



## **Evaluación de Impactos del Programa para el Desarrollo Forestal (PRODEFOR) Ejercicio Fiscal 2003**

# **Anexos**

## **COMISIÓN NACIONAL FORESTAL**

**Coordinación General de Producción y Productividad**

**Gerencia de Desarrollo Forestal**

**Coordinación General de Planeación e Información**

**Gerencia de Evaluación**

**Programa de Desarrollo Forestal**

**(PRODEFOR)**

**Ejercicio 2003**

**Institución Evaluadora**

**Universidad Autónoma de Tlaxcala (UAT)**

## **Anexos**

- **Nota metodológica del cálculo del flujo de efectivo 2003 (capítulo 8)**  
**Cuadro Excel**
- **Nota metodológica de la captura de carbono (capítulo 9)**  
**Cuadro anexo 1**
- **Nota metodológica del cálculo de la recarga de acuíferos (capítulo 9)**
- **Nota metodológica del Valor Presente Neto (capítulo 10)**  
**Cuadro Excel**
- **Nota metodológica del Costo / Beneficio (capítulo 10)**

## **Nota metodológica del cálculo del flujo de efectivo 2003 (Capítulo 8)**

## **NOTA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE EFECTIVO 2003 (UTILIZADO EN EL CAPÍTULO 8)**

Se entiende por flujo de efectivo la disposición de dinero una vez que se cumplieron con todas las obligaciones, sean éstas con los trabajadores, proveedores, fisco y acreedores.

En el caso de los beneficiarios del Programa de Desarrollo Forestal 2003, el flujo de efectivo fue estimado a partir de la diferencia entre los ingresos y egresos reportados por los productores en los predios beneficiados.

La información fue procesada directamente de los cuestionarios (toda la información es declarativa), Es decir, se estimó un flujo de efectivo para todas las especies (maderables y no maderables) encontradas en la muestra, las que fueron clasificadas en función de su edad.

En los cuadros del anexo flujo de efectivo 2003 se puede observar en las columnas las edades de las especies encontradas en la muestra y en los renglones los principales conceptos analizados suma de superficies de los predios; suma del total de egresos desglosados en salarios, gastos de operación y otros gastos; ingresos totales y la utilidad que se obtiene de la diferencia de egresos e ingresos.

Es decir, se incluyen todos los costos y gastos directamente relacionados con la producción del predio beneficiado así como los ingresos generados para cada una de las especies estudiadas en los años en los que se encontró representación en la muestra, cabe señalar que dichos conceptos (egresos e ingresos) son a precios presentes del 2003 (constantes) es decir no se realizaron proyecciones.

## Características del cuadro Flujo de efectivo 2003

Esquema de representación y guía para su observación

**Todo el programa**

	Hoja 1		Hoja 2
--	--------	--	--------

**1.1. Todas las coníferas**

	Hoja 1		Hoja 2
--	--------	--	--------

**1.2. Todas las hojosas**

	Hoja 1
--	--------

**1.3. Todas las preciosas**

	Hoja 1
--	--------

**2.2. Todas las comunes**

	Hoja 1		Hoja 2
--	--------	--	--------

## **Nota metodológica de la captura de carbono (Capítulo 9)**

## ESTIMACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN A LA CAPTURA DE CARBONO DERIVADO DEL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE NATURAL

### INTRODUCCIÓN

El interés con relación al secuestro de carbono en bosques naturales ha crecido, en virtud de sus tasas de crecimiento y su capacidad de fijar el bióxido de carbono, en función de la eficiencia fotosintética. Estos bosques, sin embargo, presentan una gran variabilidad en términos de capacidad de fijar carbono, pues su productividad depende de las condiciones del medio físico, de las técnicas de manejo, de la especie y el respectivo material genético, entre otros.

Para que se pueda clarificar la capacidad de carbono secuestrado por determinada especie, bajo condiciones específicas de plantación, sitio y manejo, es necesario que sean realizadas determinaciones de biomasa y análisis del contenido de carbono existente en la misma. Sin embargo, determinaciones de biomasa implican el uso de métodos destructivos, lo que impone grandes dificultades operativas y costos elevados. Una alternativa es realizar determinaciones directas en menor escala y emplear modelos de regresión (ecuaciones alométricas) con el apoyo del programa CO<sub>2</sub> FIX (que pueden proporcionar estimaciones bastante razonables, con menores dificultades).

Por cuestiones operativas y por falta de información alométrica de todas las especies maderables censadas en la evaluación, se determinó el secuestro de carbono por agrupación de especies de la siguiente manera:

- a) Maderables de bosque templado: coníferas y hojosas
- b) Maderables de selva tropical: Preciosas y Comunes

Toda la vegetación asimila CO<sub>2</sub> atmosférico, por medio del proceso fotosintético, al formar carbohidratos y ganar volumen. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda la vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Por ello, los bosques pueden compensar las crecientes emisiones de CO<sub>2</sub>.

Hay muchas dificultades para estimar la cantidad de carbono que puede ser capturado o conservado en un proyecto forestal determinado, aunque, por otra parte, hay algunas aproximaciones alternativas para evaluar el carbono secuestrado.

Para medir el carbono almacenado en árboles en crecimiento en un sistema forestal es relativamente fácil medirlo. Se sabe que el carbono contenido en la biomasa es aproximadamente el 50% del peso seco, ya que existen técnicas adecuadas para medir o monitorear el progreso de captura de carbono en bosques.

A la fecha en México solo se tienen ecuaciones que permiten estimar la supervivencia, productividad de materia prima y madera, y no se tiene estimaciones del potencial de captura de carbono para bosques y selvas en México.

Por lo que se puede afirmar que actualmente se carece en México estimaciones de secuestro de carbono en bosques y selvas de manera general, que nos permita conocer en forma anticipada, los resultados futuros esperados de los bosques y con ello apoyar los proyectos de inversión forestales de captura de carbono.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **El modelo de fijación de carbono CO<sub>2</sub> FIX**

El modelo de fijación de carbono CO<sub>2</sub> FIX fue desarrollado originalmente por Mohren y Goldewijk en el Instituto de Investigaciones Forestales y de Ecología Urbana de Holanda, en 1990. Se basa en una simulación del ciclo del carbono para rodales (stands) forestales bajo manejo silvícola. Con el modelo también se puede calcular el carbono total capturado a nivel de una plantación.

El modelo original fue programado en Fortran 77, por lo que hubo que adaptarlo a interfaces gráficas usando Borland C ++, Ver 4.5. De esta forma el usuario sin mucha experiencia puede trabajar en forma interactiva con el modelo. La tarea de adaptación y mejora del modelo original se llevó a cabo por el Laboratorio de Bioenergía del Instituto de Ecología de la UNAM y el Instituto Forestal y de Investigación Natural de Holanda, colaboración que dio lugar a la versión 1.2, del modelo CO<sub>2</sub> FIX for Windows.

El modelo CO<sub>2</sub> FIX se ha aplicado en diferentes ecosistemas forestales del mundo, como bosque tropical lluvioso, bosque boreal y bosque templado deciduo, con una representación de sistemas de silvicultura tradicional como el abeto norway spruce en las montañas centrales de Europa y douglas-fir en el Pacífico noroeste de los Estados Unidos; el abeto slash en Brasil, el Pinus caribbea en Brasil y Venezuela, y el Pinus radiata en Nueva Zelanda y Australia.

## **Flujos y almacenes de carbono en el modelo CO<sub>2</sub> FIX**

El CO<sub>2</sub> FIX es un modelo de estimación que se fundamenta en el ciclo del carbono e integra el crecimiento anual y las tasas de pérdida de las principales combinaciones de biomasa, incluyendo además la relación de la dinámica de la descomposición de la materia orgánica en el suelo (basado en tablas de crecimiento e incremento del volumen maderable, como datos para el modelo). La distribución relativa de follaje, ramas y raíces, y su relación con el incremento en el volumen del tronco (es decir, cada uno de los componentes arbóreos) son integrados en conjunto con un tiempo de vida esperado.

### **Operación del modelo**

El programa modela la captura del carbono total que es acumulado durante el crecimiento de una especie forestal mediante procesos fisiológicos en una serie de reservorios que incluyen:

- a) Biomasa. Comprende el carbono contenido en la biomasa del tronco, las ramas, las raíces y el follaje, que depende de su incremento.
- b) Suelo. Aquí se integra el carbono que hay en humus y detritus, así como sus tasas de residencia y descomposición.
- c) Productos. Se consideran seis categorías: madera muerta, madera para papel, madera para empaque, madera para uso energético, madera para construcción y madera para aglomerados, e incluye una opción importante que es el reciclado.

La tasa de acumulación y descomposición de carbono en los reservorios, así como la cantidad total de carbono fijado, se da como la diferencia entre procesos fisiológicos tales como la acumulación de carbono por la fotosíntesis, versus la emisión por respiración. La fijación de carbono en biomasa se estima a partir de las tablas de incremento de la especie analizada. Se utilizan coeficientes para relacionar el incremento del tronco con raíces, ramas y follaje.

Para realizar el cálculo, el modelo parte de la simulación del ciclo del carbono y consiste en tres secciones principales: inicial, dinámica y final.

En la sección inicial se abren los archivos de entrada y salida de datos, y los datos de entrada se leen desde los archivos correspondientes. Dos archivos de introducción de datos son usados por el modelo, uno contiene los parámetros de la planta (BSOORT.SPE) y el otro contiene los datos del sitio del rodal (OPSTAND.SATA).

La parte dinámica consiste en un número de subsecciones que describen fenómenos tales como crecimiento del árbol, incremento forestal, acumulación del producto, descomposición, fijación de CO<sub>2</sub>, manejo, aclareo y cosecha final, y corrida del control de salida.

El modelo se ejecuta con tiempos escalonados de un año e integraciones numéricas depuradas, así como con tasas de crecimiento y descomposición expresadas de forma anual. Al final de cada periodo, el detalle del resultado es desplegado en los archivos de salida. Un contador en pantalla indica el procedimiento del cálculo de la simulación para periodos posteriores, como 10 años y 30 años después. Al final de la simulación, se despliegan en pantalla los resultados del procedimiento en forma gráfica (una del balance de carbono en toda la plantación y otra del balance de carbono por rodal) y tabular.

En la sección final del modelo se cierran los archivos de resultados, guardando la información del ejercicio con el nombre de la especie en cuestión, con lo cual el programa termina su ejecución.

### **Presentación de resultados**

Una vez registrada la información, el modelo realiza los cálculos de la estimación desplegando en pantalla un indicador del proceso. Al finalizar dicho proceso, muestra dos gráficas simultáneas de resultados. La primera corresponde al balance de carbono en la plantación y la segunda al balance de carbono en un rodal. Como complemento también muestra los resultados en forma de cuadros relativos al proceso de las estimaciones de captura de carbono en una plantación.

Los cuadros permiten ver de manera cuantitativa la cantidad de carbono almacenada en biomasa, en suelo, en productos; la suma de los tres da el carbono total. Esto para cada año en que se realiza el tratamiento, durante el primer turno y los subsecuentes.

### **Selección de parámetros fisiológicos y de biomasa para las diferentes especies**

En el bosque y selvas hay diferentes tipos de vegetación arbórea. La dominante en bosques de clima templado son los pinos, seguido por la de pino-encino, pino-otras hojosas y pino-abies. Las especies fueron agrupadas de la siguiente manera:

- c) Maderables de bosque templado: coníferas y hojosas

d) Maderables de selva tropical: preciosas y Comunes

Elas comparte alguna característica en común, la información característica de las especies se tomó como base para estimar la captura de carbono en el bosque y selvas, y fue calculado únicamente para el tallo, ya que no se contó con información para poder calcular las demás partes de los árboles. El valor del porcentaje de carbono en la biomasa, según los diferentes autores fue determinada en 45%.

### **Captura de carbono en los ecosistemas forestales**

La dinámica del ciclo del carbono en los ecosistemas forestales es muy compleja, por lo que, para hacer una estimación del potencial de captura de carbono, es necesario analizar los distintos componentes que integran los ecosistemas. Esto implica analizar conjuntamente el carbono capturado en vegetación (aérea y subterránea), suelos (incluyendo materia en descomposición) y productos forestales. Para obtener la dinámica temporal de la captura de carbono es necesario utilizar modelos de simulación.

En este estudio se integró toda la información que fue posible obtener localmente, complementándola con estudios de caso de ecosistemas similares en otros países para poder ejecutar el modelo de simulación CO<sub>2</sub> FIX y así realizar una estimación dinámica del potencial de captura de carbono para troncos.

## **RESULTADOS**

A continuación se describen los principales resultados obtenidos de los cálculos realizados por el modelo CO<sub>2</sub> FIX para Windows Ver. 1.2. únicamente se estimó el carbono en biomasa de los troncos, observando lo siguiente:

La Figura 1 y Cuadro 3, muestra la captura potencial de carbono en toda el área de estudio. Se aprecia el contenido e incremento de carbono en la biomasa de los tallos, que representa el carbono total del bosque de pinos y otras especies de coníferas apoyadas por el PRODEFOR. En la misma figura se aprecia la cantidad de biomasa acumulada de las diferentes especies a los 80 años de edad.

El potencial de captura total de carbono estimado para el bosque natural de especies de coníferas fue de 147.84 Mg/C/ha y para especies de hojosas fue de 110.04 mediante el empleo del modelo CO<sub>2</sub> FIX a los 80 años. Comparándolo con el

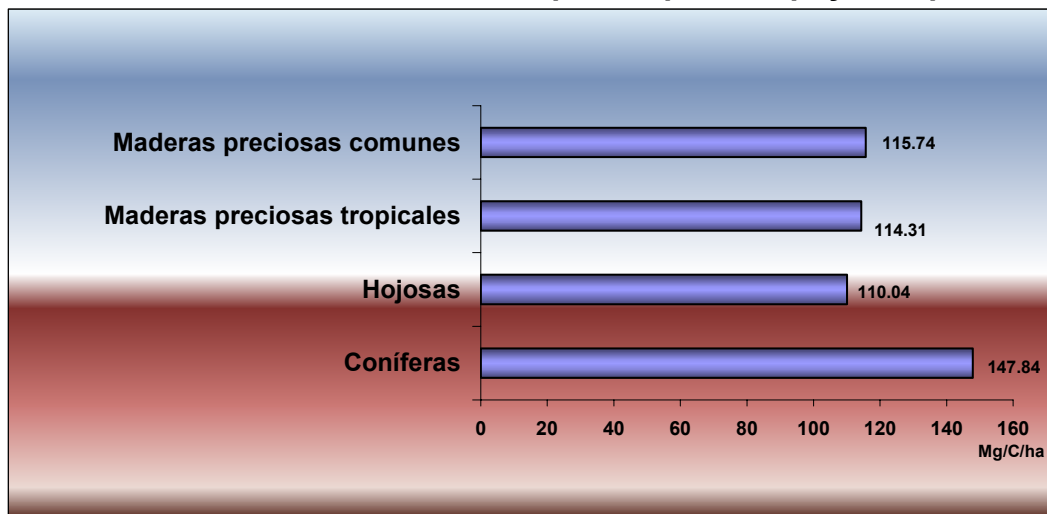
Cuadro 1, se observa que se tiene una estimación que fluctúa entre 276 Mg/C/ha y 74 Mg/C/ha a partir del primer turno de 80 años, lo que nos da un buen indicador de la estimación realizada.

Los valores estimados en especies tropicales que producen maderas preciosas fue de 114.31 Mg/C/ha y la producción para especies tropicales de maderas comunes de 115.74 Mg/C/ha. El contenido de carbono no se pudo calcular para hojas, ramas, raíces y biomasa de los suelos por no contar con datos básicos para su cálculo.

Según Barres (1993), citado por Ramírez *et al.* (1997), el CC de la madera de las coníferas arbóreas está entre un 50 y 53%, mientras que en las especies de hoja ancha varía entre 47 y 50%. En su estudio sobre valoración de la contribución de las plantaciones forestales a cuentas nacionales de Costa Rica, Ramírez *et al.* (1997), asumieron un CC promedio del 50% para las principales cinco especies plantadas en ese país, entre las que se encuentran *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Eucalyptus deglupta*. Ortiz (1997), utilizó un CC del 45% para su trabajo en bosques secundarios de Costa Rica. En su estudio sobre las implicaciones de las plantaciones tropicales como sumideros de C, Brown *et al.* (1986) asumieron que 1 g de biomasa = 0,5 g de C, es decir, un CC (carbón en proporción) del 50%. Goudriaan (1992), sostiene que el CC en la materia vegetal seca varía entre un 45 - 50% dependiendo de la especie, y afirma que esta variación es de hecho mucho menor que la de otros elementos minerales como N, P y K, cuyos niveles pueden variar en un factor de cinco según la especie y la fertilidad del suelo.

En su estudio en cinco zonas de vida de Venezuela, Delaney *et al.* (1997), encontraron que el C en la biomasa aérea para árboles mayores de 10 cm de diámetro, varía desde 70 t C/ha en el bosque muy seco, hasta 179 t C/ha en bosques muy húmedos y decrece ligeramente para la zona de vida húmedo montano (157 t C/ha). En bosques muy secos el C en la biomasa de los árboles con diámetro de 10 cm está entre 0.7 – 1.0 t C/ha, ó 1 – 1.5% del C contenido en los árboles (Delaney *et al.*, 1997). Brown y Lugo (1982) reportan contenidos de C en la biomasa aérea de árboles en los trópicos entre 20 - 269 t C/ha.

**Figura 1. Estimación de secuestro de carbono para especies apoyadas por el PRODEFOR.**



**Cuadro 1. Cantidad de carbono secuestrado por diferentes tipos de vegetación**

Especie	Mg/C/ha en biomasa aérea
Bosque de pino	276
Bosque de pino-encino	286
Bosque templado primario	257
Bosque templado secundario	90
Pinus pseudotsuga	74

Fuente: De jung *et al.*, 1998

**Cuadro 2. Datos estimados de secuestro de carbono de diferentes especies.**

<b>Año</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Hojosas</b>	<b>Maderas preciosas tropicales</b>	<b>Maderas comunes tropicales</b>
1	0.13544	0.13544	0.13544	0.6772
2	1.977424	0.27088	0.3386	0.853272
3	3.832952	0.40632	0.623024	1.110608
4	5.674936	0.555304	0.961624	1.42212
5	7.51692	0.717832	1.381488	1.814896
6	9.372448	0.893904	1.869072	2.275392
7	11.214432	1.08352	2.410832	2.803608
8	13.056416	1.28668	3.033856	3.413088
9	14.911944	1.48984	3.7246	4.076744
10	16.753928	1.720088	4.483064	4.821664
11	18.595912	1.950336	5.309248	5.634304
12	20.45144	2.221216	6.189608	6.528208
13	22.293424	2.546272	7.124144	7.503376
14	24.135408	2.91196	8.099312	8.559808
15	25.977392	3.31828	9.128656	9.697504
16	27.83292	3.778776	10.212176	10.916464
17	29.674904	4.279904	11.336328	12.216688
18	31.516888	4.821664	12.514656	13.598176
19	33.372416	5.404056	13.733616	15.060928
20	35.2144	6.02708	15.020296	16.604944
21	37.056384	6.70428	16.334064	18.230224
22	38.911912	7.435656	17.702008	19.855504
23	40.753896	8.221208	19.09704	21.480784
24	42.59588	9.060936	20.51916	23.106064
25	44.451408	9.95484	21.981912	24.731344

**Continuación**

<b>Año</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Hojosas</b>	<b>Maderas preciosas tropicales</b>	<b>Maderas comunes tropicales</b>
26	46.293392	10.90292	23.471752	26.356624
27	48.135376	11.905176	24.98868	27.981904
28	49.990904	12.975152	26.54624	29.607184
29	51.832888	14.08576	28.144432	31.232464
30	53.674872	15.264088	29.769712	32.857744
31	55.5304	16.483048	31.42208	34.483024
32	57.372384	17.756184	33.087992	36.108304
33	59.214368	19.042864	34.74036	37.733584
34	61.069896	20.370176	36.392728	39.358864
35	62.91188	21.724576	38.05864	40.984144
36	64.753864	23.119608	39.711008	42.609424
37	66.609392	24.541728	41.37692	44.234704
38	68.451376	25.990936	43.029288	45.859984
39	70.29336	27.480776	44.681656	47.485264
40	72.135344	28.997704	46.347568	49.110544
41	73.990872	30.54172	47.999936	50.735824
42	75.832856	32.112824	49.665848	52.361104
43	77.67484	33.711016	51.318216	53.986384
44	79.530368	35.322752	52.984128	55.611664
45	81.372352	36.948032	54.636496	57.236944
46	83.214336	38.6004	56.288864	58.862224
47	86.911848	41.972856	59.607144	62.112784
48	88.753832	43.692944	61.273056	63.738064
49	90.60936	45.426576	62.925424	65.363344
50	92.451344	47.173752	64.577792	66.988624
51	94.293328	48.96156	66.243704	68.613904

**Continuación**

<b>Año</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Hojosas</b>	<b>Maderas preciosas tropicales</b>	<b>Maderas comunes tropicales</b>
52	96.148856	50.776456	67.896072	70.239184
53	97.99084	52.61844	69.561984	71.864464
54	99.832824	54.487512	71.214352	73.489744
55	101.688352	56.397216	72.86672	75.115024
56	103.530336	58.320464	74.532632	76.740304
57	105.37232	60.284344	76.185	78.365584
58	107.227848	62.275312	77.850912	79.990864
59	109.069832	64.293368	79.50328	81.616144
60	110.911816	66.338512	81.155648	83.241424
61	112.767344	68.3972	82.82156	84.866704
62	114.609328	70.482976	84.473928	86.491984
63	116.451312	72.568752	86.13984	88.117264
64	118.293296	74.681616	87.792208	89.742544
65	120.148824	76.79448	89.444576	91.367824
66	121.990808	78.934432	91.110488	92.993104
67	123.832792	81.087928	92.762856	94.618384
68	125.68832	83.254968	94.428768	96.243664
69	127.530304	85.422008	96.081136	97.868944
70	129.372288	87.616136	97.733504	99.494224
71	131.227816	89.823808	99.399416	101.119504
72	133.0698	92.03148	101.051784	102.744784
73	134.911784	94.252696	102.717696	104.370064
74	136.767312	96.487456	104.370064	105.995344

### Continuación

Año	Coníferas	Hojosas	Maderas preciosas tropicales	Maderas comunes tropicales
75	138.609296	98.722216	106.022432	107.620624
76	140.45128	100.97052	107.688344	109.245904
77	142.306808	103.232368	109.340712	110.871184
78	144.148792	105.494216	111.006624	112.496464
79	145.990776	107.769608	112.658992	114.121744
80	147.846304	110.045	114.31136	115.747024

En el área de estudio (Manaus) del trabajo de Cerri *et al.* (1991), la biomasa aérea contiene entre 200 - 225 t C/ha, usando el programa CO<sub>2</sub>FIX. Los bosques primarios de Costa Rica contienen entre 75.15 – 127.3 t C/ha, mientras que en los secundarios este rango oscila entre 68.4 – 106.6 t C/ha (Ortiz, 1997).

En el estudio realizado por Delaney *et al.* (1997), el promedio total de C en la biomasa más el del suelo varió entre 302 - 488 t C/ha, siendo mayor (52 - 68% del total) el C del suelo en tres zonas de vida (muy seco, húmedo montano bajo y húmedo montano), mientras que en las otras dos (húmedo tropical y transición seco a húmedo) fue menor (20 - 36% del total). Los otros componentes del bosque contienen menores porcentajes de C del total, estando entre 6 - 11% en raíces, 1 - 8% en necromasa y 2% en hojarasca fina.

La plantaciones tropicales (principalmente de *Eucalyptus* sp., *Tectona grandis*, *Pinus* sp., entre otras) tienen un potencial de fijación que oscila entre 2.7 y 9.6 t C/ha/año (Brown *et al.*, 1986); al respecto Ramírez *et al.* (1997) determinaron una tasa de fijación de 7.7 t C/ha/año en plantaciones forestales en Costa Rica; en algunos registros para bosques tropicales maduros se tienen tasas de 0.71 ± 0.34 t C/ha/año (Phillips *et al.*, 1998), 1 t C/ha/año en Jarú (Grace *et al.*, 1996), 2.2 t C/ha/año (Fan *et al.*, 1998) y 5.9 t C/ha/año (Malhi *et al.*, 1998) cerca de Manaus en la amazonía brasileña. Ortiz (1997) encontró, que en bosques secundarios de Costa Rica se ha producido después de 20 años una tasa media de fijación en la biomasa aérea de 3.76 t C/ha/año.

## CONCLUSIONES

El dióxido de carbono es el gas más importante en el efecto invernadero y, por lo tanto, uno de los responsables del posible cambio climático. Sin embargo, se tienen todavía incertidumbres que resultan relevantes sobre las emisiones y

captura de este gas, particularmente en los ecosistemas forestales. Por esta razón, se requiere de estudios de caso a nivel regional que permitan obtener datos más precisos sobre los flujos y almacenes de este gas en los bosques y selvas.

Como resultados se estimó que:

- A los 80 años la captura potencial de carbono para bosques de pino fue de 134.72 Mg/C/ha, para especies de hojosas 234.46 Mg/C/ha, para especies tropicales que producen maderas preciosas fue de 106.7 Mg/C/ha, para especies que producen maderas comunes fue de 105.48 Mg/C/ha.
- Si se quisiera aumentar la captura potencial de carbono en el área de bosques naturales, la línea más promisoría sería derivar la cosecha de madera con tiempo de residencia muy largos.
- La estimación de carbono base es bastante robusta en relación con reportes bibliográficos.

En nuestro país son muy pocos los estudios de caso realizados sobre la estimación del potencial de captura de carbono en ecosistemas forestales. Por este motivo, el presente a: i) desarrollar un método de estimación del potencial de captura de carbono basado en un modelo de simulación; ii) indicar los parámetros necesarios para realizar la estimación; iii) sugerir estudios específicos para determinar parámetros que no han sido cuantificados a nivel regional y iv) mostrar el potencial de captura de carbono que tiene los bosques y selvas del país en general. Una aportación adicional es sugerir un método reproducible para obtener la curva de incremento de especies forestales.

Es importante mencionar que estas estimaciones fueron hechas para contenido de carbono únicamente para troncos de biomasa aérea y estas estimaciones son generales. Se sugiere realizar estudios de secuestro de carbono para cada una de las especies forestales del país con el objetivo de contar con información más exacta y particularizada.

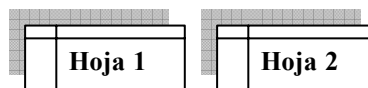
## BIBLIOGRAFIA

- BROWN, S.; LUGO, A. y CHAPMAN, J. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forestry Research* 16: 390-394.
- CERRI, C.; VOLKOFF, B. y ANDREAUX, F. 1991. Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. *Forest Ecology and Management* 38: 247-257.
- DE JONG, B., M.A. CAIRNS, N. RAMÍREZ-MARCIAL, S. OCHOA-GAONA, J. MENDOZA-VEGA, P.K. HAGGERTY, M. GONZÁLEZ-ESPINOSA Y I. MARCH-MIFSUT, 1998. Land-use change and carbon flux between the 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas. México. Environmental Management (Aceptado el 4 de junio de 1998)
- DELANEY, M., BROWN, S.; LUGO, E.; TORRES-LEZAMA, A. Y BELLO-QUINTERO, N. 1997. The distribution of organic carbon in major components of forest located in
- FAN, S.; GLOOR, M.; MAHLMAN, J.; PACALA, S.; SARMIENTO, J.; TAKAHASHI, T. y TANS, P. 1998. A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models. *Science* 282: 442-446.
- GRACE, J.; MALHI, Y.; LLOYD, J.; McINTYRE, J.; MIRANDA, A.; MEIR, P. y MIRANDA, H. 1996. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake o brazilian rain forest. *Global Change Biology* 2: 209-217.
- ORTIZ, R. 1997. Costa Rican secondary forest: an economic option for joint implementation initiatives to reduce atmospheric CO<sub>2</sub>. Draft paper presented for inclusion in the Beijer Seminar in Punta Leona. Costa Rica. 19 p.
- PHILLIPS, O.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; LAURENCE, W.; NÚÑEZ, P.; VÁSQUEZ, R.; LAURENCE, S.; FERREIRA, L.; STERN, M.; BROWN, S & GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.
- RAMÍREZ, O.; GÓMEZ, M. y SHULTZ, S. 1997. Valuing the contribution of plantation forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective. Beijer Research Seminar. Costa Rica. 28 p.

Características del cuadro Aportación total de captura de carbono

Esquema de representación y guía para su observación

### **Cuadro Anexo Aportación total de captura de carbono**



## **Nota metodológica del cálculo de la recarga de acuíferos (Capítulo 9)**

# CAPTACIÓN DE AGUA O CONTRIBUCIÓN DE SU CALIDAD, ESTIMADA MEDIANTE EL AUMENTO ESPERADO DE LA RECARGA DE MANTOS ACUÍFEROS Y DE CAUDALES DENTRO DE LA CUENCA Y POR MEDIO DE INDICADORES DE CALIDAD

## MÉTODOS

### 3.1. Variables evaluadas

Los datos empleados en este trabajo provienen de una muestra de 100 cuencas del país. Se trató de cubrir la variabilidad de Superficie forestal (**SF**), Número de habitantes (**NH**), Recarga de acuíferos (**CA**) y Extracción de acuíferos (**EA**).

### 3.2. Análisis estadístico

En el análisis preliminar de la información, los datos fueron codificados, ordenados, almacenados, corregidos, complementados, sintetizados y elaborados hasta el punto de tener valores de las variables que alimentaron los modelos en formato de Excel para Windows para su empleo inmediato. Después del registro se efectuaron estimaciones del grado de asociación entre variables usando las técnicas de correlación con el procedimiento PROC CORR de SAS (SAS, 1992), con el objetivo de evadir la colinealidad y eliminar las variables altamente correlacionadas.

Para la generación del modelo definitivo con las variables que influyeran en la Carga y Descarga de los mantos acuíferos, se procedió a efectuar un análisis de regresión, mediante el procedimiento PROC STEPWISE (Max R) y PROC CORR del paquete estadístico SAS (SAS, 1992). Los datos con los que se alimentó el modelo fueron: número de habitantes y superficie forestal como variables dependientes y Carga de mantos acuíferos y Descarga de mantos acuíferos como variables independientes.

Una vez seleccionados los modelos con las variables que contribuyeron a explicar la variabilidad de la carga y descarga de acuíferos, se realizó el ajuste de las ecuaciones de regresión que mejor predijera el comportamiento de ésta. Para el análisis de regresión se utilizó el procedimiento PROC REG de SAS (SAS, 1992). El criterio para la selección del mejor modelo se basó en el menor cuadrado medio del error (**CME**), mayor coeficiente de determinación (**R<sup>2</sup>**), menor desviación estándar, significancia de modelo (**F**), prueba de normalidad, análisis gráfico de residuales y un mínimo de variables independientes (Draper y Smith, 1981; Clutter *et al.*, 1983).

### Resultados y Discusión

Las variables independientes no presentaron evidencias de colinealidad con la carga o descarga de acuíferos, así como alta grado de correlación en el análisis de correlación, por lo que fueron consideradas en el procedimiento de regresión por pasos.

#### Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 /

	SF	NH	EXTRAC	RECARGA
SF	1.00000 0.01	-0.96152 0.0218	0.00107 0.9923	0.90651 0.0001
NH	-0.96152 0.0218	1.00000 0.0	0.9870 0.000	0.19819 0.0555
EA(EXTRACCIÓN)	0.00107 0.9923	0.9870 0.0001	1.00000 0.0	-0.06022 0.5621
CA(RECARGA)	0.96651 0.0001	-0.9819 0.0555	-0.06022 0.5621	1.00000 0.0

Se compararon diferentes funciones de predicción de Carga y Descarga de acuíferos, para elegir la de mejor ajuste a los datos. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de las mejores funciones, derivado del análisis de varianza y regresión. Se observa que la mayoría fueron significativas, con valores de coeficiente de determinación relativamente elevados, cuadrado medio del error pequeño y desviación estándar aceptable, indicando así un ajuste adecuado de los modelos. Sin embargo, los modelos que utilizaron la superficie forestal y número de habitantes en forma lineal para Carga y Descarga, respectivamente fueron los mejores modelos.

Se eligieron los mejores modelos (Cuadro 1), para la Carga de acuíferos fue el modelo  $CA = \beta_0 + \beta_1 sf + \xi_i$ . Este modelo dio uno de los mejores ajustes de todas las funciones para predecir la carga de acuíferos con una  $R^2 = 93.85$ , con el menor CME (0.029) y desviación estándar (0.17) y utiliza una sola variable predictora, la superficie forestal.

Para la Extracción de acuíferos fue el modelo  $EA = \beta_0 + \beta_1nh + \xi_i$ , este modelo dio uno de los mejores ajustes de todas las funciones para predecir la Extracción de acuíferos con una  $R^2 = 91.85$ , con el menor CME (0.029) y desviación estándar (0.17) y utiliza una sola variable predictora, el número de habitantes.

**Cuadro 1. Indicadores de ajuste para los modelos de predicción de la carga y descarga de acuíferos**

Modelo	R <sup>2</sup> %	CM Error	Desviación estándar	Pr > F
<i>Carga de acuíferos</i>				
CA = $\beta_0 - \beta_1nh + \xi_i$	20.86	0.164	0.78	0.4350
CA = $\beta_0 + \beta_1nh - \beta_2sf + \xi_i$	72.53	0.093	0.30	0.0001
CA = $\beta_0 + \beta_1sf + \xi_i$	93.85	0.029	0.17	0.0001
<b>Extracción de acuíferos</b>				
EA = $\beta_0 + \beta_1nh + \xi_i$	91.85	0.029	0.17	0.0001
EA = $\beta_0 + \beta_1nh + \beta_2sf + \xi_i$	67.56	0.025	0.15	0.0001
EA = $\beta_0 + \beta_1sf + \xi_i$	44.34	0.053	0.23	0.0001

CA = Carga de acuíferos; EA = Extracción de acuíferos;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  y  $\beta_4$  = coeficientes de regresión; sf = superficie forestal en ha; nh = número de habitantes; y  $\xi_i$  = elementos aleatorios de error no correlacionados, con media 0 y varianza constante  $\sigma^2$ .

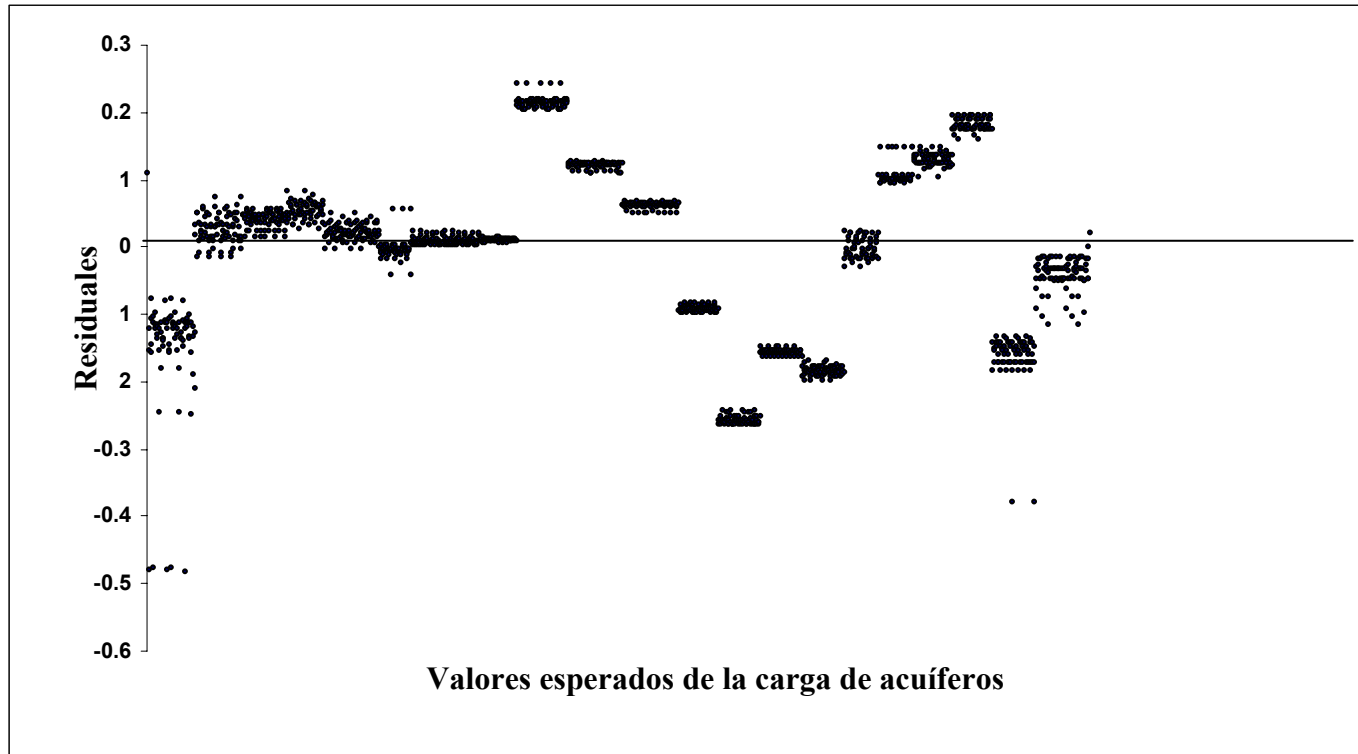
En el Cuadro 2 se presentan los resultados básicos del análisis de regresión correspondientes a la ecuación  $CA = \beta_0 + \beta_1sf + \xi_i$ . Esta ecuación permite estimar satisfactoriamente la carga de acuíferos, lo que se confirma al observar los errores estándar de los estimadores de los parámetros (variación mínima) y la prueba de "t" que muestran evidencia significativa del efecto de la variable involucrada sobre la Carga de acuíferos. La prueba de normalidad "W" ( $Pr \geq 0.0001$ ) (Cuadro 2) sugiere una distribución normal de las desviaciones (errores) del modelo. De igual forma, los factores de inflación de varianzas (**FIV**) y los eigenvectores (**EG**) muestran un comportamiento satisfactorio, ya que valores FIV mayores de 4 y valores EG cercanos a cero indicarían problemas de colinealidad, lo que sugeriría existencia de dependencia lineal entre variables (Draper y Smith, 1981). En este caso los valores de FIV y EG están cumpliendo con los requisitos mínimos.

**Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza correspondiente a la ecuación que  $CA = \beta_0 + \beta_1 sf + \xi_i$  que predice la carga de acuíferos**

<b>CM Modelo</b>	<b>CM Error</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Valor de W</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C.V</b>
84.41	0.015	0.12	562.73	0.8862	0.8755	9.43
<b>Variable</b>	<b>Estimación Parámetro</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Prob&gt; T</b>	<b>FIV</b>	<b>Eigenectores</b>	
$\beta_0$	5.9420	0.10218116	58.152	0.0000	2.83603	
$\beta_1$	3.0591	0.04336070	70.153	1.19906	0.13078	
$\beta_2$	- 0.1204	0.00145291	82.891	2.42167	0.22958	

En la Figura 1 se muestra la tendencia de los residuales donde se observa un comportamiento adecuado de los mismos (Draper y Smith, 1981).

Figura 1. Diagrama de dispersión de residuales de la ecuación  $CA = \beta_0 + \beta_1sf + \xi_i$ .



En general se puede observar que los puntos se distribuyen aleatoriamente a ambos lados del eje X con valor de cero, sin ninguna tendencia o sesgo de la ecuación. Por lo tanto, el análisis de los residuales no muestra tendencias anómalas que permitan sospechar la presencia de problemas de heteroscedasticidad (heterogeneidad de varianzas).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados básicos del análisis de regresión correspondientes a la ecuación  $EA = \beta_0 + \beta_1nh + \xi_i$ . Esta ecuación permite estimar satisfactoriamente la extracción de acuíferos, lo que se confirma al observar los errores estándar de los estimadores de los parámetros (variación mínima) y la prueba de "t" que muestran evidencia significativa del efecto de la variable involucrada sobre la Extracción de acuíferos. La prueba de normalidad "W" ( $Pr \geq 0.0001$ ) (Cuadro 3) sugiere una distribución normal de las desviaciones (errores) del modelo. De igual forma, los factores de inflación de varianzas (**FIV**) y los eigenvectores (**EG**) muestran un comportamiento satisfactorio, ya que valores FIV

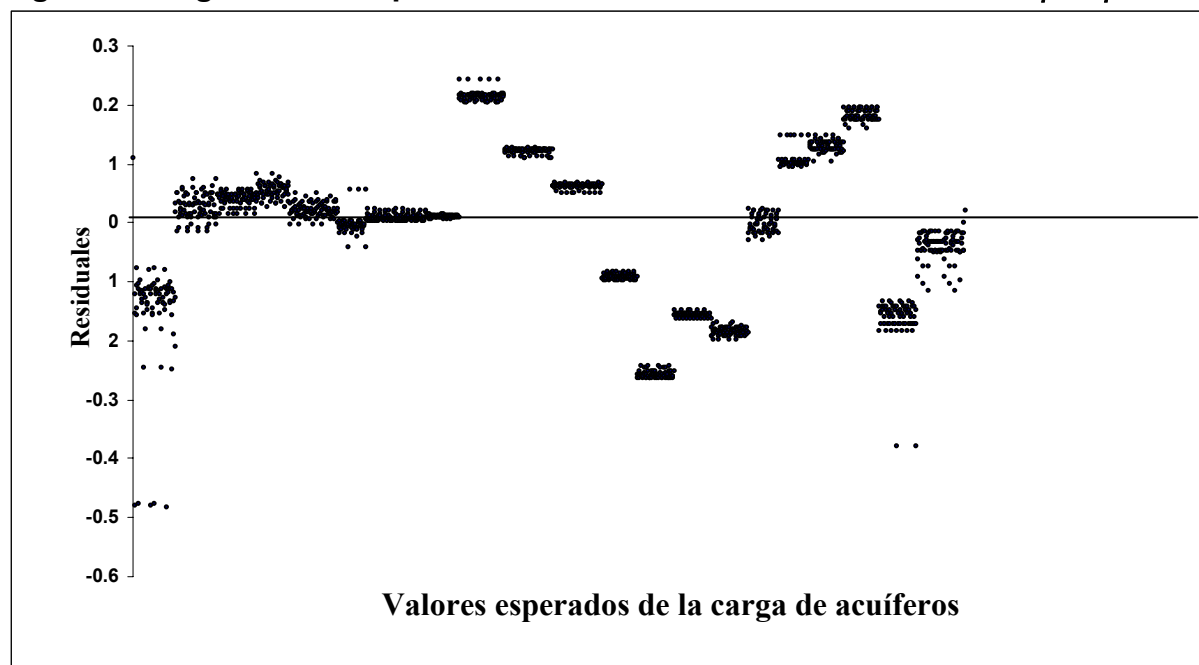
mayores de 4 y valores EG cercanos a cero indicarían problemas de colinealidad, lo que sugeriría existencia de dependencia lineal entre variables (Draper y Smith, 1981). En este caso los valores de FIV y EG están cumpliendo con los requisitos mínimos.

**Cuadro 3. Resumen del análisis de varianza correspondiente a la ecuación que  $EA = \beta_0 + \beta_1nh + \xi_1$  que predice la extracción de acuíferos**

CM Modelo	CM Error	Desviación estándar	Valor de F	Valor de W	R <sup>2</sup>	C.V
84.41	0.015	0.12	562.73	0.8862	0.8755	9.43
Variable	Estimación Parámetro	Error estándar	Prob> T	FIV	Eigenvectores	
$\beta_0$	4.720	0.13418116	58.152	0.0000	2.42714	
$\beta_1$	2.0591	0.08798070	70.153	1.19906	0.17689	
$\beta_2$	- 0.0904	0.01355291	82.891	2.42167	0.22347	

En la Figura 2 se muestra la tendencia de los residuales donde se observa un comportamiento adecuado de los mismos (Draper y Smith, 1981).

Figura 2. Diagrama de dispersión de residuales de la ecuación  $EA = \beta_0 + \beta_1nh + \xi_i$



En general se puede observar que los puntos se distribuyen aleatoriamente a ambos lados del eje X con valor de cero, sin ninguna tendencia o sesgo de la ecuación. Por lo tanto, el análisis de los residuales no muestra tendencias anómalas que permitan sospechar la presencia de problemas de heteroscedasticidad (heterogeneidad de varianzas).

## CONCLUSIONES

- Es posible estimar razonablemente la Carga y Extracción de acuíferos a partir de ecuaciones de regresión. Las variables superficie forestal y número de habitantes, son variables que influyen en la Carga y Extracción de acuíferos, respectivamente. Las ecuaciones que mejor ajustes tuvieron para predecir la Carga y Extracción acuíferos fueron los modelos  $CA = \beta_0 + \beta_1sf + \xi_i$  y  $EA = \beta_0 + \beta_1nh + \xi_i$ , respectivamente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Clutter J L, J C Forston, L V Pienaar, G H Brister, R L Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- Draper N, H Smith. 1981. Applied regression analysis. John Wiley and Sons. New York. 709 p.
- Liniger, H.P., Weingartner, R., Grosjean, M., Kull, C., MacMillan, L., Messerli, B., Bisaz, A, Lutz, U. 1998. Mountains of the world: water towers for the twenty-first century. A contribution to global freshwater management. Mountain Agenda. Berna, Paul Haupt.
- Martínez G A, M Castillo A. 1987. Teoría de la regresión con aplicaciones agronómicas. C.P. Montecillo, Estado de México, México. 418 p.
- SAS Institute Inc .1992. System for regression. Cary, NC USA. 210 p.

## **Nota metodológica del Valor Presente Neto (Capítulo 10)**

## **NOTA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL VALOR PRESENTE NETO (UTILIZADO EN EL CAPÍTULO 10)**

Dada la dificultad para el cálculo financiero de todos los productos forestales se propuso desde la propuesta técnica, y fue aceptado como método, el cálculo de las especies dominantes y de aquellas que tuvieran costos y precios mensurables y de una manera estable en el proceso productivo. Así se eliminaron actividades forestales de tipo silvícola en zona semidesértica o de variedad con las que se cuenta con poca información.

Después de este proceso selectivo, las variedades forestales se agruparon en cuatro tipos de especie, las cuales se reflejan en el catálogo correspondiente (Anexo 9). Las cuatro tipos son: Coníferas y hojosas (Maderables de zonas templadas), Preciosas y comunes (maderables de selva tropical). Los cálculos de Valor Presente Neto VPN se hicieron para cada una de estos grupos de especies.

El valor presente neto es la suma total del valor actual de una serie de pagos futuros. Sin embargo, en la muestra se encontraron predios con árboles de diversas edades de entre cero y 100 años, por lo que se contó con información real a precios presentes 2003 (constantes), por lo que no fue necesario hacer estimaciones de costos e ingresos en los que se proyectara una inflación esperada para después depreciar dichos valores a una tasa libre de riesgo (o tasa de rentabilidad deseada).

Para la estimación de los flujos de efectivos base para la estimación del Valor Presente Neto, se partió de la información obtenida de los productores y se buscó llegar a una unidad de análisis que fue la hectárea.

A partir de ahí se estimó un costo promedio de producción por ha y se procedió a calcular los costos medios (media aritmética) obtenidos en la encuesta. Se eliminaron los valores que presentaban grandes varianzas, este proceso se efectuó para cada una de las especies estudiadas.

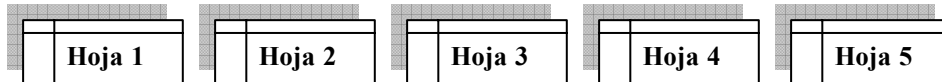
Los valores encontrados fueron validados por los técnicos especializados en materia forestal y agro biología de la UAT.

En el cuadro anexo Valor Presente Neto se muestran las estimaciones para cada una de las principales especies por año, considerando los ingresos y egresos a precios constantes, dependiendo del grado de integración del productor.

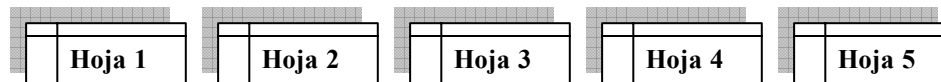
Características del cuadro Valor Presente Neto

Esquema de representación y guía para su observación

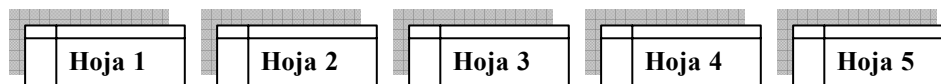
### **Estimación del Valor Presente Neto *Programa***



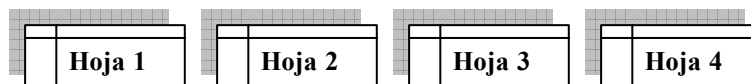
### **Estimación del Valor Presente Neto *Coníferas***



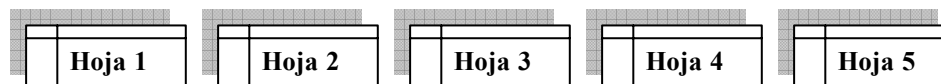
### **Estimación del Valor Presente Neto *Hojosas***



### **Estimación del Valor Presente Neto *Preciosas***



### **Estimación del Valor Presente Neto *Comunes***



## **Nota metodológica del Costo / Beneficio (Capítulo 10)**

## ESTIMACIÓN DEL COSTO/BENEFICIO

### Nota metodológica

Para estimar las utilidades de los beneficios directamente asociados a la ejecución 2003 del Programa, se consideraron siete factores de cambio fundamentales, los que se clasificaron en función de la percepción de los beneficiarios sobre las actividades que les han redituado beneficios, estos factores son:

- a) Generación de condiciones que eviten la pérdida de superficie forestal
- b) Incremento de valor agregado en los productos obtenidos
- c) Cambios en el empleo: contratado y familiar
- d) Cambios en el stock de capital (inversión adicional)
- e) Cambios en el capital humano derivados de la capacitación
- f) Cambios derivados de las medidas implementadas de protección al predio
- g) Incremento de otros productos.

Una vez definidos los factores de cambio, se procedió a determinar el tamaño del impacto y los valores asociados a precios de mercado de la actividad; a continuación se describe como se estimó el beneficio en cada una de las categorías estudiadas.

- a) En la generación de condiciones que eviten la pérdida de superficie forestal, se tomó a los beneficiarios que reportaron haber realizado actividades que eviten la pérdida de superficie; se cuantificó cuanta superficie tenían antes del apoyo y cuanta después, al diferencial obtenido se le multiplicó por 0.41%, que es el dato nacional de superficie que se pierde por incendios. Al producto resultante se le multiplicó por el valor presente neto anual de una hectárea sembrada, con lo que se obtuvo la ganancia generada por esta actividad.
- b) Algunos productores declararon que comercializaron con mayor valor agregado su producto. Por lo que para estimar el beneficio obtenido se valoró la superficie incorporada por el Programa con un diferencial en precios equivalente al cambio de la venta en pie con la venta en rollo, este diferencial promedió \$1,000 pesos.
- c) Se consideró el aumento que se dio en el número de jornales y se multiplicó por un salario promedio de 45 pesos.
- d) Se consideró el total de inversión adicional que reportaron los productores.

- e) Se consideró el total del apoyo dado por la subcategoría capacitación a los productores.
- f) Se contabilizaron las hectáreas incorporadas por los productores que declararon que habían realizado medidas de protección, estas hectáreas se valoraron en función del VPN por hectárea anual.
- g) Se totalizaron los productores que declararon que habían realizado actividades que les permitían obtener subproductos en fases previas al aprovechamiento; por cada hectárea en la que se realizó esta actividad se le asignó un valor promedio de 2,000 pesos.