

No.6 Unidad de Apoyo Técnico. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. SARH.

- 8.- Vergara, T.N. 1985.- Sistema Agroforestal. Una Cartilla - Revista Unosylva. Vol.37 No.147. FAO.
- 9.- Villarreal, C.R.; Caballero D.M.; Maldonado, L.J.; González L. 1983.- Situación actual de las actividades Agrosilviculturales en Cuba, República Dominicana, Haití y México. Inédito, Méx.
- 10.- Villarreal Cantón, R.; Chavelas Polito, J. 1986.- Agro-silvicultura Comisión Forestal de América del Norte, Chetumal, Q.Roo.

BALANCE QUINGUENAL DE BIOMASA, PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO (*Theobroma cacao*) EN COSTA RICA

Beer J\*, Imbach A\*\*, Alvarez J\* Bonnemann A\*, Chavez W\*\*\*, Martel I\*\*\*, Fassbender H\*\*\*\*

RESUMEN

Se presenta y analiza el balance de biomasa entre los 6 y 10 años de edad de dos sistemas agroforestales: cacao (*Theobroma cacao*) con poró (*Erythrina poeppigiana*) y cacao con laurel (*Cordia alliodora*).

Pudo observarse que la producción del cacao (almendras; peso seco) en ambos sistemas fue similar y del orden de los 1.000 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> en promedio. La producción promedio de madera de *C. alliodora* fue de 9 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>, mientras que *E. poeppigiana* no produce madera comercial ni leña. La caída de hojarasca en cada sistema promedió 11 y 23 t.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> para las asociaciones con *E. poeppigiana* y con *C. alliodora* respectivamente, atribuyéndose la diferencia a los residuos generados por la poda anual de *E. poeppigiana* (10 t.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>). En el décimo año la biomasa de los troncos de los árboles asociados era equivalente al 80% del total de la biomasa aérea en ambos sistemas.

El contenido de materia orgánica del suelo aumentó en los primeros diez años en 41,6 y 15,5 t.ha<sup>-1</sup> en las asociaciones con *E. poeppigiana* y con *C. alliodora*, respectivamente. Pese a que este incremento no fue estadísticamente significativo, su tendencia, unida a otros índices de productividad, conducen a la conclusión de que estos sistemas son sostenibles a largo plazo.

Considerando razones económicas, el asocio con *C. alliodora* es recomendable dada la producción maderable de éste; sin embargo en suelos de fertilidad limitada que no son fertilizados, el asocio con *E. poeppigiana* es también recomendable dada la elevada tasa de deposición de biomasa y de circulación de nutrientes propia de esta especie.

- \* Proyecto CATIE-GTZ Agroforestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica  
 \*\* Oficina Regional IUCN, CATIE, Turrialba, Costa Rica  
 \*\*\* Instituto de Pesquisas Agropecuarias, INPA, Manaus, Brasil  
 \*\*\*\* Instituto Técnico Forestal, Göttingen, República Federal de Alemania

## INTRODUCCION

Una de las principales razones que explican el creciente interés en los sistemas agroforestales es la hipótesis de que ellos pueden generar productos agrícolas y forestales en forma sostenida (Nair 1984, Sánchez 1987, Mongi y Huxley 1979, Young 1987, 1989).

Los resultados experimentales necesarios para comprobar esta hipótesis son escasos y rara vez provenientes de ensayos a largo plazo. Una de las excepciones a esta situación es la del Experimento Central del CATIE en Turrialba, Costa Rica, para el cual se han publicado datos de producción, biomasa, ciclado de nutrientes, balance hídrico, lixiviación, etc. para sistemas compuestos por *Theobroma cacao* o *Coffea arabica* asociados con *Cordia alliodora* o *Erythrina poeppigiana* (Alpizar *et al* 1985, 1986; Fassbender *et al* 1985, 1988; Heuvelodop *et al* 1985, 1988; Imbach *et al* 1989a, 1989b).

Sin embargo este ensayo ha sido previsto para cubrir una rotación completa de los sistemas (20 años), incluyendo evaluaciones parciales como la que se presenta en este informe que comprende el período entre los 6 y 10 años de edad de los sistemas y en el que se presentan los valores de producción forestal y agrícola así como la distribución de biomasa y los flujos entre los distintos compartimentos en ambos sistemas.

## MATERIALES Y METODOS

## El sitio experimental

El sitio del Experimento Central se encuentra en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, a una altura de 650 msnm, con una temperatura media de 22°C y una precipitación media anual de 2.600 mm, sin estación seca. Ecológicamente el área se encuentra en el Bosque húmedo tropical premontano, habiendo sido sus suelos clasificados como Typic humitropepts, fine, halloysitic, isohyperthermic (Kass *et al*, 1989).

El experimento fue establecido en 1977 (Enríquez, 1979) en un diseño de parcelas divididas dentro de bloques al azar. Existen dos bloques y en cada uno de ellos dos parcelas grandes de 36 m por 36 m con distintas especies arbóreas (*C. alliodora* y *E. poeppigiana*). Cada parcela grande está dividida en dos parcelas pequeñas de 18 m por 36 m, plantadas con *I. cacao* o *C. arabica*. El espaciamiento de los árboles es de 6 m por 6 m (278 árboles.ha<sup>-1</sup>), mientras que las plantas de cacao se plantaron a 3 m por 3 m (1.111 plantas.ha<sup>-1</sup>).

## Producción de cacao

Los frutos de cacao fueron cosechados cada 15 días de los 32 árboles centrales de cada parcela, a partir del segundo año experimental (Junio 1979). En cada caso se separaron las semillas de las cáscaras y se pesaron por separado en fresco y luego se calculó el peso seco (estufa) en base de datos de muestras.

Crecimiento de *C. alliodora*

El diámetro a la altura del pecho (dap, cm) y la altura total (h, m) de los diez árboles centrales de cada parcela fueron medidas una o dos veces al año desde 1978. Los volúmenes de los troncos fueron determinados mediante una tabla de volumen específica (Somarriva y Beer, 1986) Además, en el décimo año, se practicó una cubicación detallada de los volúmenes de los troncos midiendo los diámetros correspondientes cada dos metros.

## Determinación de la biomasa aérea de las plantas

A fin de determinar la distribución de la biomasa en las distintas partes del sistema, sendos inventarios de biomasa fueron practicados en 1982 a los cinco años de edad (Alpizar *et al*, 1986) y, con algunas modificaciones, en 1987 a los 10 años. Se utilizaron técnicas no destructivas para estimar la biomasa promedio por individuo de troncos, ramas y hojas, las cuales fueron convertidas a valores por hectárea empleando la densidad de plantación de cada especie.

**I. cacao.** La determinación de biomasa de ramas y hojas se efectuó con base en una poda de ramas (diámetro basal < 5 cm) de 16 árboles de cada parcela. El procedimiento consistió en tomar todas las ramas podadas de un mismo árbol, medir el diámetro basal de cada una y luego el peso seco total, tanto de madera como de hojas, por árbol. Con los datos de diámetro basal de las ramas se calculó para cada árbol el área basal total de las ramas podadas. Con los datos de todos los árboles podados se construyeron regresiones de biomasa de ramas o de hojas en función del área basal total de ramas podadas por árbol (Cannell, 1982). Se procedió luego a la determinación del diámetro basal y del área basal total de las ramas no podadas remanentes en cada árbol, empleándose las regresiones anteriores para estimar la biomasa de hojas o de ramas remanente en cada árbol.

Todos los chupones fueron podados, separados en madera y hojas y su peso seco determinado.

La biomasa de los troncos más las ramas de diámetro mayor a 5 cm fue determinada en base a la determinación del volumen de los mismos y a una estimación de la densidad de la madera a partir de muestras tomadas por barrenamiento

(barreno de Pressler; diámetro 5 mm). La determinación de volumen (fórmula de Smalian) fue efectuada midiendo diámetros a intervalos de un metro o menos, dependiendo de la existencia de irregularidades en los troncos y ramas.

Se siguió una metodología muy semejante para las determinaciones de biomasa aérea de C. alliodora y E. poeppigiana.

#### Deposición natural de hojarasca y podas

La caída natural de hojas fue medida mediante trampas de un metro cuadrado de superficie (marco de madera, fondo de malla fina) colocadas a 10 cm de altura del suelo. Se distribuyeron seis trampas al azar en cada sistema. El material recogido fue retirado semanalmente y clasificado en hojas y ramas por especie, antes de determinar pesos secos. Las mediciones se extendieron desde noviembre de 1982 hasta octubre de 1987.

En los sistemas estudiados, I. cacao es sometido a podas ligeras una o dos veces por año, mientras que E. poeppigiana se poda en un 50% cada año o dos años, según su crecimiento. Se midieron los residuos de las podas de ocho árboles de E. poeppigiana por parcela, clasificándolos en hojas y ramas y pesándolos en fresco para luego calcular los pesos secos, en base a muestras de 500 g por árbol.

#### Hojarasca en el suelo y biomasa de raíces

Luego de excluir un borde de tres metros en cada parcela, se procedió a ubicar ocho puntos de muestreo en cada parcela mediante coordenadas al azar. En cada punto se recogió toda la hojarasca depositada encima del suelo empleando un marco de 50 cm por 50 cm. Este material fue clasificado en ramas y hojas, secado en estufa y pesado.

Luego, en los mismos puntos, se muestrearon las raíces con un cilindro metálico (diámetro interior 26,5 cm; altura 15 cm) a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad. Las raíces fueron separadas en tanques haciendo correr agua a través de ellos, y luego fueron clasificadas (< 5 mm y de 5 a 20 mm), secadas en estufa y pesadas. No fue posible detectar las especies a las que correspondían las diferentes raíces. Las raíces principales (> 20 mm) no fueron muestreadas a fin de evitar su destrucción.

#### Contenido de materia orgánica del suelo

Se tomaron diez muestras por parcela (fines de 1986), para determinar el contenido de materia orgánica (Díaz Romeu, 1978). La ubicación de las muestras fue decidida mediante coordenadas al azar, separando tres metros de borde, y se tomaron a 0-15; 15-30 y 30-45 cm de profundidad. Para calcular el contenido de materia orgánica total por hectárea se emplearon los datos de densidad aparente obtenidos por Alpizar (1986) mediante el método del cilindro.

#### Determinación de la productividad primaria neta

El cálculo de la productividad primaria neta entre las edades 0 y 5 años y entre 5 y 10 años se realizó mediante la adición de los promedios anuales de las siguientes variables:

- \* incrementos de biomasa aérea y de raíces, derivados de la diferencia entre los inventarios de 1977 (sólo suelo), 1982 y 1987.

- \* regeneración anual de raíces. Para esta variable se asumió el valor de biomasa de raíces de diámetro menor a 5 cm de los inventarios de 1982 o de 1987.

- \* producción de I. cacao (semillas y cáscaras) para los periodos 1977-1982 o 1983-1987.

- \* deposición natural de hojarasca y podas, medidas durante el periodo 1982-1987. Para el periodo 1977-1981 se asumió un incremento anual sigmoidal en la producción de hojarasca, con baja producción en los dos primeros años y que sube rápidamente en el tercer y cuarto año. Por lo tanto, la producción total de hojarasca entre 1977 y 1981 fue estimada como el 150% del valor medio en 1982. Para el periodo 1983-1987 se asumió el promedio de las mediciones anuales del periodo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Producción de cacao

Los valores promedio (peso seco) obtenidos a lo largo de los nueve años de mediciones son de  $0,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  de semillas y  $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  de cáscaras, sin que se observen diferencias significativas entre los sistemas estudiados. Una vez que el cacao ha logrado su nivel de producción comercial (1982-1987) los promedios fueron  $1,0$  y  $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción promedio anual de *Theobroma cacao* bajo la sombra de *Cordia alliodora* o *Erythrina poeppigiana* (kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>)\*

|         | Almendras              |                          | Cáscara                |                          |
|---------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|         | C.<br><i>alliodora</i> | E.<br><i>poeppigiana</i> | C.<br><i>alliodora</i> | E.<br><i>poeppigiana</i> |
| 1978-82 | 306*                   | 377                      | 420                    | 506                      |
| 1983-87 | 1036                   | 1057                     | 1489                   | 1488                     |

\* Peso seco; valores calculados de datos no publicados de Enríquez G, Morera J, Mora A y Galindo J. No hubo diferencias significativas ( $P \geq 0.95$ ) entre sistemas.

#### Crecimiento de los troncos de *C. alliodora*

En los últimos cinco años el incremento en volumen de los troncos de *C. alliodora* promedió 9 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>, lo cual fue asociado con una reducción de las tasas de crecimiento diamétrico (Cuadro 2). De acuerdo con los estudios de Somarriba y Beer (1986), el diámetro promedio es típico para *C. alliodora* de 10 años de edad, aunque la altura es 3,5 m menor a lo esperado. Si se considera que el Experimento es fertilizado anualmente (87 kg N; 34 kg P y 32 kg K.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>), las tasas de crecimiento son menores que lo esperable.

Cuadro 2. Crecimiento de *Cordia alliodora* asociado con *Theobroma cacao*

| Edad<br>(Años) | Diámetro<br>tallo<br>(cm) | Altura<br>tallo<br>(m) | Volumen<br>tallo<br>(m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )* |
|----------------|---------------------------|------------------------|--|
| 1.2            | 4.1                       | -                      | -  |
| 1.5            | 5.8                       | 5.0                    | -  |
| 2.2            | 8.7                       | 6.3                    | -  |
| 3.7            | 14.0                      | 8.7                    | -  |
| 4.5            | 16.1                      | 10.1                   | 22.5   |
| 5.3            | 17.8                      | 10.6                   | 31.6   |
| 5.8            | 17.7                      | 10.9                   | 31.6   |
| 6.3            | 18.7                      | 11.5                   | 38.9   |
| 7.3            | 20.1                      | 12.6                   | 47.0   |
| 8.3            | 21.7                      | 13.7                   | 60.9   |
| 9.3            | 22.8                      | 13.7                   | 66.0   |
| 10.5           | 24.1                      | 15.0                   | 77.6   |

\* Estimados con cuadro de volumen para *C. alliodora* (Somarriba y Beer, 1986)

#### Biomasa aérea

Con excepción del modelo para la predicción de biomasa de hojas de *C. alliodora* ( $R^2 = 0.1$ ) fue posible obtener estimaciones confiables para la biomasa de hojas y ramas de *T. cacao* y *C. alliodora* (Cuadro 3,  $R^2 \geq 0.8$ ).

Uno de los compartimentos que presentó mayor incremento en el segundo quinquenio fue el de los troncos de los árboles de sombra sin mostrar una diferencia significativa entre especies (Cuadro 4), lo cual resulta llamativo en el caso de *E. poeppigiana* si se considera que la misma es sometida a podas intensas todos los años. Al final del segundo quinquenio la distribución de biomasa en ambos casos fue similar. En efecto, tanto al año 5 como 10 el 80% de la biomasa de *C. alliodora* estaba en el tronco, mientras que en *E. poeppigiana* este valor era de 42% al año 5 y 80% al año 10. Esta acumulación de biomasa en un órgano de valor económico nulo como lo es el tronco de *E. poeppigiana* podría llevar al planteo de la necesidad de reemplazar frecuentemente a este árbol a fin de acelerar la circulación de nutrientes. Sin embargo, los costos asociados a este trabajo, y la necesidad permanente de sombra por parte del cacao, hacen poco recomendable esta práctica.

Cuadro 3. Modelos para la predicción de biomasa de hojas y/o madera en raras, de *Theobroma cacao* o *Cordia alliodora*, en base al área basal o el diámetro de las ramas

| Sistema        | Especie      | Compartimiento | Modelos                                | R    |
|----------------|--------------|----------------|--|------|
| T. cacao       | C. alliodora | Materia Leñosa | $\ln Z = 3.03 + (2.69 \times \ln D)$   | 0.89 |
| C. alliodora   |              |                |  |      |
| T. cacao       | T. cacao     | Hojas          | $Y = -0.019044x + (0.0349 \times BR)$  | 0.90 |
| E. poeppigiana |              |                |  |      |
| T. cacao       | T. cacao     | Materia Leñosa | $Y = -0.037644x + (0.133 \times BR)$   | 0.92 |
| E. poeppigiana |              |                |  |      |
| T. cacao       | T. cacao     | Hojas          | $Y = -0.039334x + (0.066 \times BR)$   | 0.96 |
| C. alliodora   |              |                |  |      |
| T. cacao       | T. cacao     | Materia Leñosa | $\ln Y = -3.65 + (1.17 \times \ln BR)$ | 0.96 |
| C. alliodora   |              |                |  |      |

Z = Biomasa de una rama (a 10 cm D)

Y = Biomasa por árbol; (Total de ramas podadas  $\pm$  5 cm D)

D = Diámetro basal de una rama

BR = Suma del área basal de todas las ramas podadas por árbol

nm = Coeficiente no tiene significancia estadística

Cuadro 4. Reservas de biomasa en los sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* con *Cordia alliodora* o *Erythrina poeppigiana* a las edades de 5 y 10 años (t.ha<sup>-1</sup>)

|                      | C. alliodora- |              | E. poeppigiana- |             |
|----------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|
|                      | I. cacao      | I. cacao     | I. cacao        | I. cacao    |
|                      | 1982          | 1987         | 1982            | 1987        |
| Arbol de sombra      | 31,9          | 49,7         | 21,9            | 37,9        |
| Hojas                | 3,4           | 1,0          | 3,3             | 2,0         |
| Ramas                | 4,8           | 8,4          | 9,3             | 5,4         |
| Tallos               | 23,7          | 40,3         | 9,3             | 30,5        |
| <b>I. cacao</b>      | <b>9,8</b>    | <b>35,9</b>  | <b>8,3</b>      | <b>27,2</b> |
| Hojas                | 3,0           | 3,7          | 2,8             | 3,5         |
| Ramas                | 4,0           | 24,0         | 3,0             | 16,9        |
| Tallos               | 2,8           | 8,2          | 2,5             | 6,8         |
| Raíces               | 4,2           | 9,8          | 1,8             | 5,7         |
| Hojarasca            | 4,4           | 15,2         | 7,1             | 16,5        |
| <b>Total biomasa</b> | <b>50,3</b>   | <b>110,6</b> | <b>39,1</b>     | <b>87,3</b> |

Estudiando la evolución de la biomasa foliar, puede observarse que en *C. alliodora* ésta es menor a la edad de 5 años que a la de 10 años (Cuadro 4). Esta diferencia se debe a que los inventarios de 1982 y 1987 no fueron efectuados en el mismo mes, habiendo sido la medición de 1987 afectada por la decidua estacional de esta especie, que se da entre marzo y mayo. Las diferencias en el compartimiento de hojarasca depositada en el suelo también se atribuyen parcialmente a esta causa. Las reducciones en la biomasa de hojas y ramas de *E. poeppigiana* registradas en el segundo quinquenio se atribuyen a la diferencia en la intensidad de las podas anteriores a cada medición.

El otro compartimiento de mayor crecimiento en el segundo quinquenio del ensayo fue el de biomasa de las ramas de *I. cacao* (Cuadro 4). Asimismo el aumento en biomasa total de *I. cacao* durante este periodo fue mayor que el aumento en biomasa de los árboles de sombra. El aumento en biomasa de *I. cacao* bajo *E. poeppigiana* fue menor que el aumento bajo *C. alliodora* (18.9 y 26.1 t.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>, respectivamente) y por lo tanto en el año 10 la biomasa total de *I. cacao* en la asociación con *E. poeppigiana* es menor que en combinación con *C. alliodora*.