



Medición del carbono

Gerald Kapp
Fahmuddin Agus, Kurniatun Hairiah,
Sandra Verlarde y Meine van Noordwijk

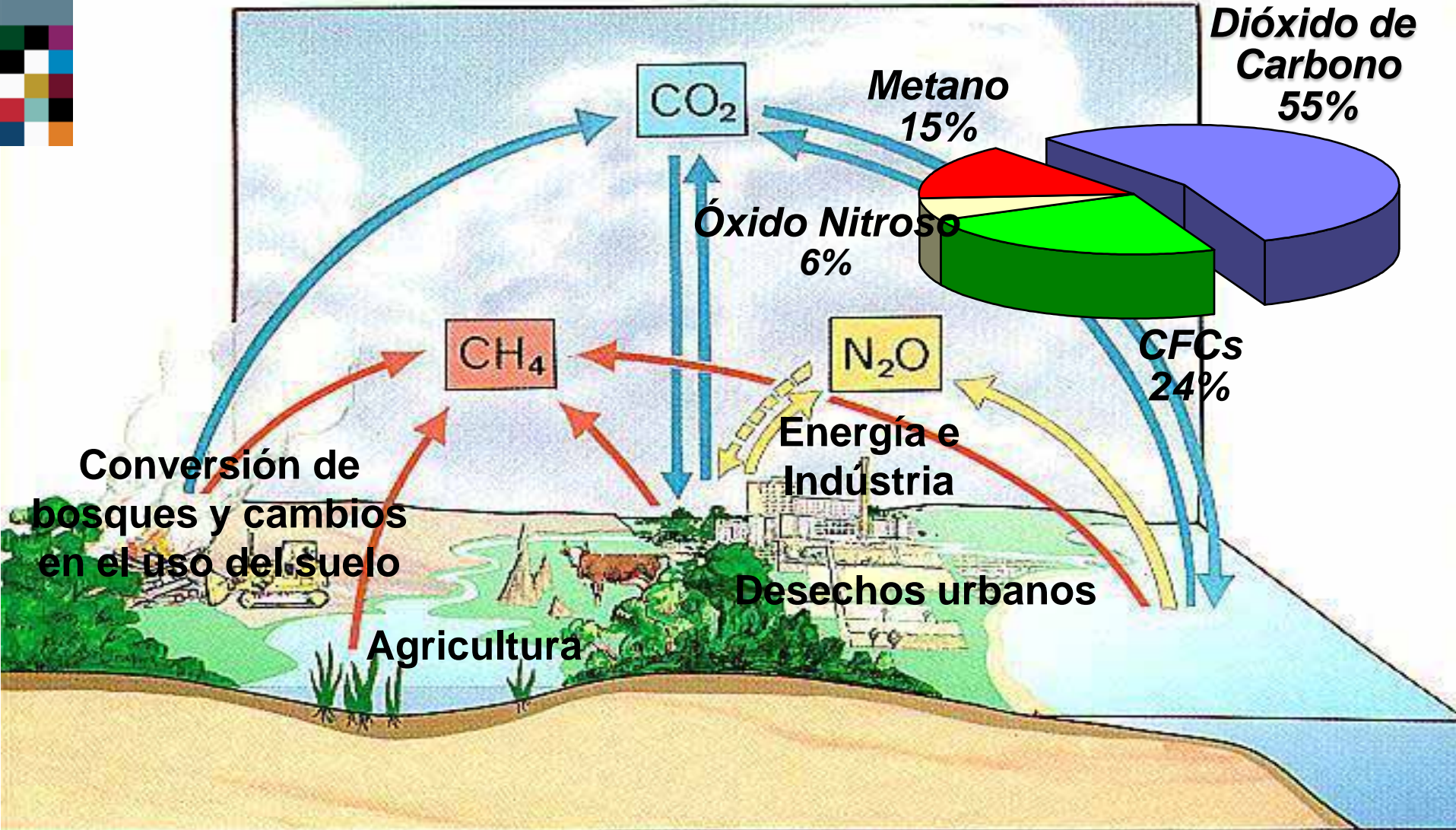
geraldkapp@worldbank.org

¿Por qué y como medir la reserva de C?

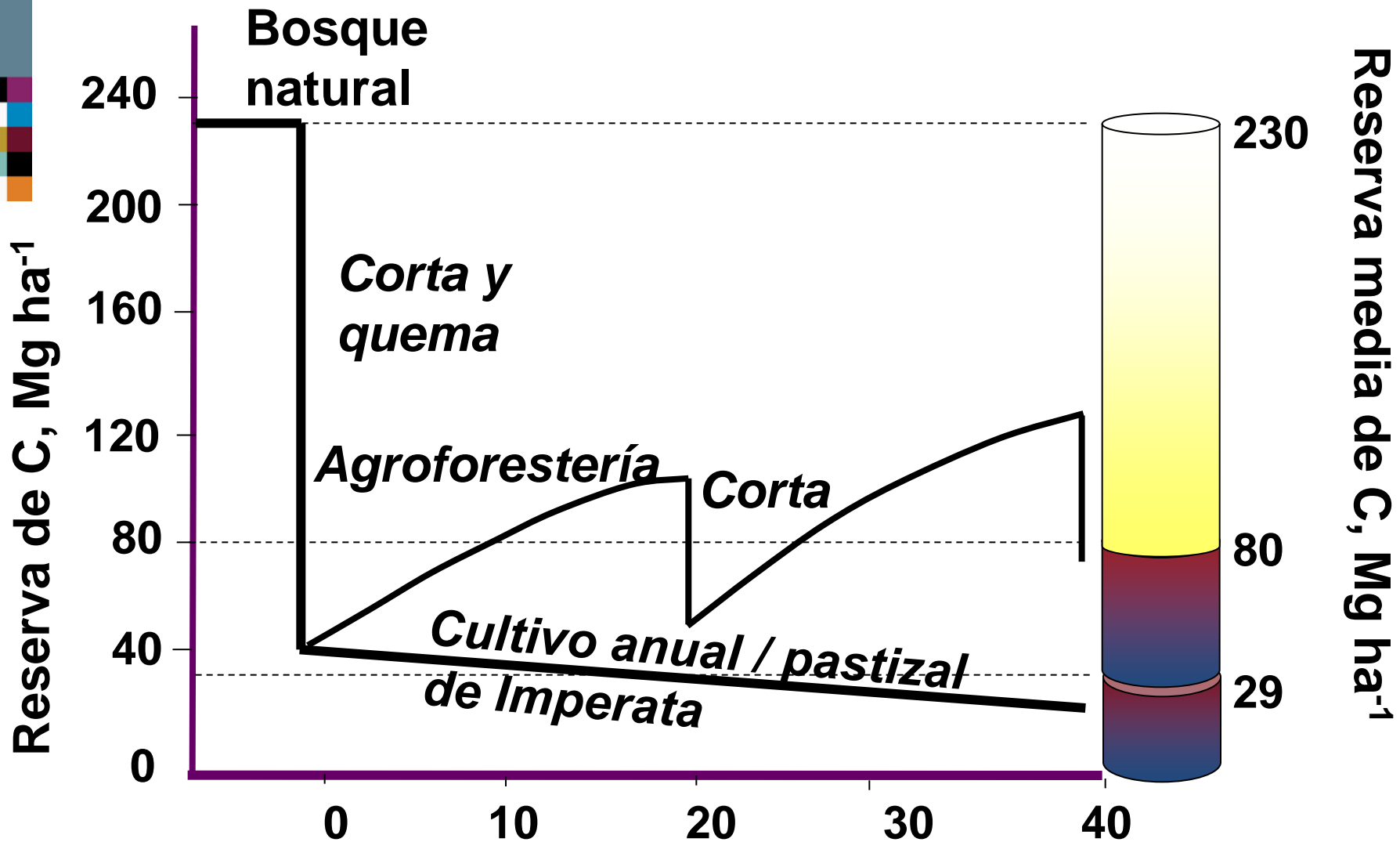


1. ¿Qué papel juega el carbono en el cambio climático?
2. ¿Como el uso del suelo afecta los reservorios de C?
3. ¿Qué relación tiene con los créditos de carbono?
4. ¿Cómo encaja esto en los costes de oportunidad de la REDD+?
5. ¿Que técnicas se pueden utilizar para medir el carbono?

1. Contribution of different Greenhouse Gases to Global Warming – the role of C

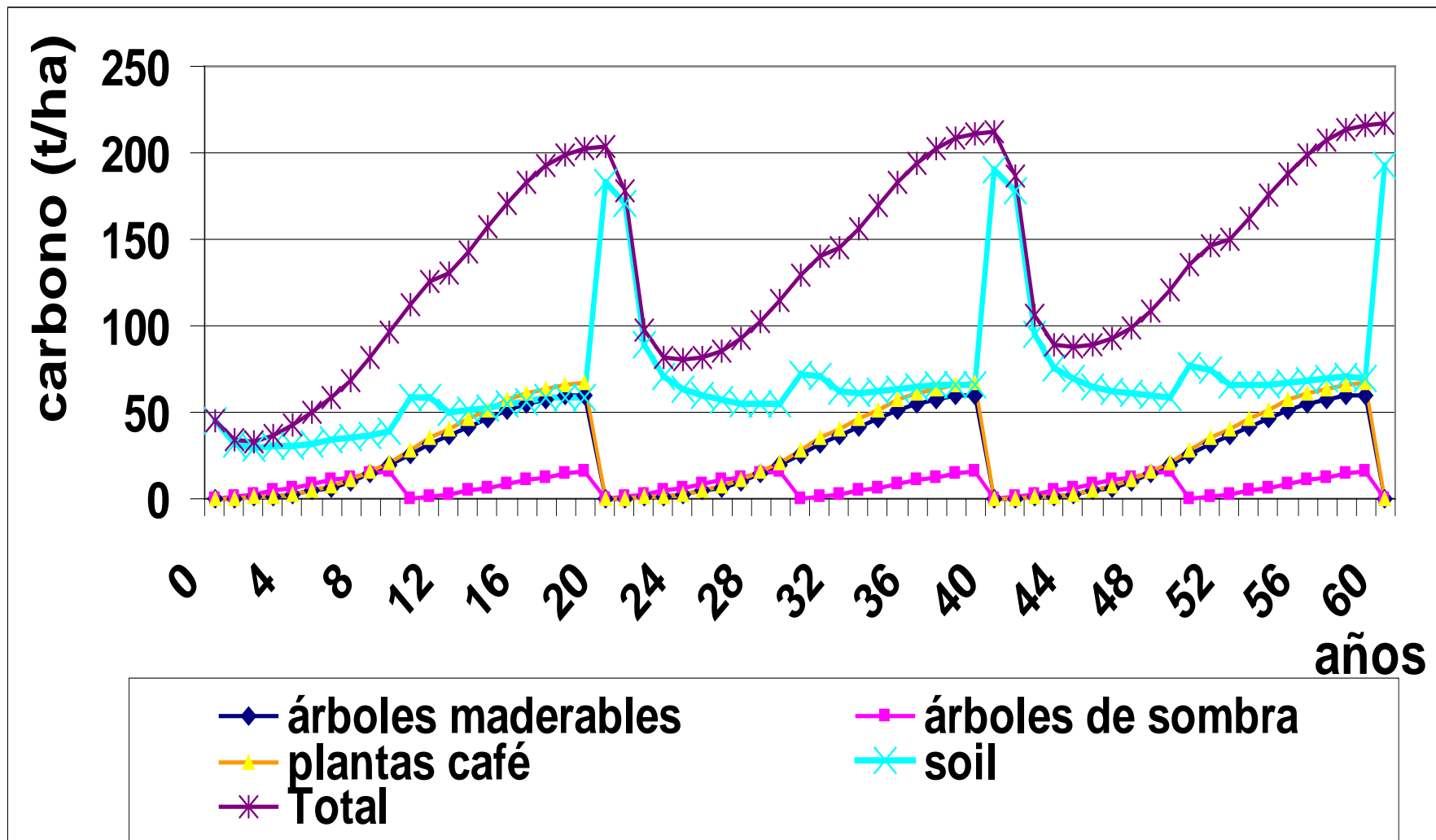


2. Como el uso del suelo afecta los reservorios de C



(IPCC, 2001, page 209)

Distribución del Carbono en un SUS



CO2Fix Model (2005)

3. ¿Qué relación tiene con los créditos de carbono?



Contabilidad del carbono = Cajero automático

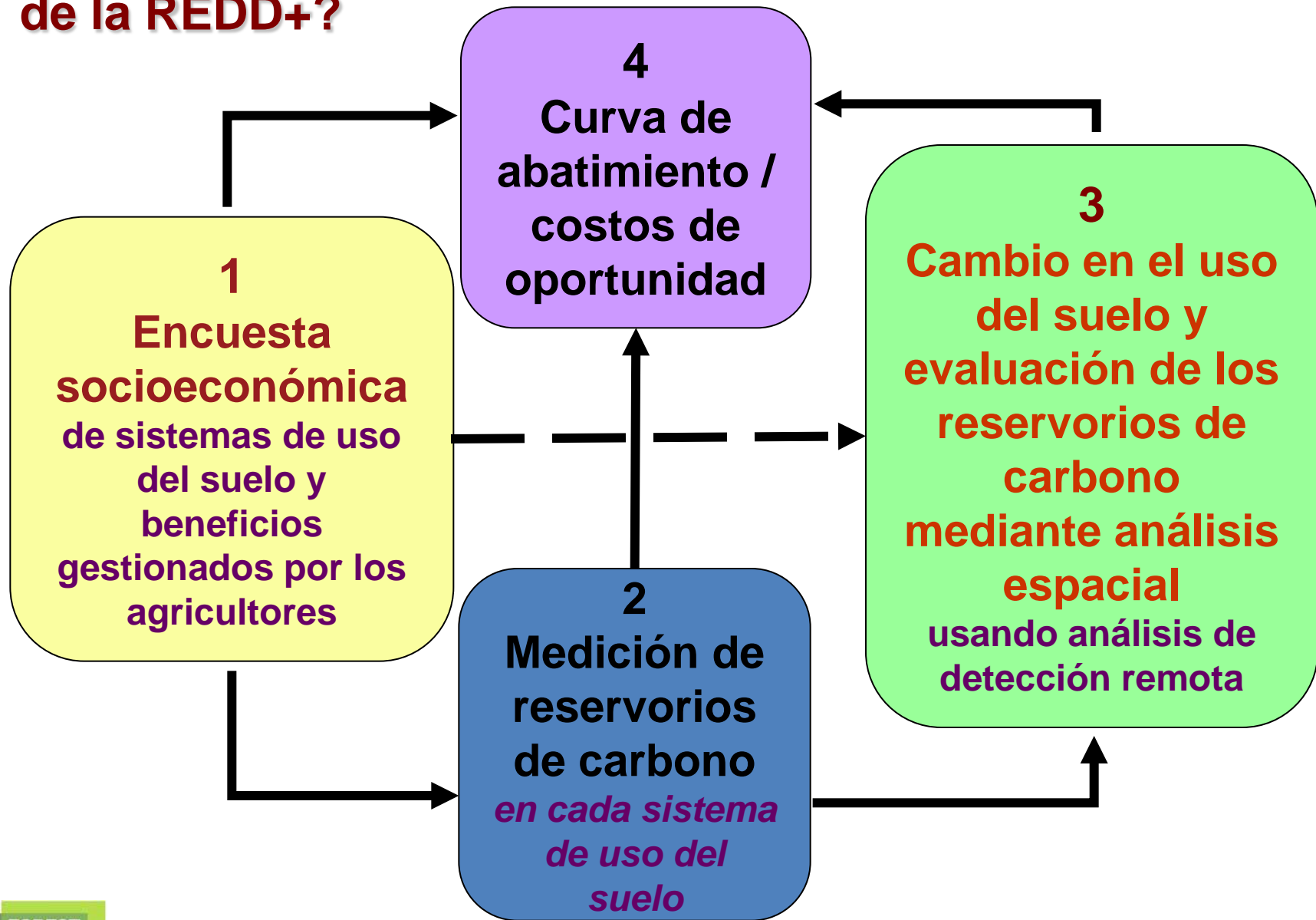


**Reserva de carbono
Menos
reservorio de carbono de
referencia**



\$

4. ¿Dónde encaja esto en los costos de oportunidad de la REDD+?



Como medir el carbono en los sistemas de uso del suelo



1. Elegir un sistema de clasificación para los usos del suelo
2. Medir las densidades de los reservorios de C de los sistemas de uso del suelo
3. Medir los cambios en la fracción de tierra
4. Integrar los datos a nivel de paisaje para un total de C

Prioridad y costos de la medición del carbono en diferentes tipos de usos del suelo y reservorios

| Reservorio de C | Método | Uso de la tierra | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|------------------|-----------|---------|-----------|---------------|-----------|
| | | Bosque | | Perenne | | Cultivo anual | |
| | | Costo | Prioridad | Costo | Prioridad | Costo | Prioridad |
| Biomasa árboles | DAP, ecuaciones alométricas | 2 | 4 | 2 | 4 | | |
| Biomasa sotobosque | Muestras destructivas | 4 | 2 | 4 | 1 | | |

Nota: los valores más altos (verde sombreado) indican una prioridad o un coste mayor. Ejemplo de Indonesia.

Prioridad y costos de la medición del carbono en diferentes tipos de usos del suelo y reservorios

| Reservorio de C | Método | Uso de la tierra | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|------------------|-----------|---------|-----------|---------------|-----------|
| | | Bosque | | Perenne | | Cultivo anual | |
| | | Costo | Prioridad | Costo | Prioridad | Costo | Prioridad |
| Biomasa árboles | DAP, ecuaciones alométricas | 2 | 4 | 2 | 4 | | |
| Biomasa sotobosque | Muestras destructivas | 4 | 2 | 4 | 1 | | |
| Cultivo | Documentación, datos secundar. | | | | | 2 | 3 |
| Biomasa muerta | No destructivo | 2 | 2 | 2 | 1 | | |
| Hojarasca | Destruccion | 3 | 2 | 2 | 1 | | |
| C tierra | Destruccion: densidad y C | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |

Nota: los valores más altos (verde sombreado) indican una prioridad o un coste mayor. Ejemplo de Indonesia.

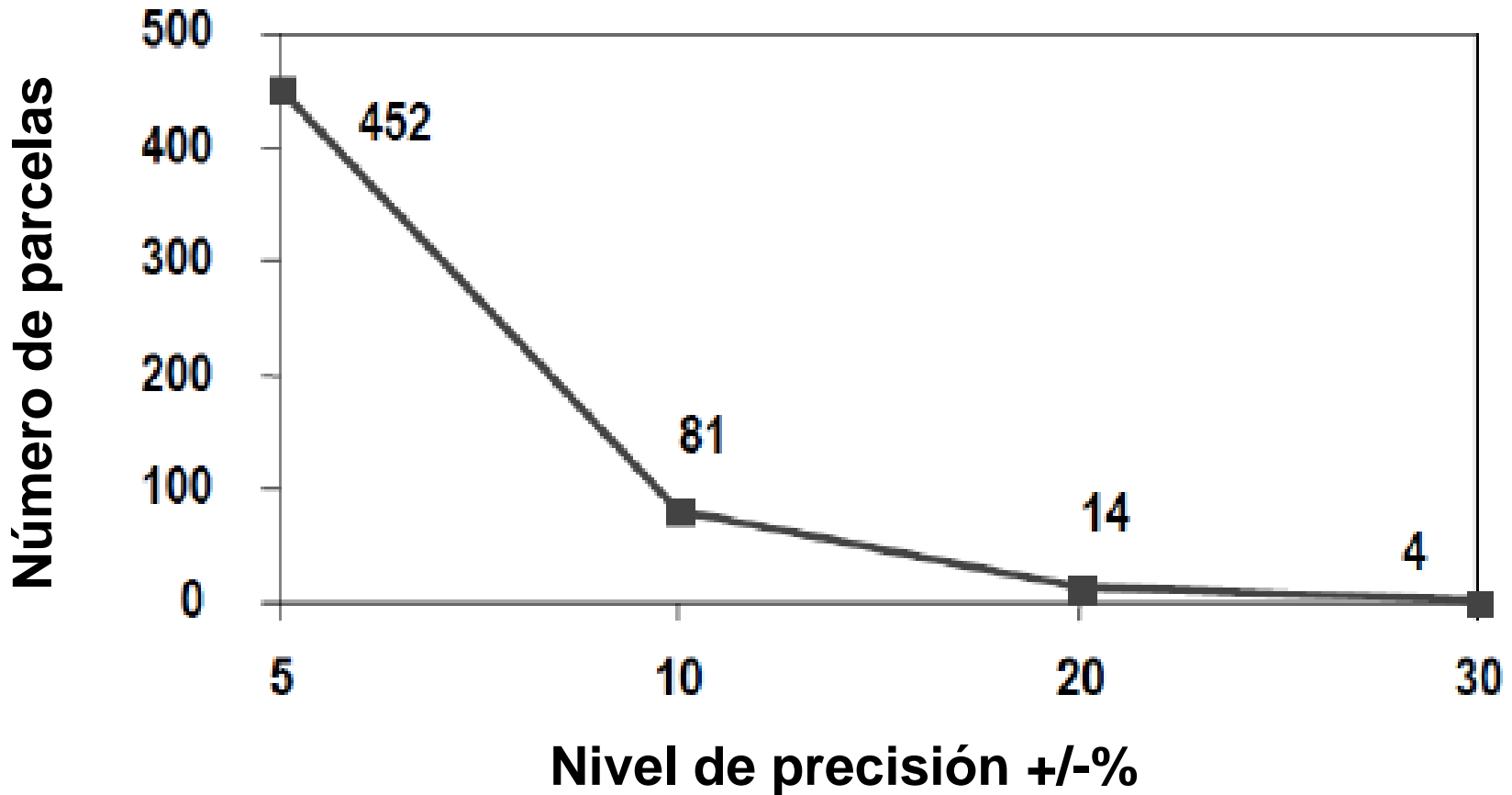
Requisitos que deben cumplir los datos según la Guía de buenas prácticas del IPCC

- **Representativos:** capaces de representar sistemas de uso del suelo / categorías de ocupación del suelo en sus proporciones
- **Coherentes a lo largo del tiempo:** capaces de representar sistemas de uso del suelo / categorías de ocupación coherentemente con el paso del tiempo
- **Completos:** se debe incluir toda la tierra de un país, con aumentos en algunas zonas equilibrados por descensos en otras
- **Transparentes:** las fuentes de datos, definiciones, metodologías y suposiciones deben ser claramente descritas

Elegir niveles de precisión

- ***Nivel 1: Datos de ámbito global***
 - imágenes de detección remota
 - ecuaciones y parámetros globales / regionales
- ***Nivel 2: Datos de ámbito nacional***
 - datos de inventarios forestales, centrados en volúmenes de madera de especies interesantes para el comercio, aunque se podrían incluir todos los árboles
 - datos ecológicos que se pueden convertir en estimaciones de la biomasa total
- ***Nivel 3: Datos de parcelas / cuencas hidrográficas***
 - modelos bioeconómicos de producción de biomasa según diferentes regímenes de gestión, calibrados con datos de la biomasa a nivel de parcela (normalmente disponibles para los principales cultivos y algunos especies maderables)
 - datos ecológicos de parcelas forestales de larga duración

Implicaciones de la relación costo-beneficio de un nivel de precisión más alto



*Fuente: IPCC 2003, capítulo 4-3

Determinar el número de parcelas

1. Identificar el nivel de precisión deseado, p. ej. $\pm 10\%$ del valor medio (0,1)
2. Identificar la zona donde se van a recopilar los datos preliminares para cada estrato, entre 6 y 10 parcelas, con el tamaño de la parcela determinado adecuadamente
3. Estimar la reserva media de carbono y la desviación estándar con respecto a los datos preliminares
4. Calcular el número necesario de parcelas

Referencia: Pearson, Walker, Brown 2005:
Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and
Forestry Projects. BioCF, Winrock International

Elementos de la ecuación

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Media

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Varianza

$$s = \sqrt{s^2}$$

Desviación estándar

**t : estadística de muestra extraída de la distribución t de la probabilidad para un nivel de confianza elegido, p. ej. 95%
Inicialmente, para un tamaño de muestra desconocido: t = 2**

Ejemplo: determinar el número de parcelas

Para un proyecto de 1 solo estrato

$$n = \frac{(N \times s)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N \times s^2}$$

Proyecto de 1 solo estrato

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Área | = 5,000 ha |
| Tamaño de la parcela | = 0.08 ha |
| Reserva media | = 101.6 t C/ha |
| Desviación estándar | = 27.1 t C/ha |
| N (no. de posibles unid. de muestra) | = 5,000/0.08 = 62,500 |
| Precisión deseada | = 10 % |
| E (error permisible) | = 101.6 x 0.1 = 10.16 |

$$n = \frac{(62,500 \times 27.1)^2}{\frac{62,500^2 \times 10.16^2}{2^2} + 62,500 \times 27.1^2}$$

= 29 P parcelas

Referencia: Pearson, Walker, Brown 2005: Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. BioCF, Winrock International

Contabilidad de los cambios en los reservios de C en los distintos sectores de uso del suelo

$$\Delta C = \sum_{ij} A_{ij} [\Delta C_{ij \text{ BV}} + \Delta C_{ij \text{ MOM}} + \Delta C_{ij \text{ SUELO}}] / T_{ij}$$

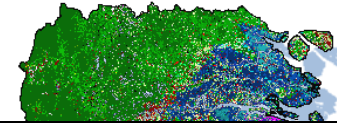
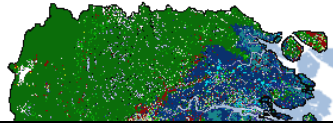
↔
↔
↔
↔

















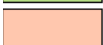







CUS
Biomasa
Necromasa
Suelo

- ΔC Cambio anual en reservas de C en el paisaje, t C año⁻¹
- $\sum_{ij} A_{ij}$ Suma de áreas de tipo de uso del suelo *i* que cambia a *j*, ha
- $\Delta C_{ij \text{ LB}}$ Cambio en los reservorios de C en biomasa viva derivados de cambios del tipo de uso del suelo *i* al *j*, t C ha⁻¹
- $\Delta C_{ij \text{ DOM}}$ Cambio en los reservorios de C en materia orgánica muerta, derivados de cambios del tipo de uso de la tierra *i* al *j*, t C ha⁻¹
- $\Delta C_{ij \text{ SOILS}}$ Cambio en las reservas de C en suelos derivados de cambios del tipo de uso de la tierra *i* al *j*, t C ha⁻¹
- T_{ij} Período de la transición del tipo de uso del suelo *i* al tipo *j*, año⁻¹

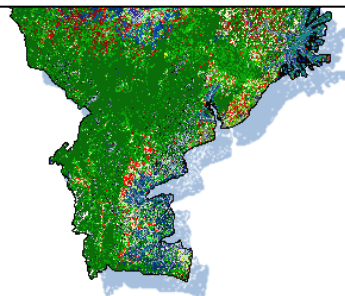
Contabilidad de los cambios en las reservas de C en los distintos sectores de uso de la tierra

$$\Delta C = \sum_{ij} A_{ij} [\Delta C_{ij \text{ BV}} + \Delta C_{ij \text{ MOM}} + \Delta C_{ij \text{ SUELO}}] / T_{ij}$$

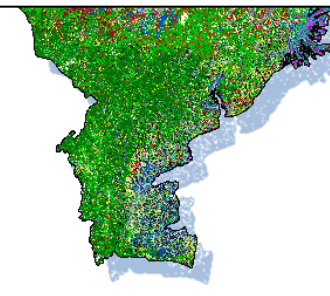


- | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---|---------------------|---|-------------------|
|  | Bosque intacto |  | Caucho agroforestal |  | Turbera abierta |
|  | Bosque de alta densidad intervenido |  | Canela agroforestal |  | Hierba |
|  | Bosque de baja densidad intervenido |  | Jardín particular |  | Terreno limpio |
|  | Bosque de pantano intacto |  | Caucho |  | Asentamiento |
|  | Bosque de pantano intervenido |  | Palma de aceite |  | Estanque de peces |
|  | Manglar intacto |  | Coco |  | Masa de agua |
|  | Explotación sobre manglar |  | Café agroforestal |  | Sin datos |
|  | Rebrote natural de matorral |  | Agricultura | | |
| | |  | Campo de arroz | | |

1990



2000



Kalimantan
Oriental

Contabilidad de los cambios en los reservorios de C en los distintos sectores de uso de la tierra

$$\Delta C = \sum_{ij} A_{ij} [\Delta C_{ij}^{BV} + \Delta C_{ij}^{MOM} + \Delta C_{ij}^{SUELO}] / T_{ij}$$

↑
↑
↑

Creación de modelos

Medición a nivel de parcela



Medición de la reserva de C de

**Bio-
masa**

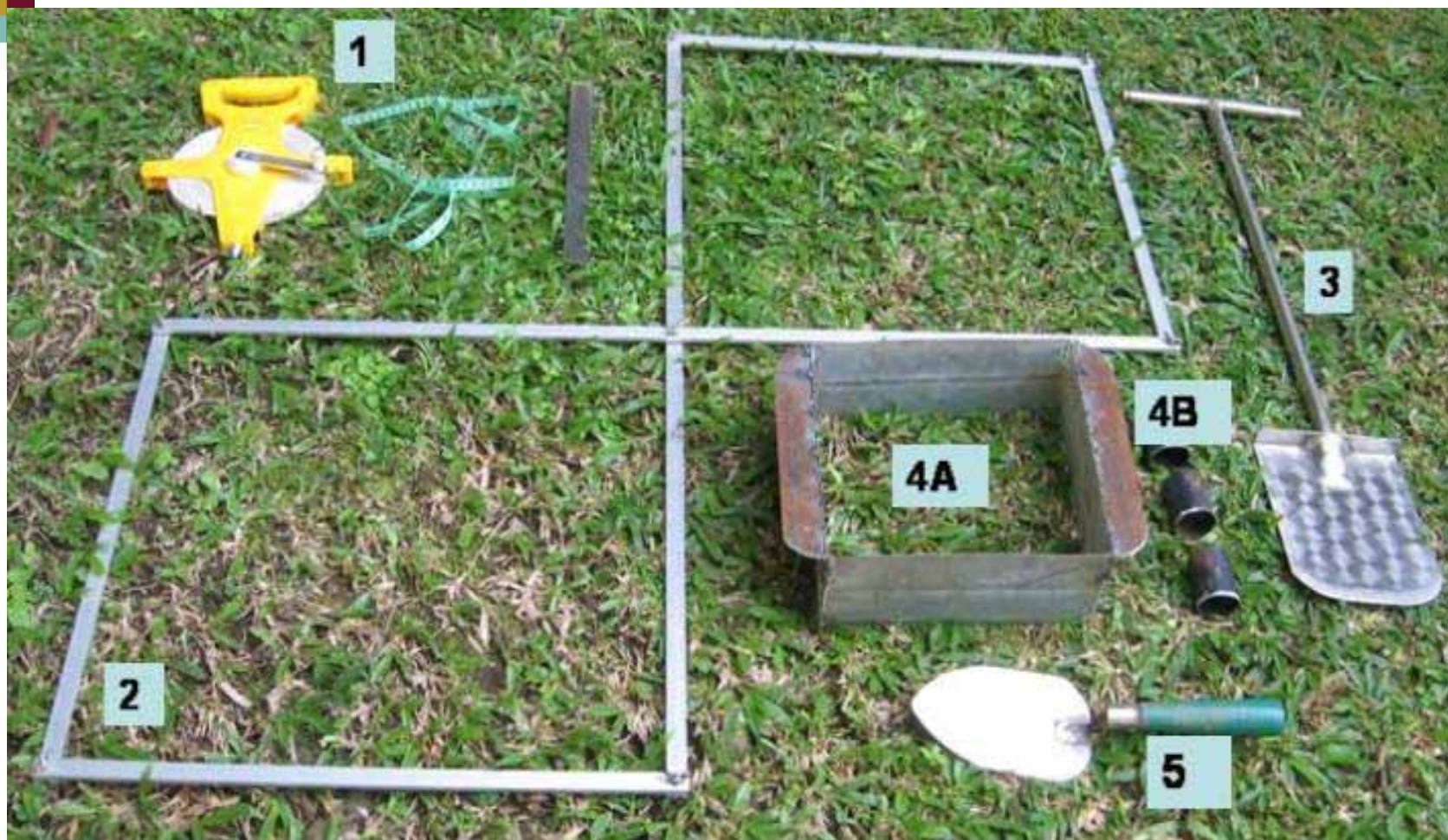


**Necro-
masa**



Suelo

Equipo necesario

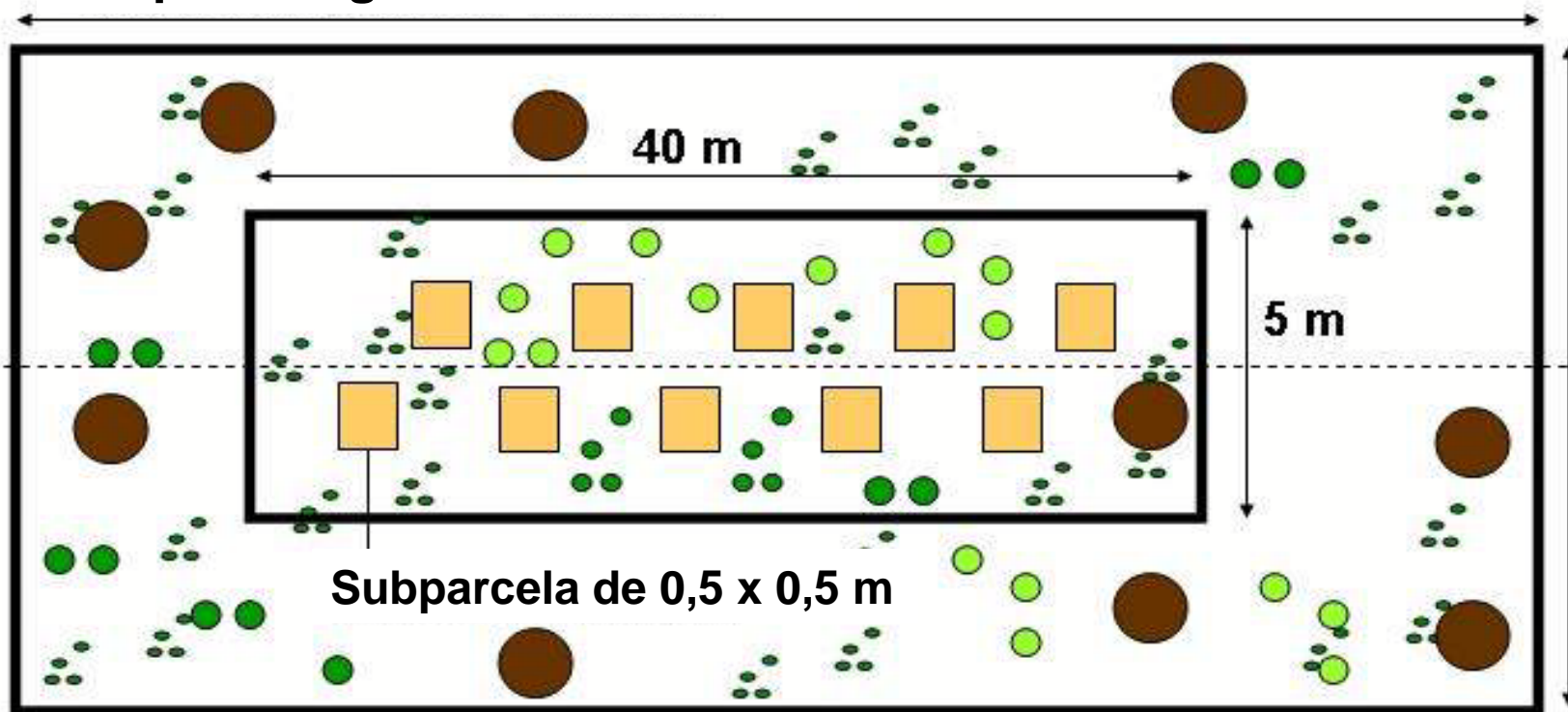




Para evaluar el rendimiento de los sistemas de uso del suelo existentes como sumideros de C y/o para preservar los depósitos de C: preparación de la toma de muestras de la parcela

Diseño de parcelas anidadas para la toma de muestras

Subparcela grande 100 x 20 m



- Árboles DAP >30 cm (circunferencia 95 cm) dentro de la subparcela grande
- Árboles DAP en un margen de 5-30 cm dentro de la subparcela de 5 x 40 m
- Árboles DAP <5 cm circunf. <15 cm) dentro de la subparcela de 0,5 x 0,5 m
- Parcela de la muestra de la capa del sotobosque y la hojarasca

Parámetros importantes para la biomasa de árboles sobre la superficie

1. Diámetro del tronco de los árboles
2. Gravedad específica de la madera
3. Altura total
4. Tipo de bosque (seco, húmedo o pluvial)

Muy importante

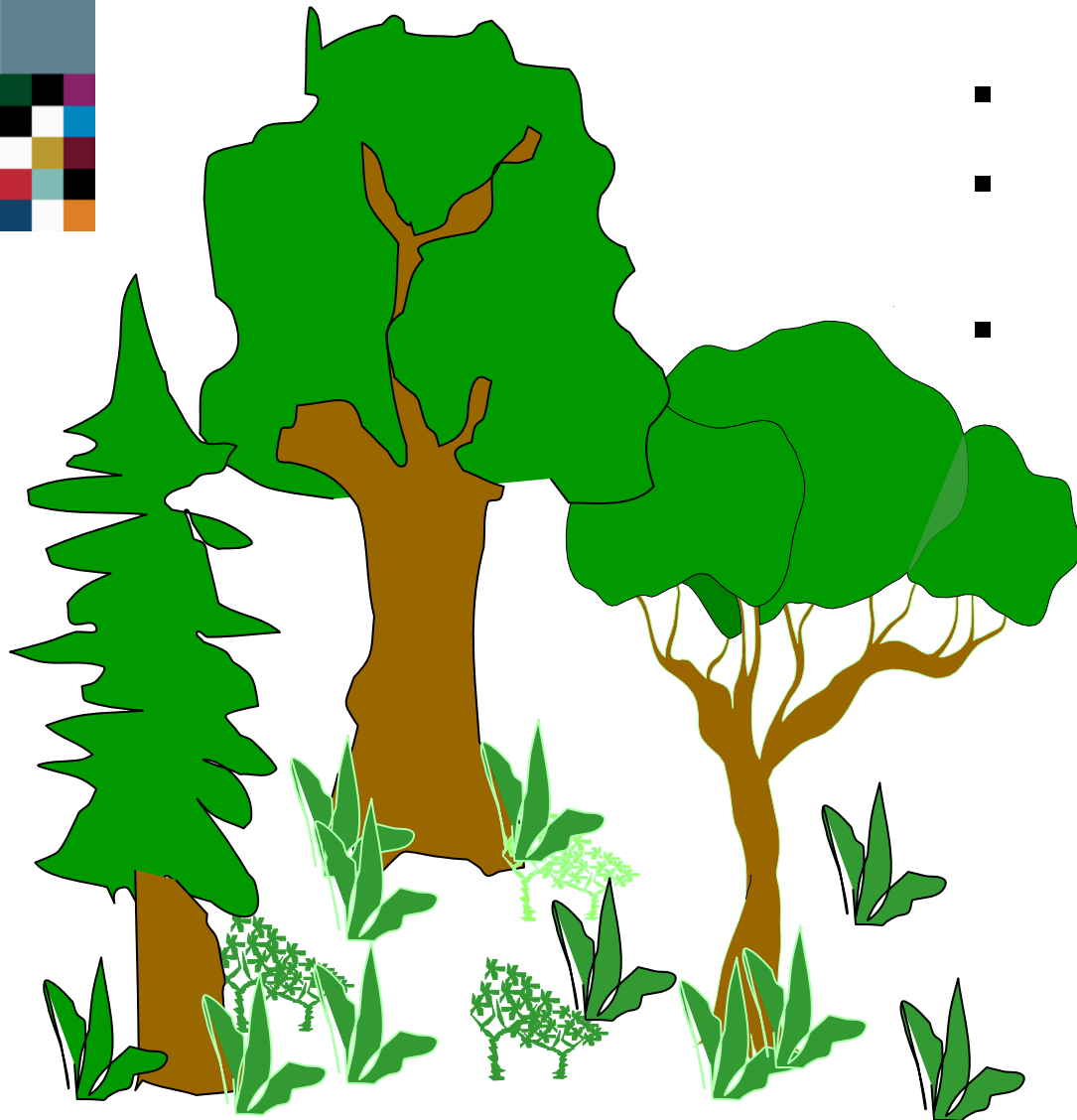


Menos importante

Biomasa sobre la superficie del suelo
= $\rho \times D^2 \times H$ kg/árbol

Chave *et al.* (2005)

Estimación de la biomasa de los árboles



- Patrón de ramificación
- Diámetro a la altura del pecho (dap a 1,3 m)
- Densidad de la madera
 - Ligera ($< 0,6 \text{ Mg m}^{-3}$)
 - Media ($0,6 - 0,75 \text{ Mg m}^{-3}$),
 - Pesada ($0,75 - 0,9 \text{ Mg m}^{-3}$)
 - Muy pesada ($> 0,9 \text{ Mg m}^{-3}$)
(Anónimo, 1981)

(Chave et al., 2005)

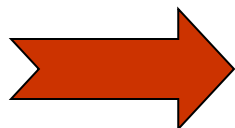
<http://www.icraf.cgiar.org>

Relación del tamaño de los árboles con las reservas de carbono

| Diámetro del fuste DAP (cm) | Materia seca de biomasa por árbol (Mg) | Número de árboles por hectárea | Carbono por hectárea (Mg/ha) | Carbono (%) |
|-----------------------------|--|--------------------------------|------------------------------|-------------|
| 10 | 0,13 | 900 | 53 | 19 |
| 30 | 2,25 | 70 | 71 | 24 |
| 50 | 8,50 | 20 | 76 | 26 |
| 70 | 20,00 | 10 | 90 | 31 |
| Total | - | 1000 | 290 | 100 |

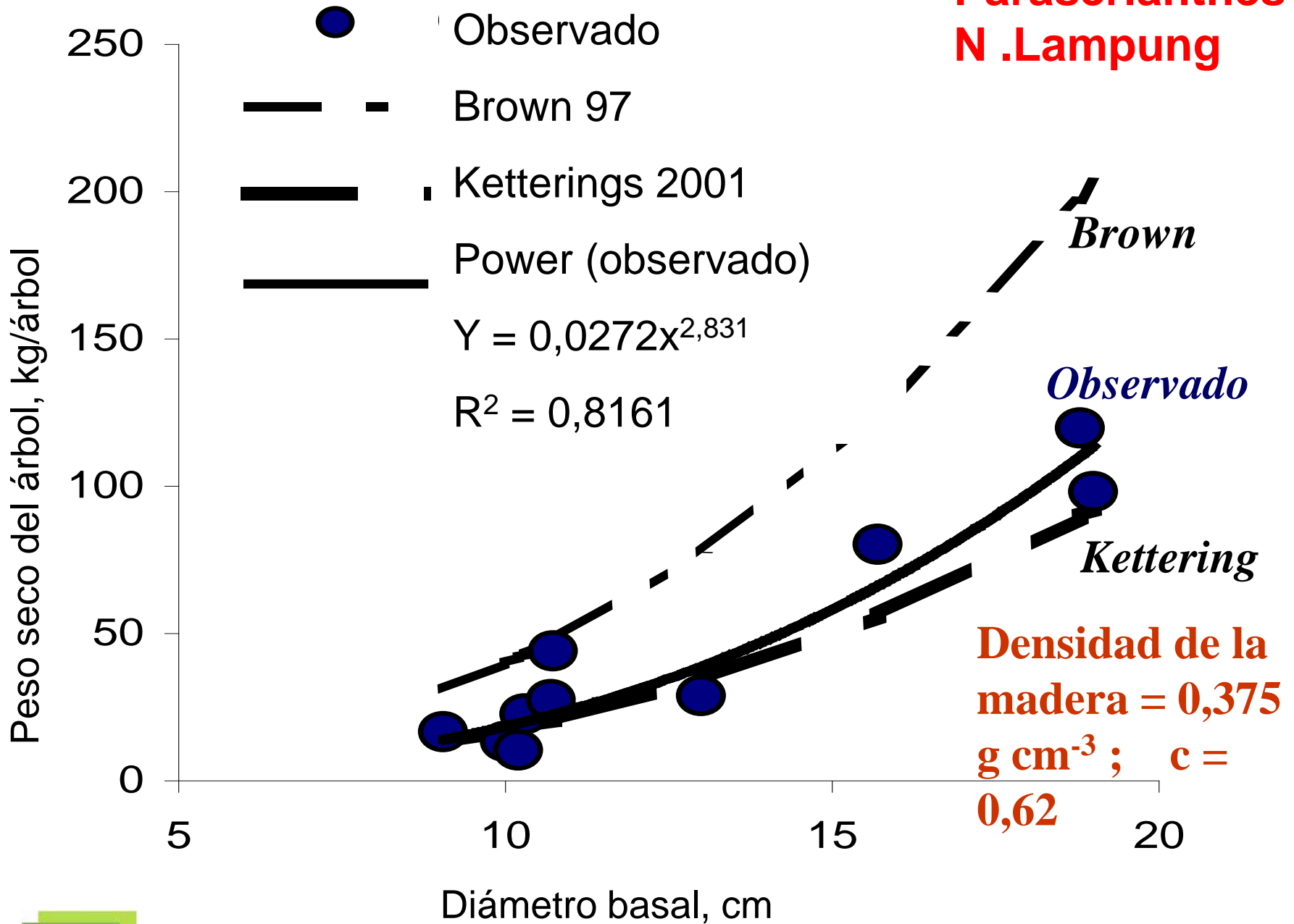
Mg = tonelada métrica

| Lluvia, mm/año | Ecuación alométrica | Diámetro, cm | Sin árboles | R ² |
|--------------------|---|--------------|-------------|----------------|
| Seco (<1500) | W = 0,139 D^{2,32} (Brown, 1997) | 5-40 | 28 | 0.89 |
| Húmedo (1500-4000) | W = 0,118 D^{2,53} (Brown, 1997) W = 0,049 D² AI (Brown et al., 1995) W = 0,11 ρ D^{2+c} (c=0,62) (Ketterings et al., 2001) | 5-148 | 170 | 0.90 |
| Muy húmedo (>4000) | W = 0,037 D^{1,89} AI (Brown, 1997) | 4-112 | 160 | 0.90 |



W= biomasa árbol, kg/árbol; D=dap, cm; ρ=densidad madera, g cm⁻³

Paraserianthes N .Lampung



Estimación de la biomasa y del carbono de los árboles en sistemas agroforestales

$$W = 0,11 \rho D^{2+0,62} \quad (\text{Ketterings et al., 2001})$$

W = biomasa; D = dap; ρ = densidad de la madera

$$C \text{ total} = 46\% \times W$$



Pinus



Bambú



Caoba



Paraserianthes



Café



Platanero

¿Vamos a utilizar esta ecuación alométrica?

$W = 0,118 D^{2,53}$
(Brown, 1997)



Ecuaciones de biomasa para especies "leñosas"

| Vegetación | Ecuaciones | R ² |
|--|-------------------------|----------------|
| Café (Arifin, 2001) | $W = 0,2811 D^{2,0635}$ | 0,9455 |
| Platanero (Arifin, 2001) | $W = 0,0303 D^{2,1345}$ | 0,9887 |
| Bambú (Priyadarsini, 1998) | $W = 0,1312 D^{2,2784}$ | 0,9541 |
| Paraserianthes (Sugiarto, 2001) | $W = 0,0272 D^{2,831}$ | 0,8161 |
| Té (<i>Camelia sinensis</i>) (Hariyadi, 2005) | $W = 0,1594 D^{1,1517}$ | |
| Pinus (Waterloo, 1995) | $W = 0,0417 D^{2,6576}$ | 0,9085 |