el Nivel 1. A menudo, durante el período de transición, los depósitos de carbono que ganan o pierden carbono muestran una curva no lineal de pérdida o acumulación que se puede representar mediante sucesivas matrices de transición. En el Nivel 2, se puede suponer una función de cambio lineal; en un enfoque de Nivel 3 basado en este método se deben utilizar las verdaderas formas de las curvas. Estas curvas deben aplicarse a cada cohorte que esté bajo transición durante el año de la declaración a fin de estimar los cambios anuales de los depósitos de carbono en madera muerta y hojarasca.

Para el cálculo de los cambios en el carbono de la madera muerta y la hojarasca durante la fase de transición, se sugieren dos métodos:

Método 1 (También llamado **Método de ganancias y pérdidas**, Ecuación 2.18 del Capítulo 2): El método 1 implica estimar la superficie de cada tipo de conversión de la tierra y el promedio anual de transferencia hacia y desde las existencias de madera muerta y hojarasca. Exige una estimación de la superficie bajo *tierras convertidas en tierras de cultivo* según los diferentes tipos de clima o de tierras de cultivo, el régimen de gestión u otros factores que afecten significativamente los depósitos de carbono en madera muerta y hojarasca y la cantidad de biomasa transferida a las existencias de madera muerta y hojarasca, así como la cantidad de biomasa

transferida de las existencias de madera muerta y hojarasca por hectárea y según los diferentes tipos de tierras de cultivo.

Método 2 (También llamado **Método de diferencia de existencias**, Ecuación 2.19 del Capítulo 2): El método 2 implica estimar la superficie de *tierras convertidas en tierras de cultivo* y, a continuación, estimar las existencias de madera muerta y hojarasca en dos períodos dados, t_1 y t_2 . Los cambios ocurridos en las existencias de madera muerta y hojarasca en el año de inventario se calculan dividiendo los cambios en las existencias por el período (años) transcurrido entre dos mediciones. El método de diferencia de existencias se puede aplicar en los países en los que se realizan inventarios periódicos. Este método es más apropiado para los países que adoptan los métodos de Nivel 3. Los métodos de Nivel 3 se emplean en los países que cuentan con factores de emisión específicos del país y con datos considerable a nivel nacional. La metodología definida para el país puede basarse en inventarios detallados de parcelas de muestreo permanente de sus tierras de cultivo y/o en modelos.

Nivel 3

En cuanto al Nivel 3, los países deben desarrollar sus propias metodologías y sus propios parámetros para estimar los cambios de DOM. Estas metodologías pueden derivarse de los dos métodos antes especificados, o pueden basarse en otros enfoques. El método utilizado debe documentarse claramente.

Este Método 2 puede resultar apropiado para los países que adoptan los métodos de Nivel 3. Los métodos de Nivel 3 se emplean en los países que cuentan con factores de emisión específicos del país y con datos considerables a nivel nacional. La metodología definida para el país puede basarse en inventarios detallados de parcelas de muestreo permanente de sus tierras de cultivo y/o en modelos.

5.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN/ABSORCIÓN

Fracción de carbono: la fracción de carbono de la madera muerta y la hojarasca es variable y depende de la etapa de descomposición. La madera es mucho menos variable que la hojarasca y se puede utilizar un valor de 0,5 ton C (ton d.m.)⁻¹ para la fracción de carbono.

Nivel 1

En el Nivel 1, se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca de las tierras convertidas en tierras de cultivo se pierden en su totalidad durante la conversión, y que no hay acumulación de nueva DOM en las tierras de cultivo con posterioridad a la conversión. Se alienta a los países a que experimentan conversiones significativas de otros ecosistemas en tierras de cultivo con un significativo componente de madera muerta u hojarasca (p. ej., sistemas de tala y quema para el desbroce de las tierras, agroforestación, etc.) a que desarrollen datos nacionales para cuantificar este impacto y declararlo según las metodologías de Niveles 2 o 3.

Nivel 2

Es una *buen práctica* utilizar datos de nivel nacional sobre madera muerta y hojarasca para diferentes categorías de tierras de cultivo, en combinación con valores por defecto, si no se dispone de valores específicos del país o de la región respecto a algunas categorías de conversión. Los valores específicos del país de transferencia de carbono de árboles vivos y otros cultivos que se cosechan a residuos de cosecha, así como los índices de descomposición, en el caso del Método 1 (Método de ganancias y pérdidas), o el cambio neto en los depósitos de DOM, en el caso del Método 2 (Método de diferencia de existencias), pueden derivarse de los factores de expansión nacionales, teniendo en cuenta el tipo de tierras de cultivo, la tasa de utilización de la biomasa, las prácticas de cosecha, y la cantidad de vegetación deteriorada durante las operaciones de cosecha. Los valores específicos del país en cuanto a regímenes de perturbaciones deben derivarse de estudios científicos.

Nivel 3

Las estimaciones de carbono en DOM desagregadas a nivel nacional deben determinarse como parte de un inventario nacional de usos de la tierra, de modelos de nivel nacional o de un programa de inventarios específico para gases de efecto invernadero, con muestreos periódicos según los principios establecidos en el Capítulo 3, Anexo 3A.3. Los datos del inventario pueden acompañarse de estudios de modelización para capturar la dinámica de todos los depósitos de carbono de las tierras de cultivo.

Los métodos del Nivel 3 permiten obtener estimaciones con mayor certidumbre que los métodos inferiores y se caracterizan por una mejor relación entre los distintos depósitos de carbono. Algunos países han desarrollado matrices de perturbación que dan como resultado una pauta de reasignación de carbono entre los distintos depósitos para cada tipo de perturbación. Otros parámetros importantes en la modelización del balance de carbono en DOM son las tasas de descomposición, las que pueden variar según el tipo de madera y las condiciones del microclima, y los procedimientos de preparación de la tierra (p. ej., corta y quema controladas, o quemado de pilas).

5.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad deben ser coherentes con los que se utilizaran para estimar los cambios en la biomasa de tierras convertidas en tierras de cultivo. Se puede obtener, de forma coherente con los principios generales establecidos en el Capítulo 3 y según se describiera antes por medio de estadísticas nacionales, servicios forestales, organismos de conservación, ayuntamientos u organismos de sondeos y mapeo. Se deben realizar verificaciones cruzadas para garantizar una representación completa y coherente de las tierras convertidas anualmente, a fin de evitar omisiones o cómputos dobles. Los datos deben desagregarse de acuerdo con las categorías generales de clima y los tipos de tierras de cultivo. Los inventarios de Nivel 3 exigen información más exhaustiva sobre el establecimiento de nuevas tierras de cultivo, con información más refinada sobre las clases de suelos, climas y resolución espacial y temporal. Todos los cambios que se hayan producido durante la cantidad de años seleccionada como período de transición deben incluirse con las transiciones más antiguas que el período de transición (por defecto 20 años) declaradas como subdivisión de las *tierras de cultivo que permanecen como tales*.

Todos los niveles requieren estimaciones de superficies de tierra convertidas en tierras de cultivo. Los mismos datos de superficie deben utilizarse para los cálculos de biomasa, materia orgánica muerta y estimaciones de carbono en el suelo. Si es necesario, los datos de superficie utilizados en el análisis de suelos se pueden agregar para que coincidan con la escala espacial requerida para estimaciones de menor orden de biomasa; no obstante, a niveles superiores, en la estratificación deben tenerse en cuenta los tipos de suelos más importantes. Los datos de superficie deben obtenerse aplicando los métodos descritos en el Capítulo 3. Los niveles superiores requieren mayor detalle pero el requisito mínimo para que los inventarios resulten coherentes con las *Directrices del IPCC* es que las superficies de conversión de bosques puedan identificarse por separado. Esto se debe a que, habitualmente, los bosques tienen una mayor densidad de carbono antes de la conversión. Lo cual implica que se va a necesitar, por lo menos, un conocimiento parcial de la matriz de cambios en el uso de la tierra y, por lo tanto, dónde se están usando los Métodos 1 y 2 del Capítulo 3 para estimar la superficie de tierra, así como pueden ser necesarios sondeos complementarios para identificar la superficie de tierra que se está convirtiendo de tierras forestales en tierras de cultivo. Como se señalara en el Capítulo 3, donde se esté comenzando a realizar sondeos, a menudo va a resultar más exacto determinar directamente las superficies bajo conversión que estimarlas a partir de las diferencias de las superficies totales de tierra bajo ciertos usos en particular en diferentes momentos.

5.3.2.4 PASOS DE CÁLCULO PARA LOS NIVELES 1 Y 2

Nivel 1

Paso 1: determinar las categorías de conversión de tierras a emplear en esta evaluación y la superficie representativa de la conversión por año (A_{on}). Los datos de superficie deben obtenerse aplicando los métodos descritos en el Capítulo 3. Los niveles más altos requieren mayor detalle pero el requisito mínimo para que los inventarios resulten coherentes con las *Directrices del IPCC* cuando se emplea el Nivel 1 es que las superficies de conversión de tierras forestales a tierras de cultivo puedan identificarse por separado.

Paso 2: para cada categoría de actividad, determinar las existencias de madera muerta y hojarasca (por separado) por hectárea previas a la conversión (ΔC_o).

Paso 3: para cada categoría de actividad, determinar las existencias de madera muerta y hojarasca (por separado) por hectárea para el tipo particular de tierra de cultivo después de la conversión (ΔC_n). En el Nivel 1, se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca después de la conversión equivalen a cero.

Paso 4: calcular el cambio neto en las existencias de madera muerta y hojarasca por hectárea para cada tipo de conversión, restando las existencias iniciales de las finales. Un valor negativo indica una pérdida en las existencias.

Paso 5: convertir el cambio neto de las existencias individuales en unidades de ton C $há^{-1}$ multiplicando el cambio neto de existencias por la fracción de carbono de esas existencias ($0,4 \text{ ton C (ton d.m.)}^{-1}$ para hojarasca, y $0,5 \text{ ton C (ton d.m.)}^{-1}$ para madera muerta).

Paso 6: multiplicar el cambio neto de cada existencia de C por la superficie convertida durante el año de declaración, para obtener el cambio anual de las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca (ΔC_{DOM}).

Nivel 2

Paso 1: determinar las categorías de conversión de tierras a emplear en esta evaluación y la superficie representativa de la conversión por año. Cuando el cálculo se realice para tierras en la fase de transición, se requiere contar con superficies representativas de cada categoría en las distintas etapas de la conversión.

Paso 2: Cambios abruptos

- determinar las categorías de actividad a utilizar en esta evaluación y las superficies representativas. La categoría consta de definiciones del tipo de conversión y, de corresponder, en la naturaleza de la gestión de la previa cobertura terrestre y la gestión de las tierras de cultivo, por ejemplo: «conversión de bosques estacionales tropicales talados en cultivos cerealeros».
- Para cada categoría de actividad, determinar las existencias de madera muerta y hojarasca (por separado) por hectárea, previas a la conversión.
- Para cada categoría de actividad, determinar las existencias de madera muerta y hojarasca (por separado) por hectárea después de transcurrido un año desde la conversión en tierras de cultivo.
- Calcular el cambio neto en las existencias de madera muerta y hojarasca por hectárea para cada tipo de conversión, restando las existencias iniciales de las finales. Un valor negativo indica una pérdida en las existencias.
- Convertir el cambio neto en las existencias individuales en unidades de ton C há^{-1} , como se mencionara en el Nivel 1.
- Multiplicar el cambio neto de cada existencia de C por la superficie convertida durante el año de la declaración.

Paso 3: Cambios de la transición

- Determinar las categorías de actividad y los cohortes a utilizar en esta evaluación y las superficies representativas. La categoría consta de definiciones del tipo de conversión y, de corresponder, de la naturaleza de la gestión de la previa cobertura terrestre y la gestión de las tierras de cultivo, por ejemplo: «conversión de bosques estacionales tropicales talados en pasturas para ganado con gramíneas exóticas».
- Determinar la tasa de cambio anual de las existencias de madera muerta y hojarasca (por separado) por tipo de actividad, aplicando el Método 1 (Método de ganancias y pérdidas) o el Método 2 (Método de diferencia de existencias) (ver más adelante) para cada cohorte de tierras que actualmente se encuentra en su fase de transición entre la conversión y un nuevo sistema de tierras de cultivo de régimen constante.
- Determinar las existencias de madera muerta y hojarasca del cohorte durante el año anterior (generalmente tomado del inventario anterior).
- Calcular el cambio en las existencias de madera muerta y hojarasca para cada cohorte sumando la tasa de cambio neta a las existencias del año anterior.
- Convertir el cambio neto en las existencias individuales en unidades de ton C há^{-1} como se describiera en el Nivel 1.
- Multiplicar el cambio neto de cada existencia de C por la superficie de cada cohorte en el año de la declaración.

Método 1 (Método de ganancias y pérdidas; véase la Ecuación 2.18 del Capítulo 2)

- Determinar las entradas anuales promedio de madera muerta y hojarasca (por separado).
- Determinar las pérdidas anuales promedio de madera muerta y hojarasca (por separado).
- Determinar la tasa de cambio neto de madera muerta y hojarasca, restando las salidas de las entradas.
- Un método de Nivel 2 requiere factores de cambio de existencias específicas del país y específicas del sistema de cultivo y deben usarse (y documentarse) los mejores datos de que se disponga localmente.

Método 2 (Método de diferencia de existencias; véase la Ecuación 2.19 del Capítulo 2)

- Determinar el intervalo temporal del inventario, las existencias promedio de madera muerta y hojarasca en el inventario inicial, y las existencias promedio de madera muerta y hojarasca del inventario final.

- Utilizar estas cifras para calcular el cambio neto en las existencias de madera muerta y hojarasca, restando las existencias iniciales de las existencias finales y dividiendo esta diferencia por la cantidad de años entre inventarios. Un valor negativo indica una pérdida en las existencias.
- Un método de Nivel 2 requiere factores de cambio de existencias específico del país y del sistema de cultivo y deben usarse (y documentarse) los mejores datos de que se disponga localmente.

5.3.2.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

En esta sección se consideran las incertidumbres específicas de las fuentes, pertinentes para las estimaciones de tierras convertidas en tierras de cultivo. Entre las fuentes de incertidumbre se incluyen el grado de exactitud de las estimaciones de superficies de tierra, el incremento y la pérdida de carbono, las existencias de carbono, la fracción quemada de la superficie de tierra, y los términos del factor de expansión. Se deben calcular las estimaciones de error (es decir, desviaciones estándar, errores estándar, o rangos) para cada uno de los términos definidos por país empleados en una evaluación básica de incertidumbre.

Incertidumbres del factor de emisión

Son las mismas que las incertidumbres relacionadas con la estimación de las existencias de hojarasca y de materia orgánica muerta por unidad de superficie en el uso previo de la tierra. No es necesario estimar las incertidumbres en los casos en los que se supone que la densidad de carbono en los depósitos de hojarasca y de materia orgánica muerta de las tierras de cultivo equivale a cero. Donde éste no sea el caso, las incertidumbres deben determinarse mediante un análisis de los datos locales y ambas deben exceder un factor de aproximadamente 2.

Incertidumbres en los datos de la actividad

Los datos de superficie y las estimaciones de incertidumbre deben obtenerse empleando los métodos del Capítulo 3. Con los métodos de los Niveles 2 y 3 también se pueden emplear datos de la actividad de mayor resolución, como las estimaciones de superficie para distintas regiones climáticas o para los sistemas de gestión de tierras de cultivo dentro de las fronteras nacionales. Esto reduce los niveles de incertidumbre cuando se los relacione con los factores de acumulación de carbono definidos con la misma resolución.

5.3.3 Carbono del suelo

Es típico que se conviertan en tierras de cultivo los terrenos nativos, las tierras forestales gestionadas y los pastizales, pero a veces las conversiones pueden ser de humedales y, rara vez, de asentamientos. Independientemente del tipo de suelo (es decir, mineral u orgánico), en la mayoría de los casos, la conversión de tierras en tierras de cultivo trae como resultado una pérdida de C del suelo durante algunos años tras la conversión (Mann, 1986; Armentano y Menges, 1986; Davidson y Ackerman, 1993). Las posibles excepciones son la irrigación de tierras antes áridas y la conversión de tierras degradadas a tierras de cultivo.

Se suministran información general y orientación sobre cómo estimar los cambios en las existencias de C del suelo en la Sección 2.3.3 del Capítulo 2 (incluyendo ecuaciones) y esa sección debe leerse antes de continuar el análisis de las directrices específicas referidas a las existencias de C del suelo en tierras de cultivo. Los cambios totales de las existencias de C del suelo en *tierras convertidas en tierras de cultivo* se estiman utilizando la Ecuación 2.24 (Capítulo 2), en la que se combinan los cambios en las existencias de C orgánico del suelo (existencias de SOC) para suelos minerales y orgánicos, con los cambios en las existencias de los depósitos de C inorgánico del suelo (Nivel 3 solamente). En esta sección se brinda orientación específica para estimar los cambios en las existencias de C orgánico del suelo; véase la Sección 2.3.3.1 en cuanto a un análisis sobre el C inorgánico del suelo (no se brinda ninguna orientación adicional en la sección que sigue, referida a tierras de cultivo).

A fin de contabilizar los cambios en las existencias de C del suelo relacionados con *tierras convertidas en tierras de cultivo*, los países deben contar, como mínimo, con estimaciones de la superficie de *tierras convertidas en tierras de cultivo* durante el período de inventario. Si los datos sobre uso y la gestión de la tierra son limitados, se pueden emplear datos agregados, como las estadísticas de la FAO, como punto de partida, junto con el conocimiento de los expertos nacionales sobre la distribución aproximada de los tipos de uso de la tierra que se convierten y su respectiva gestión. Si se desconocen los usos de la tierra y las conversiones anteriores, igual pueden calcularse los cambios de existencias de SOC empleando los métodos provistos bajo *tierras de cultivo que permanecen como tales*, aunque es factible que la base territorial sea diferente para las tierras de cultivo en el año en curso, con respecto al año de inicio del inventario. No obstante, es clave que el total de la superficie territorial para todos los sectores de uso de la tierra sea la misma durante el tiempo que lleve el inventario (p. ej., si se convierten 7 millones de hectáreas de tierras forestales y pastizales en tierras de cultivo durante el período

del inventario, entonces las tierras de cultivo tendrán un adicional de 7 millones de hectáreas en el último año del inventario, mientras que los pastizales y las tierras forestales tendrán la correspondiente pérdida de 7 millones de hectáreas en ese último año). Las *tierras convertidas en tierras de cultivo* se estratifican según las regiones climáticas y los principales tipos de suelos, lo que puede basarse en clasificaciones por defecto o específicas del país. Esto puede lograrse mediante superposiciones parciales de mapas de clima y suelos, junto con datos espacialmente explícitos en cuanto a la ubicación de las conversiones de las tierras.

5.3.3.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es posible desarrollar los inventarios empleando métodos de Niveles 1, 2 o 3, en los que cada uno de los sucesivos Niveles requiere más detalles y recursos que el anterior. También es posible que haya países que utilicen diferentes niveles para preparar las estimaciones de cada subcategoría de C del suelo (p. ej., cambios en las existencias de C orgánico en suelos minerales y orgánicos; y cambios de existencias relacionados con depósitos de C inorgánico en el suelo). En la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2, se proporcionan árboles de decisión para suelos minerales (Figura 2.4) y para suelos orgánicos (Figura 2.5) a fin de asistir a los compiladores del inventario en la selección del nivel adecuado para su inventario de C del suelo.

Suelos minerales

Nivel 1

Los cambios en las existencias de C orgánico del suelo pueden estimarse para la conversión del uso de la tierra en tierras de cultivo empleando la Ecuación 2.25 del Capítulo 2. Para el Nivel 1, las existencias de C orgánico del suelo iniciales (pre-conversión) ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del período de inventario (SOC_0) se calculan a partir de las existencias de C orgánico del suelo de referencia por defecto (SOC_{REF}) y de los factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio en las existencias de carbono se estiman como la diferencia entre las existencias (a través del tiempo) dividida por la dependencia temporal (D) de los factores de cambio de existencias en tierras de cultivo (por defecto, 20 años).

Nivel 2

En el método de Nivel 2 para suelos minerales también se utiliza la Ecuación 2.25 (Capítulo 2), pero se incluyen las existencias de C de referencia específicas del país y/o los factores de cambio de existencias y, posiblemente, datos ambientales de la actividad sobre el uso de la tierra y más desagregados.

Nivel 3

Los métodos del Nivel 3 incluyen modelos más detallados y específicos del país y/o enfoques basados en mediciones, así como datos de uso y gestión de la tierra muy desagregados. En los modelos de Nivel 3, se estiman los cambios de las existencias de C del suelo producidos por las conversiones en el uso de la tierra a tierras de cultivo, y se pueden emplear modelos, conjuntos de datos y/o redes de monitorización. Si es posible, se recomienda integrar los métodos de Nivel 3 con estimaciones de la remoción de biomasa y el tratamiento de post-desbroce de los residuos vegetales (incluyendo restos leñosos y hojarasca), dado que la variación en la remoción y el tratamiento de residuos (p. ej., quema, preparación del suelo) afecta las entradas de C a la formación de materia orgánica del suelo y las pérdidas de C por descomposición y combustión. Es importante que los modelos se evalúen mediante observaciones independientes a partir de lugares específicos del país o de la región que sean representativos de las interacciones entre el clima, el suelo y la gestión de las tierras de cultivo, referidos a los cambios en las existencias de C del suelo ocurridos después de la conversión.

Suelos orgánicos

Nivel 1 y Nivel 2

Las *tierras convertidas en tierras de cultivo* en suelos orgánicos dentro del período del inventario se tratan de la misma manera que los suelos orgánicos bajo cultivos de largo plazo. Las pérdidas de carbono se calculan empleando la Ecuación 2.26 (Capítulo 2). En la Sección referida a *tierras de cultivo que permanecen como tales* (Sección 5.2.3), se brinda orientación adicional sobre los métodos de los Niveles 1 y 2.

Nivel 3

Un método de Nivel 3 incluye modelos más detallados y específicos del país y/o enfoques basados en mediciones, así como datos de uso y gestión de la tierra muy desagregados (véase en lo precedente un análisis más detallado de los suelos minerales).

5.3.3.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE CAMBIO DE EXISTENCIAS Y DE EMISIÓN

Suelos minerales

Nivel 1

En cuanto a tierras nativas no gestionadas, así como a tierras forestales gestionados, asentamientos y pastizales nominalmente gestionados bajo regímenes de poca perturbación, se supone que las existencias de C del suelo son equivalentes a los valores de referencia (es decir, los factores de uso de la tierra, perturbación (sólo para bosques), gestión e ingreso equivalen a 1), pero será necesario aplicar los factores de cambio de existencias apropiados para representar los sistemas previos de uso de la tierra que no son condición de referencia, como los pastizales mejorados y degradados. También va a ser necesario aplicar el factor de cambio de existencias apropiado para representar los efectos de ingresos y gestión sobre la presencia de C del suelo en el nuevo sistema de tierras de cultivo. Las existencias de C de referencia por defecto se encuentran en el Cuadro 2.3 (Capítulo 2). Véase el capítulo correspondiente sobre el uso de la tierra para conocer los factores de cambio de las existencias por defecto.

En el caso de conversiones transitorias del uso de la tierra en tierras de cultivo, los factores de cambio de existencias se suministran en el Cuadro 5.10, y dependen de la duración del ciclo del barbecho (recuperación de la vegetación) en un sistema de cultivo rotativo, lo que representa las existencias promedio de C del suelo durante el ciclo cultivo-barbecho. El barbecho maduro denota situaciones en las que la vegetación ajena al cultivo (p. ej., bosques) se recupera a un estado de madurez o cercano a la madurez antes de que se lo vuelva a desbrozar para su uso como tierras de cultivo, mientras que en el barbecho de ciclo corto, no se logra la recuperación de la vegetación antes de que se vuelva a desbrozar. Si la tierra que ya está bajo un cultivo rotativo se convierte en Tierra de cultivo permanente (o en otros usos de la tierra), los factores de cambio de existencias que representan al cultivo rotativo arrojan existencias «iniciales» de C ($SOC_{(0-T)}$) en los cálculos empleando la Ecuación 2.25 (Capítulo 2).

Tipo de valor del factor	Nivel	Régimen climático	Valor por defecto del IPCC	Error #	Definición
Uso de la tierra	Bosque nativo o pastizal (no degradado)	Todas	1	ND	Representa los bosques y pastizales nativos o de largo plazo, no degradados y gestionados sosteniblemente.
		Tropical	1	ND	
Uso de la tierra	Cultivo rotativo – Barbecho de ciclo corto	Tropical	0,64	± 50%	Cultivo de rotación permanente, en el que el bosque tropical o la tierra leñosa se desbroza para plantar cultivos anuales durante un breve período (p. ej., 3-5 años) y después se abandona para que vuelva a crecer.
	Cultivo rotativo – Barbecho maduro	Tropical	0,8	± 50%	
Uso de la tierra, gestión e ingresos	Bosque gestionado	(el valor por defecto es 1)			
Uso de la tierra, gestión e ingresos	Pastizal gestionado	(Véanse los valores por defecto en el Cuadro 6.2)			
Uso de la tierra, gestión e ingresos	tierras de cultivo	(Véanse los valores por defecto en el Cuadro 5.5)			
# Representa una estimación nominal del error, equivalente a dos veces la desviación estándar, como porcentaje de la media. NA significa «No Aplicable», donde los valores del factor constituyen valores de referencia definidos.					

Nivel 2

Probablemente, la estimación de los factores de cambio de existencias específicos del país constituya el desarrollo más importante relacionado con el método de Nivel 2. Las diferencias en existencias de C orgánico del suelo entre los usos de la tierra se calculan con relación a una condición de referencia, empleando los factores de uso de la tierra (F_{LU}). Entonces, se emplean los factores de ingreso (F_I) y los de gestión (F_{MG}) para definir con más exactitud las existencias de C del nuevo sistema de tierras de cultivo. En la Sección 5.2.3.2, *tierras de cultivo que permanecen como tales*, se ofrece orientación adicional sobre cómo derivar estos factores de cambio de existencias. Véase el capítulo que corresponde para conocer información específica sobre la derivación de los factores de cambio de existencias para otras categorías de uso de la tierra (Tierras forestales en la Sección 4.2.3.2, Pastizales en 6.2.3.2, Asentamientos en 8.2.3.2 y Otras tierras en 9.3.3.2).

En un método de Nivel 2, las existencias de C de referencia también se derivan de datos específicos del país. Sin embargo, los valores de referencia deben ser coherentes para todos los usos de la tierra (es decir, tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, asentamientos y otras tierras) y, por ende, requieren coordinación entre los distintos equipos a cargo de los inventarios de C del suelo para AFOLU.

Nivel 3

Es menos factible que los factores constantes de tasa de cambio de existencias *per se* se estimen a favor de tasas variables que reproduzcan con más exactitud los efectos del uso y la gestión de la tierra. Para un análisis más pormenorizado, véase la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

Suelos orgánicos**Nivel 1 y Nivel 2**

Las *tierras convertidas en tierras de cultivo* en suelos orgánicos dentro del período del inventario se tratan de la misma manera que los suelos orgánicos bajo cultivos de largo plazo. Los factores de emisión del Nivel 1 se presentan en el Cuadro 5.6, mientras que los del Nivel 2 se derivan de datos específicos del país o la región.

Nivel 3

Es menos factible que los factores constantes de tasa de emisión *per se* se estimen a favor de tasas variables que reproduzcan con más exactitud los efectos del uso y la gestión de la tierra. Para un análisis más pormenorizado, véase la Sección 2.3.3.1 del Capítulo 2.

5.3.3.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD**Suelos minerales****Nivel 1 y Nivel 2**

A los efectos de estimar los cambios en las existencias de carbono del suelo, las estimaciones de superficie de *tierras convertidas en tierras de cultivo* deben estratificarse según las regiones climáticas y los tipos de suelos principales. Esto puede basarse en superposiciones parciales de mapas de clima y suelos apropiados, junto con datos espacialmente explícitos en cuanto a la ubicación de las conversiones de las tierras. Las descripciones detalladas de los esquemas de clasificación de climas y suelos por defecto se encuentran en el Capítulo 3, Anexo 3A.5. Se suministra información específica en cada uno de los capítulos de uso de la tierra respecto al tratamiento de los datos de la actividad de uso/gestión de la tierra (Tierras forestales en la Sección 4.2.3.3, Tierras de cultivo en 5.2.3.3, Pastizales en 6.2.3.3, Asentamientos en 8.2.3.3 y Otras tierras en 9.3.3.3).

Un aspecto clave en la evaluación del impacto de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* sobre las existencias de C orgánico del suelo es el tipo de datos de la actividad sobre uso y gestión de la tierra. Los datos de la actividad obtenidos empleando los Métodos 2 o 3 (véase el Capítulo 3 para conocer un análisis referido a métodos) suministran la información básica subyacente para determinar el uso previo de la tierra en *tierras convertidas en tierras de cultivo*. Por contraste, los datos agregados (Método 1, Capítulo 3) sólo suministran la cantidad total de superficie en cada uso de la tierra al comienzo y al final del período de inventario (p. ej., 1985 y 2005). Los datos del Método 1 no son suficientes para determinar las transiciones específicas. En este caso, se declaran todas las tierras de cultivo bajo la categoría *tierras de cultivo que permanecen como tales* y, en efecto, las transiciones se convierten en cambios radicales de todo el paisaje. Esto hace que se torne particularmente importante que haya coordinación entre los distintos sectores territoriales a fin de garantizar que el total de la base territorial se mantenga constante a través del tiempo, dado que ciertas superficies se perderán o ganarán dentro de sectores individuales durante cada año de inventario, debido a cambios en el uso de la tierra.

Nivel 3

Para la aplicación de modelos dinámicos y/o de un inventario directo basado en mediciones en el Nivel 3, se requieren datos similares o más detallados de las combinaciones de datos climáticos, de suelos, topográficos y de gestión, en comparación con los métodos de Niveles 1 y 2, aunque los requisitos exactos dependerán del diseño del modelo o de la medición.

Suelos orgánicos

Niveles 1 y 2

Las *tierras convertidas en tierras de cultivo* en suelos orgánicos dentro del período del inventario se tratan de la misma manera que los suelos orgánicos bajo cultivos de largo plazo.

Nivel 3

Como ocurre con los suelos minerales, es factible que los métodos de Nivel 3 requieran información más detallada sobre las combinaciones de datos relativas al clima, los suelos, la topografía y la gestión. Con respecto a los métodos de Niveles 1 o 2, los requisitos exactos dependen del diseño del modelo o de las mediciones.

5.3.3.4 PASOS DE CÁLCULO PARA EL NIVEL 1

Suelos minerales

Los pasos para estimar SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ y los cambios de existencias netas de C en el suelo por hectárea de *tierras convertidas en tierras de cultivo* en suelos minerales son los siguientes:

Paso 1: organizar los datos por períodos de inventario sobre la base de los años en los que se recabaron los datos de la actividad (p. ej., 1990 a 1995, 1995 a 2000, etc.)

Paso 2: determinar la cantidad de *tierras convertidas en tierras de cultivo* por tipos de suelos minerales y regiones climáticas del país, al comienzo del primer período del inventario. El primer año del período de inventario depende de la periodicidad de los datos de la actividad (0-T; p. ej., hace 5, 10 o 20 años).

Paso 3: para pastizales convertidos en tierras de cultivo, clasificar los pastizales previos según el sistema de gestión que corresponda empleando la Figura 6.1. En el Nivel 1 no se requiere clasificación para otros usos de la tierra.

Paso 4: asignar valores locales de existencias de C de referencia (SOC_{REF}) del Cuadro 2.3 sobre la base del clima y del tipo de suelo.

Paso 5: asignar el factor de uso de la tierra (F_{LU}), el factor de gestión (F_{MG}) y los niveles de ingreso de C (F_I) para cada pastizal, sobre la base de la clasificación de la gestión (Paso 2). Los valores de F_{LU} , F_{MG} y F_I para pastizales se encuentran en el Cuadro 6.2. Se supone que los valores equivalen a 1 para todos los demás usos de la tierra.

Paso 6: multiplicar los factores (F_{LU} , F_{MG} , F_I) por las existencias de C del suelo de referencia para estimar las existencias «iniciales» de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) durante el período del inventario.

Paso 7: estimar las existencias finales de C orgánico del suelo SOC_0 repitiendo los pasos 1 a 5 y empleando las mismas existencias de C de referencia del lugar (SOC_{REF}), pero empleando factores de uso y gestión de la tierra y factores de ingreso que representen las condiciones para tierras de cultivo del último año de inventario (año 0).

Paso 8: estimar los cambios anuales promedio de existencias de C orgánico del suelo para tierras convertidas en tierras de cultivo ($\Delta C_{Minerales}$) restando las existencias «iniciales» de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) de las existencias finales de C orgánico del suelo (SOC_0), luego dividiendo por la dependencia temporal de los factores de cambios de existencias (es decir, 20 años empleando los factores por defecto). Nota: si un período de inventario supera los 20 años, entonces se dividirá por la diferencia entre el año inicial y el final de ese período.

Paso 9: repetir los Pasos 2 a 8 si hay períodos de inventario adicionales (p. ej., 1990 a 2000, 2001 a 2010, etc.). Nótese que las *tierras convertidas en tierras de cultivo* mantienen esa designación durante 20 años. Por lo tanto, los períodos de inventario que sean inferiores a 20 años pueden requerir que se haga referencia al período anterior de inventario para evaluar si una parcela de tierra se considera *tierra convertida en tierras de cultivo* o *tierra de cultivo que permanece como tal*.

A continuación, se ofrece un ejemplo numérico para tierras forestales convertidas en tierras de cultivo en suelos minerales, empleando la Ecuación 2.25, las existencias de C de referencia por defecto (Cuadro 2.3) y los factores de cambio de existencias (Cuadro 5.5).

Ejemplo: Para un bosque sobre suelo volcánico en un ambiente tropical húmedo: $SOC_{Ref} = 70$ ton C $há^{-1}$. Para todos los suelos forestales (y para los pastizales nativos), todos los valores por defecto para los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I) equivalen a 1; es así que $SOC_{(0-T)}$ es de 70 ton C $há^{-1}$. Si la tierra se convierte en tierras de cultivos anuales, con laboreo intensivo y bajo ingreso de C en residuos, entonces $SOC_0 = 70$ ton C $há^{-1} \bullet 0,48 \bullet 1 \bullet 0,92 = 30,9$ ton C $há^{-1}$. Por ende, el cambio anual promedio en las existencias de C del suelo para la superficie durante el período del inventario se calcula de la siguiente manera $(30,9$ ton C $há^{-1} - 70$ ton C $há^{-1}) / 20$ años $= -2,0$ ton C $há^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Suelos orgánicos

Los pasos para el cálculo y el ejemplo son los mismos descritos en la Sección 5.2.3.4 precedente.

5.3.3.5 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Los análisis de incertidumbre para *tierras convertidas en tierras de cultivo* son fundamentalmente los mismos que para *tierras de cultivo que permanecen como tales*. Existen tres grandes fuentes de incertidumbre: 1) incertidumbres en los datos sobre actividad de uso y gestión de la tierra, y sobre el medio ambiente; 2) incertidumbres con referencia a las existencias de C en el suelo si se utilizan los métodos de los Niveles 1 o 2 (suelos minerales solamente); y 3) incertidumbres en los factores de cambios en las existencias y de emisión para los métodos de Niveles 1 o 2, error en la estructura/los parámetros del modelo para los métodos basados en el modelo de Nivel 3, o errores de medición/variabilidad en el muestreo relacionados con los inventarios basados en mediciones de Nivel 3. Véase la sección sobre incertidumbre en *tierras forestales que permanecen como tales* para conocer un análisis adicional (Sección 5.2.3.5).

5.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero no CO₂ a partir del quemado de biomasa

Es factible que las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la conversión de tierras que no son de cultivo, en particular tierras forestales y pastizales, a tierras de cultivo constituyan una categoría de fuente principal en muchos países. Las emisiones de gases de efecto invernadero de *tierras convertidas en tierras de cultivo* se producen a partir de la combustión incompleta de biomasa y de materia orgánica muerta (DOM) en la categoría de uso de la tierra inicial, previa a la conversión. Las emisiones de CO₂ se contabilizan en la nueva categoría de uso de la tierra (*tierras convertidas en tierras de cultivo*). Las emisiones de no-CO₂ más importantes de esta sección proceden de la conversión de tierras forestales en tierras de cultivo, pero también se pueden producir como resultado de la conversión de pastizales en tierras de cultivo. Es muy poco probable que las tierras de cultivo se originen a partir de la conversión de otras categorías de uso de la tierra (asentamientos, humedales u otras tierras).

En las zonas tropicales, es práctica común quemar los residuos forestales sucesivamente hasta eliminarlos y eliminar los DOM en su mayoría o por completo, y poder proceder a la agricultura. En algunos lugares, resulta necesario realizar hasta tres o cuatro quemas. Parte de la biomasa forestal aérea eliminada durante el proceso de conversión de tierras forestales en tierras de cultivo puede transferirse a productos de madera recolectada, mientras que una cierta cantidad se puede retirar del lugar para usarla como madera combustible (es decir, se quema fuera del lugar). Normalmente, lo que queda se quema *in situ*.

Los métodos para estimar las emisiones de CO₂ de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* se describen en la Sección 2.4 del Capítulo 2.

Deben declararse las emisiones de no-CO₂ del quemado de biomasa en tierras forestales no gestionadas, si les sigue una conversión en el uso del suelo, dado que las tierras convertidas se consideran gestionadas.

El método a utilizar para estimar las emisiones de no-CO₂ del quemado de biomasa en *tierras convertidas en tierras de cultivo* es esencialmente el mismo que el usado para *tierras de cultivo que permanecen como tales*.

5.3.4.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En el árbol de decisiones de la Figura 2.6 del Capítulo 2 se brinda orientación sobre la elección del Nivel a aplicar en los países para declarar las emisiones de no-CO₂ de *tierras convertidas en tierras de cultivo*. Los

países que experimentan una escala significativa de conversión de tierras que no son de cultivo, en particular de tierras forestales, a tierras de cultivo deben hacer todo lo posible por adoptar los métodos de los Niveles 2 y 3.

La elección del método está relacionada directamente con la disponibilidad de datos nacionales sobre la superficie de tierra convertida quemada, la masa de combustible disponible y los factores de combustión y emisión. Cuando se emplean niveles superiores, se utiliza información específica del país respecto a la masa de combustible disponible para representar la cantidad de biomasa quitada para conversión y transferida a productos de madera recolectada (de corresponder), quitada para uso como combustible y quemada fuera del sitio.

Los países deben realizar todos los esfuerzos posibles por usar un método de Niveles 2 o 3 siempre que las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes del quemado de biomasa en *tierras convertidas en tierras de cultivo* constituyan una categoría principal. Si se han desarrollado y validado modelos, los países deben aplicar un método de Nivel 3 incluso en aquellos casos en los que las *tierras convertidas en tierras de cultivo* no constituyen una categoría principal.

5.3.4.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Nivel 1

La masa de combustible quemado es clave en la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los datos por defecto que sustentan la estimación de las emisiones bajo el método de Nivel 1 se presentan en los Cuadros 2.4 a 2.6 del Capítulo 2. Los países deben evaluar la forma en la que sus tipos de vegetación se corresponden con las amplias categorías de vegetación descritas en los cuadros por defecto. En cuanto al Nivel 1, debe suponer que todo el carbono de la biomasa aérea y DOM de la categoría de tierras anterior se pierde inmediatamente después de la conversión. Los valores por defecto para biomasa previos a la conversión pueden encontrarse en los capítulos referidos a los respectivos usos de la tierra (p. ej., los factores por defecto para tierras forestales se encuentran en el capítulo referido a biomasa en tierras forestales). Para el cálculo de las emisiones de no-CO₂, deben usarse las estimaciones de la cantidad de combustible realmente quemado (Cuadro 2.4).

Nivel 2

En un método de Nivel 2, deben emplearse estimaciones específicas del país en cuanto a la masa de combustible disponible. Los datos deben desagregarse según los tipos de bosques, en el caso de las tierras forestales convertidas en tierras de cultivo. Se deben desarrollar los factores de combustión y de emisión que mejor reflejen las condiciones nacionales (zona climática, bioma, condiciones de quemado) y suministrar rangos de incertidumbre. Además, a diferencia del Nivel 1, donde se supone que todo el carbono de la biomasa aérea y DOM se pierde inmediatamente después de la conversión, en un método de Nivel 2 deben estimarse las transferencias de biomasa a productos de madera recolectados y madera combustible (quemada fuera del sitio) a fin de proporcionar una estimación más fiable de la masa de combustible disponible para la combustión.

Nivel 3

En el Nivel 3, todos los parámetros necesarios para estimar las emisiones de CO₂ y de no-CO₂ deben desarrollarse a nivel nacional para los distintos tipos de tierras sujetos a conversión en tierras de cultivo.

5.3.4.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad necesarios para estimar las emisiones de no-CO₂ producidas por el quemado de biomasa se refieren a la superficie afectada por esta actividad. Los países deben estratificar la superficie convertida en tierras de cultivo a partir de tierras forestales y de pastizales, dado que a cantidad de combustible disponible para el quemado puede mostrar variaciones importantes de una categoría a otra de uso de la tierra. La conversión más clave es la de tierras forestales en tierras de cultivo, debido a la gran cantidad de biomasa por hectárea. Es una *buena práctica* garantizar que los datos de superficie utilizados para la estimación de no-CO₂ sean coherentes con la empleada para las secciones sobre biomasa y DOM.

Nivel 1

Los países que apliquen el método del Nivel 1 deberán estimar las superficies convertidas en tierras de cultivo a partir de los usos de la tierra iniciales (tierras forestales, pastizales, etc.). Los países que utilicen el Método 1 del Capítulo 3, deben hacer todo lo posible por estratificar más las *tierras convertidas en tierras forestales* a partir de las diferentes categorías de uso de la tierra. La conversión debe estimarse anualmente. Las estimaciones pueden derivarse aplicando una tasa de conversión en tierras de cultivo al total de la superficie cultivada anualmente. Es posible estimar la tasa sobre la base del conocimiento histórico, del dictamen de expertos nacionales y/o de muestras de superficies convertidas y la evaluación del uso final de la tierra. Como alternativa, las estimaciones pueden derivarse empleando datos de fuentes internacionales, como los de la FAO, para estimar

la superficie de tierras forestales y pastizales convertida anualmente y empleando el dictamen de expertos para estimar la porción de esta superficie convertida en tierras de cultivo.

Nivel 2

Siempre que resulte posible, los países deben utilizar estimaciones reales de superficie para todas las conversiones posibles en tierras de cultivo. Los datos multi-temporales de detección remota y con adecuada resolución deben proporcionar mejores estimaciones de la conversión en el uso de la tierra que los métodos empleados en el Nivel 1. El análisis puede basarse en una cobertura total del territorio o en superficies de muestra representativas seleccionadas, a partir de las cuales se puede derivar la superficie convertida a tierras de cultivo de todo el territorio.

Nivel 3

Los datos de la actividad en el Nivel 3 deben basarse en el Método 3 presentado en el Capítulo 3, por el que se estima el total de superficie convertida anualmente en tierras de cultivo (a partir de tierras forestales, pastizales y otras categorías del uso de la tierra). Es una *buena práctica* desarrollar una matriz de cambio en el uso de la tierra, tal como se sugiere en el Capítulo 3, de manera espacialmente explícita. Los datos deben desagregarse según el tipo de bioma, clima, suelos, fronteras políticas o una combinación de estos parámetros.

5.3.4.4 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Nivel 1

Las fuentes de incertidumbre surgen de: (i) el uso de tasas de conversión promedio universales o nacionales o de estimaciones groseras de superficies de tierra convertidas en tierras de cultivo; ii) una estimación de la superficie convertida que se quema; iii) la tasa de combustible disponible; y (iv) los factores de combustión y emisión. Se proporcionan los datos sobre las incertidumbres asociadas con los factores de emisión y combustión, mientras que los relacionados con los puntos (i) y (ii) pueden variar significativamente según el método que se emplee para su estimación.

Como resultado de estas incertidumbres, es poco probable que la estimación de la superficie quemada sea conocida en más de un 20% y que las emisiones por unidad de superficie en hasta un factor de 2 usando los métodos del Nivel 1.

Nivel 2

El uso de estimaciones de superficie obtenidas de fuentes más fiables (datos de detección remota, método de muestras) mejora la exactitud con respecto al Nivel 1 o al Método 1 del Capítulo 3. Estas fuentes también suministran mejores estimaciones de las superficies que se convierten y se queman. Al tenerse en cuenta la biomasa transferida a productos de madera recolectada o quitada del sitio como madera combustible, y la biomasa que se deja en el sitio para su descomposición, se elimina un sesgo (sobreestimación) en las estimaciones. Las estimaciones de factores de emisión o combustión, si van acompañadas de rangos de error (en la forma de desviación estándar) permiten evaluar la incertidumbre relacionada con las *tierras convertidas en tierras de cultivo*.

Nivel 3

La incertidumbre es menor y depende de la exactitud de la detección remota y de los sondeos de campo, así como del enfoque de modelización que se utilice y los datos de entrada asociados.

5.4 EXHAUSTIVIDAD, SERIES TEMPORALES, GC/CC Y GENERACIÓN DE INFORMES

El material que se presenta en esta sección sirve de complemento a la orientación general sobre estos aspectos que se suministrara en el Volumen 1.

5.4.1 Exhaustividad

Nivel 1

Un inventario completo de tierras de cultivo de Nivel 1 contiene tres elementos: 1) los cambios en las existencias de carbono y las emisiones de no-CO₂ (CH₄, CO, N₂O, NO_x) producidas por el quemado de biomasa se han estimado para todas las *tierras convertidas en tierras de cultivo* y *tierras de cultivo que permanecen como tales* durante el período del inventario; 2) en el análisis del inventario se ha tratado el impacto de todas las prácticas de gestión descritas en los métodos del Nivel 1; y 3) en el análisis se contabilizó la variación climática y de suelos que tiene su impacto sobre las emisiones y las absorciones (según lo descrito para el Nivel 1).

Los últimos dos elementos requieren la asignación de sistemas de gestión a superficies de tierras de cultivo y la estratificación por regiones climáticas y tipos de suelos. Es una *buena práctica* que los países utilicen las mismas clasificaciones para biomasa y depósitos del suelo, además del quemado de biomasa (en el grado en que tales clasificaciones resulten necesarias para estas categorías de fuente). Esto garantiza la coherencia y transparencia, permite un uso eficaz de los sondeos de tierras y de otras herramientas para recabar datos, y permite una relación explícita entre las emisiones y absorciones de dióxido de carbono en la biomasa y los depósitos del suelo, así como de las emisiones de no-CO₂ producidas por el quemado de biomasa.

En el caso de las estimaciones de las existencias de C en la biomasa y en el suelo, un inventario de tierras de cultivo debe tener en cuenta el impacto de los cambios en el uso de la tierra (*tierras convertidas en tierras de cultivo*) y la gestión. No obstante, en algunos casos, los datos de la actividad o el conocimiento de los expertos pueden no ser suficientes para estimar los efectos de la agroforestación, de las prácticas de rotación de cultivos, las prácticas de laboreo, la irrigación, la aplicación de abonos, la gestión de residuos, etc. En tales casos, los países pueden proceder a realizar un inventario teniendo sólo presente el uso de la tierra, pero los resultados serán incompletos y la omisión de las prácticas de gestión debe identificarse claramente en la documentación de los informes a los efectos de la transparencia. Si hay omisiones, es una *buena práctica* recabar datos de la actividad adicionales para futuros inventarios, en particular si el C de la biomasa y del suelo constituye una categoría de fuente principal.

Puede que los cambios en las existencias de C no se contabilicen para ciertas superficies de tierras de cultivo si se considera que las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero son insignificantes o constantes con el transcurso del tiempo, como sucede con las tierras de cultivos no leñosos, donde no hay cambios en la gestión o en el uso de la tierra. En este caso, es una *buena práctica* que los países documenten y expliquen las razones de las omisiones.

Para el quemado de biomasa, los gases de efecto invernadero no-CO₂ deben estimarse para las principales categorías de residuos agrícolas, teniendo cuidado de contabilizar la remoción de residuos del campo para otros propósitos, tales como producción de energía, y las pérdidas de residuos resultantes del pastoreo y de la descomposición durante el lapso entre las operaciones de cosecha y de quema. Donde hay conversión de tierras forestales en tierras de cultivo, deben incluirse las emisiones de la quema de DOM y de la biomasa de los árboles talados.

Nivel 2

Un inventario completo de Nivel 2 tiene elementos similares al Nivel 1, pero incluye información específica del país: para estimar los factores de cambio de las existencias de C, existencias de C del suelo de referencia, estimaciones de residuos (carga de combustible), factores de combustión y emisión para el quemado de biomasa; y para desarrollar descripciones de clima y categorías de suelos, además de mejorar las clasificaciones de los sistemas de gestión. Más aun, constituye una *buena práctica*, en un inventario de Nivel 2, incorporar datos específicos del país para cada componente. No obstante, los inventarios se siguen considerando completos si combinan datos específicos del país con datos por defecto del Nivel 1.

Nivel 3

Además de los comentarios hechos respecto a los Niveles 1 y 2, la exhaustividad de los inventarios de Nivel 3 depende de los componentes del sistema de evaluación específico del país. En la práctica, es factible que en los inventarios de Nivel 3 se contabilicen en su totalidad las emisiones y absorciones de las tierras de cultivo empleando una mayor cantidad de datos de resolución más fina sobre clima, suelos, quemado de biomasa y sistemas de gestión. Es una *buena práctica* que los compiladores del inventario describan y documenten los elementos del sistema específico del país, y que demuestren la exhaustividad del método y de las fuentes de datos. Si se identifican vacíos, es una *buena práctica* recabar información adicional y desarrollar aun más el sistema específico del país.

5.4.2 Desarrollo de una serie temporal coherente

Nivel 1

Las series temporales coherentes son esenciales para evaluar las tendencias en emisiones y absorciones. A fin de mantener la coherencia, los compiladores deben aplicar las mismas clasificaciones y los mismos factores durante la totalidad del período del inventario, incluyendo clima, tipos de suelos, clasificaciones de sistemas de gestión, factores de cambio de las existencias de C, existencias de C del suelo de referencia, estimaciones de residuos (carga de combustible), factores de combustión, y factores de emisión de no-CO₂. Se suministran valores por defecto para todas estas características, por lo que la coherencia no debe constituir problema alguno. Además, la base territorial debe permanecer coherente con el correr del tiempo, con excepción de las *tierras convertidas en tierras de cultivo* o de las tierras de cultivo convertidas en otros usos de la tierra.

Los países deben emplear fuentes coherentes de datos de la actividad sobre uso de la tierra, gestión y quemado de biomasa, a lo largo de todo el inventario. Si se los usa, los métodos de muestreo deben mantenerse durante todo el período del inventario, para garantizar un enfoque coherente. Si se crean subcategorías, los países deben llevar registros transparentes sobre cómo se las definió, y aplicarlas coherentemente a lo largo del inventario.

En algunos casos, las fuentes de datos de la actividad, las definiciones o los métodos pueden cambiar a través del tiempo, según la disponibilidad de información nueva. Los compiladores del inventario deben determinar cuál es la influencia de los cambios de datos o métodos sobre las tendencias y, si se las considera significativas, deben calcularse las emisiones y absorciones nuevamente para esa serie temporal empleando los métodos provistos en el Capítulo 5 del Volumen 1.

En cuanto a los cambios en las existencias de C, un elemento clave para producir una serie temporal coherente es garantizar la coherencia entre las existencias de C de las tierras convertidas en tierras de cultivo declaradas en períodos anteriores y el estado de esas existencias declarado respecto a aquellas tierras que permanezcan como tierras de cultivo en el período actual. Por ejemplo, si se transfirieron 50 toneladas de biomasa aérea viva al depósito de materia orgánica muerta por tierras convertidas de Forestales en tierras de cultivo en el período de declaración anterior, en la declaración de este período se debe suponer que las existencias iniciales de carbono del depósito de materia orgánica muerta fue de 50 toneladas para esas tierras.

Nivel 2

Además de los aspectos analizados bajo el Nivel 1, hay consideraciones adicionales relativas a la introducción de información específica del país. Específicamente, es una *buena práctica* aplicar nuevos valores o clasificaciones derivados de información específica del país en la totalidad del inventario y volver a calcular la serie temporal. De lo contrario, las tendencias positivas o negativas en las existencias de C o en el quemado de biomasa pueden deberse, en parte, a cambios relacionados con los métodos de inventario ocurridos en algún momento de la serie temporal, y no ser representativas de las tendencias reales.

Es posible que no se disponga de nueva información específica para toda la serie temporal. En esos casos, es una *buena práctica* demostrar el efecto de los cambios en los niveles de actividad a falta de datos o métodos actualizados específicos del país. En el Capítulo 5 del Volumen 1, se brinda orientación sobre cómo volver a hacer los cálculos en tales circunstancias.

Nivel 3

Al igual que en los Niveles 1 y 2, es una *buena práctica* aplicar el sistema de estimación específico del país a lo largo de toda la serie temporal. Los organismos a cargo del inventario deben emplear los mismos protocolos de medición (estrategia de muestreo, método, etc.) y/o el mismo sistema basado en modelos a lo largo de todo el período del inventario.

5.4.3 Garantía de calidad y control de calidad

Nivel 1

Es una *buena práctica* aplicar Garantía de calidad/Controles de calidad con revisión interna y externa de los datos del inventario de tierras de cultivo. Debe realizar las revisiones internas el organismo a cargo del inventario, mientras que la externa queda en manos de otros organismos, expertos o grupos que no tengan participación en la compilación.

La revisión interna debe centrarse en el proceso de ejecución del inventario para garantizar que: 1) los datos de la actividad se han estratificado adecuadamente por regiones climáticas y tipos de suelos; 2) se han aplicado correctamente las clasificaciones/descripciones de la gestión; 3) los datos de la actividad se han transcrito a las hojas de trabajo o al *software* computarizado del inventario; y 4) que los factores de cambio de las existencias de C, las existencias de C del suelo de referencia, las estimaciones de residuos (carga de combustible) y los factores de combustión y emisión del quemado de biomasa se han asignado adecuadamente. Las medidas de Garantía de calidad/Control de calidad pueden incluir una inspección visual así como funciones de programas integrados para verificar el ingreso de datos y los resultados. Los resúmenes estadísticos también pueden ser de ayuda, como la acumulación de superficies por estratos en las hojas de trabajo para determinar si son coherentes con las estadísticas sobre el uso de la tierra. El total de la superficie debe permanecer constante durante el período de inventario y las superficies por estrato sólo varía por uso de la tierra o por clasificación de gestión (el clima y los tipos de suelos deben permanecer constantes).

En las revisiones externas se deben considerar la validez del método de inventario, la rigurosidad de la documentación del inventario, la explicación de los métodos y la transparencia general. Es importante evaluar si la superficie total de tierras de cultivo es realista y los revisores deben realizar una verificación cruzada de las estimaciones de superficie para todas las categorías de uso de la tierra (es decir, tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, etc.) para garantizar que la suma de toda la base territorial de un país se mantiene igual todos los años durante el período de inventario.

Nivel 2

Además de las medidas de Garantía de calidad/Controles de calidad señaladas bajo el Nivel 1, el organismo a cargo del inventario debe efectuar una revisión de las regiones climáticas, tipos de suelos, clasificaciones de sistemas de gestión, factores de cambio de las existencias de C, existencias de C de referencia, estimaciones de residuos (carga de combustible), factores de combustión, y factores de emisión de no-CO₂ para quemado de biomasa específicos del país. Si se emplean factores basados en mediciones directas, el organismo a cargo del inventario deberá revisar las mediciones para asegurarse de que sean representativas de la verdadera gama de condiciones ambientales y de gestión, y de que se desarrollaron sobre la base de normas reconocidas (OIEA, 1992). Si hay acceso, es una *buena práctica* comparar los factores específicos del país con los factores de cambio de existencias y de emisión del Nivel 2 que se usaran para otros países con circunstancias similares, además de los valores por defecto del IPCC.

Dada la complejidad de las tendencias de emisión y absorción, en la revisión externa se debe contar con la participación de especialistas del sector para que critiquen las estimaciones de la carga de combustible de los residuos, los factores de cambio de existencias y los factores de combustión y emisión, así como las descripciones de las regiones climáticas, los tipos de suelos y los sistemas de gestión específicos del país.

Nivel 3

Es factible que los sistemas de inventario específicos del país requieran medidas adicionales de Garantía de calidad/Control de calidad, pero esto dependerá de los sistemas que se desarrollen. Es una *buena práctica* desarrollar un protocolo de garantía de calidad/control de calidad que sea específico para el sistema de inventario avanzado del país, archivar los informes e incluir resultados resumidos en la documentación de los informes.

5.4.4 Generación de informes y documentación**Nivel 1**

Por lo general, es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario nacional. En el Nivel 1, los compiladores del inventario deben documentar las tendencias de los datos de la actividad y las incertidumbres relativas a las tierras de cultivo. Entre las actividades principales se incluyen el cambio en el uso de la tierra, el uso de fertilizantes minerales, las prácticas agroforestales, los abonos orgánicos, la gestión del laboreo, las rotaciones de cultivos, la gestión de residuos (incluyendo el quemado), las prácticas de irrigación, el alcance los sistemas de cultivos mixtos, el manejo del agua en los sistemas arroceros y el cambio en el uso de la tierra.

Es una *buena práctica* archivar las bases de datos reales, como los datos de censos agrícolas, y los procedimientos empleados para procesar los datos (p. ej., programas estadísticos); las definiciones utilizadas para categorizar o agregar datos de la actividad; y los procedimientos usados para estratificar los datos de la actividad por regiones climáticas y tipos de suelos (para los Niveles 1 y 2). Las hojas de trabajo o el *software* del inventario deben archivar con los archivos de entrada/salida que se hayan generado para producir los resultados.

En los casos en los que no se disponga de datos de la actividad directos de bases de datos o en que se hayan combinado múltiples conjuntos de datos, se deben describir la información, las hipótesis y los procedimientos empleados para derivar los datos de la actividad. Esta documentación debe incluir la frecuencia y estimación de la recolección de datos y la estimación, y la incertidumbre. El uso del conocimiento experto debe documentarse y la correspondencia se deberá archivar.

Es una *buena práctica* documentar y explicar las tendencias en las existencias de biomasa y de C del suelo, así como el quemado de biomasa en cuanto al uso del suelo y la actividad de gestión. Los cambios en las existencias de biomasa deben relacionarse directamente con el uso de la tierra o con los cambios en las prácticas agroforestales, mientras que las tendencias en las existencias de C del suelo pueden deberse a usos de la tierra o a cambios en las principales actividades de gestión, como se describiera antes. Las emisiones por quema de biomasa de residuos dependen del grado en el que se utilice el quemado para preparar los campos para plantar. Debe explicarse toda fluctuación significativa de las emisiones entre años.

Los países deben incluir documentación sobre la exhaustividad de sus inventarios, aspectos relacionados con la coherencia de las series temporales o con la falta de éstas, y un resumen de las medidas de Garantía de calidad/Control de calidad y sus resultados.

Nivel 2

Además de lo señalado bajo el Nivel 1, los compiladores del inventario deben documentar las bases que subyacen a los factores de cambio de las existencias de C, las existencias de C de referencia, las estimaciones de residuos (carga de combustible), los factores de combustión y emisión para quema de biomasa, las clasificaciones de los sistemas de gestión, las regiones climáticas y/o los tipos de suelo específicos del país. Es

más, constituye una *buena práctica* archivar las fuentes de «metadata» y de datos utilizadas para estimar los valores específicos del país.

La documentación para la generación de informes debe incluir los factores específicos del país (es decir, medios e incertidumbres). Es una *buena práctica* incluir un análisis en el informe de inventario relativo a las diferencias existentes entre los factores específicos del país y los valores por defecto del Nivel 1, así como los factores de Nivel 2 de regiones con circunstancias similares a las del país declarante. Si se emplean diferentes factores de emisión, parámetros y métodos para los distintos años, deben explicarse y documentarse las razones de tales cambios. Además, los organismos a cargo del inventario deben describir las clasificaciones de la gestión, el clima y/o los tipos de suelo específicos del país, y se recomienda que se documenten las mejoras en los métodos de inventario basadas en las nuevas clasificaciones. Por ejemplo, las prácticas de gestión del laboreo del laboreo deben subdividirse en categorías adicionales más allá de las clases del Nivel 1 (es decir, reducida, sin laboreo y laboreo total), aunque las ulteriores subdivisiones sólo mejorarán las estimaciones del inventario si el cambio en las existencias o los factores de emisión difieren significativamente entre las nuevas categorías.

Cuando se analicen las tendencias de las emisiones y absorciones, debe hacerse una distinción entre los niveles de actividad y los cambios de los métodos de año en año, y deben documentarse las razones de tales cambios.

Nivel 3

Un inventario de Nivel 3 exige documentación respecto a datos de actividad y tendencias de emisiones/absorciones similar a la de los métodos de nivel inferior, aunque debe incluirse documentación adicional para explicar las bases y el marco subyacentes del sistema de estimación específico del país. Con los inventarios basados en mediciones, es una *buena práctica* documentar el diseño de muestreo, los procedimientos de laboratorio y las técnicas de análisis de datos. Los datos de las mediciones deben archivar, así como los resultados de los análisis de datos. En cuanto a los métodos de Nivel 3 en que se utilizan modelos, es una *buena práctica* documentar la versión del modelo y suministrar una descripción de este, así como archivar en forma permanente copias de todos los archivos de entrada al modelo, códigos fuente y programas ejecutables.

5.5 EMISIONES DE METANO DEL CULTIVO DEL ARROZ

La descomposición anaeróbica de material orgánico en los arrozales inundados produce metano (CH_4), que se libera a la atmósfera fundamentalmente mediante el transporte a través de las plantas del arroz (Takai, 1970; Cicerone y Shetter, 1981; Conrad, 1989; Nouchi *et al.*, 1990). La cantidad anual de CH_4 emitido desde una superficie dada de arroz estará en función de la cantidad y la duración de los cultivos de que se trate, de los regímenes hídricos previos al período de cultivo, y -en el transcurso de éste- de los abonos orgánicos e inorgánicos del suelo (Neue y Sass, 1994; Minami, 1995). El tipo de suelo, la temperatura y el cultivar del arroz también afectan las emisiones de CH_4 .

Estas nuevas directrices para calcular emisiones de CH_4 incluyen diversos cambios en comparación con las *Directrices de 1996* y con la *GPG2000*, a saber: (i) revisión de factores de emisión y de ajuste derivados de análisis actualizados de la información disponible, (ii) uso de factores de emisión diarios —y no estacionales— que permitan una mayor flexibilidad en la separación de las estaciones de cultivo y los períodos de barbecho, (iii) nuevos factores de ajuste para el régimen hídrico previo al período de cultivo y la oportunidad en la que se incorpora la paja, y (iv) inclusión del método de Nivel 3 siguiendo los principios generales de la revisión de las directrices de 2006. Asimismo, las directrices revisadas mantienen el cálculo por separado de la emisión de N_2O del cultivo del arroz (como forma de suelo gestionado) de la que se trata en el Capítulo 11.

5.5.1 Elección del método

El cálculo básico para estimar las emisiones de CH_4 del cultivo del arroz se presenta en la Ecuación 5.1. Las emisiones de CH_4 se estiman multiplicando los factores de emisión diaria por período de cultivo³ de arroz y por superficies de cosecha anual⁴. En su forma más simple, esta ecuación se aplica utilizando datos de la actividad nacionales (es decir, período de cultivo de arroz promedio y superficie cosechada a nivel nacional) y un único factor de emisión. Sin embargo, las condiciones naturales y la gestión agrícola de la producción de arroz pueden ser muy variables dentro de un mismo país. Constituye una *buena práctica* tener en cuenta esta variabilidad desagregando la superficie total cosechada a nivel nacional en subunidades (p. ej., superficies cosechadas bajo

³ En caso de cultivos bianuales, el «período de cultivo» deben ampliarse según la cantidad respectiva de días.

⁴ En caso de múltiples cultivos durante el mismo año, la «superficie de cosecha» será igual a la suma de las superficies utilizadas para cada cultivo.

diferentes regímenes hídricos). La superficie cosechada de cada subunidad se multiplica por el período de cultivo respectivo y por el factor de emisión representativo de las condiciones que definen la subunidad (Sass, 2002). Con este método desagregado, las emisiones totales anuales equivalen a la suma de emisiones de cada subunidad de superficie cosechada.

ECUACIÓN 5.1
EMISIONES DE CH₄ PRODUCIDAS POR EL CULTIVO DEL ARROZ

$$CH_4 \text{ Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \cdot t_{i,j,k} \cdot A_{i,j,k} \cdot 10^{-6})$$

Donde:

$CH_4 \text{ Rice}$ = emisiones anuales de metano producidas por el cultivo del arroz, Gg CH₄ año⁻¹

EF_{ijk} = un factor de emisión diario para las condiciones i, j , y k , kg CH₄ há⁻¹ día⁻¹

t_{ijk} = período de cultivo del arroz para las condiciones i, j , y k , días

A_{ijk} = superficie de cosecha anual de arroz para las condiciones i, j , y k , há año⁻¹

i, j , y k = representan los diferentes ecosistemas, regímenes hídricos, tipo y cantidad de abonos orgánicos y otras condiciones bajo las cuales pueden variar las emisiones de CH₄ producidas por el arroz.

Entre las diferentes condiciones que se deben tener presentes se incluyen el tipo de ecosistema arrocerero, las pautas de inundación previas y durante el período de cultivo, y el tipo y la cantidad de abonos orgánicos. Hay otras condiciones, como el tipo de suelo y el cultivar del arroz, que se pueden considerar para la desagregación, si se dispone de información específica del país acerca de la relación existente entre estas condiciones y las emisiones de CH₄. Los tipos de ecosistemas del arroz y los regímenes hídricos durante el período de cultivo pueden verse en el Cuadro 5.12. Si la producción nacional de arroz se puede subdividir por zonas climáticas con diferentes sistemas de producción (p. ej., pautas de inundación), se debe aplicar la Ecuación 5.1 para cada región por separado. Lo mismo se aplica si se dispone de estadísticas arroceras o de dictámenes de expertos para distinguir entre prácticas de gestión u otros factores en las diferentes unidades administrativas (distritos o provincias). Además, si se cosecha más de un cultivo en un año dado, las emisiones deben estimarse para cada temporada de cultivo teniendo en cuenta las posibles diferencias en las prácticas de cultivo (p. ej., el uso de abonos orgánicos y la pauta de inundación antes y durante el período de cultivo).

El árbol de decisiones de la Figura 5.2 sirve de guía a los organismos a cargo del inventario en el proceso de aplicar el método del IPCC como una *buena práctica*. En este árbol de decisiones está implícita la jerarquía de desagregación al aplicar el método del IPCC. Dentro de esta jerarquía, el nivel de desagregación utilizado por un organismo a cargo del inventario depende de la disponibilidad de datos de la actividad y de factores de emisión, así como de la importancia del arroz, en tanto contribuye a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero. Los pasos específicos y las variables de este árbol de decisión, y la lógica subyacente, se analizan en el texto que se incluye a continuación.

Nivel 1

El Nivel 1 se aplica a países en los que las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo del arroz no constituyen una categoría principal o en los que no existen los factores de emisión específicos del país. La desagregación de la superficie anual de cosecha de arroz se debe realizar, por lo menos, para tres regímenes hídricos básicos, incluidos los de irrigación, alimentación por lluvia y de tierras altas. Se alienta a incorporar el mayor número de condiciones posible (i, j, k , etc.) que influyan sobre las emisiones de CH₄ (según lo resumido en el Recuadro 5.2). Las emisiones para cada subunidad se ajustan multiplicando un factor de emisión básico por defecto (para campos sin inundación de pre-temporada de menos de 180 días previos al cultivo del arroz y campos inundados permanentemente sin abonos orgánicos, EF_0) por diversos factores de ajuste, como se muestra en la Ecuación 5.2. Los cálculos se realizan para cada uno de los regímenes hídricos y abonos orgánicos por separado, como se muestra en la Ecuación 5.1.

RECUADRO 5.2**CONDICIONES QUE INCIDEN SOBRE LAS EMISIONES DE CH₄ PRODUCIDAS POR EL CULTIVO DEL ARROZ**

Tanto para el cálculo de las emisiones de CH₄ como para desarrollar los factores de emisión, se deben considerar las siguientes características del cultivo del arroz:

Diferencias regionales en las prácticas de cultivo del arroz: si el país es grande y tiene regiones agrícolas dispares con diferentes climas y/o sistemas de producción (p. ej., pautas de inundación), se debe realizar un conjunto de cálculos individual para cada región.

Múltiples cultivos: si se cosecha más de un cultivo en una superficie de tierra dada durante el año, y las condiciones de crecimiento varían entre las temporadas de cultivo, se deben realizar cálculos para cada temporada.

Régimen hídrico: en el contexto de este capítulo, régimen hídrico se define como la combinación entre (i) el tipo de ecosistema y (ii) las pautas de inundación.

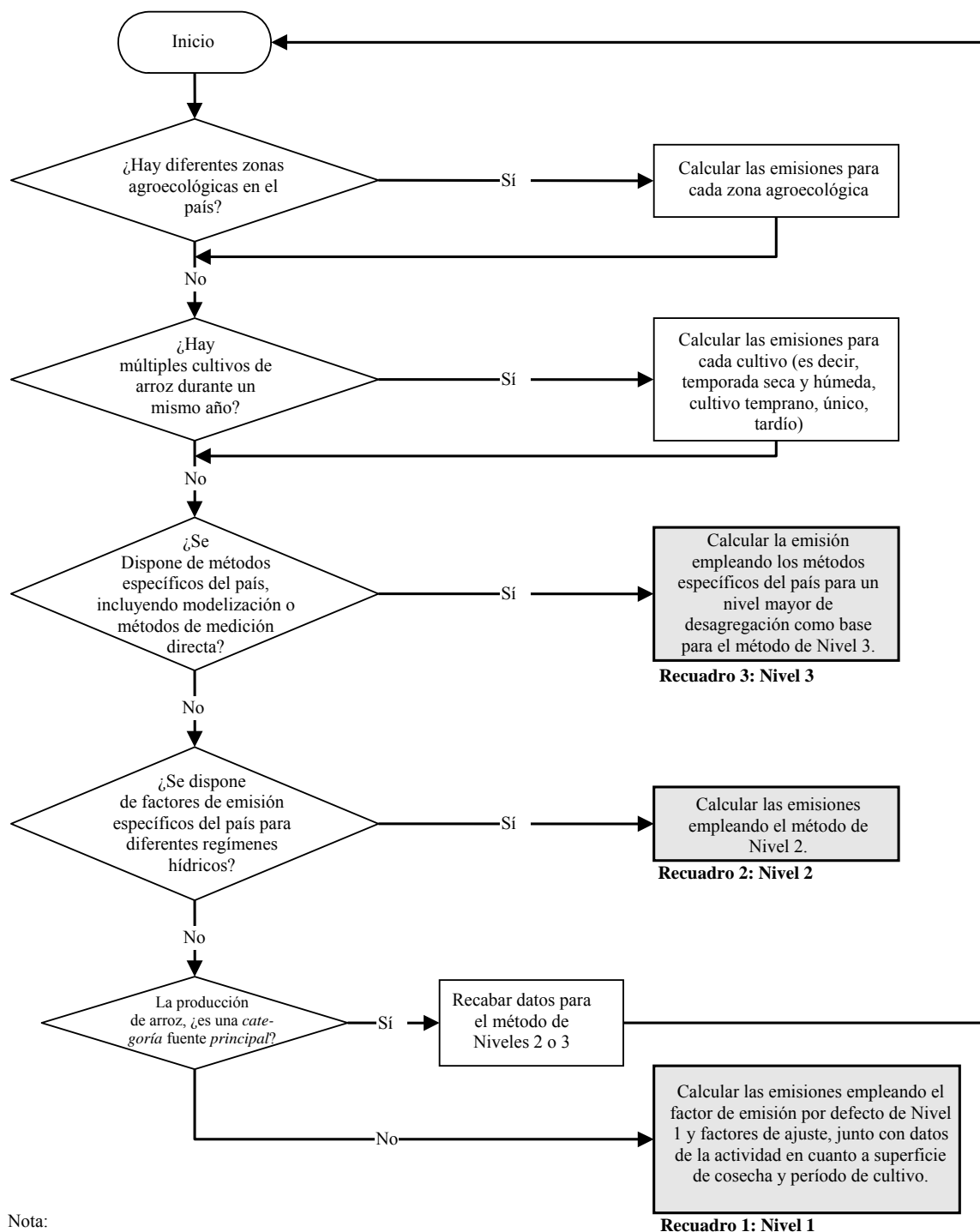
Tipo de ecosistema: como mínimo, deben realizarse cálculos por separado para cada ecosistema arroceros (es decir, irrigado, alimentado por lluvia, y producción de arroz en aguas profundas).

Pauta de inundación: la pauta de inundación de los campos arroceros tiene un efecto significativo sobre las emisiones de CH₄ (Sass *et al.*, 1992; Yagi *et al.*, 1996; Wassmann *et al.*, 2000). Los ecosistemas arroceros se pueden clasificar, además, como inundados continua e intermitentemente (arroz irrigado), y con alimentación por lluvias regulares, con tendencia a la sequía, y aguas profundas (alimentados por lluvia), según las pautas de inundación producidas durante el período de cultivo. Asimismo, deben considerarse las pautas de inundación previas al período de cultivo (Yagi *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 2000; 2003a; Fitzgerald *et al.*, 2000).

Agregados orgánicos a los suelos: el material orgánico incorporado a los suelos arroceros incrementa las emisiones de CH₄ (Schütz *et al.*, 1989; Yagi y Minami, 1990; Sass *et al.*, 1991). El impacto de los agregados orgánicos sobre las emisiones de CH₄ depende del tipo y de la cantidad de material aplicado, lo que se puede describir mediante una curva de respuesta a la dosis (Denier van der Gon y Neue, 1995; Yan *et al.*, 2005). El material orgánico que se incorpora al suelo puede ser de orígenes endógeno (paja, estiércol verde, etc.) o exógeno (*compost*, estiércol de corral, etc.). En los cálculos de las emisiones se debe considerar el efecto de los abonos orgánicos.

Otras condiciones: es sabido que hay otros factores, como el tipo de suelo (Sass *et al.*, 1994; Wassmann *et al.*, 1998; Huang *et al.*, 2002), el cultivar del arroz (Watanabe y Kimura, 1998; Wassmann y Aulakh, 2000), el contenido de sulfatos de los abonos (Lindau *et al.*, 1993; Denier van der Gon y Neue, 2002), etc., que pueden tener una influencia significativa sobre las emisiones de CH₄. Se alienta a los organismos a cargo del inventario a realizar todos los esfuerzos posibles para considerar estas condiciones si se dispone de información específica del país respecto a la relación entre estas condiciones y las emisiones de CH₄.

Figura 5.2 **Árbol de decisiones para las emisiones de CH₄ resultantes de la producción de arroz**



Nota:

1 Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

ECUACIÓN 5.2
FACTOR AJUSTADO DE EMISIÓN DIARIA

$$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_p \cdot SF_o \cdot SF_{s,r}$$

Donde:

EF_i = factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada

EF_c = factor de emisión básico para tierras inundadas permanentemente sin abonos orgánicos

SF_w = factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante el período de cultivo (del Cuadro 5.12)

SF_p = factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante la temporada previa al cultivo (del Cuadro 5.13)

SF_o = el factor de ajuste deberá variar según el tipo y a cantidad de abono orgánico aplicado (de la Ecuación 5.3 y del Cuadro 5.14).

$SF_{s,r}$ = factor de ajuste para tipo de suelo, cultivar del arroz, etc., si está disponible

Nivel 2

En el nivel 2 se aplica el mismo enfoque metodológico que en el Nivel 1, pero deberán emplearse factores de emisión y/o de ajuste específicos del país. Estos factores específicos del país son necesarios para reflejar el impacto local de las condiciones (*i, j, k, etc.*) que inciden sobre las emisiones de CH₄, desarrollados preferiblemente mediante la recogida de datos de campo. En cuanto al método del Nivel 1, se aconseja aplicarlo con el mayor nivel de desagregación posible e incorporar la multitud de condiciones (*i, j, k, etc.*) que inciden sobre las emisiones de CH₄.

Nivel 3

El Nivel 3 incluye modelos y redes de monitorización hechas a medida para abordar las circunstancias nacionales del cultivo del arroz, que se repiten a través del tiempo, manejados con datos de la actividad de alta resolución y desagregados a nivel subnacional. Los modelos pueden ser empíricos o mecanicistas pero, en ambos casos, deben validarse por medio de observaciones independientes a partir de estudios específicos del país o la región que cubran toda la gama de características de cultivo del arroz (Cai *et al.*, 2003b; Li *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2004). Por lo tanto, es clave contar con la documentación apropiada referida a la validez y la exhaustividad de los datos, las hipótesis, las ecuaciones y los modelos. En las metodologías del Nivel 3 también se pueden tener en cuenta la variabilidad interanual provocada por daños de tifones, sequías, tensiones, etc. Es ideal que la evaluación se base en datos satelitales recientes.

5.5.2 Elección de los factores de emisión y de ajuste

Nivel 1

Como punto de partida, se emplea un factor de emisión básico para campos no inundados durante menos de 180 días previos al cultivo del arroz, permanentemente inundados durante el período de cultivo del arroz y sin abonos orgánicos (EF_c). El valor por defecto del IPCC para EF_c es de 1,3 kg CH₄ há⁻¹ día⁻¹ (con un rango de error de 0,8 a 2,2, Cuadro 5.11), estimado mediante el análisis estadístico de datos disponibles de mediciones de campo (Yan *et al.*, 2005, el conjunto de datos utilizado en el análisis está a disposición en un sitio Web⁵).

Los factores de ajuste se emplean para ajustar el EF_c para dar cuenta de las distintas condiciones que se analizaran en el Recuadro 5.2, lo que da como resultado factores de emisión ajustados diariamente (EF_i) para una subunidad en particular de superficie cosechada desagregada según la Ecuación 5.2. Los factores de ajuste más importante, a saber, régimen hídrico durante y antes del período de cultivo y abonos orgánicos, se representan en los Cuadros 5.12, 5.13 y 5.14, respectivamente, mediante valores por defecto. Sólo se deben usar factores de ajuste específicos del país si se basan en datos de mediciones bien investigados y documentados. Se alienta a considerar el tipo de suelo, el cultivar del arroz y otros factores de los que se disponga.

⁵ <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/>

CUADRO 5.11 FACTOR BÁSICO Y POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CH ₄ SUPONIENDO QUE NO HAY INUNDACIÓN DURANTE MENOS DE 180 DÍAS PREVIOS AL CULTIVO DEL ARROZ E INUNDACIÓN PERMANENTE DURANTE EL CULTIVO DEL ARROZ, SIN ABONOS ORGÁNICOS		
emisión de CH ₄ (kg CH ₄ há ⁻¹ d ⁻¹)	Factor de emisión	Rango de error
		130

Fuente: Yan et al., 2005

Régimen hídrico durante el período de cultivo (SF_w): en el Cuadro 5.12 se proveen factores de ajuste y rangos de error por defecto que reflejan a los diferentes regímenes hídricos. El caso agregado se refiere a una situación en la que los datos de la actividad sólo están disponibles para tipos de ecosistemas arroceros, pero no respecto a las pautas de inundación (véase el Recuadro 5.2). En el caso desagregado, las pautas de inundación se pueden distinguir en tres subcategorías como se indica en el Cuadro 5.12. Es una *buena práctica* recabar más datos de la actividad desagregados y aplicar el caso de SF_w desagregado siempre que resulte posible.

CUADRO 5.12 FACTORES DE AJUSTE POR DEFECTO DE LA EMISIÓN DE CH ₄ PARA REGÍMENES HÍDRICOS DURANTE EL PERÍODO DE CULTIVO RELATIVOS A CAMPOS PERMANENTEMENTE INUNDADOS					
Régimen hídrico		Caso agregado		Caso desagregado	
		Factor de ajuste (SF _w)	Rango de error	Factor de ajuste (SF _w)	Rango de error
Tierras altas ^a		0	-	0	-
Irigadas ^b	Inundadas permanentemente	0,78	0,62 – 0,98	1	0,79 – 1,26
	Inundados intermitentemente – aireación simple			0,60	0,46 – 0,80
	Inundados intermitentemente – aireación múltiple			0,52	0,41 – 0,66
Alimentadas a lluvia y aguas profundas ^c	Alimentación regular por lluvia	0,27	0,21 – 0,34	0,28	0,21 – 0,37
	Con tendencia a la sequía			0,25	0,18 – 0,36
	Aguas profundas			0,31	ND

ND: no determinado.

^a los campos no están nunca inundados durante un lapso considerable.

^b los campos están inundados durante un lapso considerable y el régimen hídrico está totalmente bajo control.

- Inundados permanentemente: los campos están cubiertos por aguas estancadas durante la temporada de crecimiento del arroz y sólo se pueden secar para la cosecha (drenaje de fin de temporada).
- Inundados intermitentemente: los campos tienen, como mínimo, un período de aireación de más de 3 días durante la temporada de cultivo.
- Aireación simple: los campos tienen una única aireación durante la temporada de cultivo en cualquiera de las etapas de crecimiento (excepto durante el drenaje de fin de temporada).
- Aireación múltiple: los campos tienen más de un período de aireación durante la temporada de cultivo (excepto para drenaje de fin de temporada).

^c los campos están inundados durante un lapso considerable y el régimen hídrico depende únicamente de las precipitaciones.

- Alimentación regular por lluvia: el nivel del agua se puede elevar hasta en 50 cm durante la temporada de cultivo.
- Con tendencia a la sequía: se producen períodos de sequía durante todas las temporadas de cultivo.
- Aguas profundas: el agua de inundación se eleva a más de 50 cm durante un período significativo en la temporada de cultivo.

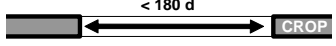

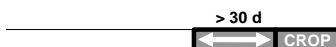
Nota: también, dentro de cada subcategoría, se pueden discriminar otras categorías del ecosistema arroceros, tales como pantanos y humedales internos, salinos o con marea.

Fuente: Yan *et al.*, 2005

Régimen hídrico previo al período de cultivo (SF_p): en el Cuadro 5.13 se presentan los factores de ajuste por defecto para el régimen hídrico, previos al período de cultivo, que pueden emplearse cuando no se dispone de datos específicos del país. En el cuadro se hace distinción entre tres regímenes hídricos diferentes previos al cultivo del arroz, a saber:

1. No inundado a < 180 días previos a la temporada, lo que a menudo ocurre cuando hay un doble cultivo de arroz;
2. No inundado > 180 días previos a la temporada; p. ej., cultivo único de arroz que sigue a un período de barbecho seco; y
3. Inundado en pre-temporada, en el que el intervalo mínimo de inundación se fija en 30 días; es decir que los períodos de inundación más cortos (lo que generalmente se hace para preparar el suelo para arar) no se incluyen en esta categoría.

Cuando no se dispone de datos de la actividad respecto al estado hídrico pre-temporada, se pueden utilizar factores agregados por caso. Es una *buena práctica* recabar más datos de la actividad desagregados y aplicar el caso de SF_p desagregado. Se pueden aplicar factores de ajuste para otros regímenes hídricos si se dispone de datos específicos del país.

CUADRO 5.13				
FACTORES DE AJUSTE POR DEFECTO DE LA EMISIÓN DE CH₄ PARA REGÍMENES HÍDRICOS PREVIOS AL PERÍODO DE CULTIVO				
Régimen hídrico previo al cultivo del arroz (presentación esquemática en la que los períodos de inundación se muestran sombreados)	Caso agregado		Caso desagregado	
	Factor de ajuste (SF_p)	Rango de error	Factor de ajuste (SF_p)	Rango de error
No inundado <180 d pre-temp. 	1,22	1,07 – 1,40	1	0,88 – 1,14
No inundado >180 d pre-temp. 			0,68	0,58 – 0,80
Inundado (>30 d)^{a,b} pre-temp. 			1,90	1,65 – 2,18
<p>^a Los períodos breves de inundación de menos de 30 días no se consideran en la selección del SF_p</p> <p>^b En cuanto al cálculo de la emisión pre-temporada, véase más adelante (sección sobre exhaustividad)</p> <p>Fuente: Yan <i>et al.</i>, 2005</p>				

Agregados orgánicos (SF_o): es una *buena práctica* desarrollar factores de ajuste que incorporen información sobre el tipo y la cantidad de abono orgánico aplicado (*compost*, estiércol de corral, estiércol verde y paja de arroz). A igual cantidad de masa, se emite más CH₄ de los abonos que contienen mayores cantidades de carbono de fácil descomposición y las emisiones aumentan también a medida que se aplican mayores cantidades de cada abono orgánico. En la Ecuación 5.3 y el Cuadro 5.4 se presenta un método para variar el factor de ajuste según la cantidad de distintos tipos de abonos aplicados. A menudo, la paja de arroz se incorpora al suelo después de la cosecha. En caso de un largo barbecho posterior a la incorporación de la paja de arroz, las emisiones de CH₄ de la siguiente temporada de cultivo de arroz van a ser menores que en el caso en el que se incorpore la paja de arroz inmediatamente antes del trasplante (Fitzgerald *et al.*, 2000). Por lo tanto, se ha hecho una distinción en cuanto al momento de aplicación de la paja de arroz. Se puede adoptar un rango de incertidumbre de 0,54-0,64 para el exponente 0,59 de la Ecuación 5.3.

ECUACIÓN 5.3

FACTORES DE AJUSTE DE EMISIÓN DE CH₄ ADAPTADO PARA AGREGADOS ORGÁNICOS

$$SF_o = \left(1 + \sum_i ROA_i \cdot CFOA_i \right)^{0.59}$$

Donde:

SF_o = factor de ajuste para tipo y cantidad de abono orgánico aplicado

ROA_i = tasa de aplicación de abono orgánico i , en peso seco para paja y en peso fresco para los demás, en ton há^{-1}

$CFOA_i$ = factor de conversión para abono orgánico i (en términos de su efecto relativo con respecto a la paja aplicada poco antes del cultivo), como se indica en el Cuadro 5.14.

CUADRO 5.14 FACTOR DE CONVERSIÓN POR DEFECTO PARA DIFERENTES TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS		
Abono orgánico	Factor de conversión (CFOA)	Rango de error
Paja incorporada poco (<30 días) antes del cultivo ^a	1	0,97 – 1,04
Paja incorporada mucho (>30 días) antes del cultivo ^a	0,29	0,20 – 0,40
Compost	0,05	0,01 – 0,08
Estiércol de corral	0,14	0,07 – 0,20
Estiércol verde	0,50	0,30 – 0,60
^a La aplicación de paja significa que ésta se incorpora al suelo; no incluye el caso en el que la paja se coloca simplemente sobre la superficie de la tierra, ni el de la paja que se quema sobre el terreno. Fuente: Yan <i>et al.</i> , 2005		

Tipo de suelo (SF_s) y cultivar del arroz (SF_r) en algunos países, se dispone de datos sobre emisión para distintos tipos de suelo y cultivar del arroz, y se los puede emplear para derivar SF_s y SF_r , respectivamente. Tanto los experimentos como el conocimiento mecanicista confirman la importancia de estos factores; sin embargo, las grandes variaciones existentes entre los datos de que se dispone no permiten definir, con razonable exactitud, los valores por defecto. Se prevé que, en un futuro cercano, se va a contar con modelos de simulación capaces de producir factores de ajuste específicos para SF_s y SF_r .

Nivel 2

Los organismos a cargo del inventario pueden emplear factores de emisión específicos del país a partir de mediciones de campo que cubran las condiciones del cultivo del arroz en sus respectivos países. Es una *buena práctica* compilar bases de datos específicas del país sobre la base de mediciones de campo disponibles que complementen la base de datos de Factores de emisión⁶ con otros programas de medición (p. ej., nacionales) aún no incluidos en esta base de datos. No obstante, hay ciertos requisitos estándar de GC/CC que se aplican a estas mediciones de campo (véase la Sección 5.5.5).

En el Nivel 2, los organismos a cargo del inventario pueden definir la gestión de línea de base según las condiciones que prevalezcan en sus respectivos países, y determinar los factores de emisión específicos del país para esa línea de base. Entonces, dichos organismos pueden también determinar factores de ajuste específicos del país para las prácticas de gestión ajenas a la línea de base. En caso de que no se disponga de factores de ajuste específicos del país, se pueden utilizar factores de ajuste por defecto. No obstante, puede requerir la repetición de algunos de los cálculos de los factores de ajuste proporcionados en los Cuadros 5.12 a 5.14 si las condiciones difieren de las de la línea de base.

Nivel 3

Los métodos de Nivel 3 no requieren la elección de factores de emisión; por el contrario, se basan en una comprensión minuciosa de los factores motivantes y los parámetros (véase arriba).

5.5.3 Elección de los datos de la actividad

Además de los datos de la actividad esenciales antes solicitados, es una *buena práctica* hacer coincidir los datos de los abonos orgánicos y tipos de suelos con el mismo nivel de desagregación que en los datos de la actividad. Puede resultar necesario completar el sondeo de las prácticas de cultivo a fin de obtener datos sobre el tipo y la cantidad de abonos orgánicos que se aplican.

Fundamentalmente, los datos de la actividad se basan en estadísticas de superficies cultivadas, lo que debería estar disponible en el organismo nacional de estadísticas, así como información complementaria sobre período

⁶ <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/>

de cultivo y prácticas agrícolas. Los datos de la actividad deben estar desglosados según diferencias regionales en las prácticas de cultivo del arroz o en el régimen hídrico (véase el Recuadro 5.2). Las estimaciones de superficies cosechadas que corresponden a las diferentes condiciones pueden obtenerse a nivel nacional mediante métodos aceptados de declaración. El uso de superficies verificadas localmente sería muy valioso cuando se las correlaciona con los datos disponibles sobre factores de emisión en diferentes condiciones, como el clima, las prácticas agrícolas y las propiedades del suelo. Si estos datos no están disponibles en el país, se los puede obtener de fuentes de datos internacionales: p. ej., el IRRI (1995) y las Estadísticas Mundiales del Arroz en el sitio Web del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI⁷, del inglés, *International Rice Research Institute*), que incluye las superficies de cosecha de arroz por tipo de ecosistema en los principales países arroceros, un calendario del cultivo del arroz para cada país y demás información de utilidad, y FAOSTAT en el sitio Web de la FAO⁸. El uso de superficies verificadas localmente sería muy valioso cuando se las correlaciona con los datos disponibles para los factores de emisión bajo diferentes condiciones, como el clima, las prácticas agrícolas y las propiedades del suelo. Puede resultar necesario consultar a expertos locales para realizar un sondeo de las prácticas agrícolas pertinentes en cuanto a las emisiones de metano (abonos orgánicos, gestión del agua, etc.).

Lo más probable es que los datos de la actividad sean más fiables en cuanto a la exactitud que los factores de emisión. Sin embargo, por diversas razones, las estadísticas de superficie pueden estar sesgadas y se aconseja que se realice una verificación de las estadísticas de superficies cosechadas del país (o de partes de éste) con datos de detección remota.

Además de los datos de la actividad esenciales que se solicitan precedentemente, es una *buena práctica*, en particular en los métodos de los niveles 2 y 3, hacer coincidir los datos de los abonos orgánicos y otras condiciones, p. ej., tipos de suelos, con el mismo nivel de desagregación que en los datos de la actividad.

5.5.4 Evaluación de incertidumbre

Los principios generales de la evaluación de incertidumbre para los inventarios nacionales de emisiones se aclaran en el Volumen 1, Capítulo 3. La incertidumbre de los factores de emisión y de ajuste se puede ver influenciada por la variabilidad natural, como la del clima y la que se produce dentro de unidades que se suponen homogéneas, como la variabilidad espacial en una unidad de campo o de suelo. Para esta categoría de fuente, una *buena práctica* debe permitir determinar las incertidumbres empleando métodos estadísticos estándar, cuando se cuente con suficientes datos experimentales. Hay pocos estudios para cuantificar parte de esta incertidumbre, pero están disponibles (p. ej., para variabilidad inducida por el tipo de suelo). Se supone que la variabilidad que se encuentra en tales estudios tiene validez en general. Para más detalles, véase Sass (2002).

Es posible que los datos de la actividad importantes y necesarios para asignar factores de ajuste (es decir, datos sobre prácticas culturales y abonos orgánicos) no estén disponibles en las actuales bases de datos o estadísticas. Por ende, las estimaciones de la fracción de productores arroceros que utiliza una práctica o un abono en particular se deben basar en el dictamen de expertos, y el rango de incertidumbre de la fracción estimada debe basarse también en el dictamen de expertos. Se debe estimar un valor por defecto para la incertidumbre de la fracción de $\pm 0,2$ (p. ej., la fracción de productores que usan abono orgánico se estima en 0,4, el rango de incertidumbre será 0,2 a 0,6). En el Capítulo 3 del Volumen 1 se brinda asesoramiento sobre cómo cuantificar incertidumbres en la práctica, incluyendo la combinación de dictámenes de expertos con datos empíricos en las estimaciones generales de incertidumbre.

En el caso de las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo del arroz, los rangos de incertidumbre de los valores de Nivel 1 (factores de emisión y de ajuste) se pueden adoptar directamente de los Cuadros 5.11 al 5.14. Los rangos se definen como la desviación estándar respecto a la media, indicando la incertidumbre asociada a un valor por defecto dado para esta categoría de fuente. El exponente de la Ecuación 5.3 se suministra con un rango de incertidumbre de 0,54 a 0,64. La evaluación de incertidumbre de los métodos de Niveles 2 y 3 depende de la base de datos y del modelo utilizados, respectivamente. Por lo tanto, constituye una *buena práctica* aplicar los principios generales de análisis estadístico delineados en el Capítulo 3 del Volumen 1, así como métodos modelo según lo explicado en la Sección 3.5 del Capítulo 3 del Volumen 4.

⁷ <http://www.irri.org/science/ricestat/>

⁸ <http://faostat.fao.org/>

5.5.5 Exhaustividad, series temporales, GC/CC y generación de informes

EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa de esta categoría de fuente requiere la estimación de emisiones de las siguientes actividades, cuando éstas estén presentes:

- Si la inmersión del suelo no se limita a la temporada de cultivo del arroz en sí, se deben incluir las emisiones que se produzcan fuera de esa temporada (p. ej., las de un período de barbecho inundado). Para más información, véanse Yagi *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 2000; y Cai *et al.* 2003a;
- Dentro de cada subcategoría, se pueden discriminar otras categorías del ecosistema arrocero, tales como pantanos, campos internos, salinos o con marea, según las mediciones locales de emisiones.
- Si se cosecha más de un cultivo de arroz por año, los cultivos deben declararse por separado, según la definición local (p. ej., temprano, tardío, de temporada húmeda, de temporada seca). Los cultivos de arroz se pueden clasificar en distintas categorías con un factor de emisión diferente integrado para cada temporada y con factores de corrección diferentes para otros modificadores, como los abonos orgánicos.

DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

En cuanto a otras fuentes y categorías, los métodos para estimar las emisiones de CH₄ producidas por campos arroceros se deben aplicar coherentemente para cada año de la serie temporal y con el mismo nivel de desagregación. Si no se dispone de datos sobre el nivel de actividad para los años anteriores, las emisiones de esos años deben recalcularse según la orientación que provista en el Capítulo 5 del Volumen 1. Si hubo cambios significativos en las prácticas agrícolas que afecten a las emisiones de CH₄ durante la serie temporal, el método de estimación debe aplicarse con un nivel de desagregación que sea suficiente para discernir los efectos de tales cambios. Por ejemplo, hay diversas tendencias en la agricultura arrocera (asiática), como la adopción de nuevas variedades de arroz, el aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos, la mejora en el manejo del agua, el cambio en el uso de abonos orgánicos y la siembra directa, pueden llevar a aumentos o reducciones de las emisiones en general. Para evaluar el impacto de estos cambios, quizá sea necesario utilizar estudios en modelos.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para producir las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en el Capítulo 8 del Volumen 1. Es una *buena práctica* documentar la estimación de la emisión, declarando la información requerida para llenar la hoja de trabajo sobre el arroz de las *Directrices*. Los organismos a cargo de los inventarios que no empleen las hojas de trabajo deben suministrar información comparable. Si la estimación de las emisiones está desagregada por regiones, debe declarar la información de cada región.

De estar disponible, se debe declarar la siguiente información adicional a fin de garantizar la transparencia:

- Prácticas de manejo del agua;
- Los tipos y las cantidades de abonos orgánicos utilizados. (La paja de arroz o los residuos del cultivo anterior (no arrocero) incorporados al suelo deben considerarse agregados orgánicos, aunque esto puede ser una práctica de producción normal y no estar destinado a incrementar los niveles de nutrientes, como es el caso de los agregados de estiércol);
- Los tipos de suelos utilizados para el cultivo del arroz;
- La cantidad de cultivos de arroz anuales; y
- Los cultivares de arroz más importantes.

Los organismos a cargo del inventario que utilizan factores de emisión específicos del país deben suministrar información respecto al origen y la base de cada factor, compararlos con otros factores de emisión publicados, explicar posibles diferencias significativas e intentar fijar límites a la incertidumbre.

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC) DEL INVENTARIO

Es una *buena práctica* realizar verificaciones de control de calidad, tal como se plantea en el Capítulo 6 del Volumen 1, y revisiones a cargo de expertos de las estimaciones de emisión. También pueden ser de aplicación verificaciones adicionales de control de calidad como las esbozadas en los procedimientos de Nivel 2 del Volumen 1, Capítulo 6, y procedimientos de garantía de calidad, particularmente si, para determinar las emisiones de esta fuente, se utilizan métodos de niveles superiores.

Sass (2002) ofrece un tratamiento detallado de GA/CC en inventarios para mediciones de campo. A continuación, se señalan y resumen algunos aspectos importantes:

Mediciones de emisiones estándar de metano: Los procedimientos de CC de inventario utilizados a nivel de campos arroceros serán, en gran parte, los determinados por los científicos locales. No obstante, hay ciertos procedimientos determinados internacionalmente para obtener «factores de emisión estándar» que deberían ser comunes a todos los programas de monitorización. Las instrucciones para obtener factores de emisión estándar se encuentran en IAEA (1992) e IGAC (1994). Es deseable que cada laboratorio de todos los países declarantes obtengan este factor de emisión estándar, para garantizar la intercomparabilidad y la intercalibración de los grandes conjuntos de datos que se emplean para fijar los factores de emisión específicos de cada país.

Compilación de las emisiones nacionales: antes de aceptar los datos sobre emisiones, el organismo a cargo del inventario debe llevar a cabo una evaluación de la calidad de los datos y de los procedimientos de muestreo. Este tipo de revisión requiere una colaboración estrecha con los laboratorios nacionales a fin de obtener suficiente información para verificar las emisiones declaradas. La evaluación debe incluir recálculos de las muestras, una evaluación de la fiabilidad de los datos agrícolas y climáticos, una identificación de potenciales sesgos en la metodología y recomendaciones para mejorar.

Actualmente, no es posible hacer una verificación cruzada de las estimaciones de emisiones de esta categoría de fuente a través de mediciones externas. Sin embargo, el organismo a cargo del inventario debe garantizar que las estimaciones de emisiones se someten a control de calidad:

- Haciendo referencia cruzada de los rendimientos de cultivos agregados y de las estadísticas de superficie de campo declaradas con los totales nacionales y otras fuentes de rendimiento de cultivos/datos de superficie.
- Volviendo a calcular los factores de emisión nacionales a partir de emisiones agregadas y de otros datos; y
- Efectuando una referencia cruzada entre los totales nacionales declarados y los valores y datos por defecto de otros países.

Anexo 5A.1 Estimación de los factores de cambio de existencias por defecto para emisiones/absorciones de C de suelos minerales en tierras de cultivo

Los factores de cambio de existencias por defecto se presentan en el Cuadro 5.5 y que se calcularon utilizando un conjunto de datos mundiales referidos a resultados experimentales de laboreo, ingreso, reservas y uso de la tierra. El factor de uso de la tierra representa la pérdida de carbono que se produce después de 20 años de cultivo continuo. Los factores de laboreo y de ingreso representan el efecto sobre las existencias de C una vez transcurridos 20 años a partir del cambio en la gestión. Los factores de reserva representan el efecto de la retirada temporaria de la producción de tierras de cultivo y de dedicarla a cubierta perenne durante un lapso que puede extenderse hasta los 20 años.

Los datos experimentales (citas provistas en el listado de referencias) se analizaron en modelos lineales de efecto mixto, contabilizando tanto los efectos fijos como los aleatorios. Entre los efectos fijos, se incluyen la profundidad, la cantidad de años transcurridos desde el cambio de gestión, y el tipo de cambio de gestión (p. ej., laboreo reducido versus ningún laboreo). En cuanto a la profundidad, los datos no se agregaron, pero se incluyeron existencias de C medidas para cada incremento de profundidad (p. ej., 0-5 cm, 5-10 cm, y 10-30 cm) como puntos individuales dentro del conjunto de datos. De manera similar, no se agregaron los datos de las series temporales, aunque esas mediciones se realizaron en las mismas parcelas. Consecuentemente, se emplearon efectos aleatorios para contabilizar las dependencias de los datos de las series temporales y entre los puntos de datos que representaban a diferentes profundidades del mismo estudio. Cuando era significativo, se empleó el efecto aleatorio a nivel país para evaluar una incertidumbre adicional relacionada con la aplicación de un valor global por defecto a un país específico (incluida en las incertidumbres por defecto). Se transformaron los datos mediante una transformación logarítmica natural si los supuestos del modelo no se cumplían en cuanto a normalidad y homogeneidad de la varianza (los valores vueltos a transformar se suministran en los cuadros). Los factores representan el efecto de la práctica de manejo a 20 años para la capa superior del suelo de 30 cm, con la excepción del factor de uso de la tierra, que representa la pérdida promedio de carbono a 20 años o un período más largo posteriores al cultivo. Los usuarios del método de Nivel 1 pueden aproximar el cambio anual aproximado en los depósitos de carbono dividiendo la estimación de inventario por 20. La varianza se calcula para cada uno de los valores de factores y se la puede aplicar con simples métodos de propagación de error o construir funciones de distribución probabilística con una densidad normal.

Referencias

- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

BIOMASA

- Albrecht, A. and Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **99**: 15-27.
- Hairiah, K. and Sitompul, S.M. (2000). Assessment and simulation of above-ground and below-ground carbon dynamics. Report to Asia Pacific Network (APN). Brawijaya University, Faculty of Agriculture, Malang, Indonesia..
- Lasco, R.D. and Suson, P.D. (1999). A *Leucaena Leucocephala* -based indigenous fallow system in central Philippines: the Naalad system. *Intl Tree Crops Journal* **10**: 161-174.

- Lasco, R.D., Lales, J.S., Arnuevo, M.T., Guillermo, I.Q., de Jesus, A.C., Medrano, R., Bajar, O.F. and Mendoza, C.V. (2002). Carbon dioxide (CO₂) storage and sequestration of land cover in the Leyte Geothermal Reservation. *Renewable Energy* **25**: 307-315.
- Lasco, R.D., Sales, R.F., Estrella, R., Saplaco, S.R., Castillo, A.S.A., Cruz, R.V.O. and Pulhin, F.B. (2001). Carbon stocks assessment of two agroforestry systems in the Makiling Forest Reserve, Philippines. *Philippine Agricultural Scientist* **84**: 401-407.
- Millennium Ecosystems Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: A Synthesis*. Island Press, Washington DC. 137pp.
- Moore III, B. (2002). Chapter 2 Challenges of a changing earth. In, *Challenges of a Changing Earth* (W. Steffen, J. Jaeger, D.J. Carson, and C. Bradshaw, eds). Berlin: Springer-Verlag. Pp. 7-17.
- Palm, C.A., Woomer, P.L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Mendes, A., Maukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W.J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompus, S.M. and van Noordwijk, M. (1999). Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the Humid Tropics. ACB Climate Change Working Group. Final Report Phase II, Nairobi, Kenya.
- Siregar, C.A. and Gintings, Ng. (2000). Research activities related to ground biomass measurement at Forestry Research Development Agency. Paper presented at the Workshop on LUCG and Greenhouse Gas Emissions Biophysical Data. Institut Pertanian Bogor. Indonesia, 16 December 2000.
- Tjitrosemito, S. and Mawardi, I. (2000). 'Terrestrial carbon stock in oil palm plantation', Paper presented at the Science Policy Workshop on Terrestrial Carbon Assessment for Possible Trading under CDM Projects, Bogor, Indonesia 28-29 February 2000.
- Tomich, T.P., van Noordwijk, M., Budidarsono, S., Gillison, A., Kusumanto, T., Murdiyarso, D., Stolle, T. and Fagi, A.M. (1998). Alternative to slash and burn in Indonesia. Summary Report and Synthesis of Phase II. ASB-Indonesia, Report No. 8, ICRAF, Bogor, Indonesia.
- Wasrin, U.R., Rohiani, A., Putera, A.E. and Hidayat, A. (2000). Assessment of above-ground C-stock using remote sensing and GIS technique. Final Report, Seameo Biotrop, Bogor, 28p.

SUELOS

- Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* **74**: 755-774.
- Augustin, J., Merbach, W., Schmidt, W. and Reining, E. (1996). Effect of changing temperature and water table on trace gas emission from minerotrophic mires. *Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik* **70**, 45-51.
- Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R. and Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation* **54**:382-389.
- Davidson, E.A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, **20**:161-164.
- Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil Use and Management*, **19**, 265-269.
- Freibauer, A. (2003). Biogenic Emissions of Greenhouse Gases from European Agriculture. *European Journal of Agronomy* **19**(2): 135-160.
- Freibauer, A. and Kaltschmitt, M. (eds). (2001). Biogenic greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. European Summary Report of the EU concerted action FAIR3-CT96-1877, Biogenic emissions of greenhouse gases caused by arable and animal agriculture, 220 p.
- Glenn, S.M., Hayes, A. and Moore, T.R. (1993). Methane and carbon dioxide fluxes from drained peatland soils, southern Quebec. *Global Biogeochemical Cycles* **7**:247-257
- Kasimir-Klemedtsson, A., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* **13**:245-250.
- Leifeld, J., Bassin, S. and Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture Ecosystems & Environment* **105**, 255-266.
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.P. and Laurila, T. (2004). Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research* **109**, D18116

- Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. and Silvola, J. (2001). CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology* **7**, 679-692.
- Maljanen, M., Komulainen, V.M., Hytonen, J., Martikainen, P. and Laine, J. (2004). Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* **36**, 1801-1808.
- Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* **142**:279-288.
- McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets*. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.
- Monte, L, Hakanson, L., Bergstrom, U., Brittain, J. and Heling, R. (1996). Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. *Ecological Modelling* **91**:139-152.
- Nusser, S.M. and Goebel, J.J. (1997). The National Resources Inventory: a long-term multi-resource monitoring programme. *Environmental and Ecological Statistics* **4**:181-204.
- Nykänen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* **22**, 351-357.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. *Global Change Biology* **9**:1521-1542.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* **72**:87-121.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2006). Bias and variance in model results associated with spatial scaling of measurements for parameterization in regional assessments. *Global Change Biology* **12**:516-523.
- Paustian, K, Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van, Noordwijk, M. and Woerner, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* **13**:230-244.
- Pierce, F. J., Fortin, M.-C. and Staton, M.J. (1994). Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal* **58**:1782-1787.
- Powers, J. S., Read, J. M., Denslow, J. S. and Guzman, S. M. (2004). Estimating soil carbon fluxes following land-cover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. *Global Change Biology* **10**:170-181.
- Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management* **27**:253-267.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, *Geoderma* **81**:1-225.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. and Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* **4**: 679-685.
- VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., *et al.* (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. *Global Change Biology* **10**:983-994.

ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE CAMBIO DE EXISTENCIAS POR DEFECTO PARA EMISIONES/ABSORCIONES DE C DE SUELOS MINERALES EN TIERRAS DE CULTIVO: ANEXO 5A.1

- Agbenin, J.O. and Goladi, J.T. (1997). Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **63**:17-24.
- Ahl, C., Joergensen, R.G., Kandeler, E., Meyer, B. and Woehler, V. (1998). Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central Germany. *Soil and Tillage Research* **49**:93-104.
- Alvarez, R., Russo, M.E., Prystupa, P., Scheiner, J.D. and Blotta, L. (1998). Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* **90**:138-143.

- Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Drury, C.F., Liang, B.C., Voroney, R.P., Simard, R.R., Donald, R.G., Beyaert, R.P. and Martel, J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research* **41**:191-201.
- Angers, D.A., Voroney, R.P. and Cote, D. (1995). Dynamics of soil organic matter and corn residues affected by tillage practices. *Soil Science Society of America Journal* **59**:1311-1315.
- Anken, T., Weiskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J. and Perhacova, K. (2004). Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil and Tillage Research* **78**:171-183.
- Baer, S.G., Rice, C.W. and Blair, J.M. (2000). Assessment of soil quality in fields with short and long term enrollment in the CRP. *Journal of Soil and Water Conservation* **55**:142-146.
- Balesdent, J., Mariotti, A. and Boisgontier, D. (1990). Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science* **41**:587-596.
- Barber, R.G., Orellana, M., Navarro, F., Diaz, O. and Soruco, M.A. (1996). Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research* **38**:133-152.
- Bauer, A. and Black, A.L. (1981). Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Science Society of America Journal* **45**:166-1170.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Martin-Neto, L. and Ernani, P.R. (2002). Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil* **238**:133-140.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L. and Fernández, S.V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* **54**:101-109.
- Beare, M.H., Hendrix, P.F. and Coleman, D.C. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* **58**: 777-786.
- Beyer, L. (1994). Effect of cultivation on physico-chemical, humus-chemical and biotic properties and fertility of two forest soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **48**:179-188.
- Black, A.L. and Tanaka, D.L. (1997). A conservation tillage-cropping systems study in the Northern Great Plains of the United States. Pages 335-342 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H. and Alberts, E.E. (2004). Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of America Journal* **68**:567-576.
- Bordovsky, D.G., Choudhary, M. and Gerard, C.J. (1999). Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas rolling plains. *Soil Science* **164**:331-340.
- Borin, M., Menini, C. and Sartori, L. (1997). Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil and Tillage Research* **40**:209-226.
- Borresen, T. and Njos, A. (1993). Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway. 1. Soil properties. *Soil and Tillage Research* **28**:97-108.
- Bowman, R.A. and Anderson, R.L. (2002). Conservation Reserve Program: Effects on soil organic carbon and preservation when converting back to cropland in northeastern Colorado. *Journal of Soil and Water Conservation* **57**:121-126.
- Bremer, E., Janzen, H.H. and Johnston, A.M. (1994). Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil. *Canadian Journal of Soil Science* **74**:131-138.
- Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Soil organic matter recovery in semiarid grasslands: implications for the Conservation Reserve Program. *Ecological Applications* **5**:793-801.
- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* **49**:105-116.
- Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1998). Carbon cycling in cultivated land and its global significance. *Global Change Biology* **4**:131-141
- Buyanovsky, G.A., Kucera, C.L. and Wagner, G.H. (1987). Comparative analysis of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. *Ecology* **68**:2023-2031.

- Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* **56**:777-783.
- Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the semi-arid northern Great Plains of Canada. Pages 317-334 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F. and Curtin, D. (1996). Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **76**:395-401.
- Campbell, C.A., Lafond, G.P., Moulin, A.P., Townley-Smith, L. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the sub-humid northern Great Plains of Canada. Pages 297-315 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Campbell, C.A., Bowren, K.E., Schnitzer, M., Zentner, R.P. and Townley-Smith, L. (1991). Effect of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* **71**: 377-387.
- Campbell, C.A., Zentner, R.P., Selles, F., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Blomert, B. and Jefferson, P.G. (2000). Quantifying short-term effects of crop rotations on soil organic carbon in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **80**:193-202.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Curtin, D. and Zentner, R.P. (1999). Soil quality - effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biology and Biochemistry* **31**:1-7.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Wen, G., Zentner, R.P., Schoenau, J. and Hahn, D. (1999). Seasonal trends in selected soil biochemical attributes: Effects of crop rotation in the semiarid prairie. *Canadian Journal of Soil Science* **79**:73-84.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P. and Lafond, G.P. (1991). Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* **71**: 363-376.
- Carter, M.R., Johnston, H.W. and Kimpinski, J. (1988). Direct drilling and soil loosening for spring cereals on a fine sandy loam in Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research* **12**:365-384.
- Carter, M.R., Sanderson, J.B., Ivany, J.A. and White, R.P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada, *Soil & Tillage Research*, **67**:85-98.
- Carter, M.R. (1991). Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam. 2. Soil physical, chemical and biological properties. *Soil and Tillage Research* **21**:37-52.
- Chan, K.Y., Roberts, W.P. and Heenan, D.P. (1992). Organic carbon and associated soil properties of a red Earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Australian Journal of Soil Research* **30**: 71-83.
- Chan, K.Y. and Mead, J.A. (1988). Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices. *Australian Journal of Soil Research* **26**:549-559.
- Chaney, B.K., Hodson, D.R. and Braim, M.A. (1985). The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil physical properties in a long-term experiment on spring barley. *J. Agric. Sci., Camb.* **104**:125-133.
- Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F., Linden, D.R. and Dowdy, R.H. (2000). Soil organic carbon and ¹³C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. *Soil and Tillage Research* **55**:127-142.
- Collins, H.P., Blevins, R.L., Bundy, L.G., Christenson, D.R., Dick, W.A., Huggins, D.R. and Paul, E.A. (1999). Soil carbon dynamics in corn-based agroecosystems: results from carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal* **63**:584-591.
- Corazza, E.J. *et al.* (1999). Behavior of different management systems as a source or sink of C-CO₂ in relation to cerrado type vegetation. *R.Bras Ci.Solo* **23**:425-432.
- Costantini, A., Cosentino, D. and Segat, A. (1996). Influence of tillage systems on biological properties of a Typic Argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. *Soil and Tillage Research* **38**:265-271.

- Dalal, R.C. (1989). Long-term effects of no-tillage, crop residue, and nitrogen application on properties of a Vertisol. *Soil Science Society of America Journal* **53**:1511-1515.
- Dalal, R.C. and Mayer, R.J. (1986). Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Australian Journal of Soil Research* **24**:265-279.
- Dalal R.C., Henderson P.A. and Glasby J.M. (1991). Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 yr of zero tillage. *Soil Biology and Biochemistry* **23**:435-441.
- Dick, W.A. and Durkalski, J.T. (1997). No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a Typic Fragiudalf soil of Northeastern Ohio. Pages 59-71 in Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press Inc. Boca Raton, FL.
- Dick, W.A., Edwards, W.M. and McCoy, E.L. (1997). Continuous application of no-tillage to Ohio soils: Changes in crop yields and organic matter-related soil properties. Pages 171-182 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Doran, J.W., Elliott, E.T. and Paustian, K. (1998). Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil and Tillage Research* **49**:3-18.
- Duiker, S.W. and Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research* **52**:73-81.
- Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. and Ruf, M.E. (1992). Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal* **56**:1577-1582.
- Eghball, B., Mielke, L.N., McCallister, D.L. and Doran, J.W. (1994). Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**: 201-205.
- Fabrizzi, K.P., Moron, A. and Garcia, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* **67**:1831-1841.
- Fitzsimmons, M.J., Pennock, D.J. and Thorpe, J. (2004). Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management* **188**: 349-361.
- Fleige, H. and Baeumer, K. (1974). Effect of zero-tillage on organic carbon and total nitrogen content, and their distribution in different N-fractions in loessial soils. *Agro-Ecosystems* **1**:19-29.
- Follett, R.F. and Peterson, G.A. (1988). Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal* **52**:141-147.
- Follett, R.F., Paul, E.A., Leavitt, S.W., Halvorson, A.D., Lyon, D. and Peterson, G.A. (1997). Carbon isotope ratios of Great Plains soils and in wheat-fallow systems. *Soil Science Society of America Journal* **61**:1068-1077.
- Follett, R.F., Pruessner, E.G., Samson-Liebig, S.E., Kimble, J.M. and Waltman, S.W. (2001). Carbon sequestration under the Conservation Reserve Program in the historic grassland soils of the United States of America. Pages 1-14 in Lal, R., and K. McSweeney, editors. *Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration*. SSSA Special Publication. Madison, WI.
- Franzluebbers, A.J. and Arshad, M.A. (1996). Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science* **76**:387-393.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995). Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Science Society of America* **59**:460-466.
- Franzluebbers, A.J., Langdale, G.W. and Schomberg, H.H. (1999). Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science Society of America Journal* **63**:349-355.
- Freitas, P.L., Blancaneaux, P., Gavinelly, E., Larre-Larrouy, M.-C. and Feller, C. (2000). Nivel e natureza do estoque organico de latossols sob diferentes sistemas de uso e manejo, Pesq.agropec.bras. *Brasilia* **35**: 157-170.
- Freixo, A.A., Machado, P., dos Santos, H.P., Silva, C.A. and Fadigas, F. (2002). Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* **64**:221-230.

- Frye, W.W. and Blevins, R.L. (1997). Soil organic matter under long-term no-tillage and conventional tillage corn production in Kentucky. Pages 227-234 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Garcia-Prechac, F., Ernst, O., Siri-Prieto, G. and Terra, J.A. (2004). Intergrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* **77**:1-13.
- Gebhart, D.L., Johnson, H.B., Mayeux, H.S. and Polley, H.W. (1994). The CRP increases soil organic carbon. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**:488-492.
- Ghuman, B.S. and Sur, H.S. (2001). Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil and Tillage Research* **58**:1-10.
- Girma, T. (1998). Effect of cultivation on physical and chemical properties of a Vertisol in Middle Awash Valley, Ethiopia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **29**:587-598.
- Graham, M.H., Haynes, R.J. and Meyer, J.H. (2002). Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry* **34**:93-102.
- Grandy, A.S., Porter, G.A. and Erich, M.S. (2002). Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* **66**:1311-1319.
- Gregorich, E.G., Ellert, B.H., Drury, C.F. and Liang, B.C. (1996). Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal* **60**:472-476.
- Grunzweig, J.M., Sparrow, S.D., Yakir, D. and Chapin III, F.S. (2004). Impact of agricultural land-use change on carbon storage in boreal Alaska. *Global Change Biology* **10**:452-472.
- Hadas, A., Agassi, M., Zhevelev, H., Kautsky, L., Levy, G.J., Fizik, E. and Gotessman, M. (2004). Mulching with composted municipal solid wastes in the Central Negev, Israel II. Effect on available nitrogen and phosphorus and on organic matter in soil. *Soil and Tillage Research* **78**:115-128.
- Halvorson, A.D., Wienhold, B.J. and Black, A.L. (2002). Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal* **66**:906-912.
- Halvorson, A.D., Reule, C.A. and Follett, R.F. (1999). Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. *Soil Science Society of America Journal* **63**:912-917.
- Halvorson, A.D., Vigil, M.F., Peterson, G.A. and Elliott, E.T. (1997). Long-term tillage and crop residue management study at Akron, Colorado. Pages 361-370 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hansmeyer, T.L., Linden, D.R., Allan, D.L. and Huggins, D.R. (1998). Determining carbon dynamics under no-till, ridge-till, chisel, and moldboard tillage systems within a corn and soybean cropping sequence. Pages 93-97 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Hao, X., Chang, C. and Lindwall, C.W. (2001). Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil. *Soil and Tillage Research* **62**:167-169.
- Harden, J.W., Sharpe, J.M., Parton, W.J., Ojima, D.S., Fries, T.L., Huntington, T.G. and Dabney, S.M. (1999). Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland. *Global Biogeochemical Cycles* **14**:885-901.
- Havlin, J.L. and Kissel, D.E. (1997). Management effects on soil organic carbon and nitrogen in the East-Central Great Plains of Kansas. Pages 381-386 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Hendrix, P.F. (1997). Long-term patterns of plant production and soil carbon dynamics in a Georgia piedmont agroecosystem. Pages 235-245 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hernanz, J.L., Lopez, R., Navarrete, L. and Sanchez-Giron, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research* **66**:129-141.

- Hulugalle, N.R. (2000). Carbon sequestration in irrigated vertisols under cotton-based farming systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **31**:645-654.
- Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M. and Karlen, D.L. (1999). Adaption of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil and Tillage Research* **50**:237-249.
- Ihori, T., Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Effects of cultivation and abandonment on soil organic matter in Northeastern Colorado. *Soil Science Society of America Journal* **59**:1112-1119.
- Jackson, L.E., Ramirez, I., Yokota, R., Fennimore, S.A., Koike, S.T., Henderson, D.M., Chaney, W.E., Calderon, F.J. and Klonsky, K. (2004). *Agriculture, Ecosystems and Environment* **103**:443-463.
- Janzen, H.H. (1987). Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Canadian Journal of Soil Science* **67**:845-856.
- Jastrow, J.D., Miller, R.M. and Lussenhop, J. (1998). Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry* **30**:905-916.
- Karlen, D.L., Kumar, A., Kanwar, R.S., Cambardella, C.A. and Colvin, T.S. (1998). Tillage system effects on 15-year carbon-based and simulated N budgets in a tile-drained Iowa field. *Soil and Tillage Research* **48**:155-165.
- Karlen, D.L., Rosek, M.J., Gardner, J.C., Allan, D.L., Alms, M.J., Bezdicek, D.F., Flock, M., Huggins, D.R., Miller, B.S. and Staben, M.L. (1999). Conservation Reserve Program effects on soil quality indicators. *Journal of Soil and Water Conservation* **54**:439-444.
- Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. (1994). Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research* **32**:313-327.
- Knowles, T.A. and Singh, B. (2003). Carbon storage in cotton soils of northern New South Wales. *Australian Journal of Soil Research* **41**:889-903.
- Kushwaha, C.P., Tripathi, S.K. and Singh, K.P. (2000). Variations in soil microbial biomass and N availability due to residue and tillage management in a dryland rice agroecosystem. *Soil and Tillage Research* **56**:153-166.
- Lal, R. (1998). Soil quality changes under continuous cropping for seventeen seasons of an alfisol in western Nigeria. *Land Degradation and Development* **9**:259-274.
- Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994). Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal* **58**:517-522.
- Larney, F.J., Bremer, E., Janzen, H.H., Johnston, A.M. and Lindwall, C.W. (1997). Changes in total, mineralizable and light fraction soil organic matter with cropping and tillage intensities in semiarid southern Alberta, Canada. *Soil and Tillage Research* **42**:229-240.
- Lilienfein, J., Wilcke, W., Vilela, L., do Carmo Lima, S., Thomas, R. and Zech, W. (2000). Effect of no-tillage and conventional tillage systems on the chemical composition of soil solid phase and soil solution of Brazilian savanna. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **163**: 411-419.
- Ludwig, B., John, B., Ellerbrock, R., Kaiser, M. and Flessa, H. (2003). Stabilization of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. *European Journal of Soil Science* **54**:117-126.
- McCarty, G.W., Lyssenko, N.N. and Starr, J.L. (1998). Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1564-1571.
- Mielke, L.N., Doran, J.W. and Richards, K.A. (1986). Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil and Tillage Research* **7**:355-366.
- Mikhailova, E.A., Bryant, R.B., Vassenev, I.I., Schwager, S.J. and Post, C.J. (2000). Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. *Soil Science Society of America Journal* **64**:738-745.
- Mrabet, R., Saber, N., El-brahli, A., Lahlou, S. and Bessam, F. (2001). Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil & Tillage Research* **57**: 225-235.
- Nyborg, M., Solberg, E.D., Malhi, S.S. and Izaurrealde, R.C. (1995). Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade. Pages 93-99 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Soil Management and Greenhouse effect*. CRC Press. Boca Raton, FL.

- Parfitt, R.L., Theng, B.K.G., Whitton, J.S. and Shepherd, T.G. (1997). Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma* **75**:1-12.
- Patwardhan, A.S., Chinnaswamy, R.V., Donigian Jr., A.S., Metherell, A.K., Blevins, R.L., Frye, W.W., and Paustian, K. (1995). Application of the Century soil organic matter model to a field site in Lexington, KY. Pages 385-394 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Soils and Global Change*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Paustian, K. and Elliott, E.T. Unpublished data. Field sampling of long-term experiments in U.S. and Canada for EPA carbon sequestration project.
- Pennock, D.J. and van Kessel, C. (1997). Effect of agriculture and of clear-cut forest harvest on landscape-scale soil organic carbon storage in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **77**:211-218.
- Pierce, F.J. and Fortin, M.-C. (1997). Long-term tillage and periodic plowing of a no-tilled soil in Michigan: Impacts, yield, and soil organic matter. Pages 141-149 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Potter, K.N., Torbert, H.A., Johnson, H.B. and Tischler, C.R. (1999). Carbon storage after long-term grass establishment on degraded soils. *Soil Science* **164**:718-723.
- Potter, K.N., Torbert, H.A., Jones, O.R., Matocha, J.E., Morrison Jr., J.E., and Unger, P.W. (1998). Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. *Soil and Tillage Research* **47**:309-321.
- Potter, K.N., Jones, O.R., Torbert, H.A. and Unger, P.W. (1997). Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern Great Plains. *Soil Science* **162**:140-147.
- Powelson, D.S. and Jenkinson, D.S. (1982). A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils, *J. Agric. Sci. Camb.* **97**:713-721.
- Rasmussen, P.E and Albrecht, S.L. (1998). Crop management effects on organic carbon in semi-arid Pacific Northwest soils. Pages 209-219 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Reeder, J.D., Schuman, G.E. and Bowman, R.A. (1998). Soil C and N changes on Conservation Reserve Program lands in the Central Great Plains. *Soil and Tillage Research* **47**:339-349.
- Rhoton, F.E., Bruce, R.R., Buehring, N.W., Elkins, G.B., Langdale, C.W. and Tyler, D.D. (1993). Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil and Tillage Research* **28**: 51-61.
- Robles, M.D. and Burke, I.C. (1997). Legume, grass, and conservation reserve program effects on soil organic matter recovery. *Ecological Applications* **7**:345-357.
- Ross, C.W. and Hughes, K.A. (1985). Maize/oats forage rotation under 3 cultivation systems, 1978-83 2. Soil properties. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **28**:209-219.
- Sa, J.C.M., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Filho, S.P.V., Piccolo, M.C. and Feigl, B.E. (2001). Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* **65**:1486-1499.
- Saffigna, P.G., Powelson, D.S., Brookes, P.C. and Thomas, G.A. (1989). Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biology and Biochemistry* **21**: 759-765.
- Saggar, S., Yeates, G.W. and Shepherd, T.G. (2001). Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil and Tillage Research* **58**:55-68.
- Sainju, U.M., Singh, B.P. and Whitehead, W.F. (2002). Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research* **63**:167-179.
- Salinas-Garcia, J.R., Hons, F.M. and Matocha, J.E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal* **61**:152-159.
- Schiffman, P.M., and Johnson, W.C. (1989). Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont. *Canadian Journal of Forest Research* **19**:69-78.

- Sherrod, L.A., Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Ahuja, L.R. (2006). Cropping intensification enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. *Soil Science Society of America Journal*. (in press).
- Sidhu, A.S. and Sur, H.S. (1993). Effect of incorporation of legume straw on soil properties and crop yield in a maize-wheat sequence. *Tropical Agriculture (Trinidad)* **70**:226-229.
- Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K. and Doran, J.W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1367-1377.
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T. and Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal* **64**:681-689
- Slobodian, N., van Rees, K., and Pennock, D. (2002). Cultivation-induced effects on below-ground biomass and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal* **66**:924-930.
- Solomon, D., Fritzsche, F., Lehmann, J., Tekalign, M. and Zech, W. (2002). Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian Highlands: evidence from natural ¹³C abundance and particle-size fractionation. *Soil Science Society of America Journal* **66**: 969-978.
- Sparling, G.P., Schipper, L.A., Hewitt, A.E. and Degens, B.P. (2000). Resistance to cropping pressure of two New Zealand soils with contrasting mineralogy. *Australian Journal of Soil Research* **38**:85-100.
- Stenberg, M., Stenberg, B. and Rydberg, T. (2000). Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Applied Soil Ecology* **14**:135-145.
- Tabeada, M.A., Micucci, F.G., Cosentino, D.J. and Lavado, R.S. (1998). Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil and Tillage Research* **49**:57-63.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Bettany, J.R. (1982). Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. *Agronomy Journal* **74**:831-835.
- Unger, P.W. (2001). Total carbon, aggregation, bulk density, and penetration resistance of cropland and nearby grassland soils. Pages 77-92 in: R. Lal (ed.). Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. SSSA Special Publication No. 57, Madison, WI.
- Vanotti, M.B., Bundy, L.G. and Peterson, A.E. (1997). Nitrogen fertilizer and legume-cereal rotation effects on soil productivity and organic matter dynamics in Wisconsin. Pages 105-119 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Varvel, G.E. (1994). Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. *Agronomy Journal* **86**:319-325.
- Voroney, R.P., van Veen, J.A. and Paul, E.A. (1981). Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Canadian Journal of Soil Science* **61**:211-224.
- Wander, M.M., Bidart, M.G. and Aref, S. (1998). Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1704-1711.
- Wanniarachchi, S.D., Voroney, R.P., Vyn, T.J., Beyaert, R.P. and MacKenzie, A.F. (1999). Tillage effects on the dynamics of total and corn-residue-derived soil organic matter in two southern Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science* **79**: 473-480.
- Westerhof, R., Vilela, L., Azarza, M. and Zech, W. (1998). Land-use effects on labile N extracted with permanganate and the nitrogen management index in the Cerrado region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils* **27**:353-357.
- Wu, T., Schoenau, J.J., Li, F., Qian, P., Malhi, S.S., Shi, Y. and Xu, F. (2004). Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research* **77**:59-68.
- Yang, X.M. and Kay, B.D. (2001). Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* **81**: 149-156.
- Yang, X.M. and Wander, M.M. (1999). Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil and Tillage Research* **52**:1-9.

Zelege, T.B., Grevers, M.C.J., Si, B.C., Mermut, A.R. and Beyene, S. (2004). Effect of residue incorporation on physical properties of the surface soil in the South Central Rift Valley of Ethiopia. *Soil and Tillage Research* **77**:35-46.

Zhang, H., Thompson, M.L. and Sandor, J.A. (1988). Compositional differences in organic matter among cultivated and uncultivated Argiudolls and Hapludalfs derived from loess. *Soil Science Society of America Journal* **52**:216-222.

CULTIVO DEL ARROZ

Cai, Z.C., Tsuruta, H. and Minami, K. (2000). Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. *Journal of Geophysical Research* **105**(D13): 17231-17242.

Cai, Z.C., Tsuruta, H., Gao, M., Xu, H. and Wei, C.F. (2003a). Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. *Global Change Biology* **9**: 37-45.

Cai, Z.C., Sawamoto, T., Li, C.S., Kang, G.D., Boonjawat, J., Mosier, A. and Wassmann, R. (2003b). Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, *Global Biogeochemical Cycles* **17**(4): 1107 doi:10.1029/2003GB002046,2003.

Cicerone, R.J. and Shetter, J.D. (1981). Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion. *Journal of Geophysical Research* **86**: 7203-7209.

Conrad, R. (1989). "Control of methane production in terrestrial ecosystems". In: Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, M.O. Andreae and D.S. Schimel(eds.), 39-58.

Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (1995). Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochemical Cycles* **9**: 11-22.

Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (2002). Impact of gypsum application on the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochemical Cycles* **8**: 127-134.

Fitzgerald, G.J., Scow, K.M. and Hill, J.E. (2000). Fallow season straw and water management effects on methane emissions in California rice. *Global Biogeochem. Cycles*, **14**: 767-775.

Huang, Y., Jiao, Y., Zong, L.G., Zheng, X.H., Sass, R.L. and Fisher, F.M. (2002). Quantitative dependence of methane emission on soil properties, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **64**(1-2): 157-167.

Huang, Y., Zhang, W., Zheng, X.H., Li, J. and Yu, Y.Q. (2004). Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* **109** (D8): Art. No. D08113 APR 29 2004.

IAEA (1992). Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture. IAEA-TECDOC-674, pp. 91.

IGAC (1994). Global measurements standards of methane emissions for irrigated rice cultivation. Sass, R.L. and H.-U. Neue (eds.) IGAC Core Project Office, Cambridge, Mass., USA, 10 pp.

IPCC (International Panel on Climate Change) (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2). Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (International Panel on Climate Change) (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge.

IRRI (1995). World rice statistics 1993-94, International Rice Research Institute, Los Banos, pp. 260.

Li, C.S., Mosier, A., Wassmann, R., Cai, Z.C., Zheng, X.H., Huang, Y., Tsuruta, H., Boonjawat, J. and Lantin, R. (2004). Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivity analysis and upscaling, *Global Biogeochemical Cycles* **18**, doi: 10.1029/2003GB00204, 2004.

Lindau, C.W., Bollich, P.K., de Laune, R.D., Mosier, A.R. and Bronson, K.F. (1993). Methane mitigation in flooded Louisiana rice fields. *Biology and Fertility of Soils* **15**: 174-178.

Minami, K. (1995). The effect of nitrogen fertilizer use and other practices on methane emission from flooded rice. *Fertilizer Research* **40**: 71-84.

Neue, H.U. and Sass, R. (1994). Trace gas emissions from rice fields. In: Prinn R.G. (ed.) Global Atmospheric-Biospheric Chemistry. Environmental Science Res. 48. Plenum Press, New York, pp. 119-148.

Nouchi, I., Mariko, S. and Aoki, K. (1990). Mechanism of methane transport from the rhizosphere to the atmosphere through rice plants. *Plant Physiology* **94**: 59-66.

- Sass, R. (2002). CH₄ emissions from rice agriculture. In 'Background Papers, IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-NGGIP, p. 399-417, available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Harcombe, P.A. and Turner, F.T. (1991). Mitigation of methane emission from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice straw. *Global Biogeochemical Cycles*, **5**: 275-287.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Wang, Y.B., Turner, F.T. and Jund, M.F. (1992). Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management. *Global Biogeochemical Cycles* **6**: 249-262
- Sass, R. I., Fisher, F. M., Lewis, S. T., Jund, M. F. and Turner, F. T. (1994). Methane emissions from rice fields: Effect of soil properties. *Global Biogeochemical Cycles* **2**, 135-140, 1994.
- Schütz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H. and Seiler, W. (1989). A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. *Journal of Geophysical Research* **94**: 16405-16416.
- Takai, Y. (1970). The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Science and Plant Nutrition* **16**: 238-244.
- Wassmann, R., and Aulakh, M.S. (2000). The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biology and Fertility of Soils* **31**: 20-29.
- Wassmann, R., Neue, H.U., Bueno, C., Lantin, R.S., Alberto, M.C.R., Buendia, L.V., Bronson, K., Papen, H. and Rennenberg, H. (1998). Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates. *Plant and Soil* **203**: 227-237.
- Wassmann, R, Buendia, L.V., Lantin, R.S., Makarim, K., Chareonsilp, N. and Rennenberg, H. (2000). Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. II. Differences among irrigated, rainfed, and deepwater rice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **58**: 107-119.
- Watanabe, A. and Kimura, M. (1998). Factors affecting variation in CH₄ emission from paddy soils grown with different rice cultivars: A pot experiment. *Journal of Geophysical Research* **103**: 18947-18952.
- Yagi, K. and Minami, K. (1990). Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition* **36**: 599-610.
- Yagi, K, Tsuruta, H., Kanda, K. and Minami, K. (1996). Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. *Global Biogeochemical Cycles* **10**: 255-267.
- Yagi, K., Minami, K. and Ogawa, Y. (1998). Effect of water percolation on methane emission from rice paddies: a lysimeter experiment. *Plant and Soil* **198**: 193-200.
- Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H. and Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology* **11**, 1131-1141, doi: 10/1111/j.1365-2486.2005.00976.x.