

## PRODUCTIVIDAD EN PLANTACIONES PURAS Y MIXTAS DE ESPECIES FORESTALES NATIVAS EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA LA SELVA, SARAPIQUÍ, COSTA RICA

Federico Alice<sup>1/\*</sup>, Florencia Montagnini<sup>\*\*</sup>, Marcelino Montero<sup>\*\*\*</sup>

**Palabras clave:** *Balizia elegans*, *Calophyllum brasiliense*, *Dipteryx panamensis*, *Hieronyma alchorneoides*, *Jacaranda copaia*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Genipa americana*, plantaciones mixtas.

**Keywords:** *Balizia elegans*, *Calophyllum brasiliense*, *Dipteryx panamensis*, *Hieronyma alchorneoides*, *Jacaranda copaia*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Genipa americana*, mixed plantation.

Recibido: 25/03/04

Aceptado: 23/07/04

### RESUMEN

El buen crecimiento es indispensable para garantizar el éxito de plantaciones con fines de recuperación de terrenos degradados. Las plantaciones puras y mixtas con especies nativas tienen potencial para recuperar estos terrenos y a la vez representan una fuente de ingreso para los agricultores. En 1991-1992 se establecieron 3 plantaciones experimentales con un total de 12 especies nativas en plantación pura y mixta en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. El objetivo del presente trabajo fue determinar su productividad a los 11-12 años así como verificar ecuaciones de crecimiento. El tratamiento mixto de la plantación 1, con las especies *Vochysia guatemalensis*, *Jacaranda copaia* y *Calophyllum brasiliense*, presentó el mayor volumen (430,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), pero sin diferencias significativas con *V. guatemalensis* en plantación pura (417 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). En las otras 2 plantaciones, el tratamiento mixto fue el segundo en productividad. En la plantación 2 las especies con mayor productividad en condición pura fueron *Virola koschnyi* (411,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

### ABSTRACT

**Productivity of pure and mixed plantations with native forest species at La Selva Biological Station, Sarapiquí, Costa Rica.** Productivity determines the viability of plantations that have been established to restore degraded areas. Pure and mixed plantations with native tree species not only provide more benefits towards the restoration of lands, but also represent an income to the farmers. In 1991-1992 three experimental plantations were established with a total of 12 native species in pure and mixed designs at La Selva Biological Station, Sarapiquí, Costa Rica. The objective of the present study was to determine their productivity at 11-12 years, as well as to verify growth equations. The mixed treatment in plantation 1, with *Vochysia guatemalensis*, *Jacaranda copaia* and *Calophyllum brasiliense*, had the highest volume (430.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) but without a significant difference from *V. guatemalensis* as a pure plantation (417 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). In the other 2 plantations, the mixed treatments were second in

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: falice@costarricense.cr

\* Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

\*\* School of Forestry and Environmental Studies, Yale University. 370 Prospect Street, New Haven, CT 06511, USA.

\*\*\* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

y *Terminalia amazonia* (248,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Esta última especie no presentó diferencias con respecto al tratamiento mixto. En la plantación 3, las especies más productivas fueron *Vochysia ferruginea* (276,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y *Balizia elegans* (212,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), esta última estadísticamente similar al tratamiento mixto. Al comparar el volumen estimado con base en las mediciones de campo, con respecto al estimado con base en ecuaciones de crecimiento, se observaron sobrestimaciones de más del 10% para el volumen de las especies *J. copaia*, *C. brasiliense* y *Genipa americana*. Mientras que para *V. ferruginea*, *B. elegans* y *V. guatemalensis* las diferencias no superaron este valor. Sólo en *B. elegans* se observó una subestimación del volumen calculado a través de las ecuaciones ajustadas.

terms of productivity. In plantation 2, the species with higher productivity in pure condition were *Virola koschnyi* (411.4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and *Terminalia amazonia* (248.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), with no significant difference with regard to the mixed treatments. In plantation 3, *Vochysia ferruginea* (276.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and *Balizia elegans* (212.8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) were the best growing species, the latter statistically similar to the mixed treatment. When comparing estimated volume based on field measurements with the estimate based on growth equations, overestimations above 10% were observed for *J. copaia*, *C. brasiliense* and *Genipa americana*, and below 10% for *V. ferruginea*, *B. elegans* and *V. guatemalensis*. An underestimation of the calculated volume through the use of these equations was observed only for *B. elegans*.

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales representan una alternativa económica y de beneficio social, ya que cumplen una función en bien de la protección del ambiente, al disminuir la presión existente sobre el bosque natural. Adicionalmente, estas contribuyen significativamente en el funcionamiento de los procesos ecológicos, paisajísticos, de protección de suelos (control de erosión y ciclaje de nutrientes), agua y acumulación de carbono.

Algunas experiencias demuestran que las plantaciones con especies nativas tienen un buen potencial para acelerar los procesos de recuperación de la biodiversidad en áreas degradadas (Guariguata *et al.* 1995, Powers *et al.* 1997, Montagnini 2001a). Las plantaciones mixtas, en comparación con las plantaciones puras, promueven la regeneración de una mayor diversidad de especies en el sotobosque, al crear una mayor variabilidad en el hábitat y un microclima que favorece a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Guariguata *et al.* 1995, Montagnini 2001). En general, la diversificación de especies

en plantaciones es deseable debido a la incertidumbre sobre el desempeño de las especies y los riesgos potenciales de plagas. A su vez, económicamente las plantaciones mixtas tendrán la ventaja de diversificar la producción, que podría reducir los riesgos para los agricultores en mercados inestables.

La reforestación con especies nativas en Costa Rica se ha desarrollado en torno a unas pocas especies, que presentan condiciones favorables de crecimiento y una alta demanda a nivel de mercado. Estas especies han sido principalmente laurel (*Cordia alliodora*) con 8027 ha reforestadas, roble coral (*Terminalia amazonia*) con 1956 ha y pochote (*Bombacopsis quinata*) con 326 ha aproximadamente (Herrera 2000). Muchas de estas plantaciones se han perdido debido a la mala selección de sitios, mala calidad del material vegetativo y desconocimiento sobre el comportamiento de las especies en plantación. Hasta el momento, la investigación en torno a especies nativas en la zona Norte de Costa Rica ha sido llevada a cabo por organizaciones como la OET, el proyecto COSEFORMA con participación del Instituto Tecnológico de Costa Rica, la GTZ y el MINAE, además de FUNDECOR con programas

de investigación en mejoramiento genético (Baddilla 2002). Aun así, existe una necesidad de información en torno a estas especies, de manera que estas cumplan un papel importante dentro de un necesario proceso de planificación en la producción forestal de la zona.

En 1991-1992 se establecieron 3 plantaciones experimentales con 12 especies nativas en plantación pura y mixta en la Estación Biológica La Selva, en Sarapiquí, Costa Rica. Según mediciones anteriores, realizadas entre los 9 y 10 años, las especies *J. copaia*, *V. guatemalensis*, *T. amazonia*, *V. koschnyi* y *V. ferruginea* fueron las más productivas en plantación pura (Piotto *et al.* 2002). Algunas de estas especies tuvieron un mejor crecimiento en condición mixta, *i.e.* *J. copaia* y *V. guatemalensis* (Petit y Montagnini 2004). Sin embargo, las especies de lento crecimiento como *C. brasiliense* y *G. americana*, crecieron mejor en plantación pura (Piotto *et al.* 2002).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la productividad, a los 11-12 años, de 10 especies nativas en estas mismas plantaciones experimentales en la Estación Biológica La Selva, así como verificar la validez de ecuaciones de crecimiento formuladas en años anteriores por Petit y Montagnini (2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio

Las plantaciones se establecieron entre 1991 y 1992 en terrenos abandonados en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. El área se localiza a 10°26' N y 84°00' O, a 50 msnm, y tiene una temperatura y precipitación media anual de 24°C y 4000 mm, respectivamente.

El terreno es plano y uniforme. Los suelos son Fluventic Dystropepts derivados de aluviones volcánicos; profundos, bien drenados, con un contenido de materia orgánica medio o bajo (2,5-4,5%). La textura es moderadamente pesada (50-60% arena, 5-15% limo, y 25-45% arcilla). El pH es ácido (pH en agua < 5,0). En general, los suelos presentan baja fertilidad (Sancho y Mata 1987).

El estudio comprende 3 plantaciones experimentales (de 2,5 ha cada una), que originalmente contenían 4 especies cada una; de estas, 2 especies se han perdido casi por completo, por lo que actualmente se cuenta con 10 de las 12 especies originales. Las especies actualmente en cada plantación se presentan en el cuadro 1. Estas

Cuadro 1. Características de las 10 especies nativas evaluadas, Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Especies	Nombre común	Familia	Distribución natural
<b>Plantación 1</b>			
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess	cedro maría, maría	Clusiaceae	México a N. Sudamérica
<i>Vochysia guatemalensis</i> Donn. Sm.	mayo, chancho	Vochysiaceae	México a Perú
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	gallinazo	Bignoniaceae	Guatemala a Brasil
<b>Plantación 2</b>			
<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell	almendro	Fabaceae-Pap.	Nicaragua a Colombia
<i>Virola koschnyi</i> Warb.	fruta dorada	Myristicaceae	América Central
<i>Terminalia amazonia</i> (J. Gmel) Exell.	roble coral	Combretaceae	S. México a N. Sudamérica
<b>Plantación 3</b>			
<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	botarrama	Vochysiaceae	Nicaragua a Brasil
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemao	pilón	Euphorbiaceae	México a Brasil
<i>Genipa americana</i> L.	guaitil	Rubiaceae	América Tropical
<i>Balizia elegans</i> (Ducke) Barneby & Grimes	ajillo	Fabaceae-Mim.	América Tropical

fueron seleccionadas con base en el crecimiento, forma, valor económico, preferencia por los agricultores, e impacto potencial en la recuperación de la fertilidad del suelo (Montagnini *et al.* 1995, 1997).

Cada plantación consta de un ensayo experimental (Bloques Completos al Azar) con 4 bloques y 6 tratamientos. Los tratamientos se componen de 4 especies en plantación monoespecífica, mixta y un área control con regeneración natural. Las parcelas mixtas estuvieron constituidas por 2 especies por hilera, dispuestas en forma alterna.

Al seleccionar las especies para cada plantación se utilizó por lo menos una especie de la familia de las leguminosas, una de crecimiento relativamente rápido y otra de crecimiento relativamente lento. Los tratamientos se encuentran en parcelas de 32x32 m (1024 m<sup>2</sup>), con un espaciamiento inicial de 2x2 m, para un número original de 256 árboles. Se aplicaron raleos sistemáticos a los 3 y 6 años después de plantadas, dejando un espaciamiento de 4x4 m. En el 2000, se aplicó un tercer raleo, donde el criterio para la corta fue la forma y el estado fitosanitario de los individuos.

### Mediciones de campo

Se establecieron 52 subparcelas de medición dentro de las parcelas (32x32 m), en donde los primeros 8 m de cada lado de las parcelas se descartaron para evitar un posible efecto de borde. Cada subparcela fue de forma cuadrada con lados de 16x16 m para un área total de 256 m<sup>2</sup>. Estas subparcelas fueron inicialmente delimitadas para realizar mediciones a largo plazo (Petit y Montagnini 2004).

Se realizaron mediciones de diámetro a una altura de 1,3 m en cm (DAP) y altura total (H) en m. La determinación de las alturas se realizó con clinómetro, midiendo de 5 a 7 árboles por parcela, para un total aproximado de 20 árboles por especie. Mediante una regresión lineal se calculó la altura de los restantes árboles para cada especie.

La determinación de altura para las parcelas mixtas no siguió este mismo procedimiento, ni se pudieron utilizar las ecuaciones de las otras

parcelas, ya que había grandes variaciones en el crecimiento de las especies dentro de cada tratamiento. Para estas fue necesario la medición de árboles en el campo, asegurándose medir por lo menos un árbol por especie.

### Análisis estadístico

Los datos se procesaron utilizando el Sistema MIRA-SILV (Ugalde 1997), para complementar la base de datos de las mediciones de años anteriores. El sistema incluye un programa de cómputo que calcula los promedios para las variables DAP, altura total y árboles por hectárea, a partir de los cuales, calcula los rendimientos en área basal y volumen por hectárea. Además, el programa calcula los incrementos medios anuales (IMA) para las variables DAP, altura total promedio, área basal y volumen.

El cálculo de estadísticos se realizó para comparar el crecimiento de las especies y para comparar cada especie en condición mixta y pura. El análisis de variancia y las pruebas de significancia estadística (95% LSD), se realizaron utilizando el programa STATGRAPHICS 5.1.

Fue necesario realizar una prueba para determinar si existían diferencias significativas en las desviaciones de cada tratamiento (Cochran's C test, Bartlett's test, Hartley's test), pues se encontró una diferencia de 3 a 1 entre la desviación más pequeña y la más grande de algunos de los tratamientos. Sin embargo, sólo en la plantación 1, para las variables área basal y volumen por hectárea, se encontró que estas diferencias fueron significativas. Fue necesario entonces una transformación de los datos para estas 2 variables utilizando el logaritmo natural de los promedios originales, con lo que se pretendió disminuir el efecto de la desviación sobre las medias. A los datos transformados se les aplicó el análisis de varianza y las pruebas de significancia descritas anteriormente. Para las variables DAP y altura total se realizó una comparación de los resultados de cada especie en condición pura y mixta, utilizando análisis de varianza y las pruebas de significancia estadística (95% LSD).

### Comparación del volumen estimado con base en las mediciones de campo vs. el estimado con base en ecuaciones de crecimiento

Como parte de este trabajo se pretendió validar las ecuaciones de productividad (volumen total) elaboradas para 6 de estas mismas especies por Petit y Montagnini (2004) (Cuadro 2.). Estas ecuaciones se utilizaron para estimar el volumen total por hectárea para cada especie, de manera que al comparar con los valores obtenidos en el campo, se pueda determinar su precisión. De las ecuaciones realizadas para 10 especies solo se utilizaron 6, debido a que estas tienen la forma de polinomios de tercer grado con las que se puede extrapolar el volumen. En las otras 4 especies era muy temprano como para formular un modelo de extrapolación adecuado, por este motivo no se utilizaron en el presente trabajo. Todas las ecuaciones utilizan la variable edad en años como variable independiente, por lo que sólo fue necesario incluir esta dentro de las ecuaciones de tercer grado para obtener el volumen total por hectárea.

## RESULTADOS

### Productividad en plantación pura y mixta

En la plantación 1 (Cuadro 3), los resultados mostraron que los volúmenes más altos por hectárea se encontraron tanto en la plantación mixta de 3 especies: *V. guatemalensis*, *J. copaia* y *C. brasiliensis*, como en la especie *V. guatemalensis* en plantación pura. No hubo diferencias estadísticamente significativas en las variables número de árboles, área basal y volumen por hectárea. Sin embargo, con respecto a las variables DAP y altura promedio, el tratamiento *V. guatemalensis* resultó significativamente superior a todos los demás.

La especie *J. copaia* en plantación pura presentó un rendimiento moderado en cuanto al volumen por hectárea. Sin embargo, en las variables DAP y altura total promedio, esta especie presentó valores similares o mayores a los de la plantación mixta (Cuadro 3). Por último, en esta plantación la especie con los resultados más bajos fue *C. brasiliensis* con 156,33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 2. Ecuaciones de crecimiento para 10 especies nativas, Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. (Petit y Montagnini 2004).

Especie	Ecuaciones de crecimiento	R <sup>2</sup>
Plantación 1		
<i>C. brasiliensis</i>	$V = -0,0711 t^3 + 2,6340 t^2 - 5,5421 t$	0,950
<i>V. guatemalensis</i>	$V = -0,4939 t^3 + 13,437 t^2 - 55,039 t$	0,738
<i>J. copaia</i>	$V = -0,1462 t^3 - 0,0343 t^2 + 52,615 t$	0,940
Plantación 2		
<i>D. panamensis</i>	$V = 0,9562 t^2 + 1,3287 t *$	0,909
<i>V. koschnyi</i>	$V = 3,3494 t^2 + 1,0236 t *$	0,937
<i>T. amazonia</i>	$V = 2,6515 t^2 + 0,7005 t *$	0,958
Plantación 3		
<i>V. ferruginea</i>	$V = -0,5908 t^3 + 15,772 t^2 - 73,248 t$	0,828
<i>H. alchorneoides</i>	$V = 0,3897 t^2 + 14,689 t *$	0,897
<i>G. americana</i>	$V = -0,0184 t^3 + 0,4856 t^2 + 3,5484 t$	0,815
<i>B. elegans</i>	$V = -0,1351 t^3 + 2,4023 t^2 + 7,8420 t$	0,952

\* Ecuaciones de polinomios de segundo grado, no se utilizaron en el presente trabajo.

V = volumen en m<sup>3</sup>

t = edad en años

Cuadro 3. Promedios de las variables evaluadas en las 3 plantaciones de especies nativas, Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Plantación 1 (12 años)									
Especie	Árboles ha <sup>-1</sup>	DAP (cm)	IMA (cm ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	H (m)	IMA (m ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	H	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
<i>C. brasiliense</i>	634 (24,54)a	18,72 (0,38) c	1,54 (0,03) c	17,40 (0,14) d	1,43 (0,01) d	17,53 (1,21) b	156,33 (12,00) c	12,85 (0,99) c	
<i>J. copaia</i>	693 (56,01)a	22,50 (0,56) b	1,85 (0,05) b	21,92 (0,21) b	1,80 (0,02) b	27,44 (1,96) a	280,27 (21,50) b	23,04 (1,77) bc	
<i>V. guatemalensis</i>	683 (101,57)a	25,20 (0,61) a	2,07 (0,05) a	23,85 (0,21) a	1,96 (0,02) a	33,515 (3,37) a	417,50 (39,94) a	34,32 (3,28) ab	
Mixta	829 (104,02)a	20,91 (0,74) b	1,72 (0,06) b	18,84 (0,51) c	1,55 (0,04) c	38,34 (6,12) a	430,55 (83,81) a	35,39 (6,89) a	
Plantación 2 (11 años)									
<i>D. panamensis</i>	752 (43,24) a	14,87 (0,42) b	1,27 (0,03) b	17,59 (0,27) c	1,50 (0,02) c	12,99 (0,57) c	114,31(5,62) c	9,73 (0,48) c	
<i>V. koschnyi</i>	840 (40,79) a	23,66 (0,84) a	2,02 (0,07) a	21,62 (0,27) a	1,84 (0,02) a	36,85 (2,20) a	411,43 (22,18) a	35,02 (2,56) a	
<i>T. amazonia</i>	547 (37,34) b	22,54 (1,13) a	1,92 (0,10) a	22,07 (0,37) a	1,88 (0,03) a	21,52 (1,01) b	248,31 (30,06) b	21,14 (1,04) b	
Mixta	604 (42,12) b	22,70 (0,88) a	1,94 (0,08) a	19,71 (0,64) b	1,68 (0,05) b	25,15 (1,63) b	279,96 (12,22) b	23,83 (1,89) b	
Plantación 3 (10 años)									
<i>G. americana</i>	664 (98,15) a	13,67 (0,77) d	1,27 (0,07) d	13,34 (0,41) c	1,24 (0,04) c	9,78 (1,68) c	63,09 (10,78) d	5,87 (1,00) d	
<i>V. ferruginea</i>	742 (74,68) a	21,83 (0,51) a	2,03 (0,05) a	21,89 (0,14) a	2,04 (0,01) a	27,48 (1,84) a	276,58 (17,18) a	25,73 (1,60) a	
<i>B. elegans</i>	830 (62,68) a	18,63 (0,62) b	1,74 (0,06) b	19,30 (0,30) b	1,80 (0,03) b	22,61 (1,85) a	212,83 (20,16) bc	19,80 (1,88) bc	
<i>H. alchorneoides</i>	781 (42,12) a	16,43 (0,39) c	1,53 (0,04) c	19,07 (0,26) b	1,77 (0,02) b	16,46 (0,35) b	168,99 (3,54) c	15,72 (0,33) c	
Mixta	732 (66,56) a	18,72 (0,41) b	1,74 (0,04) b	18,81 (0,75) b	1,75 (0,07) b	22,44 (2,35) a	220,76 (23,17) b	22,44 (2,35) a	

(): error estándar.

Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (P&lt;0,05).

En la plantación 2 (Cuadro 3), la especie con los valores más altos en las variables evaluadas fue *V. koschnyi*, seguida por la plantación mixta y *T. amazonia*, con valores estadísticamente similares en el número de árboles, área basal y volumen ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, *T. amazonia* no presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a *V. koschnyi* en DAP y altura promedio. Los valores más bajos se encontraron en *D. panamensis*, que presentó valores similares a los de *V. koschnyi* en el número de árboles ha<sup>-1</sup>.

En la plantación 3 (Cuadro 3), *V. ferruginea* presentó los mayores resultados en todas las variables evaluadas. Sólo en el número de árboles y área basal ha<sup>-1</sup> no se encontraron diferencias entre *V. ferruginea*, *B. elegans* y la

plantación mixta. El tratamiento con la menor productividad fue *G. americana*, la que presentó los resultados más bajos en todas las variables consideradas.

### Comparación de crecimiento en DAP y altura total en condiciones pura y mixta

En la plantación 1, la especie con el valor más alto en DAP fue *V. guatemalensis* en condición mixta (Cuadro 4), le siguió esta misma especie en condición pura y *J. copaia* en condición mixta, sin diferencias significativas para esta variable. *C. brasiliense* fue la especie con el menor DAP promedio, especialmente en condición mixta.

En cuanto a la variable altura total en esta misma plantación, *V. guatemalensis* en condición

Cuadro 4. Resumen de los promedios de DAP y altura total de las 10 especies nativas en plantación mixta y pura en las 3 plantaciones, Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Especies	Tratamiento	DAP (cm)	Altura total (m)
Plantación 1 (12 años)			
<i>C. brasiliense</i>	Pura	18,72 (0,38) d	17,40 (0,14) c
	Mixta	11,77 (1,17) e	12,29 (1,11) d
<i>V. guatemalensis</i>	Pura	25,20 (0,61) b	23,85 (0,21) a
	Mixta	29,83 (0,47) a	23,21 (0,78) ab
<i>J. copaia</i>	Pura	22,50 (0,56) c	21,92 (0,21) b
	Mixta	26,04 (0,35) b	23,78 (0,56) a
Plantación 2 (11 años)			
<i>V. koschnyi</i>	Pura	23,66 (0,84) b	21,62 (0,27) ab
	Mixta	23,83 (2,11) b	19,84 (0,30) b
<i>D. panamensis</i>	Pura	14,87 (0,42) c	17,59 (0,27) c
	Mixta	16,31 (1,73) c	16,95 (1,54) c
<i>T. amazonia</i>	Pura	22,54 (1,13) b	22,07 (0,37) a
	Mixta	29,50 (1,44) a	23,67 (0,72) a
Plantación 3 (10 años)			
<i>V. ferruginea</i>	Pura	21,83 (0,51) a	21,89 (0,14) a
	Mixta	19,58 (1,45) a	19,49 (1,03) a
<i>H. alchorneoides</i>	Pura	16,43 (0,39) a	19,07 (0,26) a
	Mixta	19,23 (1,52) a	18,87 (1,27) a
<i>B. elegans</i>	Pura	18,63 (0,62) a	19,30 (0,30) a
	Mixta	17,34 (2,41) a	18,08 (1,16) a

( ): error estándar para cada variable.

Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (P<0,05).

pura y mixta, junto con *J. copaia* en condición mixta, registraron las mayores alturas totales. No hubo diferencias significativas entre *V. guatemalensis* en plantación mixta y *J. copaia* en plantación pura, siendo estas las segundas de mayor altura total en la plantación. Nuevamente la especie con los resultados más bajos fue *C. brasiliense* en condición mixta. En esta plantación, solo para la variable altura total en *V. guatemalensis* no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de plantación mixta y pura. En todos los demás casos si existieron diferencias entre estos tratamientos.

En la plantación 2 (Cuadro 4), *T. amazonia* en condición mixta presentó los valores más altos en ambas variables (DAP y altura total). Para la variable DAP, no se encontraron diferencias entre *T. amazonia* en condición pura y *V. koschnyi* en ambos tratamientos. Algo que permaneció invariable fueron los resultados de *D. panamensis*, que continuó siendo la de menor crecimiento, sin diferencias en ambos tratamientos. En esta plantación solo se encontraron diferencias entre los tratamientos de plantación mixta y pura en la especie *T. amazonia* para la variable DAP.

En la plantación 3, ninguna especie presentó diferencias significativas en ninguno de los

tratamientos. En el caso de *G. americana*, esta no fue evaluada ya que presentó una mortalidad del 100% en el tratamiento mixto.

### Comparación del volumen estimado con base en las mediciones de campo vs. el volumen estimado obtenido con las ecuaciones de crecimiento

En general, el volumen por hectárea estimado a partir de las ecuaciones de crecimiento sobrestimó el volumen real obtenido a través de la medición de campo (Cuadro 5). En *J. copaia* la sobrestimación fue de 32%, en *C. brasiliense* de 24% y *G. americana* de 12%. En *V. ferruginea*, *B. elegans* y *V. guatemalensis* se observó una diferencia menor al 10%. Sólo para *B. elegans*, se encontró una subestimación en el volumen por hectárea.

## DISCUSIÓN

*V. guatemalensis* tuvo los mayores crecimientos en la plantación 1, tanto en condición pura como mixta, con valores de productividad comparables a los de otras plantaciones de esta especie en la región (Piotto *et al.* 2003a). Sin

Cuadro 5. Comparación del volumen total estimado con base en las mediciones de campo y el estimado a partir de ecuaciones de crecimiento para 6 especies nativas, La Selva, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Especie	Volumen estimado* m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen real** m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Diferencia (%)
Plantación 1 (12,17 años)			
<i>C. brasiliensis</i>	194,51	156,33	24,42
<i>V. guatemalensis</i>	430,07	417,50	3,01
<i>J. copaia</i>	371,72	280,28	32,63
Plantación 3 (10,66 años)			
<i>V. ferruginea</i>	295,77	276,58	6,94
<i>G. americana</i>	70,72	63,09	12,09
<i>B. elegans</i>	192,93	212,83	-9,35

\* Volumen estimado a partir de las ecuaciones de crecimiento (Petit y Montagnini 2004).

\*\* Volumen real obtenido a partir de medición de campo.

embargo, el crecimiento fue levemente menor al encontrado en otras plantaciones con esta especie, también en la zona norte de Costa Rica (Delgado *et al.* 2003). Aun así, en ambas experiencias, esta especie supera a todas las demás especies nativas en área basal y crecimiento diámetro promedio (Delgado *et al.* 2003).

En *C. brasiliensis*, que fue la de menor productividad de esta plantación, se observó una alta mortalidad en una de las parcelas. Posiblemente, esta mortalidad se relacione al mal drenaje en este sitio en particular. Para esta especie se ha determinado un incremento medio anual (IMA) en volumen de 1 a 7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para Latinoamérica (Wadsworth 1997), mientras que en esta plantación hasta el momento se obtuvo un promedio de 12,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

El rendimiento moderado en volumen de *J. copaia* en plantación pura en comparación con la mixta, se puede explicar por el menor número de árboles ha<sup>-1</sup>, ya que en las variables DAP y altura total, esta especie presentó valores estadísticamente iguales o superiores a la plantación mixta.

En la plantación 2, aunque fue *V. koschnyi* la que presentó el mayor volumen, no se encontraron diferencias significativas en DAP y altura total con *T. amazonia*. Una diferencia tan amplia en volumen por hectárea entre ambas especies sólo se puede explicar considerando el mayor número de árboles por hectárea presente en *V. koschnyi*. Esta especie presentó incrementos medios anuales de DAP y altura considerablemente mayores a otras plantaciones en la zona Norte de Costa Rica (Delgado *et al.* 2003).

Para *T. amazonia*, en plantaciones en diferentes sitios del país, se ha encontrado un incremento medio anual en DAP de 1,7 cm y en altura este valor se encuentra en 1,4 m (Montero y Kanninen 2003). En consecuencia, esta especie en esta plantación tiene un crecimiento levemente superior al promedio con respecto a otras plantaciones en el país, con un incremento medio anual en DAP de 1,9 cm y 1,8 m en altura.

La baja productividad de *D. panamensis* es esperada, ya que se conoce el lento crecimiento de esta especie. En otros estudios realizados también en la zona Norte, esta especie presentó los valores más bajos en todas las variables evaluadas (Delgado *et al.* 2003). Incluso se han

estimado turnos de corta para plantaciones de la especie de aproximadamente 40 años (Montagnini 2001b, 2003). Aun así, los resultados obtenidos en esta plantación fueron superiores al rango encontrado para esta especie en plantaciones en la zona Norte de Costa Rica (Delgado *et al.* 2003).

En la plantación 3 la especie de mayor volumen fue *V. ferruginea*. En este caso, no se observa, a diferencia de las otras plantaciones, un efecto del número de árboles por hectárea sobre el volumen. Al comparar los resultados con plantaciones de esta especie en la zona, se encontró que el IMA-DAP era similar al encontrado en otros sitios, mientras que el IMA-H fue superior. *H. alchorneoides* también tuvo crecimientos similares a los de otros sitios (Delgado *et al.* 2003).

El rendimiento de *G. americana* fue visiblemente inferior a las demás especies. Muchos de los árboles de esta especie se encontraron con problemas fitosanitarios y alta mortalidad. Además, en plantación mixta, no se encontró ningún individuo vivo de esta especie.

Los crecimientos de *V. guatemalensis*, *T. amazonia* y *V. ferruginea*, encontrados en la presente investigación, fueron similares a los reportados en plantaciones comerciales en la zona con estas mismas especies (Piotto *et al.* 2003b).

De las especies leguminosas, la que presentó el mayor volumen fue *B. elegans* con 212,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, mientras que *Stryphnodendron microstachyum* y *Pseudosamanea guachapele* presentaron una mortalidad muy elevada, debido a la antracnosis para el caso de *S. microstachyum* y al ataque de taltuzas en las raíces de *P. guachapele* (Montagnini *et al.* 1995, Montagnini y Porras 1998).

Es importante observar con respecto a la comparación de las variables de DAP y altura total para las plantaciones mixtas y puras, cómo algunas especies respondieron positivamente en condición mixta. En *J. copaia* se observó que el DAP y la altura total fueron mayores en las plantaciones mixtas (Cuadro 4). Otras especies como *V. guatemalensis* y *T. amazonia* también presentaron una mayor productividad en condición mixta. Las demás especies no presentaron diferencias significativas entre ambos tratamientos. La única especie en donde la plantación pura presentó mejores resultados fue *C. brasiliense*.

En este caso, se considera que por ser una especie de lento crecimiento, este es suprimido por las especies de rápido crecimiento.

Con respecto a la evaluación de las ecuaciones de crecimiento, se encontró diferencias de hasta un 32% de sobreestimación en el volumen para *J. copaia*, con respecto al volumen registrado con base en las mediciones de campo. Estas diferencias pueden deberse a que esta es una especie de rápido crecimiento, la cual al tener una edad cercana al fin de su ciclo productivo, su crecimiento fue menor que el esperado. En *C. brasiliense*, la sobrestimación del volumen se puede explicar considerando la alta mortalidad presente en uno de los bloques de la plantación.

## CONCLUSIONES

El tratamiento con los valores más altos en área basal y volumen fue el de plantación mixta con las especies *C. brasiliensis*, *J. copaia* y *V. guatemalensis*, con 38,3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 430,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Sin embargo, debido al alto volumen, valores en DAP y altura promedio mayores y un aparente número de árboles por hectárea menor, el tratamiento de *V. guatemalensis* en condición pura fue el de mayor productividad.

La especie *V. koschnyi*, con 36,8 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en área basal y 411,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en volumen, fue la segunda en términos de productividad. Sin embargo, esto se debe en parte a un alto número de árboles por hectárea (840). Lo cual se hace evidente al compararla con *T. amazonia*, que presentó valores estadísticamente similares en DAP y altura total, pero un bajo número de árboles por hectárea (547), para un volumen de 248,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o un 40% menos.

En las plantaciones 2 y 3, el tratamiento de plantación mixta fue superado o no presentó diferencias significativas con tratamientos de plantación pura, excluyendo aquellos de lento crecimiento o con problemas fitosanitarios.

Dentro de las especies con los volúmenes más bajos se encontraron *D. panamensis* y *C. brasiliensis*.

Las especies de la presente investigación presentaron resultados comparables con otras

plantaciones en la zona y puesto que muchas respondieron positivamente a la condición mixta, esta se puede considerar como otra alternativa viable en términos productivos y con mejores resultados para la recuperación de terrenos degradados.

Las diferencias entre el volumen calculado a partir de ambos métodos demuestran la necesidad de ampliar los datos a partir de los cuales fueron realizadas las ecuaciones de crecimiento, con el fin de hacerlas más precisas. En el proceso de verificar la precisión de estas ecuaciones, sería importante utilizarlas en otras plantaciones, de manera que estas se conviertan realmente en una herramienta útil.

## LITERATURA CITADA

- BADILLA Y., MURILLO O., OBANDO G. 2002. Reforestación con especies nativas en la zona norte de Costa Rica. Taller seminario especies forestales nativas. 2002 abril 4-5: Heredia, Costa Rica. Memoria/ Instituto de Investigación y Servicios Forestales.
- DELGADO A., MONTERO M., MURILLO O., CASTILLO M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(1): 63-78.
- GUARIGUATA M. R., RHEINGANS R., MONTAGNINI F. 1995. Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. *Restoration Ecology* 3(4): 252-260.
- HERRERA M. 2000. Evaluación del modelo de desarrollo de plantaciones forestales en la Región Huetar Norte. Tesis de grado, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- MONTAGNINI F. 2001a. Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America. *Interciencia* 26(10): 498-503.
- MONTAGNINI F. 2001b. Plantaciones forestales con especies nativas: una alternativa para la recuperación de áreas degradadas. *Biocenosis (Costa Rica)* 15 (1-2): 72-78.
- MONTAGNINI F., GONZÁLEZ E., RHEINGANS R., PORRAS C. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry Review* 74(4): 306-314.

- MONTAGNINI F., SANCHO F., GONZÁLEZ E., PORRAS C., MOULAERT A., MONACO A. 1997. Plantaciones forestales puras y mixtas con especies nativas para la reforestación de terrenos degradados en Costa Rica: estudio comparativo del crecimiento, daño por plagas, regeneración natural y costos de establecimiento. *Biocenosis* 12(1), 25-34.
- MONTAGNINI F., PORRAS C. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. *Environmental Management* 22 (3): 459-470.
- MONTAGNINI F. 2003. Plantaciones forestales con especies nativas: Una alternativa para la producción de madera y la provisión de servicios ambientales. V Congreso Forestal Centroamericano. 1er Congreso Forestal de Panamá. "La Actividad forestal y su contribución al desarrollo sostenible." Ciudad de Panamá, Panamá, 21-23 mayo, 2003.
- MONTERO M., KANNINEN M. 2003. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(1): 29-35.
- PETIT B., MONTAGNINI F. 2004. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. *Forest Ecology and Management*. En prensa.
- PIOTTO D., MONTAGNINI F., UGALDE L., KANNINEN M. 2002. Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua: comportamiento de las especies y preferencias de los productores. *Revista Forestal Centroamericana (Costa Rica)* 38: 59-66.
- PIOTTO D., MONTAGNINI F., UGALDE L., KANNINEN M. 2003a. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 177: 427-439.
- PIOTTO D., MONTAGNINI F., UGALDE L., KANNINEN M. 2003b. Performance of forest plantations in small and medium sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 175: 195-204.
- POWERS J.S., HAGGAR J.P., FISHER R.F. 1997. The effect of overstory composition on understory woody regeneration and species richness in seven years old plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 99: 43-54.
- SANCHO F., MATA R. 1987. Estudio detallado de suelos. Estación Biológica La Selva. Organización Estudios Tropicales, San José, Costa Rica, 162 p.
- UGALDE L.A., ed. 1997. El sistema MIRA componente de silvicultura. Manual del usuario. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- WADSWORTH F.H. 1997. Forest production for tropical america. USDA-Forest Service. Agriculture Handbook 710.