

Efecto de borde en sistemas de enriquecimiento en fajas, Reserva Forestal Imataca, Venezuela

Edge effect in enrichment strips systems, Imataca Forest Reserve, Venezuela

LIRIO RODRÍGUEZ,
JOSÉ RAFAEL LOZADA,
ARGENIS MORA
y LEONARDO LUGO SALINAS

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,
Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal, Grupo de
Investigación Manejo Múltiple de Ecosistemas Forestales, Mérida,
Venezuela, Correo electrónico: jolozada@ula

Recibido: 14-05-10 / Aceptado: 10-12-10

Resumen

Las plantaciones de enriquecimiento en fajas han alcanzado una muy baja tasa de crecimiento en la Guayana Venezolana. Sin embargo se ha observado que los individuos ubicados al lado de las carreteras presentan mejor desarrollo. El objetivo de este trabajo fue determinar si existe un efecto de borde, generado por mejores condiciones de luz y de suelo. Como metodología, se evaluaron individuos desde el borde (0 m) hasta 160 m en el interior de las fajas. Además se tomaron muestras de suelos para hacer un análisis comparativo de ambos sectores (borde e interior). Los resultados muestran que el desarrollo general de estas plantaciones es muy lento; pero, los individuos que crecen en el borde lograron un crecimiento de 1,15 cm/año (promedio en 13 años de edad) y el turno podría ser de 39 años. Los suelos en el borde no son mejores que en el interior. Al lado de la carretera hay compactación (por las labores de mantenimiento de vialidad) y la materia orgánica se pierde debido a la descomposición, lixiviación y volatilización. Se concluye que se podría desarrollar un sistema silvicultural mediante Plantaciones en los Bordos de las Carreteras, con un turno inicial de 40 años, orientado a obtener unos 8.000 árboles/compartimiento con un diámetro promedio de 46 cm. Se recomienda que este método esté acompañado de investigaciones sobre el tamaño de plantón más adecuado, manejo de la materia orgánica del suelo, fertilización y mejoramiento genético, con el fin de lograr un sistema de alta eficiencia y rentabilidad.

Palabras clave: manejo forestal, sistemas silviculturales, Escudo Guayanés.

Abstract

The plantations in enrichment strips have reached a very low rate of growth in the Venezuelan Guayana. However, it has been observed that the individuals located beside the roads present better development. The objective of this work was to determine if an edge effect exists, generated by better conditions of light and soil. As methodology, individuals were evaluated from the border (0 m) up to 160 m inside the strips. We also took samples of soil to make a comparative analysis of both sectors (edge and interior). The results show that the general development of these plantations is very slow; but, the individuals that grow in the edge achieved a growth of 1.15 cm/year (average in 13 years old) and the shift could be of 39 years. The soils in the edge are not better than in the interior. Beside the road there is compaction (because of the works of road maintenance) and the organic matter gets lost due to decomposition, leaching and volatilization. We conclude that it could be developed a silviculture system by means of Plantations in the Road Borders, with a initial shift of 40 year, guided to obtain about 8.000 trees/ compartment with a average diameter of 46 cm. We recommend that this method should be accompanied by research about the more appropriate plant size, management of the organic matter of the soil, fertilization and genetic improvement, with the purpose of achieving a system of high efficiency and profitability.

Key words: forest management, silviculture systems, Guayana Shield.

1. Introducción

En Venezuela, cerca del 48% de la superficie total (91,2 millones de ha) está cubierto por bosques, ubicándose la mayor cobertura al sur del río Orinoco en la región de Guayana, clasificada en su mayor parte como bosque húmedo tropical (Kammesheidt *et al.*, 2003). Se ha pretendido que buena parte de estos ecosistemas sean bosques productores forestales permanentes y por lo tanto fueron decla-

rados como Reservas Forestales con una extensión de 16.34 millones de ha, lo cual significa un 14,1% del país (Lozada *et al.*, 2003). Las Reservas Forestales son figuras administrativas que se dividen en unidades de manejo y por medio de licitaciones públicas se entregan a Empresas Concesionarias, mediante contratos a largo plazo. Estas empresas deben elaborar y ejecutar un Plan de Ordenación y Manejo Forestal (POMF). Según Noguera *et al.* (2007), el POMF contempla una superficie anual

de aprovechamiento entre 3.000 y 4.000 ha y la aplicación de métodos silviculturales orientados a recuperar la madera comercial.

El método silvicultural más utilizado, en la Guayana Venezolana, es el sistema de enriquecimiento en fajas transversales, las cuales llegan a abarcar entre 8-10% de la superficie intervenida para cada compartimiento (Ochoa, 1998). En general, el procedimiento consiste en la apertura mecanizada o manual de fajas dentro del bosque remanente (aprovechado), cortando toda la vegetación en un ancho de unos 3-5 m y longitud variable, para allí plantar los individuos de especies valiosas. El manejo de estas plantaciones es complejo debido al control del régimen de luz que requiere cada especie plantada, ya que los árboles adyacentes a la faja cierran el dosel a una cierta altura, lo cual es conocido como “efecto túnel” (Lozada *et al.*, 2003).

Se han publicado varios resultados de este método silvicultural. Según Taylor (1962), en Costa de Marfil se obtuvieron tasas de crecimiento apropiadas con *Khaya ivorensis* (3 cm/año a los 5 años), *Lovoa klaineana* (1,9 cm/año a los 4 años) y *Mimusops eckelii* (1,3 cm/año a los 4 años). Conif (1986) informa que lograron un incremento diametral de 4,5, 3,4 y 2,8 cm/año para las especies *Jacaranda copaia*, *Cordia alliodora* y *Apeiba aspera*, respectivamente, a los 4 años de edad, en la Región de Tumaco, Colombia. También hubo resultados satisfactorios utilizando *C. alliodora* en Veracruz, México (Ramos y Del Amo, 1992). En la región paranaense (Argentina), Montagnini *et al.* (1997) señalan un crecimiento diametral a los 7 años de 1,6 y 1,5 cm/año para *Enterolobium contrisiliquum* y *Bastardiopsis densiflora*, respectivamente. En el amazonas brasileiro, Dünisch *et al.* (2002) reportan un crecimiento de 1,4 cm/año para *Carapa guianensis*, con una sobrevivencia de 80%. Así mismo, Abdu *et al.* (2008) indican que en Malaysia obtuvieron crecimientos de 8 cm/año y 0,7 m³/ha/año para *Shorea pauciflora* y 7 cm/año y 1 m³/ha/año para *Shorea macroptera*. Álvarez y Lara (2008) también reportan un desarrollo conveniente de *Nothofagus dombeyi* en Valdivia, Chile.

Para Venezuela, en el Bosque El Caimital (estado Barinas) se estableció un ensayo de enriquecimiento en fajas, obteniéndose a los 24 años los siguientes resultados de crecimiento diamétrico (Corredor, 2001): *Tabebuia rosea* (0,57 cm/año), *Swietenia macrophylla* (0,38 cm/año), *Hura crepi-*

tans (0,63 cm/año), *C. alliodora* (0,22 cm/año), y *Pithecellobium saman* (1,18 cm/año). En la Reserva Forestal Ticoporo se plantaron 1.382 ha con *T. rosea*, *Anacardium excelsum*, *Cordia thaisiana*, *P. saman* y *S. macrophylla*, dando como resultado un crecimiento promedio de 3m³/ha/año (Duque, 1993).

Por su parte, Lozada *et al.* (2003) encontraron un crecimiento promedio de 0,0267 m³/ha/año en la Guayana Venezolana. Esto es 199 veces inferior a la tasa de aprovechamiento, estimada en 5,3 m³/ha/año. Se indica que el “efecto túnel” es una de las posibles causas de estos resultados deficientes.

Conviene destacar que el aprovechamiento forestal implica una construcción de vialidad donde se hace una deforestación y extracción de la capa orgánica vegetal del suelo, la cual es colocada a los lados. Hay indicios de que, en las fajas de enriquecimiento, se presenta mejor desarrollo en los individuos que están adyacentes a las carreteras. Esto se ha llamado “efecto de borde”. Kattan (2002) indica que los factores luz, temperatura y humedad del suelo son las principales variables, en un gradiente que va desde el borde hasta el centro del bosque.

Linera (1990) encontró una mayor germinación, proveniente del banco de semillas, en el borde, al compararla con los claros y el interior del bosque; la tasa de crecimiento inicial en altura para plantas leñosas fue dos veces más rápida en la orilla que en el interior del bosque. En un estudio orientado a comparar el centro del camino, el borde y el bosque, Guariguata y Dupuy (1997) encontraron mayor densidad de tallos (≥ 1 m alto y ≤ 5 cm DAP) en el borde, porque tiene un sustrato más favorable.

Con todo lo antes expuesto, este trabajo tiene como objetivo comprobar la hipótesis de que en el borde de las fajas de enriquecimiento existen individuos más desarrollados, que en el interior, debido a que poseen menor competencia y mejores condiciones de suelo.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de Estudio

La Reserva Forestal Imataca (FRI) está ubicada entre las coordenadas 6°00' y 8°30' N y 59°50' y 62°10' W, con una superficie aproximada de 3.822.000 ha.

El área de estudio se localiza específicamente en las parcelas de investigación 1 y 2 (PI1 y PI2) de la Unidad de Manejo C-3 (UM C-3), ubicada en la zona central de la RFI (Figura 1).

Según el sistema de Koppen existe un clima tropical (AWvi). Así mismo, la precipitación media anual es de 1.728 mm, la temperatura media anual es de 27 °C, la radiación solar media anual es de 600 Cal/cm y la humedad relativa promedio es de 82% (Comafor, 1994).

En cuanto a las características físico-naturales, la topografía presenta variaciones entre 0 – 30% de pendiente, con relieve y fisiografía del tipo de penillanuras, ligera a moderadamente onduladas. La mayor parte de los suelos son Haplustults, Paleudults y Ustorthets, con relativamente poca profundidad (30 – 60 cm), la capacidad de uso de la tierra es IV (Comerma y Arias, 1971, citado por

Comafor, 1994), la fertilidad es de baja a moderada, una reacción fuertemente ácida y un muy bajo almacén de nutrientes, que se traduce en serias limitaciones para cultivos agronómicos comunes.

En cuanto a la vegetación, se presenta una transición entre las zonas de vida BsT y BhT (Sistema de Holdridge). De acuerdo a Silva (1991; citado por Comafor, 1994) el 93% de la UM C-3 presenta bosques que van desde altos y densos hasta medios y medianamente densos, muy heterogéneos (41 especies/ha), la abundancia promedio es 371 arb/ha (con dap \geq a 10cm) y el área basal promedio de 24,6 m²/ha. Las especies características son *Inga sp.*, *Erisma uncinatum*, *Tetragastris panamensis*, *Sterculia pruriens*, *Eschweilera subglandulosa*, *Chaetocarpus schomburgkianus*, *Pentaclethra macroloba*, *Mora gongrijpii*, *Clathrotropis brachypetala*.

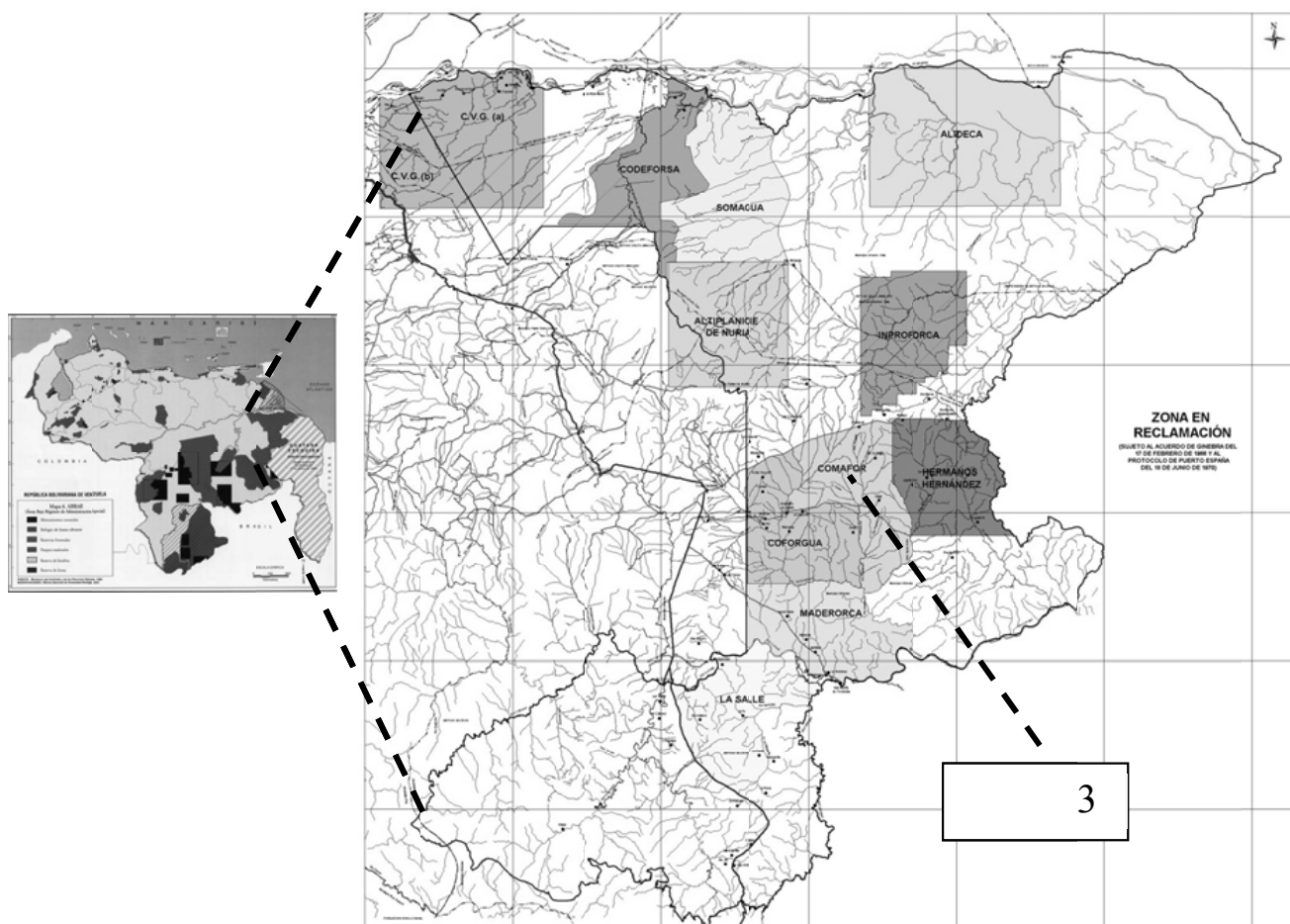


Figura 1. Ubicación de la Reserva Forestal Imataca y del Área de Estudio. Adaptado de MARNR (1998) y MARNR-UCV (2003).

2.2 Evaluación de la masa forestal plantada

Las plantaciones evaluadas pertenecen al Proyecto Silvicultural Fajas de Enriquecimiento (Parcelas de Investigación 1 y 2 – PII, PI2), establecido de forma manual entre 1993 y 1996, con una superficie total plantada de 762 ha. El método de plantación fue en bola de tierra, el distanciamiento fue 2,5 m entre plantas y de 40 m entre fajas, con una extensión variable.

Se seleccionaron cinco especies en diferentes sectores de la PII y PI2 (Cuadro 1), con características fisiográficas homogéneas, con el fin de evitar variabilidad edáfica entre las parcelas.

El diseño del muestreo fue aleatorio simple, siendo la unidad de muestreo la faja y la unidad de observación cada individuo. Se evaluaron cinco fajas por especie para un total de 25 fajas, en cada una de ellas se tomaron los registros para 10 individuos por faja transversal (Figura 2), con distintos distanciamientos desde el borde.

En cada individuo se evaluaron los siguientes parámetros: identificación de la especie, compartimiento, sector y número de faja, circunferencia a la altura de pecho (cap - mm), altura total (dm), altura de fuste (dm), calidad de fuste y vigorosidad.

Para el análisis estadístico se empleó el programa “R” con el fin de realizar el análisis de regresión y estudiar los cambios cuantitativos de las variables. Al mismo tiempo se calculó el nivel de correlación entre la distancia y el diámetro a la altura de pecho por especie. El modelo estadístico utilizado se muestra en la ecuación 1:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Dist}.i + \text{Esp}.j + \text{Dist}.i * \text{Esp}.j + E.ij \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta medida a lo largo de la distancia “i”, dentro de la faja, sobre la especie “j”.

Dist i = distancia “i” dentro de la faja respecto al borde de la carretera.

Esp j = especie “j”.

E ij = variación aleatoria no explicada por el modelo o error.

Cuadro 1. Especies evaluadas para el efecto de borde en fajas de enriquecimiento.

Código	Nombre común	Nombre científico	Familia	Sector	Edad (años)
Ts	Puy	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	Bignoniaceae	G	12
Tg	Pata danto	<i>Terminalia guianensis</i>	Combretaceae	D	14
Co	Cedro rojo	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	C y D	14
Ca	Pardillo	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae	G	12
Po	Caro	<i>Parkia oppositifolia</i>	Mimosaceae	G	12

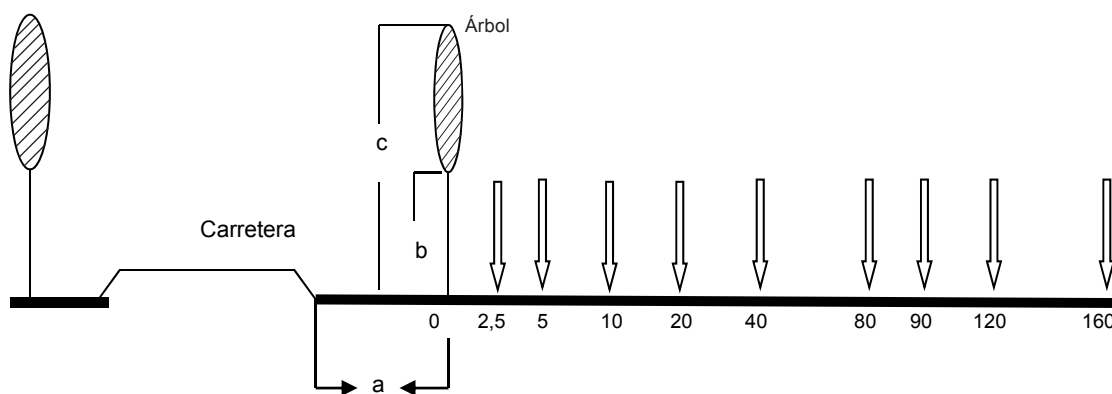


Figura 2. Diseño del registro de características cuantitativas y cualitativas del sistema de enriquecimiento en fajas transversales. (a) distanciamiento entre la carretera y el inicio de la plantación, (b) altura de fuste, (c) altura total.

2.3 Evaluación del suelo

El muestreo de suelo se ejecutó en las cinco (5) fajas transversales correspondiente a la especie *Parkia oppositifolia*, estableciendo dos (2) minicalicatas de 60 cm por cada lado (alto, ancho y profundidad). La primera en el área ubicada entre la carretera y el inicio de la plantación y la segunda a 160 m dentro de la plantación (Figura 3). En estos sectores se recolectaron las muestras de suelo utilizando cilindros de Uhland. Se dividió cada calicata en dos estratos, el primero de 0 a 30 cm y el segundo de 30 a 60 cm. Se recolectaron 5 muestras por cada estrato, para un total de 100 muestras en las cinco fajas evaluadas.

Las propiedades físicas evaluadas fueron: profundidad, densidad aparente (Método de Uhland), textura (Método de Bouyoucos), reserva de humedad a 1/3 y 15 atmósferas (Método Olla de Presión), espacio poroso y compactación del suelo.

De igual forma, para hacer el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se recolectó una muestra de suelo de aproximadamente 1 kg para cada estrato de cada minicalicata. Los análisis químicos de laboratorio fueron: pH, carbono

orgánico, nitrógeno total, fósforo, aluminio intercambiable, potasio y calcio intercambiable.

Se analizaron los resultados por medio de una T Student, para comparar las variables de suelos en las dos minicalicatas. Teniendo como $H_0: \mu_0 = \mu_{160}$ (μ_0 : análisis realizados en el primer punto a 0 m de la faja, μ_{160} : evaluación realizada en el último punto a 160 m de distancia medidos desde el borde hacia el interior de la faja), $H_a: \mu_0 \neq \mu_{160}$.

3. Resultados y discusión

3.1 Características de la masa arbórea

La especie *Cedrela odorata* presentó las mayores alturas de fuste con una mediana de 8 m. Le siguen *Cordia alliodora* y *P. oppositifolia* con medianas de 5 m y finalmente, *Terminalia guianensis* y *Tabebuia serratifolia* con medianas de 3 y 2 m, respectivamente (Figura 4). Es probable que el bajo crecimiento de las dos últimas especies esté vinculado a una alta mortalidad y a la alta densidad de su madera que oscila entre 0,9 y 1,1 g/cm³ (datos tomados de Vilela, 1970).

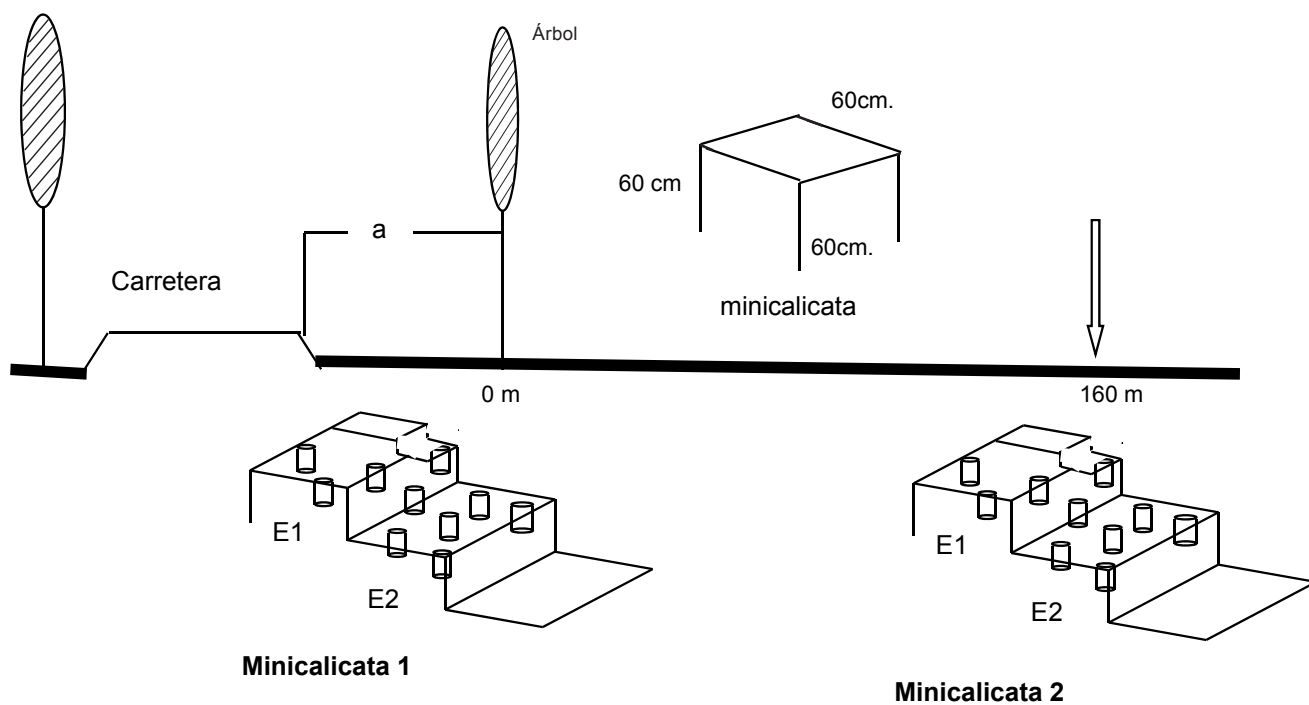


Figura 3. Diseño del muestreo de suelo en el sistema de enriquecimiento en fajas transversales. (a) distanciamiento entra la carretera y el inicio de la plantación, (E1) estrato de 0 – 30 cm de profundidad, (E2) estrato de 30 – 60 cm de profundidad.

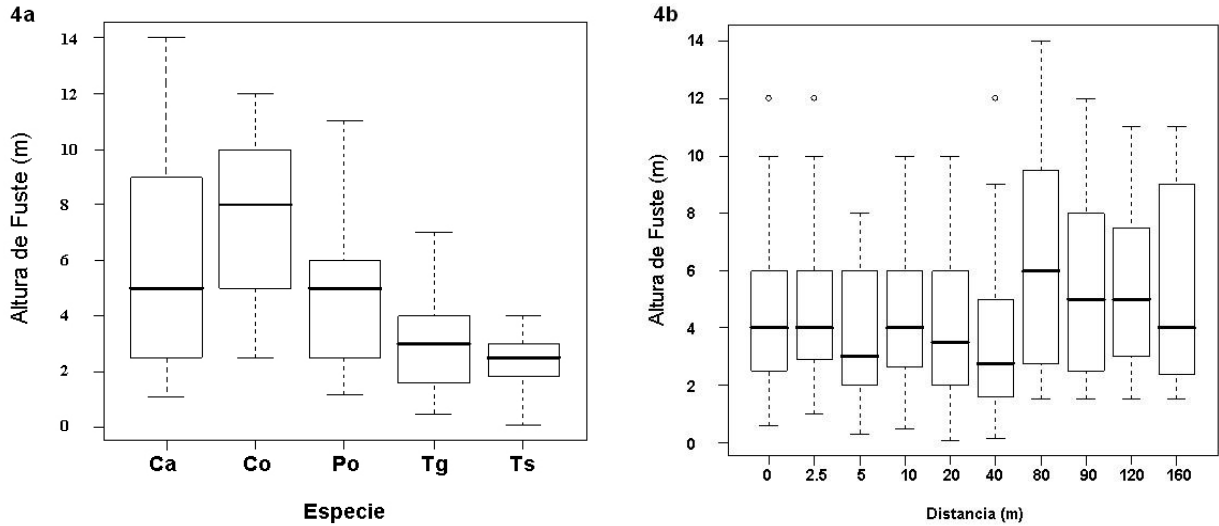


Figura 4. Diagrama de caja de altura de fuste por especie (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*) (4a) y por distancia (4b).

En general, se observa una cierta tendencia a un decrecimiento de alturas de fuste desde el borde hasta las distancias intermedias (Figura 5), ocurriendo posteriormente un ligero aumento. Esto podría generarse por la ocurrencia de claros dentro de las fajas. Dichos claros pudieran ser de origen natural o artificial (actividades de recolección de frutos y aves, llevadas a cabo por los indígenas de la zona, quienes cortan los árboles para obtener alimentos o bienes comercializables). Sin embargo hay mucha variabilidad en el comportamiento de las especies y se estima que, en esta etapa de la eva-

luación, la altura de fuste no refleja acertadamente el efecto de los factores ecológicos que influyen en las plantaciones. Este es un parámetro definido por el interés humano y, en ocasiones, puede ser subjetiva la interpretación de ramas o bifurcaciones que definen la copa.

Las medianas de altura total se concentran en dos grupos (Figura 6), el primero con los mayores valores incluyen las especies *C. alliodora*, *C. odorata* y *P. oppositifolia* con un valor cercano a 10 m; el segundo grupo conformado por *T. guianensis* y *T. serratifolia* con las medianas más bajas (aproximi-

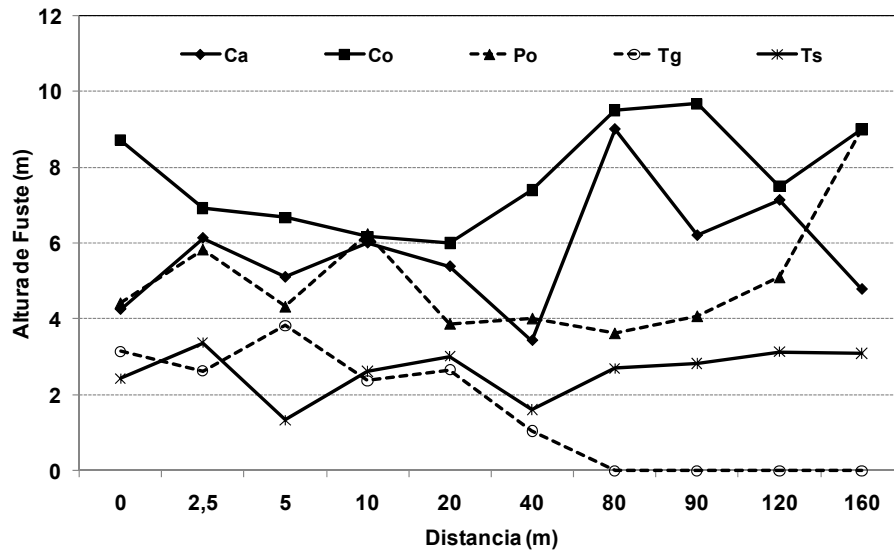


Figura 5. Media altura de fuste por especie en el gradiente de distancias (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*).

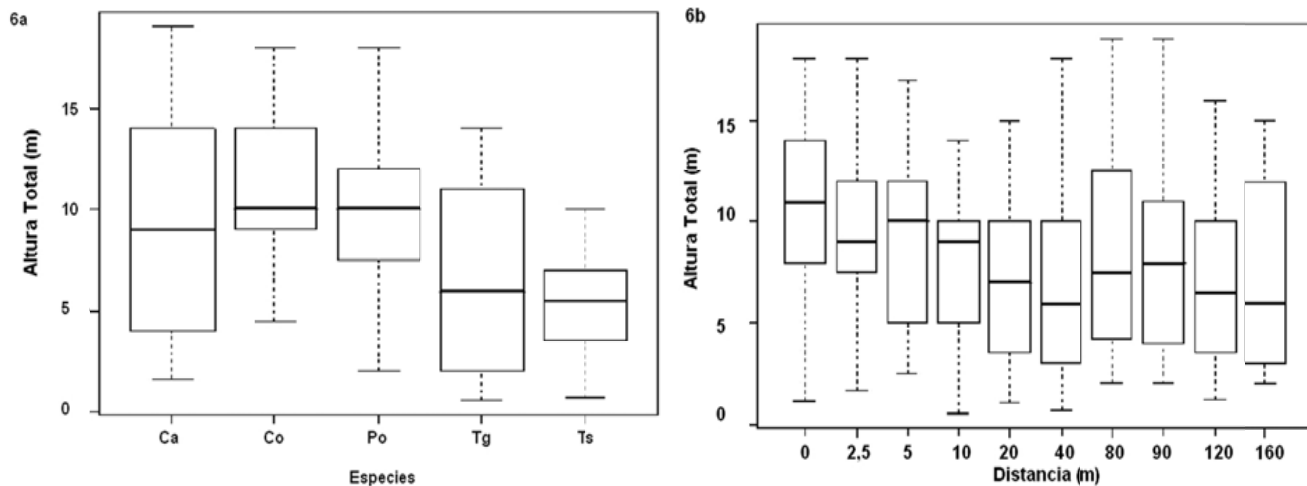


Figura 6. Diagrama de caja de altura de total por especie (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*) (6a) y por distancia (6b).

madamente 5 m). Al mismo tiempo, se repite la tendencia a un decrecimiento en la altura desde la distancia 0 m hasta 40 m y después ocurre un aumento (Figuras 6 y 7).

El comportamiento del diámetro a la altura de pecho presenta nuevamente dos grupos (Figura 8): el mayor desarrollo lo exhiben las especies *C. alliodora*, *C. odorata* y *P. oppositifolia* con una mediana de dap entre 8 y 13 cm; *T. guianensis* y *T. serratifolia* poseen medianas de dap entre 5 y 6 cm. Se reitera, con mayor claridad, la tendencia a disminuir el desarrollo desde el borde hasta la distancia de 40 m, y luego un muy ligero aumento desde 40 m hasta 160 m (Figuras 8 y 9).

Los resultados de crecimiento diamétrico, encontrados en este trabajo, en general, son superiores a los reportados para otras unidades de manejo de la Guayana Venezolana (Cuadro 2). La especie *T. serratifolia* continúa exhibiendo un desarrollo lento y tardaría 102 años en alcanzar un dmc de 50 cm. Igual situación se presenta con *T. guianensis*. En el caso de *C. odorata* se evidencia un crecimiento mejor que el de otras unidades y en la UM C3 tardaría 42 años en lograr un dmc de 40 cm. *C. alliodora* se había reportado como la especie más prometedora pero, en este caso, su desarrollo es ligeramente inferior y tardaría 52 años en lograr un dmc de 40 cm. *P. oppositifolia* posee el mejor resultado y tomaría 46 años en lograr un dmc de 50 cm.

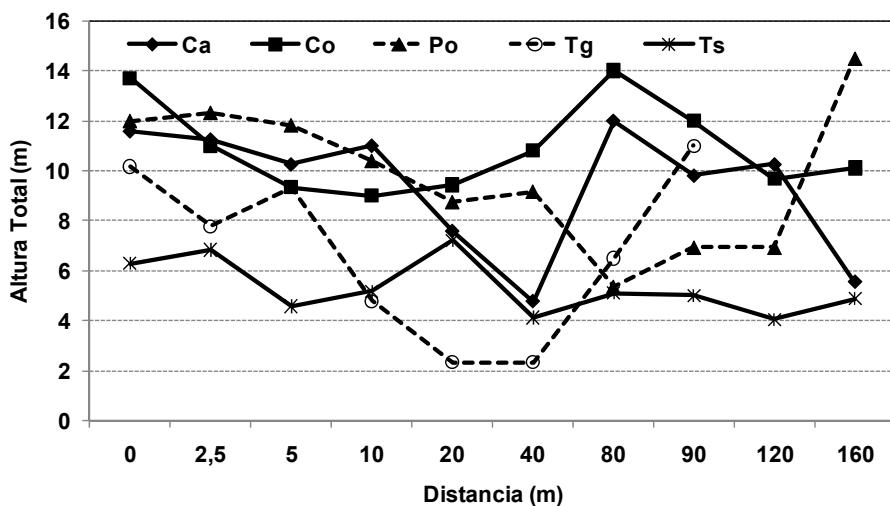


Figura 7. Media altura de total por especie en el gradiente de distancias (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*)

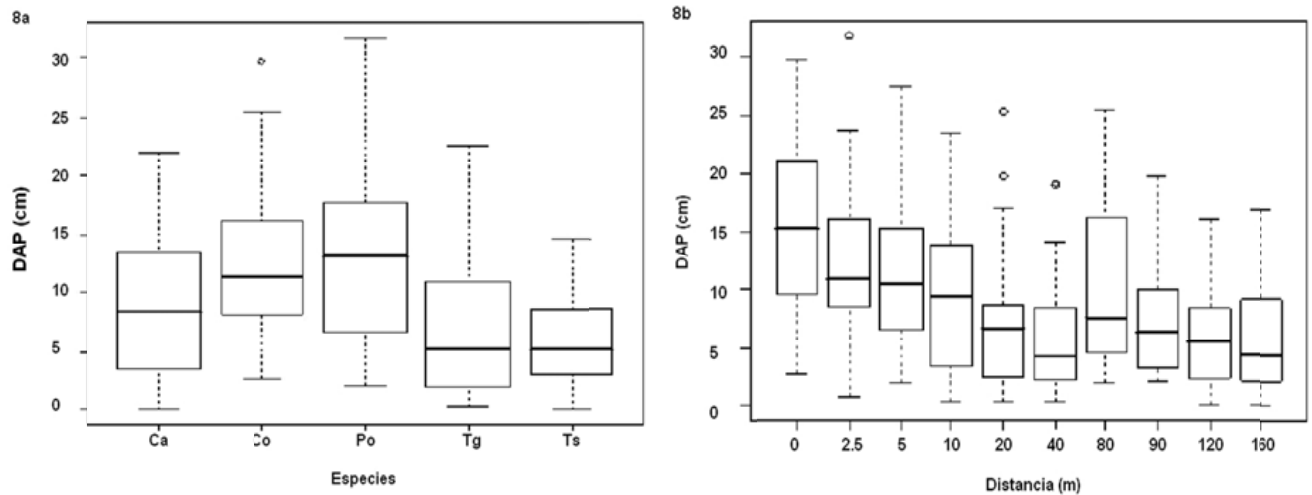


Figura 8. Diagrama de caja de dap por especie (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*) (8a) y por distancia (8b).

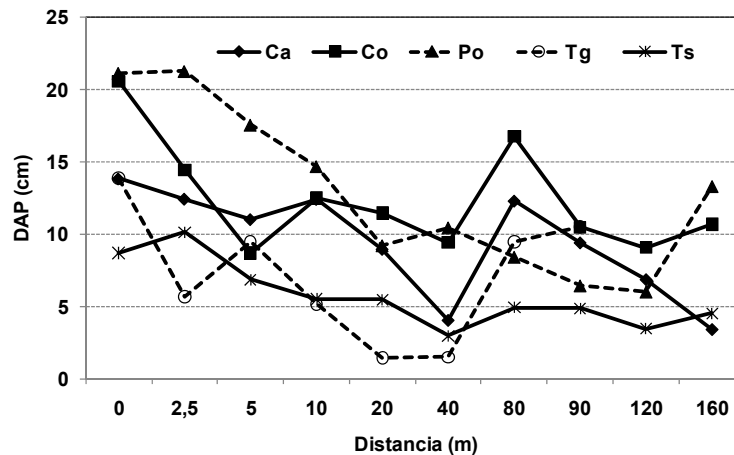


Figura 9. Media de dap por especie en el gradiente de distancias (Ca: *Cordia alliodora*; Co: *Cedrela odorata*; Po: *Parkia oppositifolia*; Tg: *Terminalia guianensis*; Ts: *Tabebuia serratifolia*)

Cuadro 2. Comparación de los resultados obtenidos con los de Lozada *et al.** (2003).

Nombre científico	Edad (años)	DAP (prom. en cm)	Crecimiento (cm/año)	
			Este trabajo	*
<i>Tabebuia serratifolia</i>	12	5,84	0,49	0,46
<i>Terminalia guianensis</i>	14	6,91	0,49	-----
<i>Cedrela odorata</i>	14	13,11	0,94	0,67
<i>Cordia alliodora</i>	12	9,23	0,77	0,81
<i>Parkia oppositifolia</i>	12	13,00	1,08	-----
Promedio	-----	-----	0,75	0,55

Los resultados anteriores corresponden al promedio de todos los individuos evaluados. Conviene destacar que, si se toman los individuos con mejor desarrollo (los ubicados en el borde, es decir, a una distancia de 0 m) el promedio general obtenido en el dap es 15 cm (Figura 8) y el crecimiento anual (para un promedio de 13 años) sería 1,15 cm/año. Con ello se necesitarían 39 años para alcanzar un dmc promedio de 45 cm. Este lapso es más cercano al ciclo de 30 años, usualmente utilizado en la ordenación de estas unidades de manejo forestal.

3.2 Características del suelo no definido

Al analizar los atributos físicos (Cuadros 3 y 4) se observa que solo mostraron diferencias significativas (5%) las variables densidad aparente (Da, g/cm³), materia orgánica (MOS, %), agua disponible (Ad, %) y espacio poroso (Ep, %).

La media de la densidad aparente en el borde (Cuadro 3), incluyendo ambos estratos, fue de 1,78 g/cm³ mientras que hacia el interior de la faja el promedio fue menor (1,62 g/cm³). Los resultados del Anova (Cuadro 4) muestran diferencias altamente significativas al 5% para esta variable en los dos estratos estudiados. Estas diferencias se deben principalmente a que hacia el interior aumenta el contenido de materia orgánica, variable que favorece la porosidad total en los suelos y por tanto la Da tiende a disminuir (Aguilera y Martínez, 1990). Igualmente, en la zona de borde se realizan labores de mantenimiento con maquinaria pesada cada 3-4 años, lo que genera mayor compactación con respecto al interior de la faja. Se observa, tanto para el borde como para el interior, un aumento de la Da con la profundidad, con suelos ligeramente compactados a partir de 30 cm de profundidad. Estos resultados coinciden con los reportados por

Cuadro 3. Atributos físicos y químicos de los suelos estudiados.

Posición	Código calicata	Estrato	Da*	Ep	a	L	A	Textura	Ad	NT	P	K	Ca	Al	Ca/Al	MO	pH	
Borde	C44-1	1**	1,69	36,29	59,6	7,2	33,2	FAa	15,04	0,06	4	0,036	0,180	0,70	0,26	1,76	4,8	
		2	1,71	35,5	33,6	9,2	57,2	A	18,92	0,06	8	0,020	0,264	0,60	0,44	1,03	5,3	
	C37-3	1	1,78	32,87	65,6	9,2	25,2	FAa	11,80	0,05	4	0,020	0,225	0,60	0,37	1,91	4,7	
		2	1,84	30,73	55,1	3,7	41,2	Aa	14,22	0,04	4	0,047	0,245	0,63	0,40	0,58	4,9	
	C15-5	1	1,77	33,08	55,6	11,2	33,2	FAa	15,04	0,10	4	0,023	0,454	0,30	1,51	2,06	5,1	
		2	1,76	33,48	19,6	15,2	62,2	A	18,32	0,07	4	0,059	0,225	0,40	0,56	1,76	5,3	
	C12-7	1	1,82	31,36	45,6	13,2	41,2	Aa	18,88	0,09	4	0,118	0,309	0,80	0,39	2,70	4,9	
		2	1,82	31,51	35,6	35,2	29,2	FA	30,53	0,05	4	0,018	0,175	1,00	0,17	2,06	4,9	
	C9-9	1	1,79	32,53	59,6	13,2	27,2	FAa	16,49	0,08	4	0,046	0,389	0,40	0,97	1,76	5,1	
		2	1,81	31,53	45,6	7,2	47,2	Aa	23,44	0,04	4	0,064	0,344	0,50	0,69	1,91	5,1	
	Interior	C44-2	1	1,43	46,19	59,6	7,2	33,2	FAa	21,12	0,10	4	0,090	0,225	1,00	0,22	3,70	4,5
			2	1,67	36,99	35,6	10,2	54,2	Fa	12,02	0,07	4	0,047	0,160	0,53	0,28	1,69	5,3
C37-4		1	1,75	34,03	55,6	9,2	35,2	Aa	15,37	0,10	4	0,041	0,254	0,80	0,32	3,19	4,5	
		2	1,71	35,33	19,6	11,2	69,2	A	18,86	0,05	4	0,302	0,250	0,50	0,50	1,32	5,3	
C15-6		1	1,63	38,41	55,6	25,2	19,2	Fa	18,38	0,22	4	0,171	2,345	0,00	0,00	6,90	5,6	
		2	1,74	34,21	65,6	7,2	27,2	FAa	17,92	0,06	4	0,059	0,524	0,00	0,00	1,17	5,6	
C12-8		1	1,45	45,36	77,6	7,2	15,2	Fa	12,17	0,09	4	0,038	0,185	0,40	0,46	2,53	5,1	
		2	1,50	43,33	79,6	3,2	17,2	Fa	11,95	0,04	4	0,008	0,150	0,30	0,50	0,47	5,3	
C9-10		1	1,56	41,14	69,6	7,2	23,2	FAa	12,62	0,10	4	0,069	0,893	0,40	2,23	3,36	5,1	
		2	1,73	34,84	61,6	3,2	35,2	FAa	13,78	0,04	15	0,079	0,509	0,60	0,85	0,61	5,0	
			1	1,67	37,13	60,4	11,0	28,6		15,69	0,10	4	0,065	0,546	0,54	0,67	2,99	4,9
			2	1,73	34,74	45,2	10,6	44,0		18,00	0,05	5,5	0,070	0,284	0,51	0,44	1,26	5,2

*Da = densidad aparente (g/cm³); Ep = espacio poroso (%); a = arena (%); L = limo (%); A = arcilla (%); Ad = agua disponible (%); NT = nitrógeno total (%); P = fósforo (ppm); K = potasio (cmol⁽⁺⁾/kg); Ca = calcio (cmol⁽⁺⁾/kg); Al = aluminio (cmol⁽⁺⁾/kg); Ca/Al = relación calcio y aluminio; MOS = materia orgánica de suelo (%). **1 = primer estrato (0-30 cm); 2 = segundo estrato (30-60 cm).

Cuadro 4. Prueba T de Student para comparar propiedades de los suelos, dentro de las fajas de enriquecimiento y al borde de la carretera.

Variable	Estrato	T	Grados de Libertad	Valor de P	Media en el grupo Borde	Media en el grupo Interior
a*	1**	-1,173	8	0,275	57,20	63,60
	2	-1,194	8	0,266	38,80	53,60
L	1	-0,107	8	0,917	10,80	11,20
	2	1,335	8	0,219	14,40	6,80
A	1	1,417	8	0,194	32,00	25,20
	2	0,599	8	0,566	46,20	39,60
Da	1	3,257	8	0,012	1,77	1,56
	2	23,497	8	0,047	1,79	1,67
Ep	1	-3,105	8	0,015	49,86	70,54
	2	0,066	8	0,949	48,36	47,88
Ad	1	-0,234	8	0,821	15,45	14,91
	2	19,678	8	0,085	21,09	12,73
MOS	1	-2,418	8	0,042	2,38	3,94
	2	1,381	8	0,205	1,53	1,07
NT	1	-1,751	8	0,118	0,08	0,12
	2	0,129	8	0,901	0,05	0,05
P	2	-0,598	8	0,566	0,02	0,03
K	1	-11,026	8	0,302	0,09	0,08
	2	-10,854	8	0,309	0,04	0,10
Al	1	0,203	8	0,845	0,56	0,52
	2	1,659	8	0,136	0,64	0,39
Ca	1	-1,128	8	0,292	0,31	0,78
	2	-0,657	8	0,529	0,26	0,32
pH	1	-0,178	8	0,863	4,92	4,96
	2	-1,453	8	0,184	5,10	5,29

* a = arena (%); L = limo (%); A = arcilla (%); Da = densidad aparente (g/cm³); Ep = espacio poroso (%); Ad = agua disponible (%); MOS = materia orgánica de suelo (%); NT = nitrógeno total (%); P = fósforo (ppm); K = potasio (cmol⁽⁺⁾/kg); Al = aluminio (cmol⁽⁺⁾/kg); Ca = calcio (cmol⁽⁺⁾/kg); pH. ** 1 = primer estrato (0-30 cm); 2 = segundo estrato (30-60 cm).

Lugo (2006), para los suelos evolucionados del Escudo Guayanés.

En cuanto al espacio poroso (Ep%), se demuestra que existen diferencias significativas para el primer estrato entre el borde (49%) y el interior de la faja (70%). Esto se debe al paso de maquinarias durante labores de mantenimiento de la vialidad.

Los análisis de textura indican que en todas las calicatas para el E1, domina la clase franco arcillo arenosa, mientras que en el E2 se presenta la fracción arcillosa. Es importante destacar el incremento de arcilla con la profundidad razón por la cual aparece la clase arcillo arenosa. Resultados similares fueron obtenidos por Lugo (2006, en el Estado Amazonas) y Lozada (2008, en áreas muy cercanas

a este estudio). Los resultados del ANOVA (Cuadro 4) no muestran diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) para las fracciones arena (%), arcilla (%) y limo (%), entre los sectores evaluados (borde e interior de la faja). Sin embargo, los promedios de arena son más altos en el interior de la faja.

El análisis de varianza para el agua disponible en el suelo encontró que no hay diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, se observa que el borde presentó la media más alta con un valor de 18,27%, mientras que la media para el interior de la faja fue de 13,82%. Esto se debe principalmente a que la textura es más arenosa en el interior y con ello hay menos espacio poroso donde alojar el agua.

En cuanto a los atributos químicos, el fósforo (P), las bases cambiables (K^+ , Ca^{2+}), el aluminio (Al^{3+}) y el pH, no presentaron diferencias significativas. Para las bases cambiables los niveles son bajos (Cuadro 3) y a medida que aumenta la profundidad disminuyen sus valores. El Al^{3+} en promedio para ambos estratos, también se presenta en rangos bajos ($< 0,50$ cmol/kg suelo), existiendo rangos medios que alcanzan valores de 1 cmol/kg suelo.

La relación calcio-aluminio (Ca/Al) en promedio para los dos estratos es inferior a 1, estos valores indican que pueden ocurrir daños en el sistema radical, sin embargo la existencia de calcio contribuye como estabilizador del elemento Al^{3+} . Por otra parte el suelo es ácido para todos los casos, en el Estrato 1 el promedio de pH es 4,94 y en el Estrato 2 aumenta muy ligeramente, llegando a valores promedios de 5,00.

La materia orgánica (MOS) presentó diferencias estadísticamente significativas para el primer estrato. La media para el borde fue de 2,38 % mientras que para el interior de la faja fue de 3,94%. Los bajos valores del borde pueden estar asociados a las pérdidas de la capa orgánica que ocurren en suelos descubiertos, un reducido aporte de hojarasca y descomposición de raíces en un ambiente con pocos individuos arbóreos. En el interior de la faja existe un mayor aporte de materia orgánica por parte de la acumulación y posterior descomposición de la hojarasca. Se interpreta que en el borde ocurren procesos de mineralización, lavado y lixiviación, evidenciado en los bajos valores de pH, de materia orgánica, nitrógeno total y del contenido de Calcio (Ca).

3.3 Propuesta silvicultural

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que los individuos plantados en el borde crecen a un ritmo de 1,15 cm/año, lo cual significa que se necesitarían 39 años para alcanzar un dmc (diámetro mínimo de cortabilidad) promedio de 45 cm. Este lapso es bastante cercano al ciclo de corta establecido en 30 años.

Por lo antes expuesto se propone ejecutar un sistema silvicultural denominado *Plantaciones en los Bordes de las Carreteras*, con un turno de 40 años. Se han encontrado referencias de que estas áreas facilitan el establecimiento de especies arbóreas en Appanah *et al.* (2000), D'Oliveira (2000),

Dykstra y Curran (2000) y Raja *et al.* (2000). Los aspectos fundamentales del método propuesto serían los siguientes:

- a) En cada lado de la vía se plantan dos hileras de árboles de especies valiosas (4 hileras/km), con un distanciamiento de 2,5 m (400 ind/hilera) y en tresbolillo. En muchas empresas se construye una red vial de hasta 20 km/año. Por lo tanto, podría haber inicialmente 32.000 individuos/compartimiento (4 hileras/km x 400 ind/hilera x 20 km/compartimiento). Si al final del turno permanece la cuarta parte de los individuos plantados, entonces se lograrían 8.000 árboles de especies valiosas con un diámetro promedio de 46 cm. Se considera que esto es una buena base para mantener de manera sostenible a una industria maderera.
- b) Debe haber especial cuidado en que las operaciones vinculadas a la vialidad no afecten a estas plantaciones. El ancho de la deforestación de las carreteras (unos 20 m) significa un impacto ambiental, pero favorece la entrada de luz y con ello la pérdida de humedad (que afecta negativamente a las vías). El mantenimiento de las vías debe evitar la mortalidad de estas plantaciones.
- c) El método debería aplicarse de manera experimental (unos 2 km/año/concesión) para ganar experiencia, evaluar resultados y costos iniciales, antes de pasar a gran escala.
- d) Es recomendable hacer pruebas con individuos de gran tamaño que se escapen rápidamente de las malezas y reduzcan el costo de mantenimiento. Al plantar a lo largo de las vías se puede mecanizar el transporte, la apertura de hoyos, la carga, la descarga y la plantación. En el sureste asiático se han plantado con éxito individuos de 2 m de altura, utilizando hoyos con capacidad de 1 m³ y algunos fertilizantes para acelerar el crecimiento (Appanah *et al.*, 2000; Raja *et al.*, 2000).
- e) Deben investigarse alternativas para un manejo eficiente de la materia orgánica que se coloca en los bordes de las vías. Como mínimo, este material debería acumularse en círculos alrededor de los individuos plantados.
- f) Deben ejecutarse investigaciones serias sobre mejoramiento genético, con el fin de aumentar los rendimientos de las plantaciones.

Las Plantaciones en los Bordes de las Carreteras podrían tener las siguientes ventajas:

- Al finalizar el turno, los individuos explotables estarían ordenados al lado de carreteras ya construidas. Esto disminuye los costos de inventario, tumba, arrastre, roleo, carga, vialidad y transporte.
- Reduce los impactos ambientales ocasionados por el aprovechamiento en bosque natural y la apertura de las fajas de enriquecimiento.
- Facilita el mantenimiento de las plantaciones y posibilita la mecanización de podas, orientadas a obtener productos de mejor calidad.
- Permite hacer aclareos, donde los sub-productos pueden ser fácilmente llevados al mercado.
- Permite desarrollar sistemas agroforestales que reducen el costo de control de malezas y posibilita un uso múltiple de la tierra.

4. Conclusiones

La evaluación del sistema de enriquecimiento en fajas establecido en la UM C-3 de la RFI, permite comprobar la hipótesis de que hay un efecto de borde, generado por la disponibilidad de luz, donde existe un mayor desarrollo fenotípico de los individuos adyacentes a una carretera forestal y luego se presenta un decrecimiento, hasta el interior de la faja donde ocurre un cierre del dosel, denominado en este trabajo efecto túnel. Se encontraron excepciones a esta generalización, ya que se observaron claros en el interior de las fajas, lo cual benefició el crecimiento de los individuos cercanos a dichos sitios.

Los resultados confirman que el desarrollo general de estas plantaciones es muy lento y el turno necesario para alcanzar el diámetro mínimo de cortabilidad oscilaría entre 42 años (para *C. odorata*) y 102 años (para *T. serratifolia* y *T. guianensis*).

La hipótesis de que en el borde existe mejor suelo que en el interior de la faja no es válida. Se infiere que la materia orgánica, extraída de las vías y colocada en los bordes, sufre procesos de descomposición, lixiviación y volatilización; sus componentes se pierden y no se incorporan al suelo. En el interior de la faja existe una cobertura boscosa que aporta materia orgánica y facilita su incorporación al suelo. Por otra parte, el borde presenta mayor

densidad aparente y menor espacio poroso, como consecuencia de un mantenimiento de vialidad que genera compactación.

Los individuos del borde crecen a un ritmo de 1,15 cm/año (promedio en 13 años de edad). Basándose en esta tasa de crecimiento, se propone ejecutar un sistema silvicultural mediante Plantaciones en los Bordes de las Carreteras, con un turno inicial de 40 años, orientado a obtener unos 8.000 árboles/compartimiento con un diámetro promedio de 46 cm. Este método deberá ejecutarse, en principio de manera experimental, y es fundamental que esté acompañado de investigaciones sobre el tamaño de plantón más adecuado, manejo de la materia orgánica del suelo, fertilización y mejoramiento genético, con el fin de bajar los costos del control de malezas y lograr un desarrollo más acelerado en la plantación.

5. Agradecimientos

Al personal gerencial, técnico y obrero de la Empresa Comafor, por el apoyo prestado para la realización de este trabajo. Al Cdchta-ULA (Proyecto FO-663-08-01-F) por el aporte financiero otorgado a esta investigación.

6. Referencias bibliográficas

- ABDU, A., S. TANAKA, S. JUSOP, N. MAJID, Z. IBRAHIM, M. WASLI y K. SAKURAI. 2008. Assessment on soil fertility status and growth performance of planted dipterocarp species in Perak, Peninsular Malaysia. *Journal of Applied Sciences* 8(21): 3795-3805.
- AGUILERA, M. y R. MARTÍNEZ. 1990. *Relaciones agua suelo planta atmósfera*. 4ta edición. Oficina de Publicaciones del Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 320 p.
- ALVAREZ, C. y A. LARA. 2008. Crecimiento de una plantación joven en fajas con especies nativas en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia. *Bosque* 29(3): 181-191.
- APPANAH, S., B. KRISHNAPILLAY y M. DAHLAN. 2000. Sustainable production of forest products in the humid tropics of Southeast Asia: latest developments. XXI Iufro World Congress. 07 al 12 de agosto de 2000. Kuala Lumpur, Malasia.

- COMAFOR. 1994. *Plan de Ordenación y Manejo Forestal Unidad de Manejo Forestal C-3*. Upata, Bolívar, Venezuela. 956 p.
- CONIF. 1986. *Resultados del comportamiento de especies forestales plantadas en líneas de enriquecimiento en Bajo Calima, San José del Guaviare y Tumaco, Colombia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Serie Técnica 19. Bogotá, Colombia. 33 p.
- CORREDOR, J. 2001. *Silvicultura Tropical*. Consejo de Publicaciones, Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 373 p.
- D'OLIVEIRA, M. 2000. Artificial regeneration in gaps and skidding trails after mechanized forest exploitation in Acre, Brazil. *Forest Ecology and Management* 127: 67-76.
- DÜNISCH, O., T. SCHWARZ y E. NEVES. 2002. Nutrient fluxes and growth of *Carapa guianensis* Aubl. in two plantation systems in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 166: 55-68.
- DUQUE, J. 1993. Análisis sobre la sostenibilidad del recurso forestal en la Unidad III de la Reserva Forestal de Ticoporo - Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 11: 27-48.
- DYKSTRA, P. y M. CURRAN. 2000. Tree growth on rehabilitated skid roads in southeast British Columbia. *Forest Ecology and Management* 133 (1-2): 145-156.
- GUARIGUATA, M. y J. DUPUY. 1997. Forest regeneration in abandoned logging roads in Lowland Costa Rica. *Biotropica* 9(1): 15-28.
- KAMMESHEIDT, L., A. TORRES, W. FRANCO y M. PLONZACK. 2003. Historia del aprovechamiento forestal y los tratamientos silviculturales en los bosques de los Llanos Occidentales en Venezuela y perspectivas de manejo forestal sostenible. *Revista Forestal Venezolana* 47(1): 87-110.
- KATTAN, G. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. In: *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. M. Guariguata y G. Kattan (eds.). LUR. Costa Rica. 561-590 pp.
- LINERA, G. 1990. Origin and early development of forest edge vegetation in Panamá. *Biotropica* 22 (3): 225-241.
- LOZADA, J., J. MORENO y R. SUESCUN. 2003. Plantaciones en fajas de enriquecimiento. Experiencias en 4 unidades de manejo forestal de la Guayana Venezolana. *Interciencia* 28 (10): 568-575.
- LOZADA, J. 2008. Sucesión vegetal en bosques aprovechados de la Reserva Forestal Caparo y Reserva Forestal Imataka, Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España. 418 p.
- LUGO, L. 2006. La fisiografía, los suelos, la vegetación y su relación con el sistema de agricultura migratoria, en el sector Norte de la Reserva Forestal Sipapo, Estado Amazonas, Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España. 422 p.
- MARNR. 1998. *Mapa de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- MARNR-UCV. 2003. *Bases Técnicas para el Ordenamiento Territorial de la Reserva Forestal Imataka*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 283 p.
- MONTAGNINI, F., B. EIBL, L. GRANCE, D. MAIOCCO y D. NOZZI. 1997. Enrichment planting in overexploited subtropical forests of the paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecology and Management* 99: 237-246.
- NOGUERA, O., C. PACHECO, M. PLONCZAK, M. JEREZ, A. MORET, A. QUEVEDO y O. CARRERO. 2007. Planificación de la explotación de impacto reducido como base para un manejo forestal sustentable en un sector de la Guayana Venezolana. *Revista Forestal Venezolana* 51 (1): 67-78.
- OCHOA, J. 1998. Análisis preliminar de los efectos del aprovechamiento de maderas sobre la composición y estructura de bosques en la Guayana Venezolana. *Interciencia* 23(4): 197- 207.
- RAJA, R., S. IBRAHIM, S. APPANAH, P. CHONG, J. OTHAM y I. MUSA. 2000. *Restorative planting of degraded sites in a logged hill dipterocarp forest using new approach and new method*. XXI Iufro World Congress. 07 al 12 de agosto de 2000. Kuala Lumpur, Malasia.
- RAMOS, J. y S. DEL AMO. 1992. Enrichment planning in a tropical secondary forest in Veracruz, México. *Forest Ecology and Management* 54: 289-304.
- TAYLOR, CH. 1962. *Tropical forestry, with particular reference to West Africa*. Oxford University Press. London. 163 p.
- VILELA, E. 1970. *Propiedades físicas y mecánicas de 137 maderas de la Guayana Venezolana*. ULA, Labonac. Mimeografiado. Mérida. 88 p.