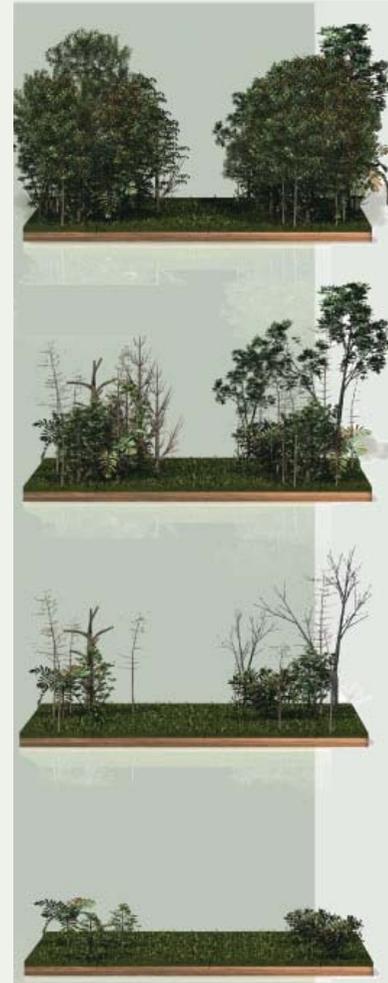
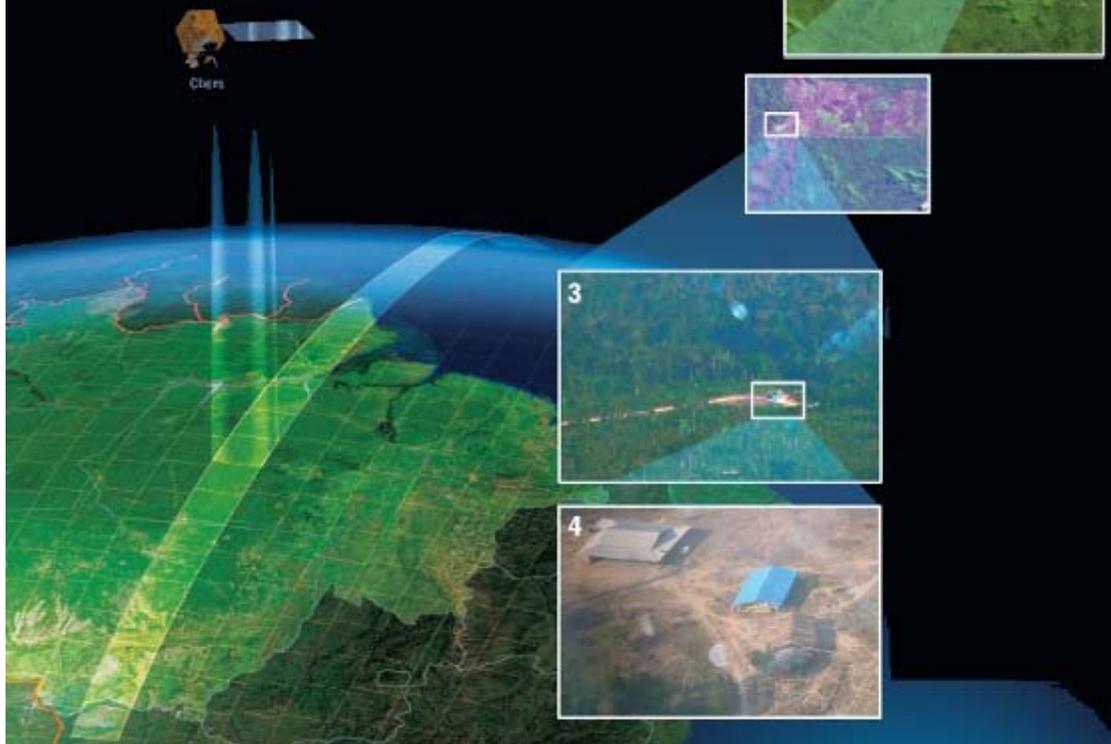


Cuantificación de carbono en proyectos REDD



Álvaro Vallejo - CATIE
Pablo Rodríguez-Noriega - Agresta

CATIE
Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo



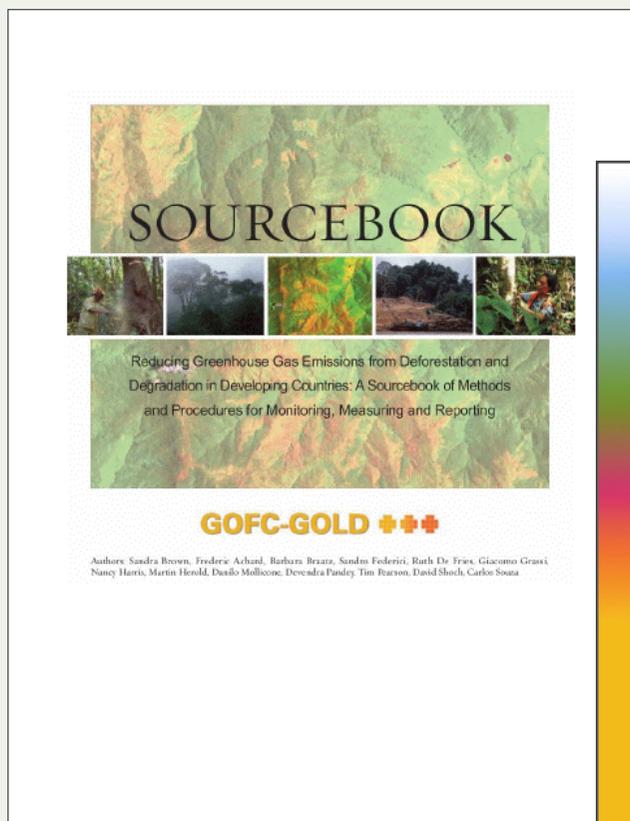
Curso internacional
Diseño de actividades REDD para la mitigación
del cambio climático

Catie, Turrialba, Costa Rica 27-31.10.2008

Contenido

- Conceptos generales
- Tasa de deforestación
- Usos de la tierra y cambios de uso de la tierra (estratificación)
- Reservorios
- Medición de carbono en reservorios
- Densidades de carbono
- Reducción de emisiones

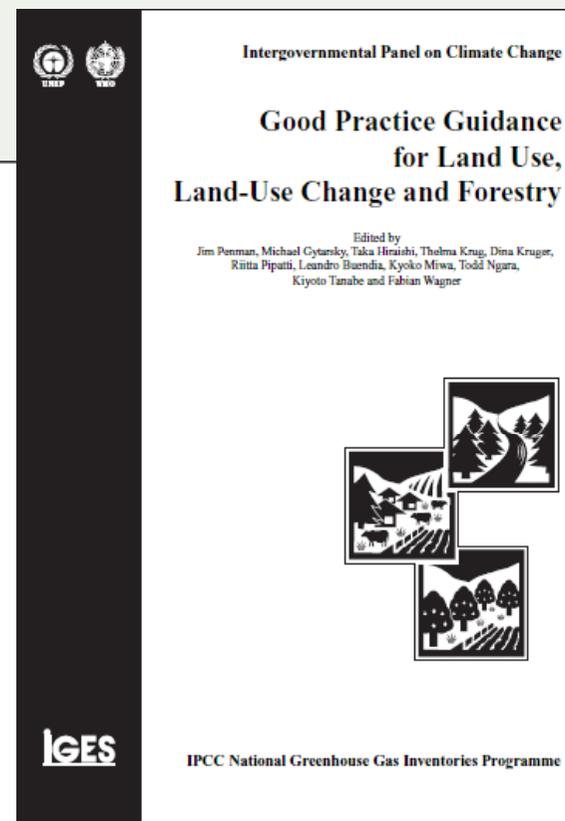
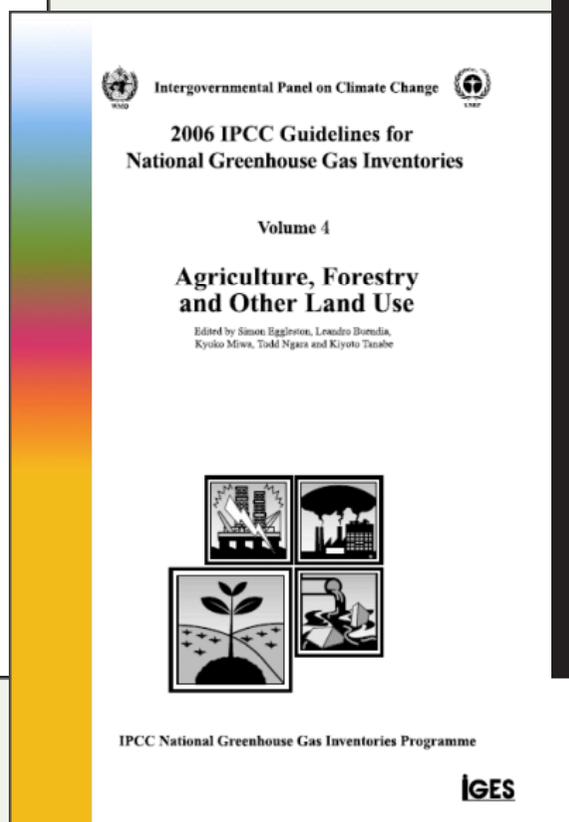
Algunas referencias fundamentales



GOFC-GOLD REDD Sourcebook

Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics
<http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/>

IPCC 2006 AFOLU Guidelines <http://www.ipcc.ch>

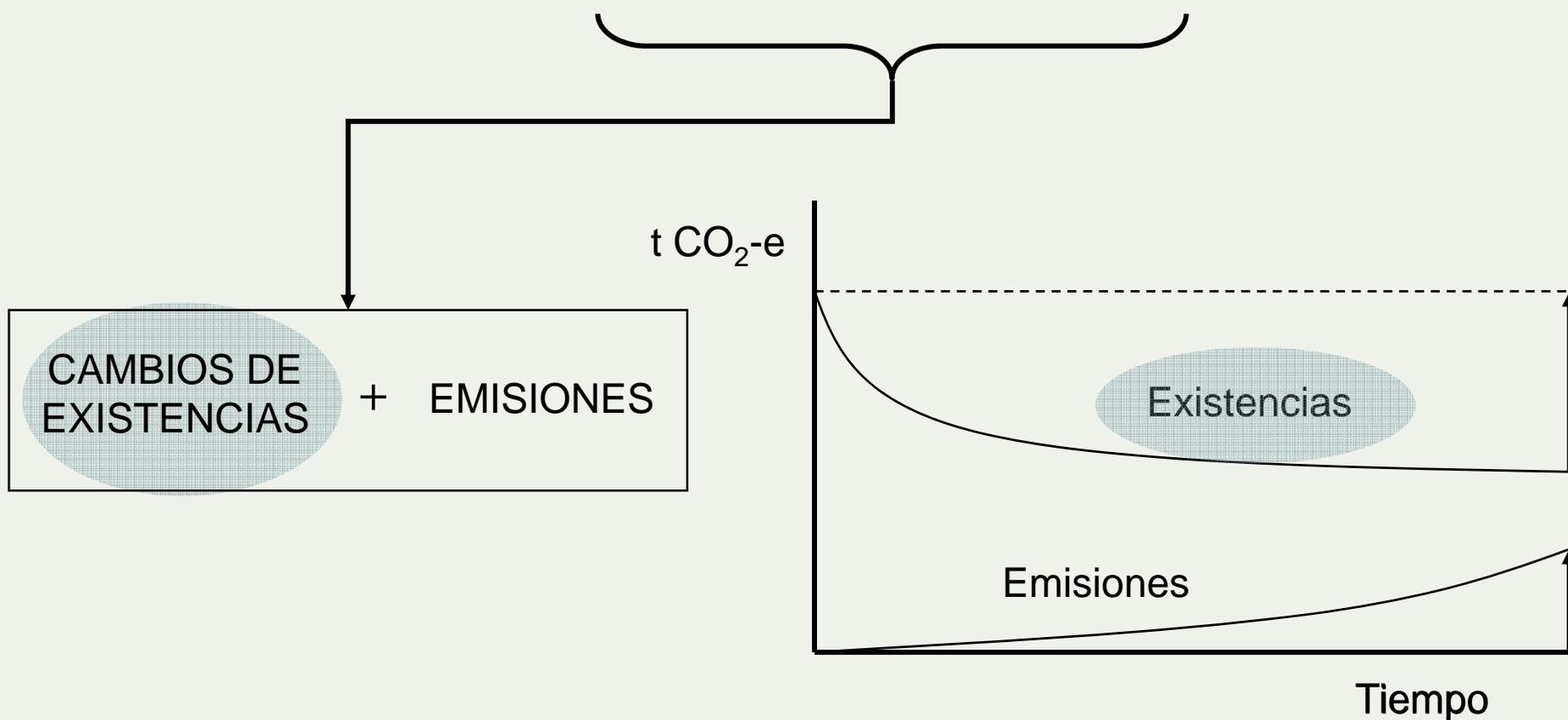


IPCC 2003 Good Practice Guidance <http://www.ipcc.ch>

Reducción de emisiones

REDUCCIÓN NETAS ANTROPOGÉNICAS DE EMISIONES DE GEI

$$\text{REDUCCIÓN DE EMISIONES REDD} = \text{EMISIONES LÍNEA BASE} - \text{EMISIONES PROYECTO} - \text{FUGAS}$$



Reducción de emisiones

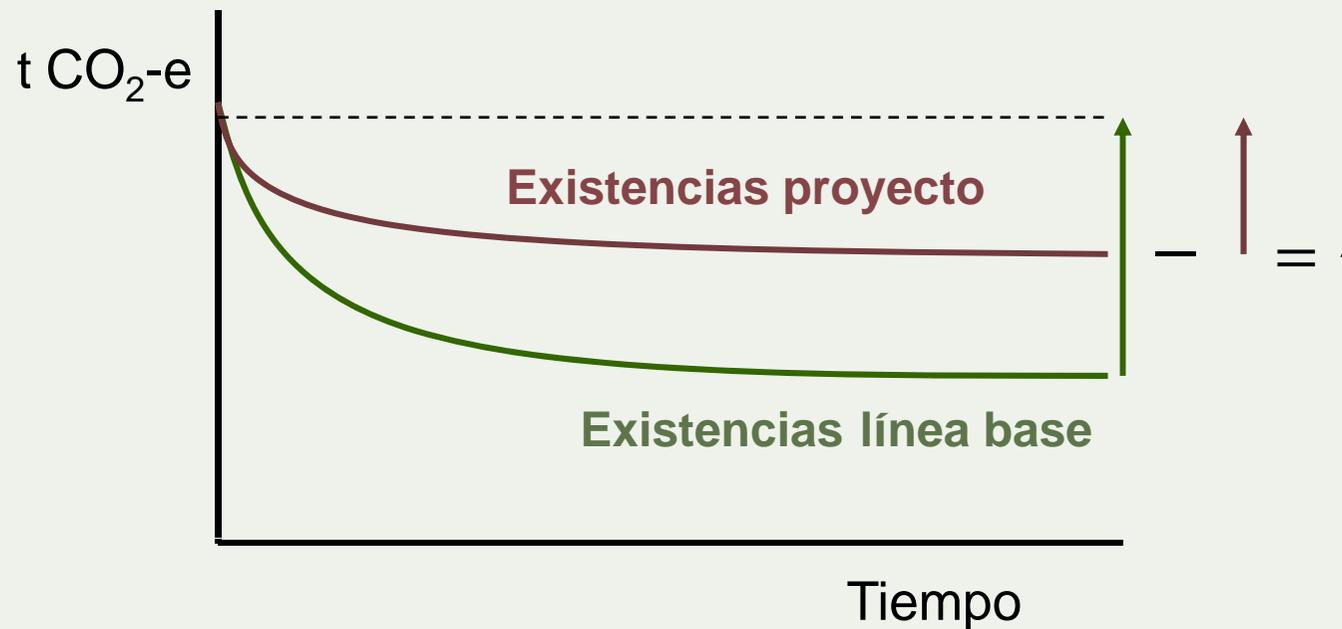
CAMBIOS DE
EXISTENCIAS
LÍNEA BASE

—

CAMBIOS DE
EXISTENCIAS
PROYECTO

=

REDUCCIÓN DE
EMISIONES REDD
POR CAMBIOS EN
RESERVORIOS



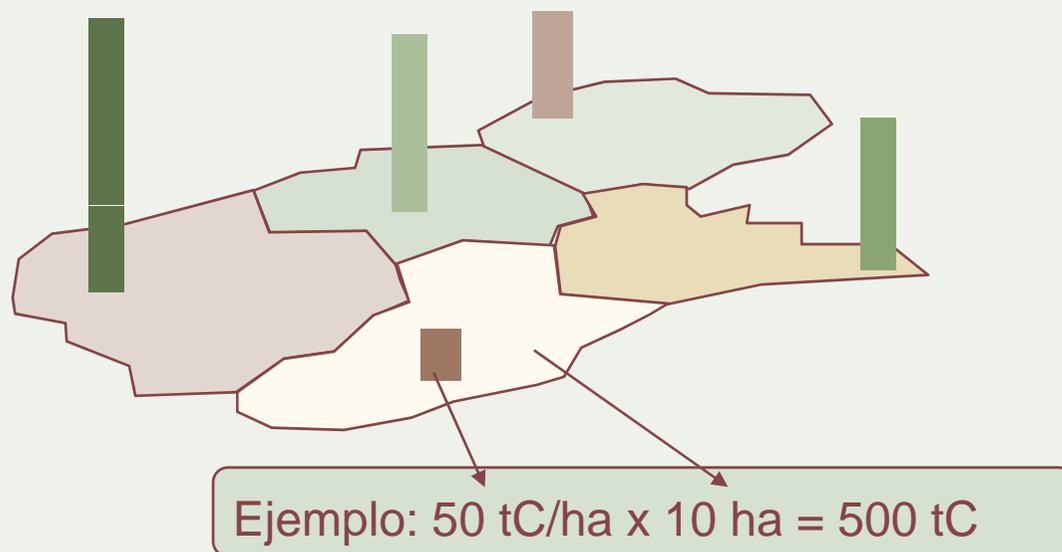
Preservar áreas de la deforestación y la degradación ...

El primer paso es definir el área de nuestro proyecto, pero ...



Dos variables fundamentales para la estimación de carbono

- Las existencias de carbono en un ecosistema se calculan mediante dos variables fundamentales:
 - Extensión del ecosistema.
 - Densidad de carbono.



En esta conferencia:
estimación de
densidad de carbono

¿Cuándo se requieren estimaciones de carbono?

- Antes de la implementación del proyecto, para su diseño y trámite (mediciones previas, estimaciones):
- Durante la implementación del proyecto, para soportar el pago por el servicio ambiental.

- Sin proyecto (para saber cuánto carbono habría si no se realiza el proyecto).
- Con proyecto (para saber cuánto carbono existiría si se implementa el proyecto).

Monitoreo: cuánto carbono efectivamente se remueve o se conserva.

Mediciones

Modelos

Potencial de mitigación del proyecto

Mitigación real del proyecto

Momentos de estimación

- Estimaciones previas
 - Usualmente, las estimaciones previas para la realización de un proyecto se realizan mediante modelos, estudios y datos existentes a nivel local, regional o global, según las posibilidades.
 - Existen varios niveles de enfoque (“*tiers*”) permitidos, con sus ventajas/desventajas.
 - Normalmente no se realizan mediciones previas en campo *ex profeso*, sino que se utilizan estimaciones o mediciones ya existentes.
- Estimaciones posteriores (monitoreo)
 - Se realizan con base en procesos estadísticos (fundamentalmente muestreos).
 - Requieren modelos y parámetros locales.
 - Fundamentales para la valoración del servicio ambiental.

Medición de la densidad de carbono

- Hay una preferencia por invertir en estimaciones refinadas de las áreas degradadas/deforestadas, para luego combinar estos estimados precisos con datos generales de existencias de carbono por hectárea obtenidos de tablas o revisiones bibliográficas ... pero ...
- La precisión en la estimación de las áreas se pierde frente a la imprecisión en la estimación de las existencias de carbono.
- Por ejemplo:

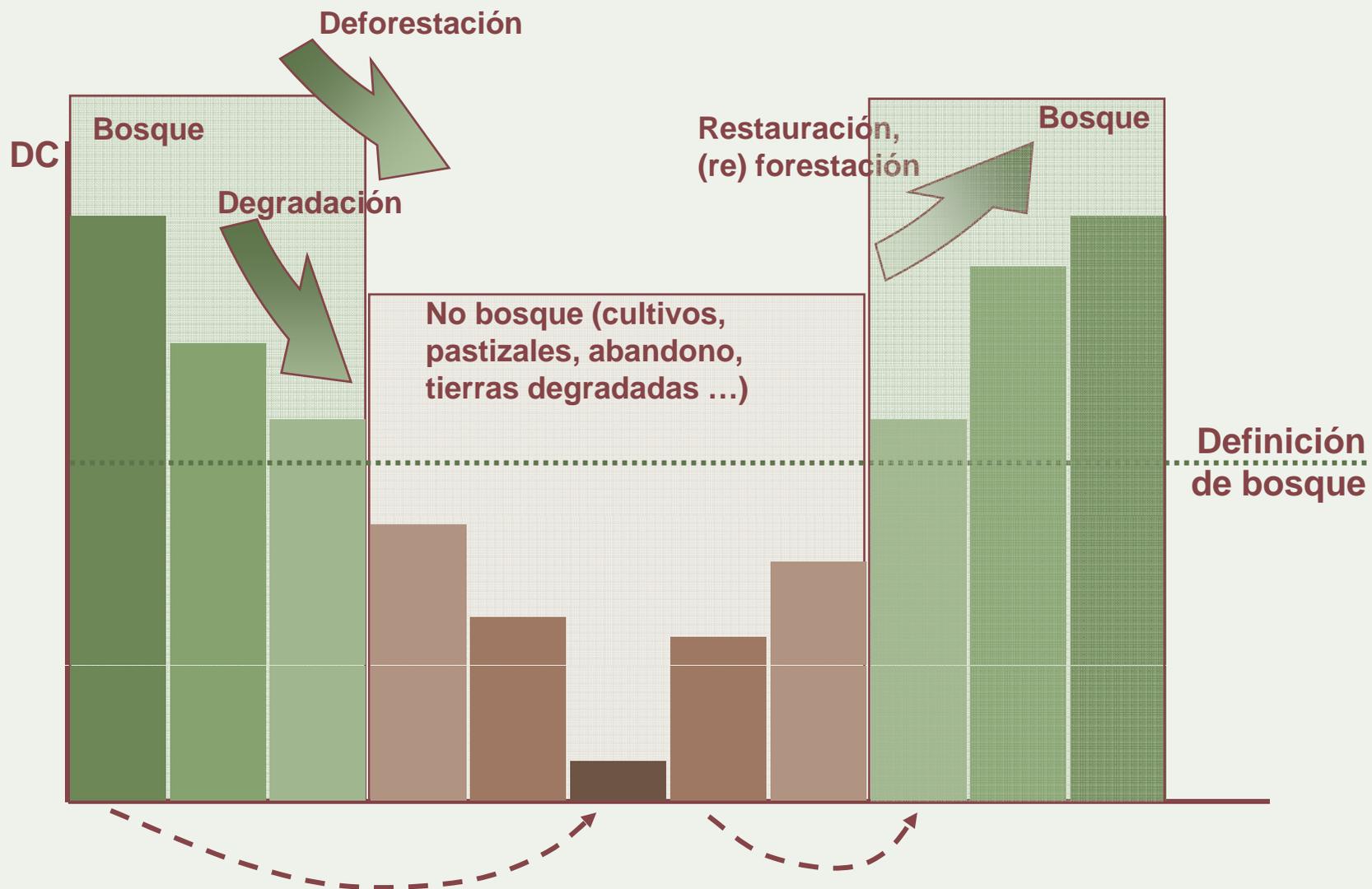
Incertidumbre del sensor remoto	Incertidumbre en existencias de carbono	Incertidumbre total
5%	30%	31%
5%	20%	21%
5%	10%	11%

Aproximaciones metodológicas para cálculos de existencias

- El IPCC establece diferentes **niveles de enfoque** o **aproximaciones metódicas** para el cálculo de existencias de carbono en ecosistemas (en inglés, “*tiers*”).
- Nivel 1
 - No se requiere recolección de nuevos datos. Valores de referencia obtenidos de tablas del IPCC o similares por tipos de bosques regionales (p.ej. bosque húmedo tropical en América Latina).
 - Ninguna capacidad de distinguir tipos de bosque en sitios concretos.
 - Alto nivel de error ($\pm 50\%$).
 - Suposiciones generales (p.ej. emisiones instantáneas por deforestación).
 - Método de ganancias y pérdidas.
- Nivel 2 **\leq Probablemente será muy usado en proyectos REDD, aunque se recomienda N3.**
 - Usa valores de referencia más específicos que Nivel 1 (p.ej. datos nacionales).
 - Mejor delineación de estratos (p.ej. subtipos de bosques).
 - Modelos generales de emisiones.
 - Método de ganancias y pérdidas o incrementos medios anuales.
- Nivel 3
 - Alto nivel de precisión.
 - Basado en parcelas permanentes y modelos específicos (al menos para biomasa arbórea).
 - Alto costo de implementación.
 - Modelos detallados de emisiones (p.ej. degradación de madera muerta y suelos).
 - Método de diferencia de existencias.

Se recomienda usar los niveles más altos posibles para los reservorios más importantes.

Cambios de uso de la tierra y carbono

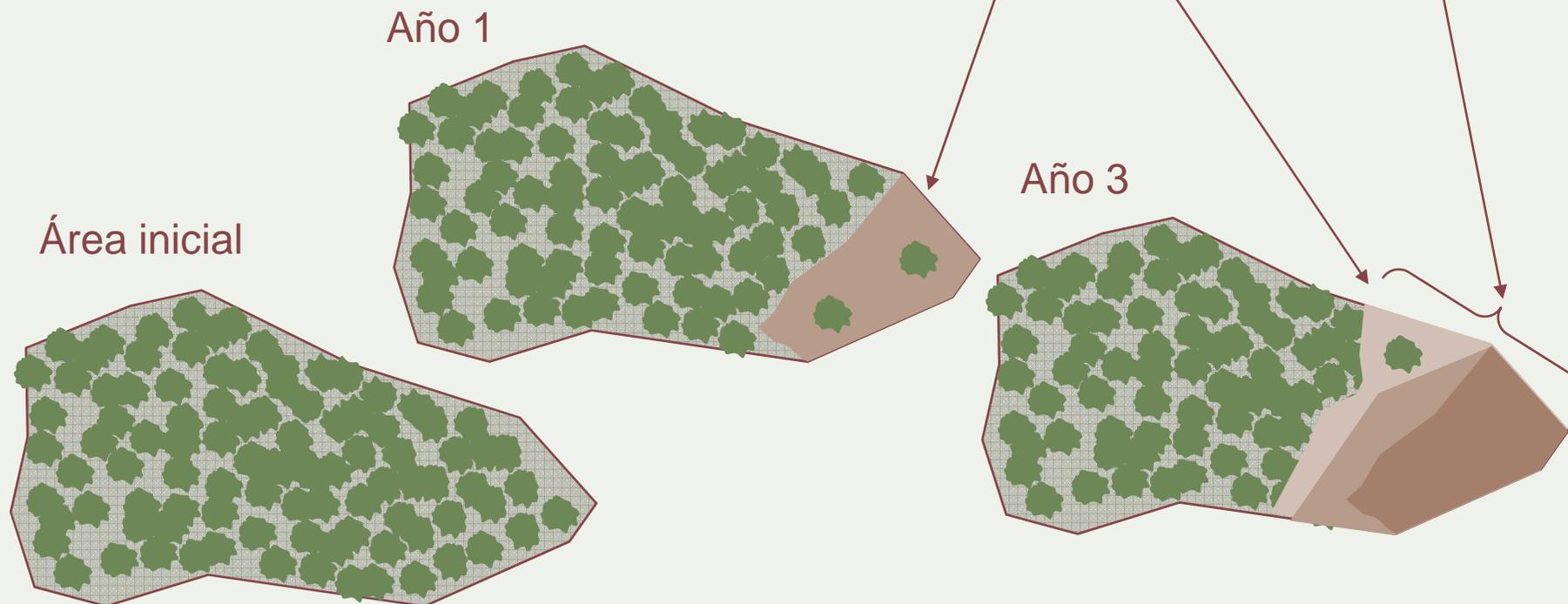


Tasa anual y localización de la deforestación

- Tasa anual y localización son necesarias tanto para el área de proyecto como para la región de referencia y área de fugas
- Tasa:
 - Proyecciones de deforestación ya existentes
 - Informes nacionales
 - Estudios específicos del desarrollador del proyecto (proyecciones lineales, modelos, etc.)
- Localización:
 - No necesaria si: no afecta a cambios de existencias
 - De ser necesaria: Proyecciones de deforestación ya existentes o modelos espaciales

Tasa anual y localización de la deforestación

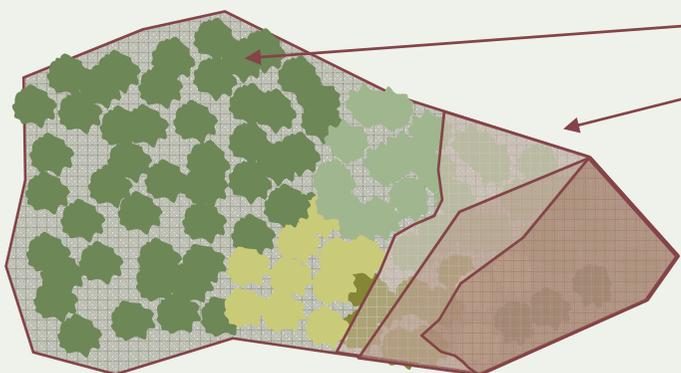
Año	Tasa deforestación anual	Área forestal previa deforestación	Área deforestada (anual)	Área deforestada (acumulada)
1	10%	20.000	2.000	2.000
2	5%	18.000	900	2.900
3	10%	17.100	1.710	4.610



Clases de uso de la tierra y cobertura al inicio del proyecto

- Tanto línea base como proyecto parten en el instante inicial de una estratificación de bosque
- Las diferentes clases de bosque se determinan fundamentalmente por diferencias en sus densidades totales de carbono

Estratificación inicial



Clases de bosque	Área	Tasa deforestación		
		Año 1	Año 2	Año 3
Bosque primario	10.000	0%	0%	0%
Bosque secundario 1	2.000	0%	0%	0%
Bosque secundario 2	5.000	10%	3,3%	22%
Plantación forestal 1	1.500	0%	50%	100%
Plantación forestal 2	750	100%	0%	0%
Otros	750	100%	0%	0%
TOTAL	20.000	10%	5%	10%

Cambios de uso de la tierra y cobertura en la línea base

- Deforestación: clases de bosque que pasarán a no bosque.
- Degradación: clases de bosque que pasarán bosque degradado.
- Puede haber distintos niveles de precisión en la determinación del cambios de uso tras la deforestación (enfoque conservador, modelos, estudios históricos, etc.)

Ejemplo matriz de cambios para un periodo dado (inicio hasta año 3)

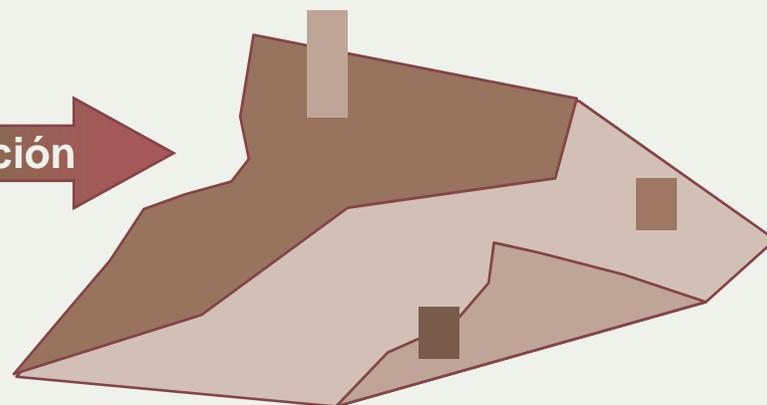
		Clases de bosque					TOTAL	
		Bosque primario	Bosque 2 ^{ario} 1	Bosque 2 ^{ario} 2	Plant. 1	Plant. 2		Otros
Clases de no bosque	Pastizal 1	0	0	1.000	750	0	0	1.750
	Pastizal 2	0	0	610	750	0	750	2.110
	Cultivo agrícola	0	0	0	0	750	0	750
	TOTAL	0	0	1.610	1.500	750	750	4.610

Cambios de uso de la tierra y cobertura en la línea base

Estratificación inicial



Estratificación tercer año



Deforestación

Clases de bosque

Clases de no bosque

	Bosque primario	Bosque 2 ^{ario} 1	Bosque 2 ^{ario} 2	Plant. 1	Plant. 2	Otros	TOTAL
Pastizal 1	0	0	1.000	750	0	0	1.750
Pastizal 2	0	0	610	750	0	750	2.110
Cultivo agrícola	0	0	0	0	750	0	750
TOTAL	0	0	1.610	1.500	750	750	4.610

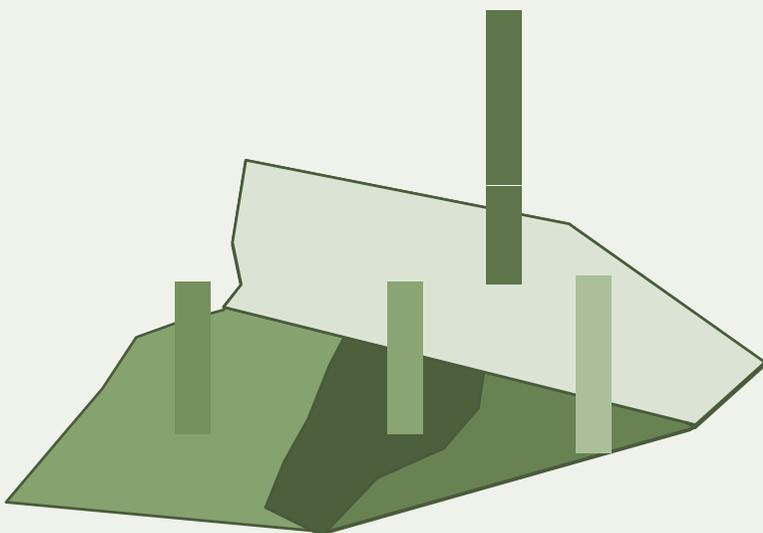
Cambios de uso de la tierra y cobertura en el proyecto

- Degradación y deforestación también pueden tener lugar en el proyecto

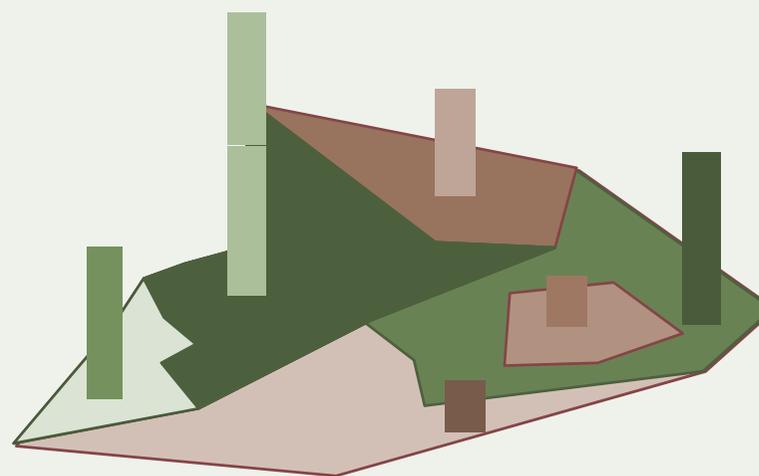
		Clases de bosque					Otros
		Bosque primario	Bosque 2 ^{ario} 1	Bosque 2 ^{ario} 2	Plantación 1	Plantación 2	
Clases de bosque	Bosque primario						
	Bosque 2 ^{ario} 1						
	Bosque 2 ^{ario} 2			500			250
	Plantación 1						
	Plantación 2						
	Otros				350		
Clases de no bosque	Nuevo bosque			600	600	350	
	Pastizal 1			300			
	Pastizal 2				550	400	400
	Cultivo agrícola						
	Nuevo no bosque			210			100
	TOTAL		-	-	1.610	1.500	750

Cambios de uso de la tierra y cobertura en el proyecto

Estratificación inicial



Estratificación tercer año



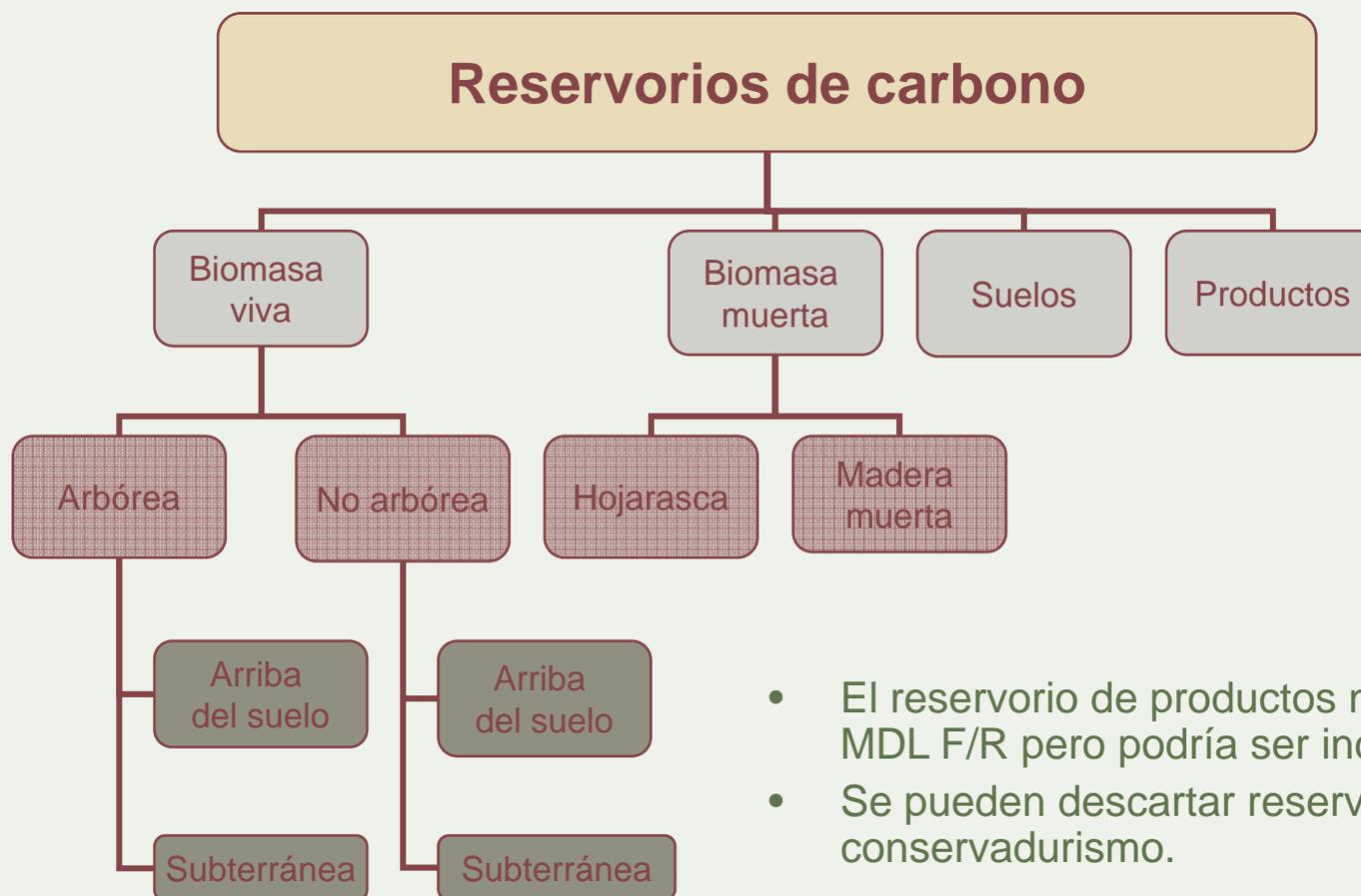
Estratificación

- Las existencias de carbono (en los diferentes reservorios) varían en función de la clase de bosque o del uso de la tierra y cobertura existentes.
- Incluso dentro de la misma clase de bosque, habrá diferencias en existencias de carbono:
 - Bosque en planicie aluvial
 - Bosque en colina
 - Cambios por condiciones ambientales
 - Cambios por manejo, intervención humana y paso del tiempo (sucesión vegetal).
- Proyecciones de la estratificación basadas en modelos. Estratificaciones puntuales basadas en sensores remotos e inventarios.

Estratificación

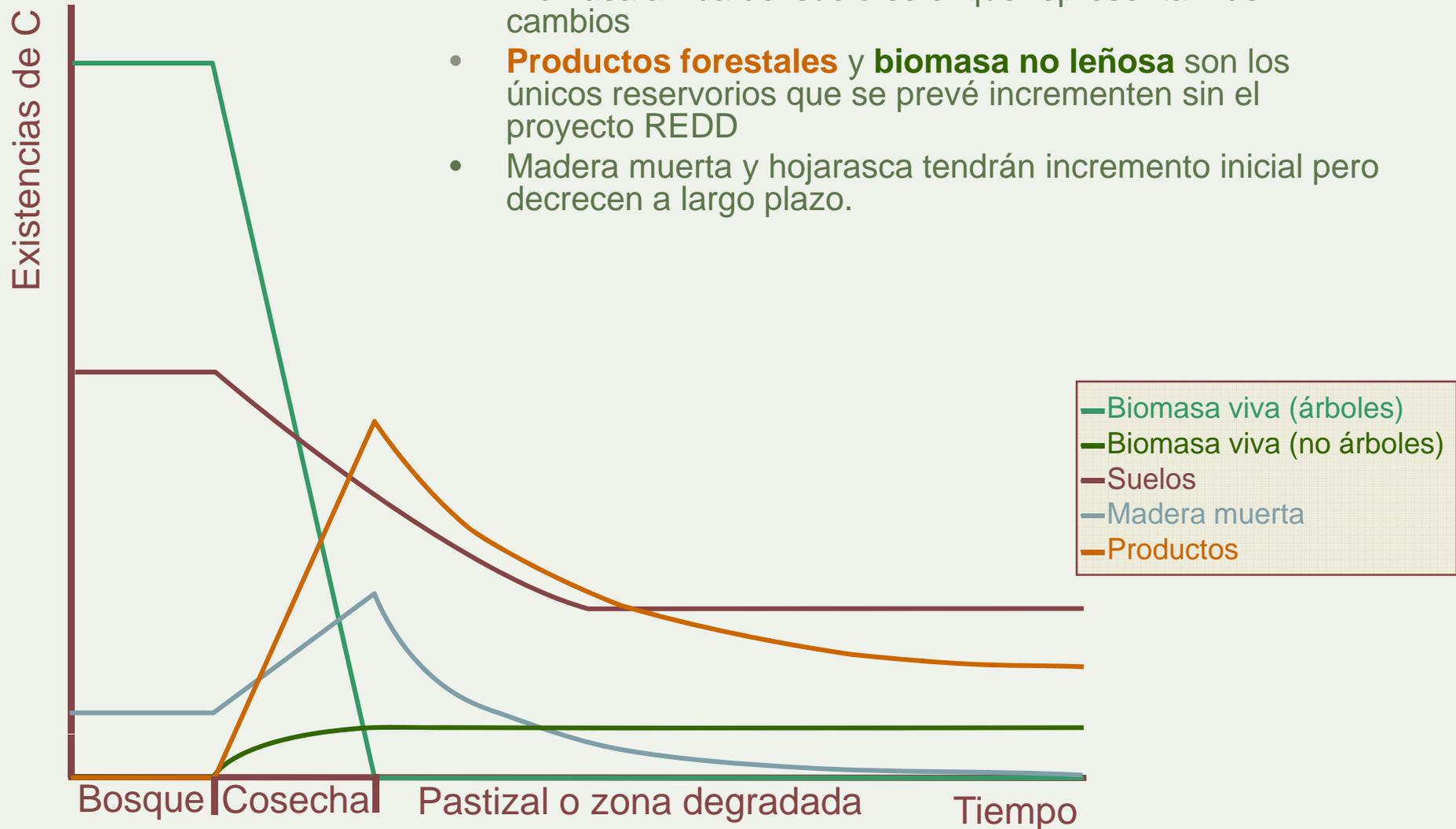
- Con frecuencia la resolución de los sensores remotos no es suficiente para distinguir diferencias/asignar existencias de carbono en diferentes áreas => necesario estratificar con información adicional (p.ej. de campo).
- Si se asocian las existencias de carbono adecuadas a los diferentes tipos de bosque y sus respectivas áreas, se obtienen estimaciones más adecuadas.
- Tanto en línea base como en proyecto la estratificación varía con el tiempo debida a los continuos cambios de uso de la tierra, cobertura y manejo.

Reservorios de carbono



- El reservorio de productos no es aceptado en MDL F/R pero podría ser incluido en REDD.
- Se pueden descartar reservorios con criterios de conservadurismo.

Reservorios de carbono



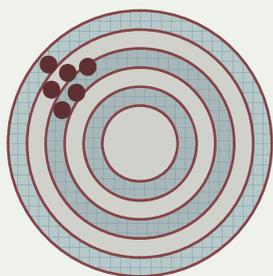
- Biomasa arriba del suelo es el que representa más cambios
- **Productos forestales** y **biomasa no leñosa** son los únicos reservorios que se prevé incrementen sin el proyecto REDD
- Madera muerta y hojarasca tendrán incremento inicial pero decrecen a largo plazo.

¿Cuáles reservorios medir?

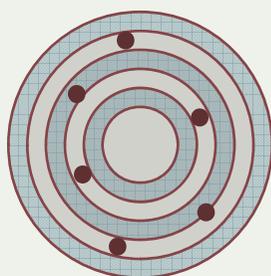
- El principio de conservadurismo (tomar siempre la acción que represente menos créditos de carbono).
- Si se omiten madera muerta y productos, se asume que todo el carbono es liberado en el momento de la cosecha.
- Magnitud de cambio potencial del reservorio.
- Se incluye/excluye un reservorio para toda la vida del proyecto.
- Es obligatorio incluir al menos biomasa arriba del suelo del estrato de árboles dominantes.
- Carbono en el suelo y madera muerta pueden tener altas fluctuaciones y ser difíciles de medir, por lo tanto se podrían excluir conservadoramente si no resulta rentable su medición.

Exactitud y precisión

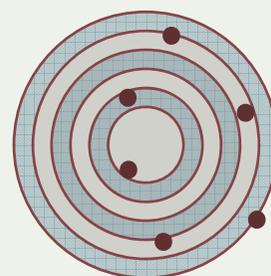
- Exacto: cercano a la realidad de la población.
- Preciso: con poca incertidumbre



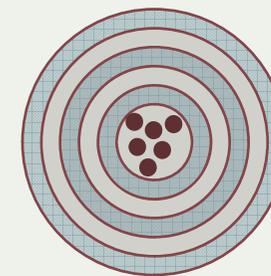
Preciso, inexacto



Impreciso, exacto



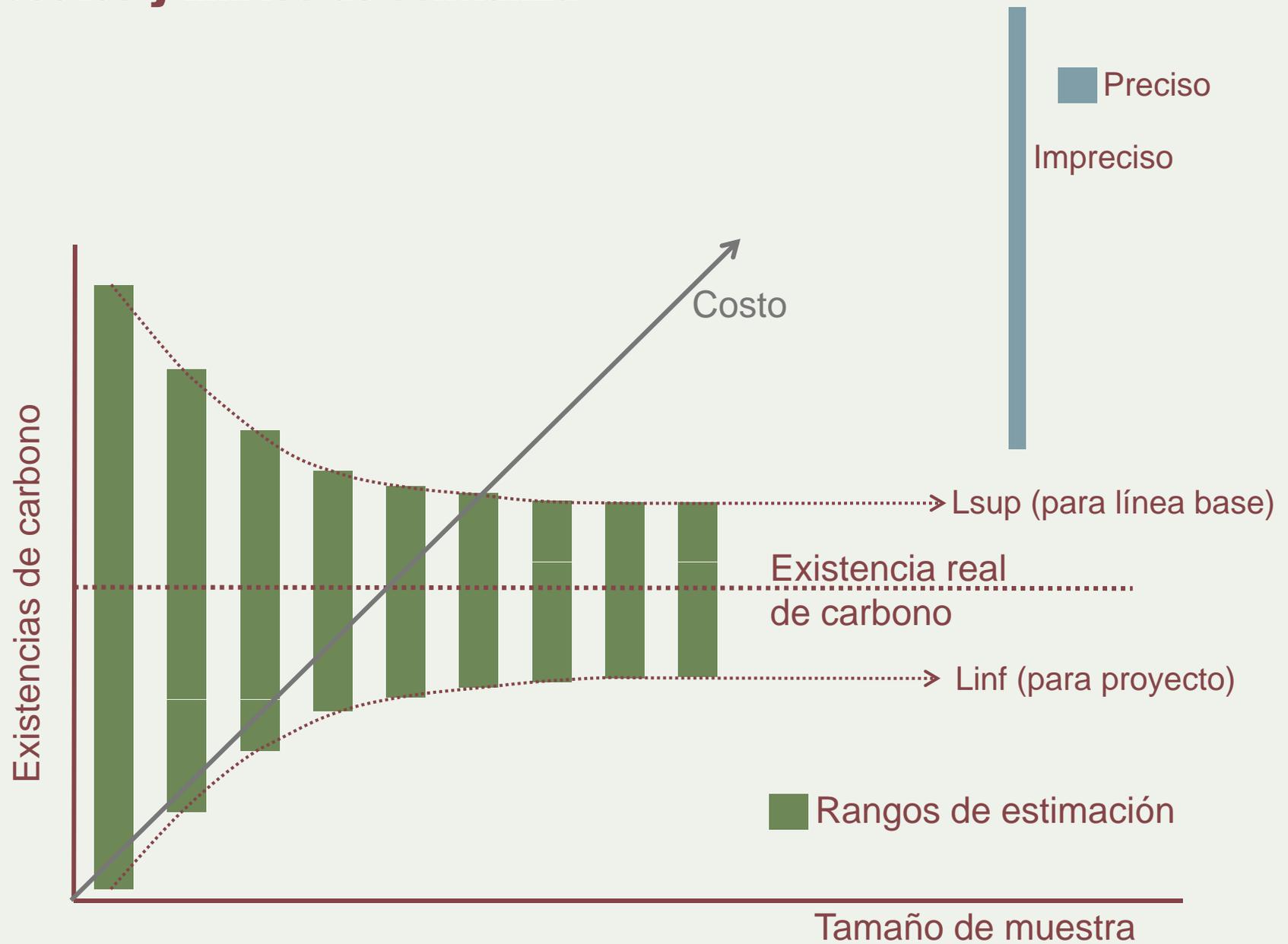
Inexacto, impreciso



Exacto, preciso

- En los muestreos de carbono en proyectos REDD, tanto precisión como exactitud son necesarias.

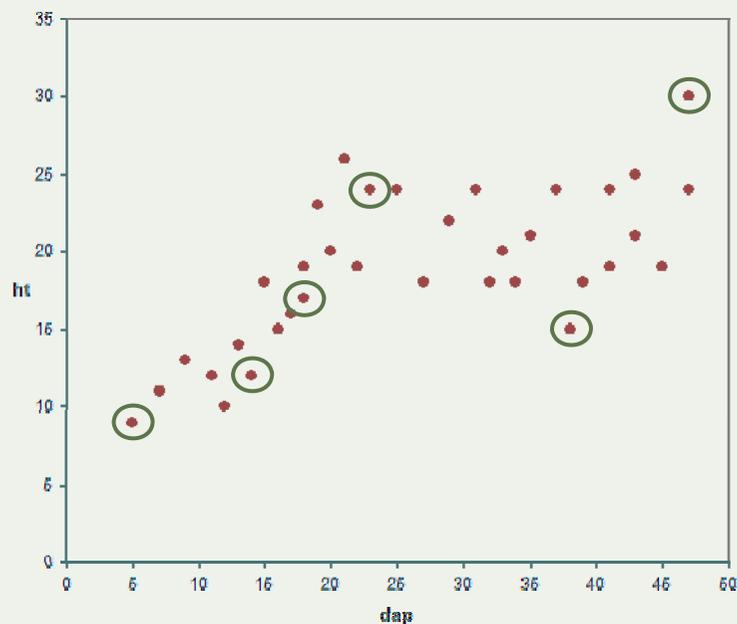
Costos y límites de confianza



Biomasa arbórea – Modelos alométricos

Ecuaciones de volumen

Un modelo alométrico es una relación matemática que permite estimar una variable (volumen o biomasa) con base en una o más variables independientes (dap, altura).



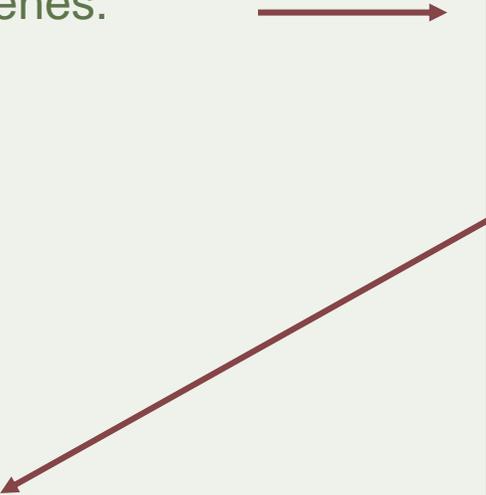
- Se escogen árboles variados que representen la población de interés.
- Se talan los árboles y se dividen en secciones (aprox. 10 secciones).
- Se calcula el volumen de cada sección como cono truncado.
- Se cubica el tocón.
- Se suman todos los volúmenes.



Biomasa arbórea – Modelos alométricos

Ecuaciones de volumen

- Se obtiene un conjunto de datos que relacionan alturas y diámetros con volúmenes.



dap (cm)	ht (m)	vtcc (m³)
36	26	1.292
32	25	1.127
26.9	25.4	0.679
38.4	31.3	1.732
39.8	30.3	1.777
67.6	34.4	5.731
66.0	28.8	4.805
29.6	20.5	0.676
30.7	30.3	1.032
7.3	5.8	0.018
28.3	26.2	0.776
...
61.9	40.5	4.280
...

- Se generan modelos de conicidad o volumen. Ejemplo:

$$vtcc = \text{Exp}(-9.31 + 1.965 * \text{Ln}(\text{dap}) + 0.69 * \text{Ln}(\text{ht}))$$

$$vtcc = \text{Exp}(- 8.2816 + 2.2534 * \text{Ln} (\text{dap}))$$

Biomasa arbórea – Modelos alométricos

Ecuaciones biomasa

- De manera similar, se puede relacionar cada componente con las variables predictoras (dap, ht). Usualmente:
 - Ramas
 - Follaje (incluye ramillas, flores, frutos).
- O también generar una ecuación para la biomasa total del árbol.
- Se pesan (no se cubican, excepto ramas gruesas).
- Se generan modelos similares a los anteriores (relación del componente con dap – ht).
- Ejemplo:

$$B_{follaje} = \frac{e^{(-5.82+2.41*\ln(dap))}}{10000}$$



Biomasa arbórea

Factores de Expansión de biomasa (FEB)

- En muchas ocasiones se dispone de datos de volumen total o comercial provenientes de inventarios forestales (volumen de los fustes).
- En este caso, resulta bastante práctico generar una relación entre el volumen total y la biomasa total aérea o biomasa total del árbol.
- Esta relación es conocida como “Factor de Expansión de Biomasa”.
- El FEB cambia con la edad, el manejo, etc.
- (otras definiciones de FEB son posibles).

$$BEF = 1.45 + 3.43e^{-1.08B_{fuste}}$$

Ejemplo:

$$B_{total} = B_{fuste} * FEB$$

Biomasa arbórea - parcelas



- Tamaño entre 250 y 1000 m².
- Se establece un diámetro (dap) mínimo de medición.
- En bosque natural, hay dos posibilidades comunes:
 - Tablas de rodal, basadas en frecuencias de clases diamétricas (más frecuentes en **estudios** de biología, silvicultura, etc.)
 - Tablas volumétricas, centradas en los volúmenes comerciales disponible (más frecuentes en bosques manejados).
- Ambas tablas requieren modelos alométricos (o FEB) para calcular biomasa por componentes.
- Si algunos de los estratos no tienen este tipo de dato, será necesario construirlo => inventarios => estratificación, medición de parcelas ...

Biomasa no arbórea

(Método de doble muestreo)

1. Estratificación visual del área.

2. Aforo

- Marcos en zonas representativas (promedio visual) de los estratos.
- Se corta todo el material presente.
- Se convierte a peso seco.
- Se convierte a carbono.

Cálculo

- Se calculan los promedios de los aforos por estrato.
- Se multiplican los promedios por el área de los estratos.
- Se calcula el total de carbono en el área.



Suelos

- IPCC AFOLU divide el carbono el suelos como:
 - Carbono orgánico del suelo mineral
 - Carbono inorgánico del suelo mineral
 - Carbono del suelo orgánico (COS)

¡Variación de hasta 90%!

Tipo de carbono en suelos	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Carbono orgánico en suelo mineral	Valores IPCC por defecto	Datos y referencias específicos para el país	Modelo validado o monitoreo directo
Carbono en suelo orgánico	Factores de emisión IPCC por defecto	Factores de emisión específicos para el país	Modelo validado o monitoreo directo

- Nivel 3:
 - La profundidad de muestreo más usual es 30 cm.
 - Se colectan muestras (compuestas) de suelo y se analizan en laboratorio para determinar densidad y contenido de carbono.



Estimación de biomasa muerta

- Madera muerta
 - Madera en el piso, raíces muertas, y tocones, todo con un diámetro mayor o igual a 10 cm o cualquier diámetro usado en el país en cuestión.
- Hojarasca
 - toda la biomasa no viva con un diámetro menor al escogido para la madera muerta, sobre el suelo, en varios estados de descomposición. Las raíces vivas de un diámetro tal que no puedan ser distinguidas de las raíces muertas, también son consideradas hojarasca.

Para su medición se emplean técnicas de aforo, bien por parcelas circulares o rectangulares, o bien por transectos.

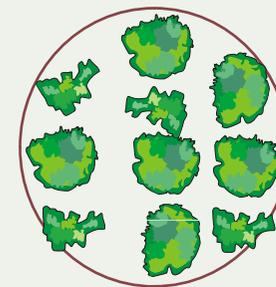
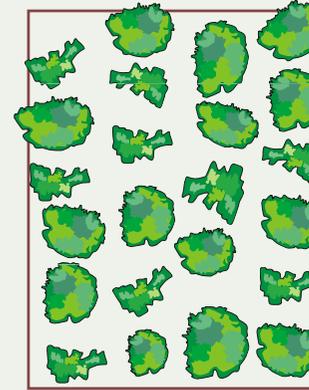


Estimación de madera muerta



Parcelas

- Se recomienda el uso de parcelas permanentes.
- Parcelas bien marcadas, pero no evidentes para no afectar manejo.
- Relación entre el tamaño de la muestra y desviación estándar (premuestreo).
- Cantidad de parcelas proporcional a la variabilidad y a los niveles de precisión requeridos.
- Localización: reglas según la metodología (al azar o sistemáticas).
- La repetición busca representar variabilidad.



Parcelas – Localización y tamaño

- El tipo y tamaño de la parcela depende de la variable (reservorio) a medir.
- Localización sistemática con inicio al azar.
- Diferentes reservorios se pueden medir en parcelas anidadas.
- Tamaño de parcela en relación con el coeficiente de variación
- árboles: 250-1000 m²



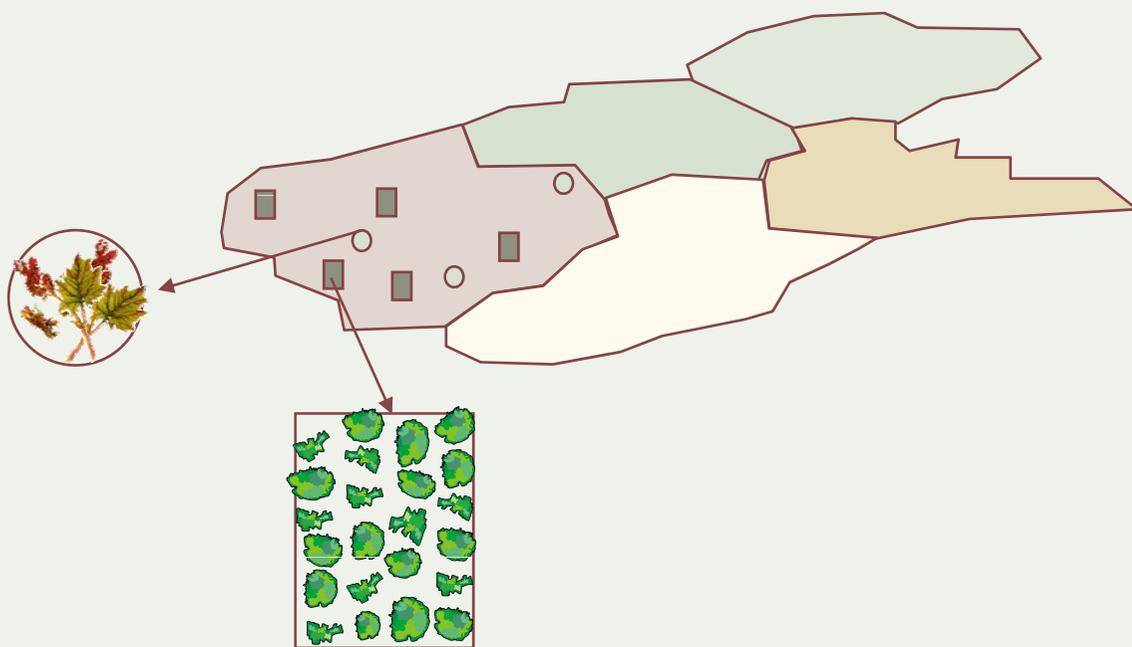
Aforo de pastos y vegetación menor



Parcelas anidadas

Diseño de muestreo

- Una vez que se tienen los métodos para estimación de C de individuos o parcelas, es necesario calcular valores por hectárea (Monitoreo).
- En general, se busca balance entre costos e ingresos. A mayor precisión, mayor costo y mayor ingreso (pues se puede demostrar que hay más carbono).
- Herramienta Winrock para el tamaño de muestra.



Densidades de carbono por clases de usos de la tierra y cobertura

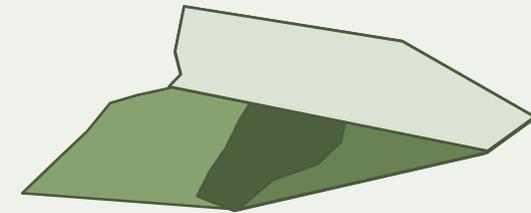
Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)
Bosque primario	200
Bosque 2 ^{ario} 1	175
Bosque 2 ^{ario} 2	155
Plantación 1	110
Plantación 2	135
Otros	70
Nuevo bosque	125
Pastizal 1	10
Pastizal 2	7
Cultivo agrícola	15
Nuevo no bosque	3

- Las densidades se pueden obtener tanto de nuevos muestreos como de información preexistente
- En la fase de monitoreo pueden actualizarse



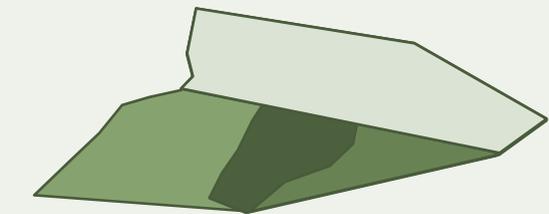
Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto
Bosque primario	200	
Bosque 2 ^{ario} 1	175	
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610
Plantación 1	110	1.500
Plantación 2	135	750
Otros	70	750
Nuevo bosque	125	
Pastizal 1	10	
Pastizal 2	7	
Cultivo agrícola	15	
Nuevo no bosque	3	
TOTAL		4610

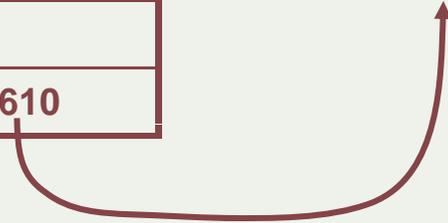
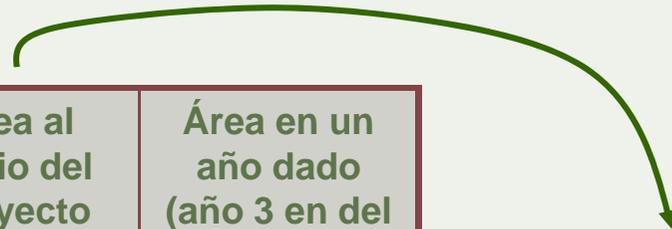
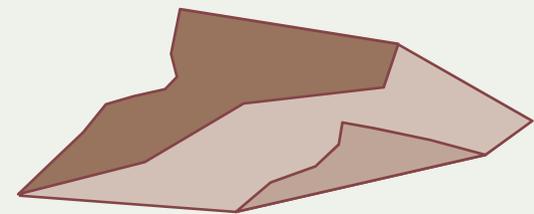


Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto	Área en un año dado (año 3 en del ejemplo)
Bosque primario	200		
Bosque 2 ^{ario} 1	175		
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610	
Plantación 1	110	1.500	
Plantación 2	135	750	
Otros	70	750	
Nuevo bosque	125		
Pastizal 1	10		1.750
Pastizal 2	7		2.110
Cultivo agrícola	15		750
Nuevo no bosque	3		
TOTAL		4610	4610

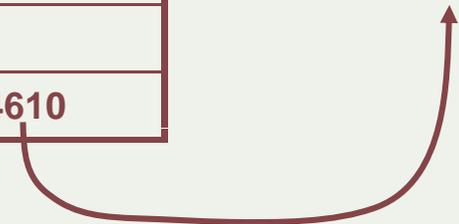
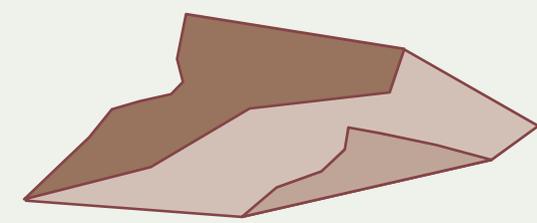
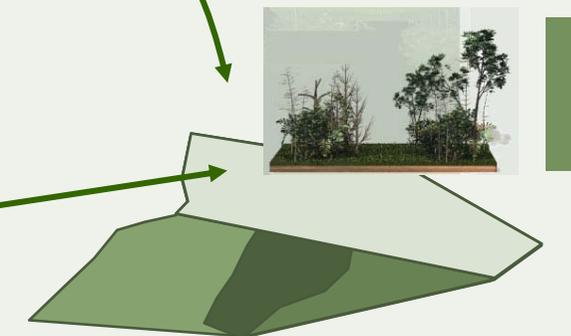


Deforestación en 3 años



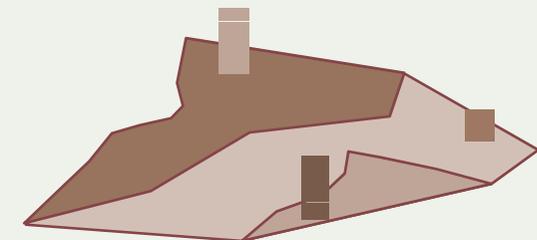
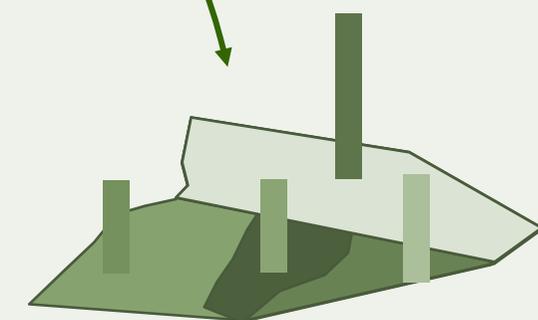
Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto	Área en un año dado (año 3 en del ejemplo)
Bosque primario	200		
Bosque 2 ^{ario} 1	175		
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610	
Plantación 1	110	1.500	
Plantación 2	135	750	
Otros	70	750	
Nuevo bosque	125		
Pastizal 1	10		1.750
Pastizal 2	7		2.110
Cultivo agrícola	15		750
Nuevo no bosque	3		
TOTAL		4610	4610



Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto	Área en un año dado (año 3 en del ejemplo)
Bosque primario	200		
Bosque 2 ^{ario} 1	175		
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610	
Plantación 1	110	1.500	
Plantación 2	135	750	
Otros	70	750	
Nuevo bosque	125		
Pastizal 1	10		1.750
Pastizal 2	7		2.110
Cultivo agrícola	15		750
Nuevo no bosque	3		
TOTAL		4610	4610



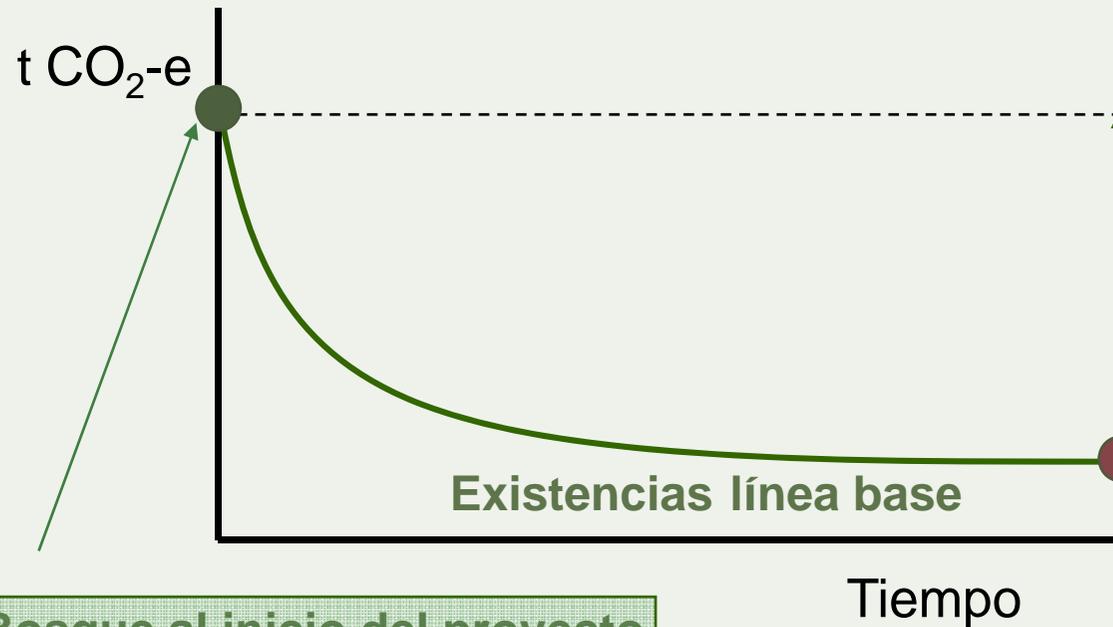
Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto	Área en un año dado (año 3 en del ejemplo)	Densidad x área inicio de proyecto
Bosque primario	200			
Bosque 2 ^{ario} 1	175			
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610		249.550
Plantación 1	110	1.500	=	165.000
Plantación 2	135	750		101.250
Otros	70	750		52.500
Nuevo bosque	125			
Pastizal 1	10		1.750	
Pastizal 2	7		2.110	
Cultivo agrícola	15		750	
Nuevo no bosque	3			
TOTAL		4610	4610	568.300

Densidades de carbono y cambios de uso y cobertura

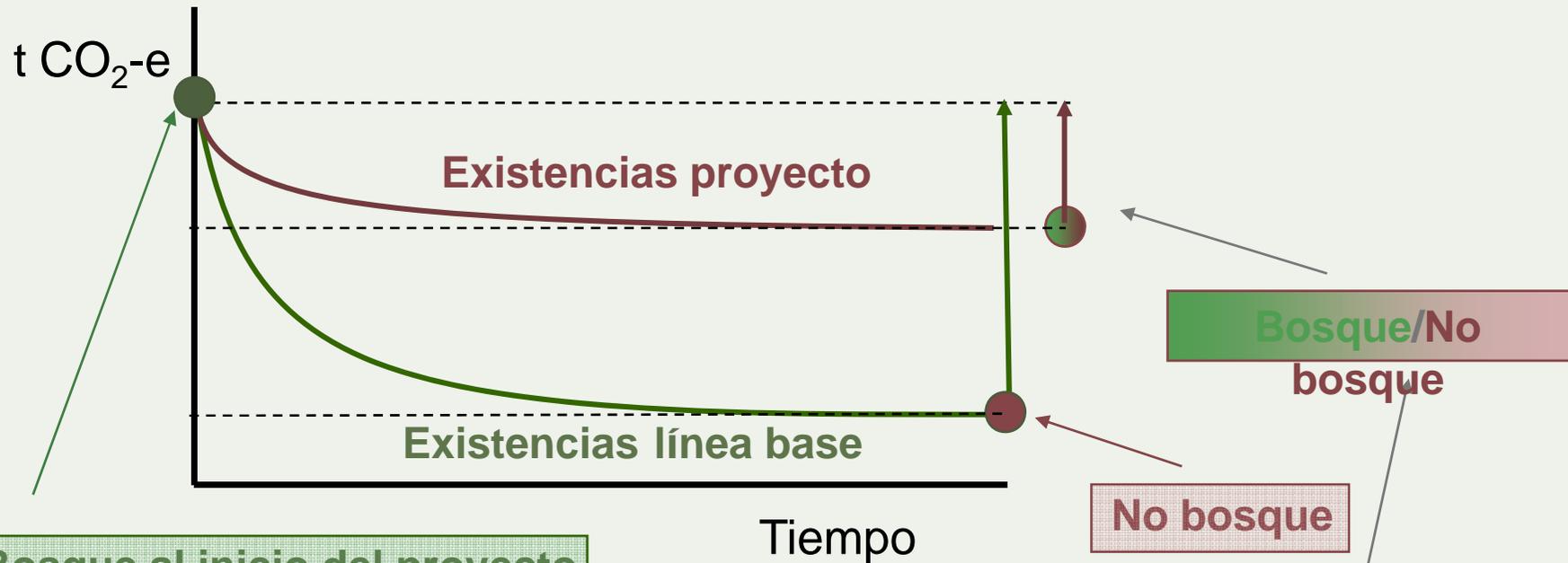
Clase de uso de la tierra y cobertura	Densidad total de carbono (t C/ha)	Área al inicio del proyecto	Área en un año dado (año 3 en del ejemplo)	Densidad x área inicio de proyecto	Densidad x área año dado (año 3)
Bosque primario	200				
Bosque 2 ^{ario} 1	175				
Bosque 2 ^{ario} 2	155	1.610		249.550	
Plantación 1	110	1.500	=	165.000	
Plantación 2	135	750		101.250	
Otros	70	750		52.500	
Nuevo bosque	125				
Pastizal 1	10		1.750		17.500
Pastizal 2	7	X	2.110	=	14.770
Cultivo agrícola	15		750		11.250
Nuevo no bosque	3				
TOTAL		4610	4610	568.300	43.520

Reducción de emisiones



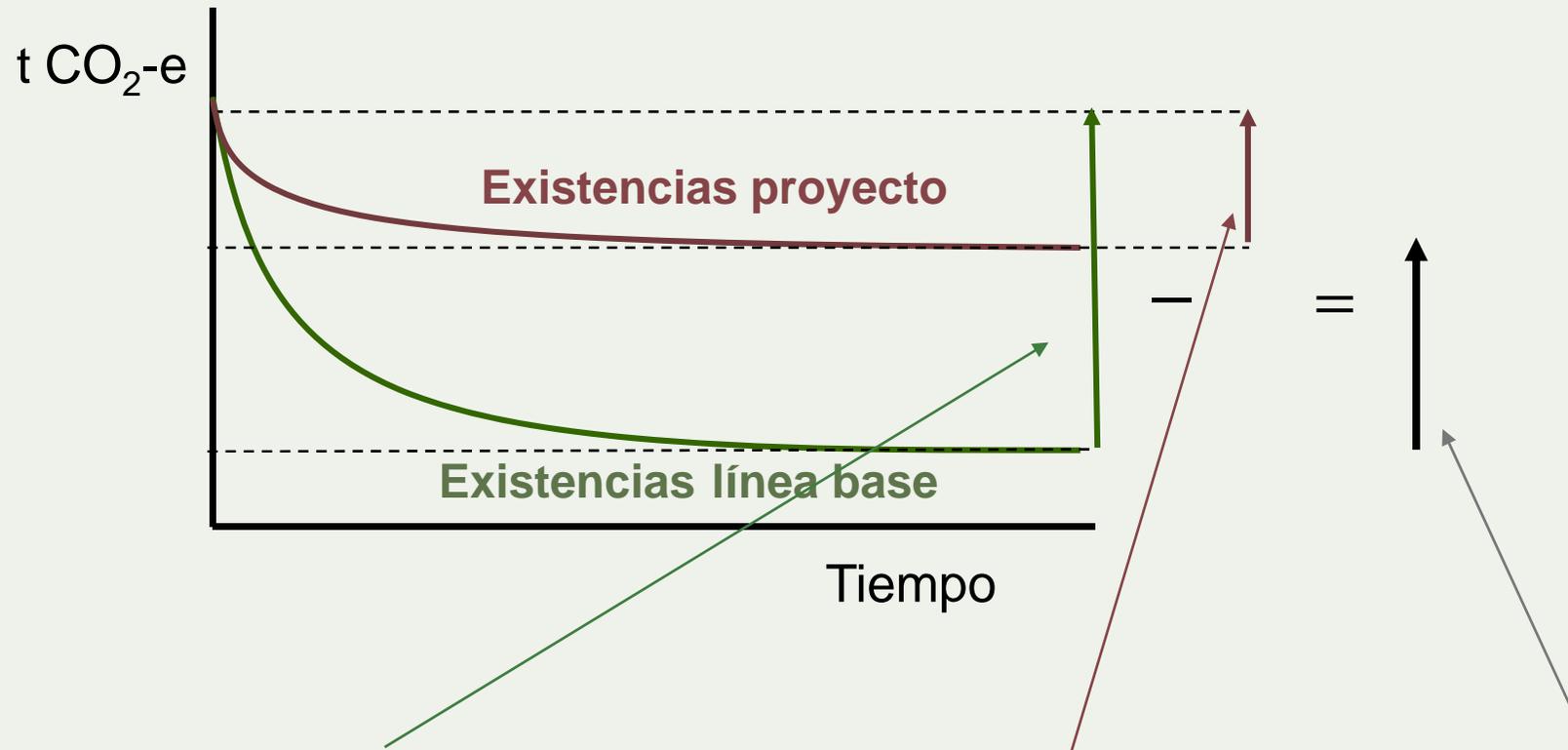
	Densidad total inicio de proyecto t CO ₂ -e	Densidad total año dado (año 3) t CO ₂ -e
Línea base	568.300	43.520

Reducción de emisiones



	Densidad total inicio de proyecto t CO ₂ -e	Densidad total año dado (año 3) t CO ₂ -e
Línea base	568.300	43.520
Proyecto		385.000

Reducción de emisiones



**CAMBIOS DE
EXISTENCIAS
LÍNEA BASE**

—

**CAMBIOS DE
EXISTENCIAS
PROYECTO**

=

**REDUCCIÓN DE
EMISIONES REDD
POR CAMBIOS EN
RESERVORIOS**





¡Gracias por su atención!