

CRECIMIENTO INICIAL DE *THEOBROMA GRANDIFLORUM* EN SISTEMA AGROFORESTAL CON *HEVEA BRASILIENSIS* Y *MUSA AAB* EN DOS ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS DE CAQUETÁ, COLOMBIA

Armando Sterling Cuéllar¹, Carlos Hernando Rodríguez León¹, Yeny Rocio Virgüez-Díaz², Diego Ferney Caicedo Rodríguez¹, Yasodhara Marieth Salas-Tobón²

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento inicial de tres ecotipos clonados de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) (4, 11 y un testigo) en un sistema de enriquecimiento agroforestal con caucho (*Hevea brasiliensis*) y plátano Hartón (*Musa AAB*) en dos zonas edafoclimáticas diferentes (Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán) en Caquetá (Colombia). En cada zona, se siguió un diseño completamente al azar, el cual se analizó mediante un modelo lineal general y medidas repetidas en el tiempo. Se evaluó el prendimiento y la supervivencia de los ecotipos clonados. En los años 1 y 2 después del establecimiento del copoazú se evaluaron los índices de crecimiento: altura total (AT), diámetro a 10 cm del suelo (D+10) e índice de área foliar (IAF). AT fue la variable que más se correlacionó con los distintos índices de crecimiento ($r \geq 0.80$). Los efectos estudiados (localidad, ecotipo, socio clon de caucho /plátano y tiempo) resultaron muy significativos sobre los índices de crecimiento ($p < 0.01$). El ecotipo 11 tuvo altos índices de prendimiento ($> 86\%$) y supervivencia al trasplante ($> 84\%$) y presentó el mejor crecimiento vegetativo, especialmente en San Vicente del Caguán (AT = 1.27 m; D+10 = 2.33 cm; IAF = 4.93). No obstante, removiendo el efecto de la localidad, las

asociaciones que se realizaron con el clon IAN 873 de *H. brasiliensis* resultaron más favorables para la supervivencia y crecimiento del copoazú. En general, no se observó una diferencia significativa en el efecto producido por los socios de plátano Hartón con los clones FX 4098 y FX 3864 sobre el crecimiento del copoazú.

Palabras clave

Agroforestería, Amazonia colombiana, Caucho, Copoazú, Plátano.

ABSTRACT

It was evaluated the early growth of three copoazu plants clones ecotypes (*Theobroma grandiflorum*) (4, 11 and control) in an agroforestry system enrichment with rubber tree (*Hevea brasiliensis*) and banana Hartón (*Musa AAB*) in two different edafoclimatic zones (Belén de los Andaquíes and San Vicente del Caguán) in Caquetá (Colombia). A completely randomized design, analyzed with a general linear model and repeated measures over time, was used in each zone. Sprouting and survival of clones ecotypes was evaluated. Total height (AT), trunk diameter at 10 cm of the soil (D+10) and leaf area

¹ Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi Sede Florencia. Calle 31 No. 2E -41 Barrio El Cunday, Florencia, Caquetá (Colombia). E-mails: asterling@sinchi.org.co; asterlingc@gmail.com (Autor de correspondencia); crodriguez@sinchi.org.co; dcaicedo@sinchi.org.co

² Co-investigadores del proyecto-Contratistas Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi Sede Florencia, Caquetá (Colombia)

index (IAF) were evaluated at first and second years after the establishment of copoazú plants. AT was the variable more correlated with different growth indexes ($r \geq 0.80$). Three growth indexes were very influenced by studied effects (zone, ecotype, rubber clones/banana and time) ($p < 0.01$). Ecotype II had higher sprouting ($> 86\%$) and transplant survival indexes ($> 84\%$) and presented the best vegetative growth, especially in San Vicente del Caguán (AT = 1.27 m; D + 10 = 2.33 cm; IAF = 4.93). However, removing the effect of zone, agroforestry arrangement with the clone IAN 873 was more favorable to the survival and growth of copoazu. In general, a significant difference was not observed due to Harton banana with rubber tree clones FX 4098 and FX 3864 on growth of copoazú.

Key words

Agroforestry, Colombian Amazonia, Rubber tree, Copoazu, Banana



INTRODUCCIÓN

El copoazú, *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum., forma parte de las 22 especies descritas del género *Theobroma*, y es exclusivamente neotropical, la cual se distribuye, desde los 18° N hasta los 15° S. Brasil y Colombia están considerados como los principales centros de diversidad del género, ambos países, poseen el mayor número de especies silvestres (Santos *et al.* 2012).

T. grandiflorum es considerada una especie promisoría dado que todas las partes del fruto (cáscara, pulpa y semillas) son susceptibles de aprovechamiento, con diferentes usos en la industria agroalimentaria y cosmética, con un mercado creciente en el mundo por su carácter exótico (Hernández y Barrera 2004).

Dado que el copoazú es una especie que requiere de sombra para su buen desarrollo fisiológico, cumple los requerimientos para su cultivo en asocio bajo arreglo agroforestal con especies leñosas perennes como el caucho, que es de ciclo productivo largo y se impone dentro del arreglo cubriendo el estrato superior del dosel (Barrera *et al.* 2009). El cultivo intercalado de árboles de caucho con los cultivos agrícolas es un tipo de sistema agroforestal, de acuerdo con la clasificación correspondería a un sistema silvoagrícola (Nair 1986).

En la implementación del cultivo del caucho se han formado asociaciones agroforestales para generar condiciones propicias en el crecimiento del cultivo (Rodrigo *et al.* 1995), como también para generar otros ingresos económicos alrededor de este sistema de producción (Fancelli 1990; Pereira *et al.* 1996). Diferentes autores han reportado la asociación de caucho con café (*Coffea arabica* L.) (Righi *et al.* 2008, 2011), cacao (*Theobroma cacao* L.) (Teixeira *et al.* 1988; Virgens *et al.* 1988) y en zonas tropicales como la Amazonia colombiana la asociación de caucho con frutales amazónicos como arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) (Barrera *et al.* 2009) y copoazú (*T. grandiflorum*) (Melgarejo *et al.* 2006; Barrera *et al.* 2009). Siendo considerado el copoazú un buen complemento para la diversificación del modelo tradicional del monocultivo, además de convertirse en una opción económica en el periodo improductivo del caucho (Lim 2012).

En regiones como la Amazonia colombiana y en zonas con amplia tradición cauchera como el departamento del Caquetá, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, la Universidad de la Amazonia y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (Asoheca) han contribuido con información preliminar sobre la ampliación de la base genética de caucho en la región con nuevos materiales de siembra (Sterling y Rodríguez 2011, 2012) y han adoptado la idea de reconvertir el modelo tradicional del monocultivo por arreglos agroforestales con especies nativas frutales o maderables promisorias para la región (Sterling y Rodríguez 2014, Sterling *et al.* 2015).

Rodrigo *et al.* (2004) y Snoeck *et al.* (2013) afirman que las asociaciones del caucho con diversas especies vegetales como copoazú pueden favorecer en un 50% el desarrollo y el crecimiento de los árboles de caucho en comparación con el monocultivo. Al respecto se presume que el uso de materiales genéticos promisorios de caucho en sistemas agroforestales con especies vegetales de alto valor económico y ambiental, en relación con los factores ambientales característicos de cada región, pueden favorecer el crecimiento temprano del cultivo del caucho, y de esta manera contribuir no solo con su expansión, sino además aumentar las posibilidades de explotación temprana en regiones con alta presión ambiental como la Amazonia colombiana (Sterling *et al.* 2015).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento inicial de tres ecotipos clonados de copoazú (supervivencia y crecimiento en los ecotipos 4, 11 y un testigo local) en asocio agroforestal con caucho (*H. brasiliensis*) y plátano Hartón (*Musa* AAB) en dos zonas edafoclimáticas del departamento del Caquetá (Amazonia colombiana).

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló durante 2 años (2013 y 2014) en el departamento del Caquetá (Amazonia colombiana) en dos zonas edafoclimáticas diferentes (Cuadro 1 y figuras 1 y 2): municipio de Belén de los Andaquíes (Veredas Azabache, Buena vista y Agua dulce) y municipio de San Vicente del Caguán (Veredas La reforma # 2, Buenos aires # 2 y Puerto Lozada) (Cuadro 1).

Desde el punto de vista climático, Belén de los Andaquíes presenta mayor precipitación y menor temperatura, mientras que San Vicente del Caguán registra los menores índices de precipitación y mayores temperaturas (Figura 1). Este análisis destaca que pese a que el área pertenece a la misma zona de vida, (Bosque Húmedo Tropical, bh-T), al interior de ella se registran variaciones climáticas sensibles que influyen en el comportamiento general de la vegetación y la adaptación de las especies (IGAC 2010).

CUADRO 1. LOCALIZACIÓN Y ASPECTOS CLIMÁTICOS GENERALES DEL ÁREA GEOGRÁFICA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN EN CAQUETÁ (COLOMBIA).

Municipio	Vereda	Cultivar	Ubicación	Características climáticas	Zonificación climática
San Vicente del Caguán	La Reforma # 2	FX 3864	02° 16' 28,4''N y 74° 40' 59,1'' W	312 m.s.n.m, temperatura media de 24,9°C, precipitación de 3000-5000 mm/año	Cálido húmedo
	Buenos Aires # 2	IAN 873	02° 03' 39,2''N y 74° 55' 34,9'' W		
	Puerto Lozada	FX 4098	02° 19' 56''N y 74° 38' 18,6'' W		
Belén de los Andaquíes	Azabache	FX 3864	01° 19' 13,2''N y 75°47' 20,2''W	500 m.s.n.m, temperatura media de 24,6°C, precipitación de 2000-3000 mm/año	Cálido muy húmedo
	Buena Vista	IAN 873	01° 22' 0,08''N y 75° 51' 42,2''W		
	Agua dulce	FX 4098	01°19' 49,10''N y 75° 48' 11,8''W		

Fuente: Coordenadas geográficas Sinchi (2012); Clasificación Caldas Lang (IGAC, 2010).

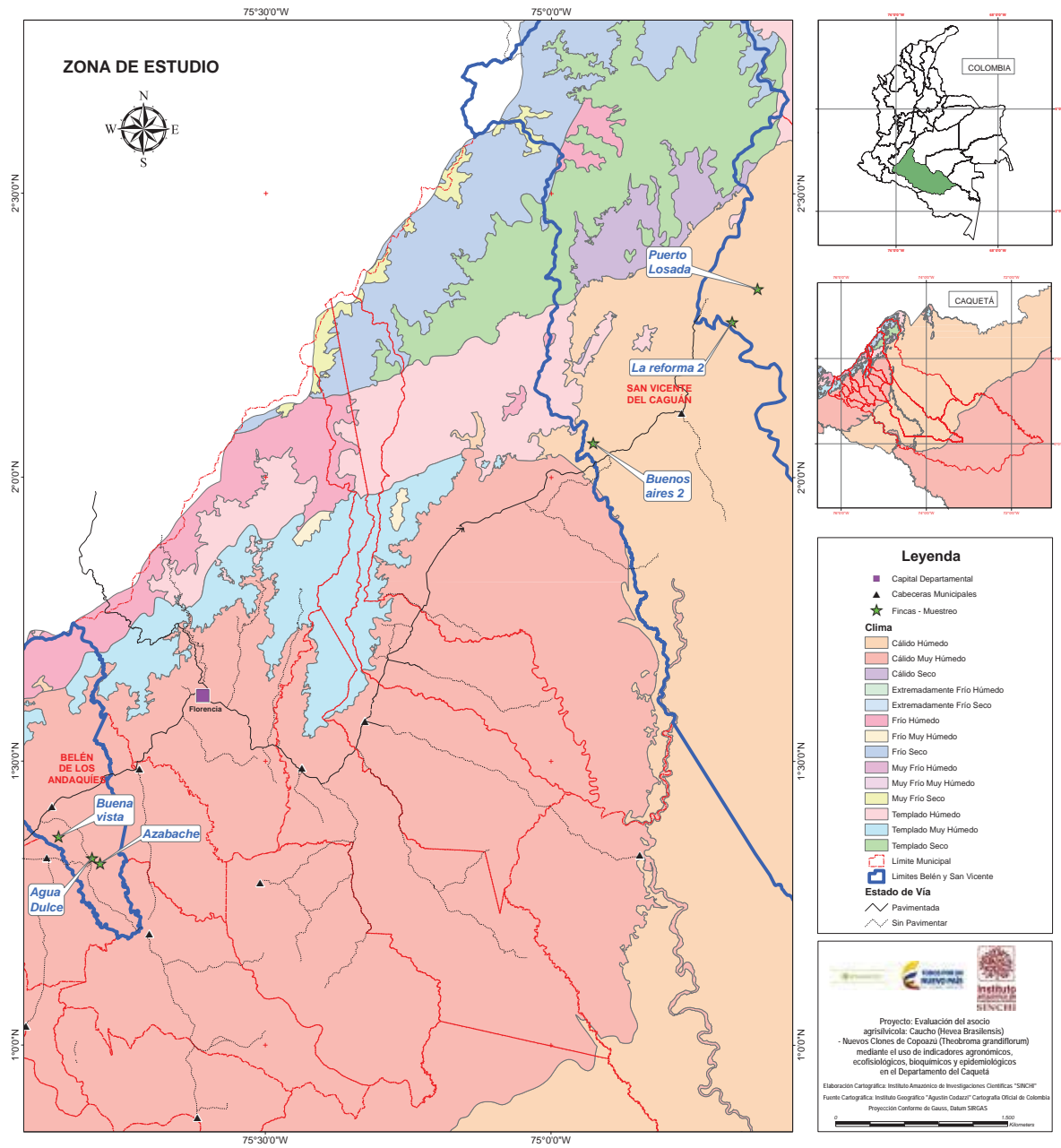


FIGURA 1. MAPA CLIMÁTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO (ESTRELLAS VERDES) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ (COLOMBIA).

Fuente: SINCHI (2015).

En relación con el componente edafológico, los suelos asociados a los cultivos de Belén de los Andaquíes correspondieron a suelos de piedemonte, y los suelos en San Vicente del Caguán correspondieron a suelos de lomerío (Figura 2) (SINCHI 2015).

Según IGAC (2012), el pH del suelo en los ensayos de Belén de los Andaquíes varió de extremadamente ácido a fuertemente ácido (4.1 – 5.4), una clase

textural arcillosa (Ar), altos porcentajes de acidez intercambiable (> 60%) los cuales suelen ser tóxicos para la mayoría de cultivos, bajos niveles de materia orgánica (1–1.1%), bajos niveles de N y P, deficiencias de Mg, Zn, Cu y Mn, y exceso de Fe. En relación con San Vicente del Caguán, en los suelos de los cultivos experimentales, se encontró un pH muy fuertemente ácido (4.6 – 4.8), suelos principalmente franco-arcilloso-arenoso (FArA) con una menor

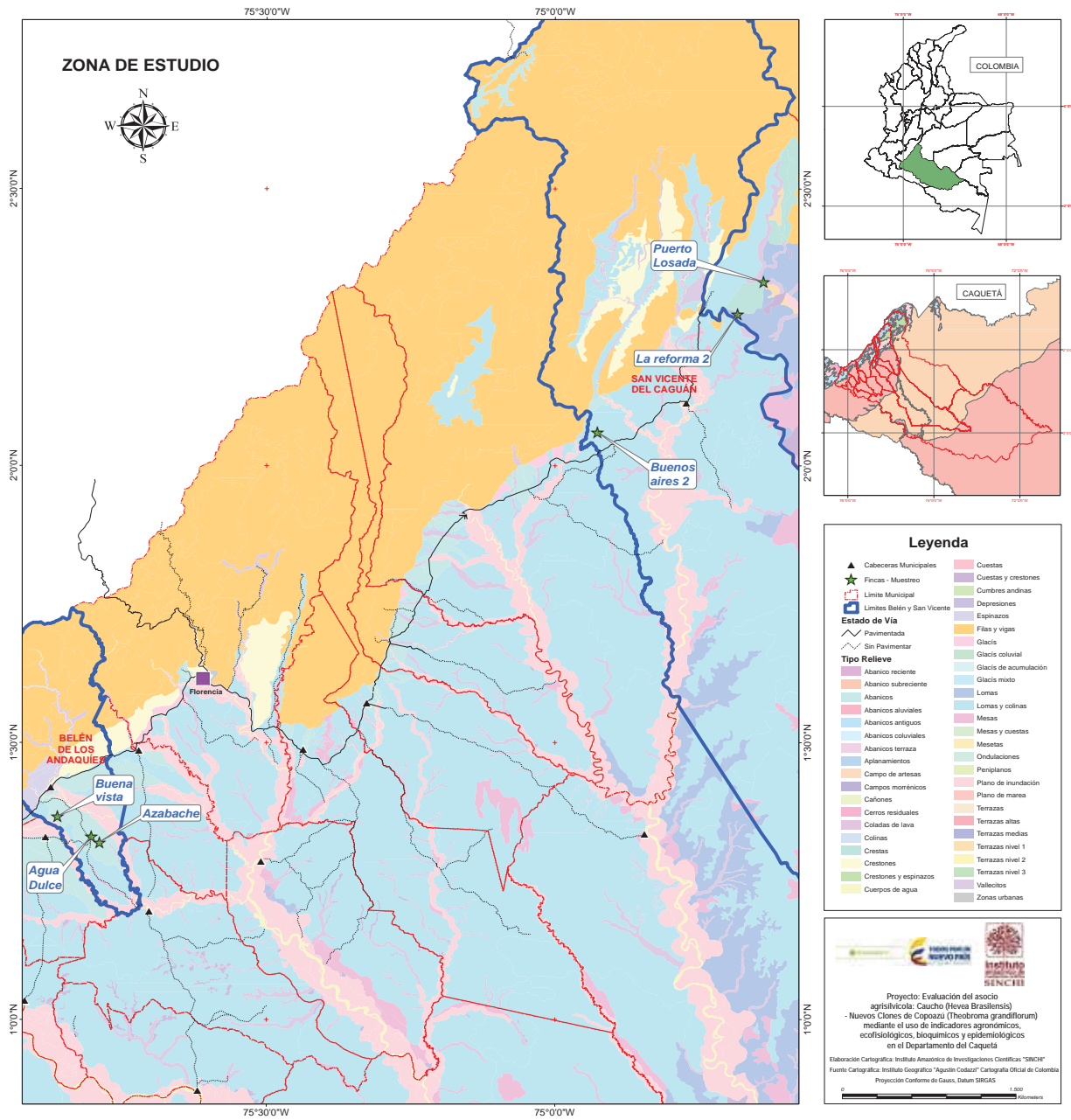


FIGURA 2. MAPA DE TIPOS DE RELIEVE ASOCIADOS AL ÁREA DE ESTUDIO (ESTRELLAS VERDES) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ (COLOMBIA).

Fuente: SINCHI (2015).

saturación de acidez intercambiable (> 30%) limitante para cultivos tolerantes, bajos niveles de materia orgánica (0.5–0.9%), bajos contenidos de N y P, exceso de Fe y deficiencias de Mg, Zn, Cu y Mn.

Material vegetal

El material vegetal correspondió a tres ecotipos de copoazú, denominados “Ecotipo sobresalientes No. 4 y

11 de la colección de germoplasma de SINCHI en el Departamento del Guaviare y un testigo local” (Melgarejo *et al.* 2006), los cuales se establecieron en sistema agroforestal con tres clones de caucho (*H. brasiliensis*) de origen americano (los cultivares FX 3864 y IAN 873, y el clon promisorio FX 4098) con un rango de edad de 4–5 años. Se empleó plátano Hartón (*Musa AAB*) seis meses previos al establecimiento del copoazú como sombrío transitorio para ésta especie.

Diseño experimental y modelo de siembra

En cada localidad se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3, donde el factor A correspondió a los tres clones de caucho asociados con plátano Hartón y el factor B a los tres ecotipos clonados de copoazú. En ambas localidades, se eligieron tres plantaciones monoclonales (una por clon), cada una de 1 ha, para un total de seis parcelas experimentales las cuales se encontraban establecidas en surco doble con distancia de siembra 4.0 x 2.8 x 10.0 m. Cada plantación monoclonal se subdividió en tres tratamientos, cada uno constituido por un ecotipo clonado de copoazú (ecotipos 4 y 11 y un testigo local). Los materiales de copoazú se establecieron en dos líneas de siembra en las calles dobles del caucho con un distanciamiento de 3.0 x 4.0 m, para un total de 156 plantas por tratamiento. Debido a la edad y al distanciamiento de los árboles de caucho, los cuales no ofrecieron la sombra mínima requerida (20–25%) para la supervivencia inicial del copoazú (Guerrero 2012), se empleó por cada tratamiento y entre las calles del copoazú una línea de plátano Hartón como sombrío transitorio en una relación 1:2 (una planta de plátano por cada dos de copoazú).

Establecimiento y manejo de las parcelas agroforestales

Para el establecimiento de los ensayos de campo (plantaciones monoclonales de caucho enriquecidas con copoazú y plátano Hartón), se realizaron las principales labores técnicas como lo son: limpieza de terrenos (la cual se realizó mediante guadaña); ahoyado de los terrenos (se delimitaron los tres tratamientos experimentales y los puntos de siembra de los patrones de copoazú); aplicación de correctivos edáficos [cal dolomita (300 g/planta) y fosforita (300 g/planta)]; fertilización orgánica con compost (500 g/planta); siembra del sombrío transitorio de plátano Hartón (seis meses previos al establecimiento del copoazú) y la siembra de los patrones de copoazú en bolsa con 5 meses de edad. Luego de la siembra de los patrones de copoazú en las calles dobles de las plantaciones monoclonales de caucho, se continuó con la injertación *in situ* de los tres ecotipos de copoazú, y en adelante con las

respectivas labores técnicas de manejo de las seis parcelas agrosilvícolas.

Las principales prácticas de manejo incluyeron labores de selección de varetas para la injertación de los patrones de copoazú; injertación *in situ* del material vegetal de copoazú (propagación clonal); deschupone y podas de formación; limpieza y ploteo del terreno; implementación del plan de fertilización con la aplicación de insumos agrícolas como abono orgánico (300 a 500 g/planta), abono compuesto (150 a 300 g/planta), fertilizante foliar (80 cm³/planta) y el respectivo manejo fitosanitario contra plagas y arvenses según correspondió.

Evaluación de los principales parámetros de supervivencia

La supervivencia de los materiales de copoazú injertados se evaluó en los meses 1 y 3 posteriores al establecimiento, y se expresó como el porcentaje de plantas vivas en relación con el total de plantas injertadas en campo definitivo.

Evaluación de los principales parámetros de crecimiento

Al final del primero y del segundo año después del establecimiento en campo definitivo de los ecotipos clonados de copoazú se evaluaron los siguientes parámetros de crecimiento:

Altura total (AT) (m)

La altura total de las plantas de copoazú se determinó anualmente en el 100% de los individuos, a partir de la distancia comprendida entre el suelo y el ápice de la copa (Pereira 2007), mediante el uso de una vara centimétrica de 4 m de longitud.

Diámetro a 10 cm del suelo (D+10) (cm)

El vigor de los árboles se expresó como la medida de la circunferencia (cm) del tallo a 10 cm del suelo en el copoazú a través de una cinta métrica utilizada sobre el 100% de los individuos.

Índice de área foliar (IAF)

Este parámetro corresponde al área proyectada de las superficies de las hojas por unidad de área de suelo (Marshall y Waring 1986). Esta medida de crecimiento se relaciona con el área de la superficie fotosintética (necesaria para capturar la energía lumínica) (Wilhem *et al.* 2000) y con la transpiración dentro del dosel (Chen *et al.* 1997).

La medición indirecta del IAF se realizó con un Cep-tómetro AccuPAR® Modelo LP.80, con la barra dis-puesta de manera perpendicular al eje vertical de la planta, ajustando el número de sensores al diámetro del dosel de la misma. Los valores de IAF se calcu-laron a partir de las lecturas de la radiación fotosin-téticamente activa (PAR, del inglés “photosyntheca-ally active radiation”) PAR que llega al dosel (PAR_a), y la PAR que hay debajo de este (PAR_d) (Carver y Griffiths 1981; Fournier y Andrieu 1999).

Análisis estadístico

Para el análisis de las variables de crecimiento del copoazú se ajustó un modelo lineal general (MLG) donde los factores fijos fueron la localidad, el año de evaluación, socio clon de caucho / plátano Har-tón, el ecotipo de copoazú y las interacciones entre estos factores. Para todas las variables analizadas, la varianza residual se modeló para contemplar varian-zas diferentes según la heterocedasticidad observa-da en los efectos considerados.

Los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) se utilizaron para la selección de la estructura de varian-zas y correlaciones residuales. El ajuste del MLG se realizó utilizando la función lme de la librería nlme (Pinheiro *et al.* 2013) de R (R Core Team 2014), bajo la interfaz implementada en InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2014). La comparación de medias para las com-binaciones de los niveles de todos los factores evalua-dos, se realizó mediante la prueba de comparaciones múltiples LSD de Fisher con una significancia del 5%. Un análisis de componentes principales (ACP) por cada localidad, permitió analizar la relación entre los socios constituidos por clones de caucho con el plá-tano Hartón y las variables de crecimiento estudiadas. Todas las pruebas estadísticas se corrieron en el pro-grama InfoStat versión 2014 (Di Rienzo *et al.* 2014).

RESULTADOS

Prendimiento y supervivencia de los tres ecotipos de copoazú

En Belén de los Andaquíes los mayores prendimien-tos se observaron en los ecotipos 4 y 11 (ambos 97% en los socios de plátano Hartón con los clones de caucho IAN 873 y FX 4098, respectivamente). El mayor prendimiento en el ecotipo testigo (87%) se observó en el socio clon IAN 873 / plátano Hartón. La mayor supervivencia en los tres ecotipos (> 80%) se observó en todos los socios donde hubo presencia del clon IAN 873 (Cuadro 2).

En San Vicente del Caguán los mayores prendimien-tos se observaron en el ecotipo 4 y en el testigo (92 y 95%, respectivamente) ambos con el socio clon IAN 873 / plátano Hartón. El mayor prendimiento en el ecotipo 11 (85%) se observó en presencia del clon FX 4098. La mayor supervivencia en los tres ecotipos (> 90%) se registró al igual que en Belén de los Andaquíes en presencia del clon IAN 873.

Crecimiento de los tres ecotipos de copoazú

En todos los ecotipos de copoazú y en ambas locali-dades, los distintos índices de crecimiento dasomé-trico se correlacionaron positivamente ($P < 0,05$). En general, las correlaciones más importantes se ob-servaron en Belén de los Andaquíes entre la altura total (AT) y el índice de área foliar ($r = 0,82$, $gl=629$, $P < 0,01$) y entre AT y D+10 ($r = 0,80$, $gl=629$, $P < 0,01$). En San Vicente del Caguán, éstas mismas correlaciones presentaron un $r \leq 0,62$.

El análisis de componentes principales (ACP) reali-zado sobre la matriz de correlación, mostró que el primer componente explica el 85% de la variación total con una raíz característica mayor a la unidad en Belén de los Andaquíes (Figura 3A). Así mismo, en San Vicente del Caguán el primer componente explicó el 70% (Figura 3B). El ACP realizado para cada una de las localidades sobre la interacción eco-tipo de copoazú x socio de caucho con plátano Hartón, permitió evidenciar dos grupos con índices de crecimiento contrastantes (Figuras 3A y B).

CUADRO 2. PRENDIMIENTO Y SUPERVIVENCIA IN SITU DE TRES ECOTIPOS CLONADOS DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) ESTABLECIDOS EN ASOCIO CON TRES CLONES DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) Y PLÁTANO HARTÓN (*MUSA AAB*) EN DOS LOCALIDADES DEL CAQUETÁ (COLOMBIA).

Municipio	Vereda	Clon ^c	Ecotipo 4			Ecotipo 11			Ecotipo testigo		
			% prendimiento	% supervivencia		% prendimiento	% supervivencia		% prendimiento	% supervivencia	
				1 ^a	2 ^b		1	2		1	2
Belén de los Andaquíes	Agua Dulce	FX 4098	81	26	79	97	38	81	77	23	78
	Azabache	FX 3864	50	20	73	84	39	76	69	26	70
	Buena Vista	IAN 873	97	40	83	87	28	84	87	27	82
San Vicente del Caguán	Buenos Aires	IAN 873	92	32	92	62	28	94	95	35	90
	La Reforma # 2	FX 3864	73	30	89	74	40	90	67	27	88
	Puerto Losada	FX 4098	75	30	90	85	45	91	82	22	89

^a Supervivencia al mes del establecimiento del copoazú

^b Supervivencia a los tres meses del establecimiento del copoazú

^c Clon de caucho asociado con plátano Hartón

En ambas localidades el grupo *a* incluyó los consorcios (caucho, copoazú y plátano Hartón) con mayores índices de crecimiento. Los ecotipos 11 y el testigo fueron los de mejor crecimiento inicial cuando en el consorcio se utilizó el plátano Hartón en asocio con los clones de caucho IAN 873 y FX 4098. Sin embargo, el ecotipo 4 presentó un crecimiento sobresaliente en Belén de los Andaquíes con el asocio clon IAN 873 / plátano Hartón. En la mayoría de las asociaciones, la interacción con el asocio clon FX 3864 /plátano Hartón no fue la más sobresaliente (grupos *b*), con excepción de lo observado en éste asocio con el ecotipo testigo en San Vicente del Caguán (Figura 3B).

Al cabo de dos años de evaluación, se encontraron diferencias significativas en la altura total (AT) entre localidades, ecotipos de copoazú y los socios de plátano Hartón con los clones de caucho ($P < 0,05$) (Cuadro 3). No hubo diferencias significativas en la AT entre los ecotipos 11 y el testigo, ni entre las plantas de copoazú donde hubo presencia de los socios de plátano Hartón con los clones de caucho FX 4098 y FX 3864. Las mayores medias de AT (0,98 m) se reportaron en San Vicente del Caguán. El ecotipo 11 presentó la mayor media de AT (1,27 m) en el asocio clon IAN 873 / plátano Hartón en San Vicente del Caguán. Así mismo, el segundo mejor crecimiento se observó en el ecotipo testigo (1,25 m), pero ésta vez con el asocio clon FX 3864 /plátano Hartón (Figura 4).

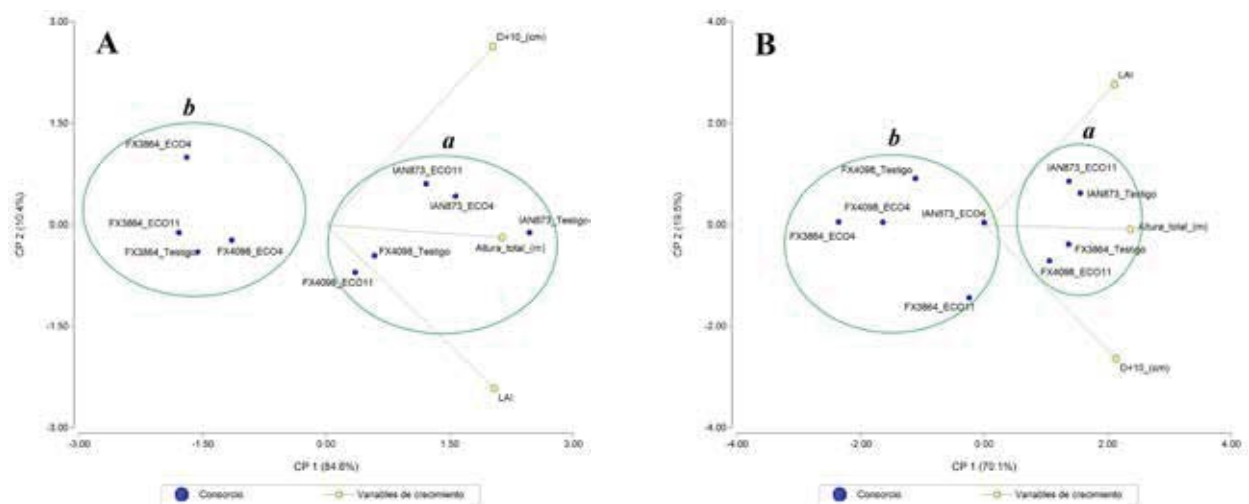


FIGURA 3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (GRÁFICO BILOT) DE VARIABLES DE CRECIMIENTO REGISTRADAS EN TRES ECOTIPOS CLONADOS DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) EN SISTEMA AGROFORESTAL CON TRES CLONES DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) Y PLÁTANO HARTÓN EN DOS ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS DE CAQUETÁ, COLOMBIA. **A.** BELÉN DE LOS ANDAQUÍES. **B.** SAN VICENTE DEL CAGUÁN. CLAVE: D+10: DIÁMETRO A 10 CM DEL SUELO; AT: ALTURA TOTAL; LAI: ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR. ECO: ECOTIPO DE COPOAZÚ.

CUADRO 3. MEDIAS DE ALTURA TOTAL (AT), DIÁMETRO A 10 CM DEL SUELO (D+10) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) LUEGO DE DOS AÑOS DE ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) SEGÚN EL ASOCIO CLON DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) / PLÁTANO HARTÓN (*MUSA AAB*), EL ECOTIPO DE COPOAZÚ Y LA LOCALIDAD EN CAQUETÁ (COLOMBIA).

Factor	Nivel	AT (m)	D+10 (cm)	IAF
Localidad	San Vicente del Caguán	0,98 ± 0,02 ^a	2,72 ± 0,05 a	4,14 ± 0,07 a
	Belén de los Andaquíes	0,60 ± 0,01 c	2,00 ± 0,03 b	2,18 ± 0,05 c
Ecotipo	11	0,83 ± 0,02 a	2,52 ± 0,05 a	3,3 ± 0,07 a
	4	0,68 ± 0,02 b	2,21 ± 0,05 b	2,77 ± 0,07 b
	Testigo	0,86 ± 0,02 a	2,34 ± 0,05 b	3,42 ± 0,07 a
Asocio	FX 4098 ^c	0,67 ± 0,02 b	2,27 ± 0,05 b	3,48 ± 0,07 a
	FX 3864	0,73 ± 0,02 b	2,31 ± 0,05 b	2,56 ± 0,07 b
	IAN 873	0,97 ± 0,02 a	2,50 ± 0,05 a	3,45 ± 0,07 a

^a Error estándar

^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre años para cada nivel del factor (Medias separadas por la prueba LSD, P ≥ 0,05; n = 35)

^c Clones de caucho asociados con plátano Hartón (*Musa AAB*)

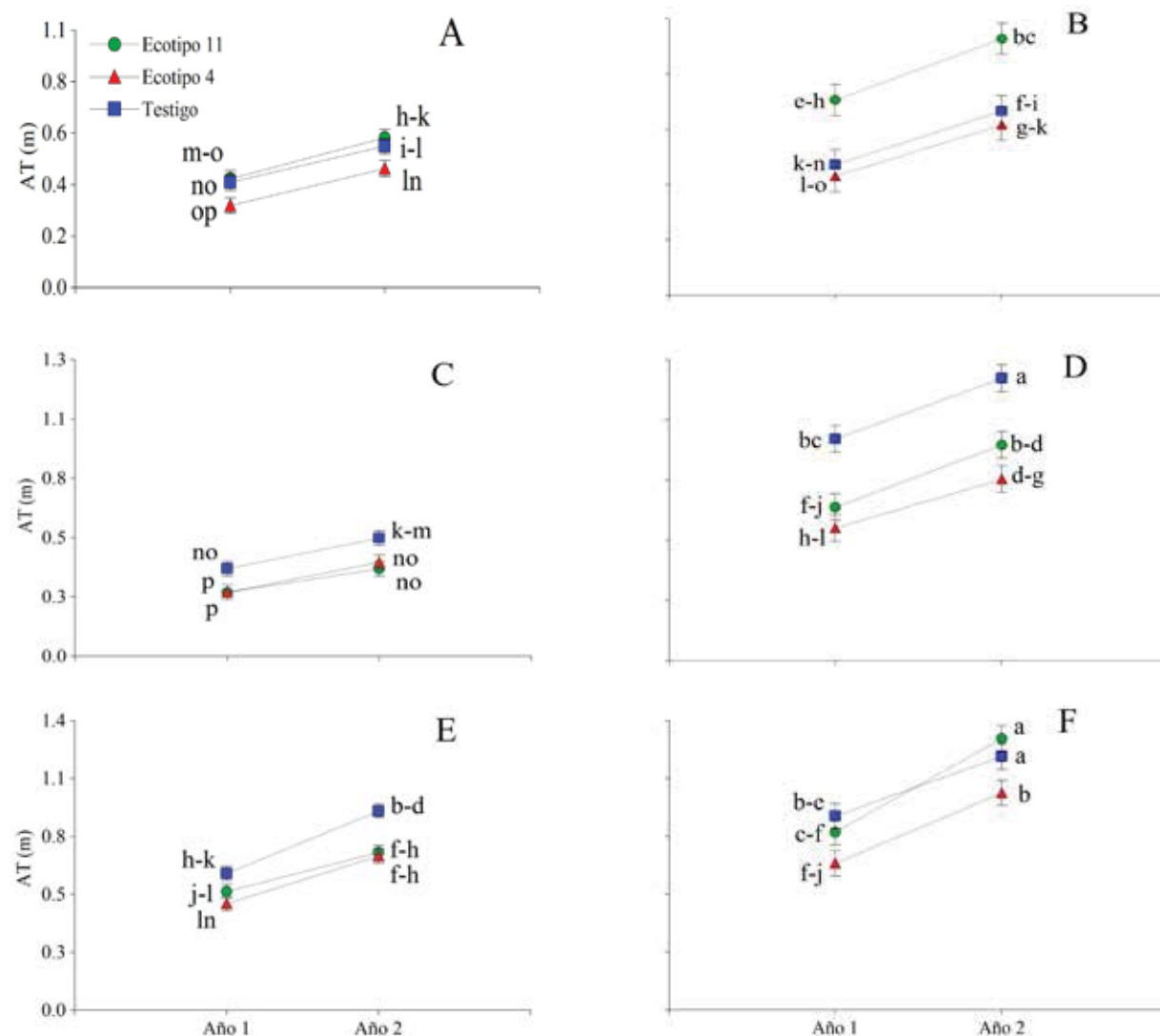


FIGURA 4. ALTURA TOTAL (M) DE TRES ECOTIPOS DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) EN ASOCIO CON DIFERENTES CLONES DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) Y PLÁTANO HARTÓN (*MUSA AAB*) EN DOS LOCALIDADES DE CAQUETÁ (COLOMBIA) PARA DOS AÑOS DE EVALUACIÓN. A, C Y E, MUNICIPIO DE BELÉN DE LOS ANDAQUÍES; B, D Y F, MUNICIPIO DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN. A Y B, ASOCIO FX 4098/PLÁTANO HARTÓN; C Y D, ASOCIO FX 3864/PLÁTANO HARTÓN; E Y F, ASOCIO IAN 873/PLÁTANO HARTÓN. MEDIAS SEGUIDAS POR LA MISMA LETRA PARA CADA ECOTIPO EN CADA AÑO NO DIFIEREN ESTADÍSTICAMENTE (PRUEBA LSD; P < 0,05). LAS BARRAS REPRESENTAN EL ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA.

En relación con el crecimiento diametral, se encontraron diferencias significativas en D+10 entre localidades, ecotipo de copoazú y en los socios de plátano Hartón con los distintos clones caucho ($P < 0,05$) (Cuadro 3). En Belén de los Andaquíes el ecotipo 4 fue el que presentó el mayor D+10 en presencia de los tres socios de caucho y plátano empleados (Figuras 5A, C y E). El socio clon IAN 873 /plátano Hartón fue el más favorable para el D+10 para los tres ecotipos de copoazú (2,45, 2,33 y 2,30 cm para los ecotipos 4, 11 y testigo, respectivamente).

En San Vicente del Caguán, se destacaron los ecotipos 11 y el testigo (Figuras 5B, D y F). El mejor desarrollo para estos ecotipos se observó en el socio clon FX 3864 /plátano Hartón (D+10= 3,54 cm para el ecotipo 11 y D+10= 3,09 cm para el ecotipo testigo). Sin embargo, se observó también un crecimiento sobresaliente del ecotipo 11 en el socio clon FX 4098 /plátano Hartón (D+10= 3,07 cm). Por otro lado, el socio clon IAN 873 /plátano Hartón, mostró resultados similares para ambos ecotipos en los dos años de evaluación.

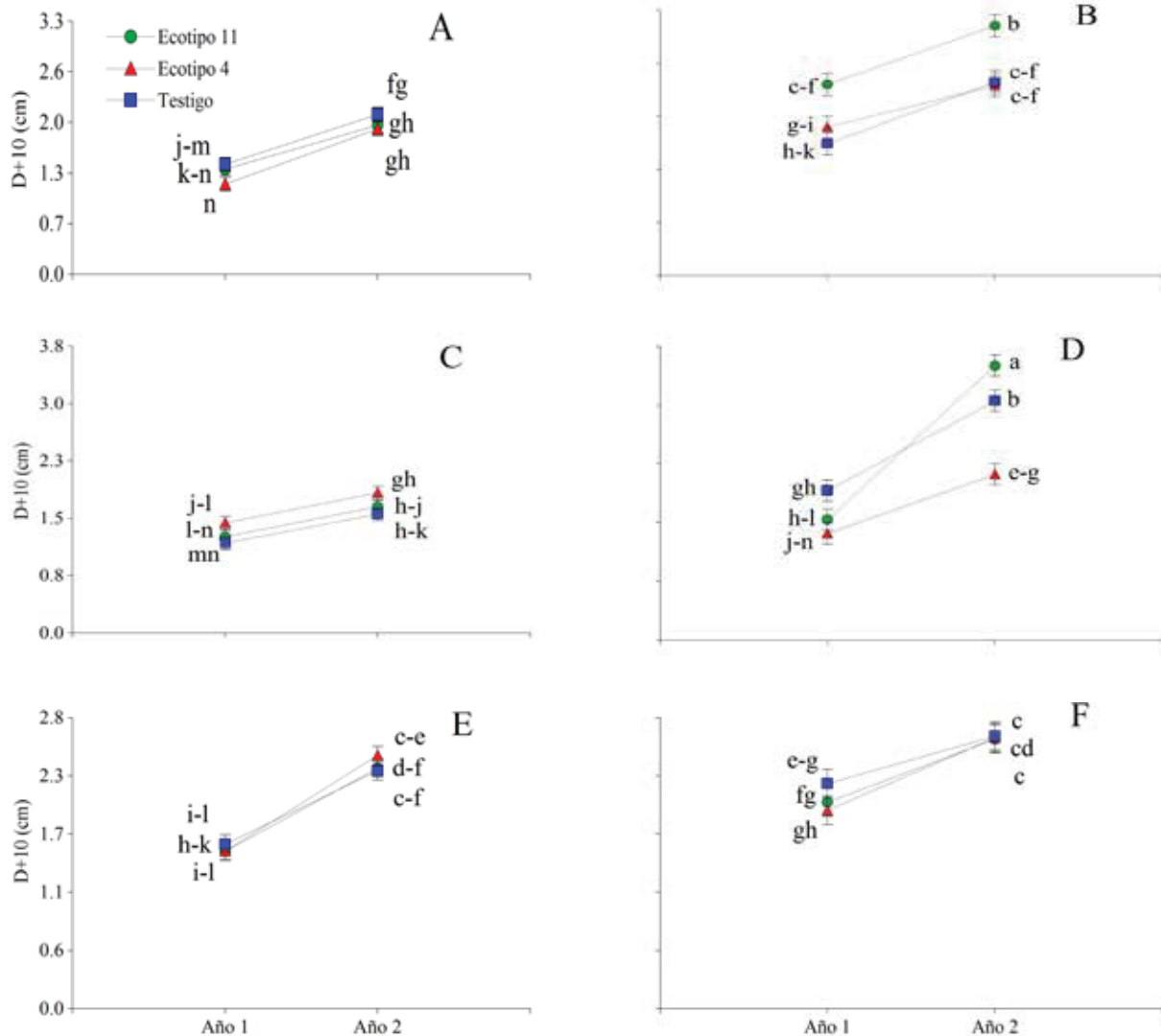


FIGURA 5. DIÁMETRO A 10 CM DEL SUELO (D+10) (CM) DE TRES ECOTIPOS DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) EN ASOCIO CON DIFERENTES CLONES DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) Y PLÁTANO HARTÓN (*MUSA AAB*) EN DOS LOCALIDADES DE CAQUETÁ (COLOMBIA) PARA DOS AÑOS DE EVALUACIÓN. A, C Y E, MUNICIPIO DE BELÉN DE LOS ANDAQUÍES; B, D Y F, MUNICIPIO DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN. A Y B, ASOCIO FX 4098/PLÁTANO HARTÓN; C Y D, ASOCIO FX 3864/PLÁTANO HARTÓN; E Y F, ASOCIO IAN 873/PLÁTANO HARTÓN. MEDIAS SEGUIDAS POR LA MISMA LETRA PARA CADA ECOTIPO EN CADA AÑO NO DIFIEREN ESTADÍSTICAMENTE (PRUEBA LSD; $P < 0,05$). LAS BARRAS REPRESENTAN EL ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA.

Del mismo modo que en D+10 se observaron diferencias significativas en el IAF entre localidades, socios de plátano Hartón con los distintos clones de caucho y ecotipos de copoazú para ambos años de evaluación (todas, $P < 0,05$) (Cuadro 3). Los ecotipos 11 y el testigo fueron estadísticamente similares ($P > 0,05$). Entre localidades, el mayor IAF se dio en los individuos establecidos en San Vicente del Caguán (IAF = 3,51). Las mayores medias de IAF se presentaron en el ecotipo 11 en los socios de plátano Hartón con los clones IAN 873 (IAF = 4,93) y FX 3864 (IAF = 4,57) (Figura 6).

DISCUSIÓN

El uso de ecotipos promisorios de copoazú (Melgarejo *et al.* 2006) y la implementación de estos materiales genéticos en sistemas agroforestales representan dos de las estrategias más prometedoras en el crecimiento del cultivo de copoazú con perspectiva de uso en la Amazonia colombiana (Sterling y Suárez 2014).

Sin embargo, una de las principales limitaciones que ofrecen los sistemas agroforestales, es la calidad y

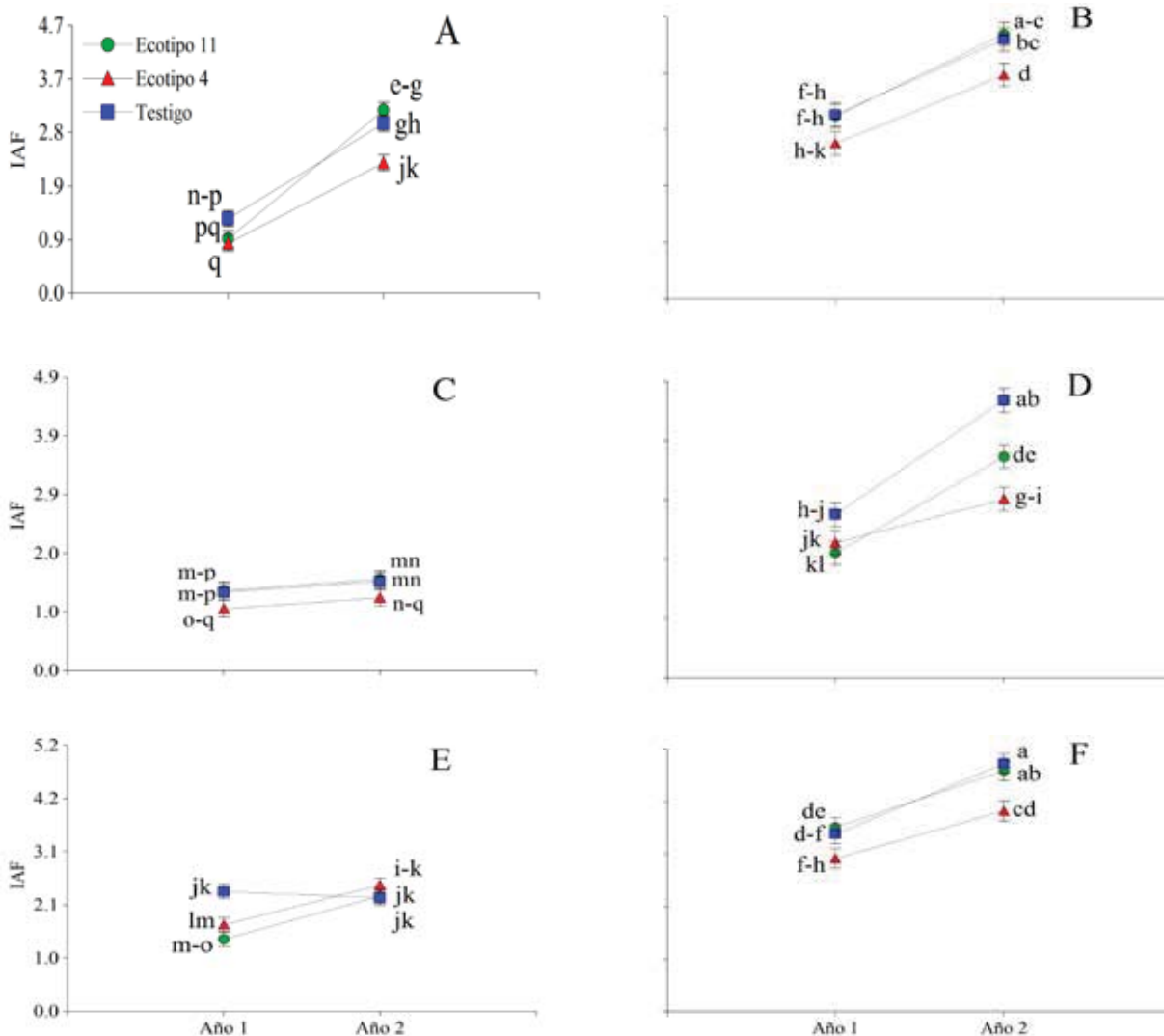


FIGURA 6. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) DE TRES ECOTIPOS DE COPOAZÚ (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) EN ASOCIO CON DIFERENTES CLONES DE CAUCHO (*HEVEA BRASILIENSIS*) Y PLÁTANO HARTÓN (*MUSA AAB*) EN DOS LOCALIDADES DE CAQUETÁ (COLOMBIA) PARA DOS AÑOS DE EVALUACIÓN. A, C Y E, MUNICIPIO DE BELÉN DE LOS ANDAQUÍES; B, D Y F, MUNICIPIO DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN. A Y B, ASOCIO FX 4098/PLÁTANO HARTÓN; C Y D, ASOCIO FX 3864/PLÁTANO HARTÓN; E Y F, ASOCIO IAN 873/PLÁTANO HARTÓN. MEDIAS SEGUIDAS POR LA MISMA LETRA PARA CADA ECOTIPO EN CADA AÑO NO DIFIEREN ESTADÍSTICAMENTE (PRUEBA LSD; $P < 0,05$). LAS BARRAS REPRESENTAN EL ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA.

cantidad de radiación solar que puede llegar a las especies que se hayan bajo el dosel de los árboles afectando su crecimiento y desarrollo (Barrera *et al.* 2006). En este sentido, especies umbrófilas como el copoazú son sensibles a altos niveles de radiación, por lo que el uso de un sombrío apropiado resulta fundamental para su supervivencia (Guerrero *et al.* 2007).

En la presente investigación, con el fin de reducir el impacto de la radiación solar sobre la supervivencia del copoazú debido a la reducida sombra producida por los árboles de caucho (> 80% de irradiancia), fue necesario establecer el sombrío transitorio con plátano Hartón en las calles del copoazú, previo a la siembra de ésta especie. En este sentido, fue evidente el efecto significativo observado sobre la supervivencia y el desarrollo de los tres ecotipos de copoazú debido al asocio clon de caucho / plátano Hartón en ambas localidades estudiadas (Cuadro 3).

Sterling y Suárez (2014) afirman que el sombrío suministrado al copoazú por el asocio caucho/plátano resulta preponderando en las primeras etapas de crecimiento de copoazú, y su variación está directamente relacionada con el grado de desarrollo de las copas de los clones de caucho así como por las características ambientales específicas. En el presente estudio, fue evidente la respuesta diferencial en el crecimiento del copoazú no sólo debido a los efectos antes mencionados, sino además por la variación genotípica de los ecotipos evaluados los cuales expresaron fenotipos con distinto estado de desarrollo en cada localidad considerada.

La afectación inicial que se observó en el crecimiento del copoazú debido a la baja sombra generada por el dosel de los árboles de caucho, probablemente estuvo relacionada con bajos índices de densidad foliar causados por problemas fitosanitarios. Según Sterling *et al.* (2012) los bajos índices de densidad foliar observado en el caucho en Caquetá, están principalmente relacionados con una mayor incidencia de problemas fitosanitarios que alteran los patrones fenológicos de la planta. Esta afectación reduce por tanto, la capacidad de interceptación lumínica y se favorecen altos niveles de radiación solar bajo las copas del caucho que llega a ser limitante para el copoazú, debido a que ésta especie posee

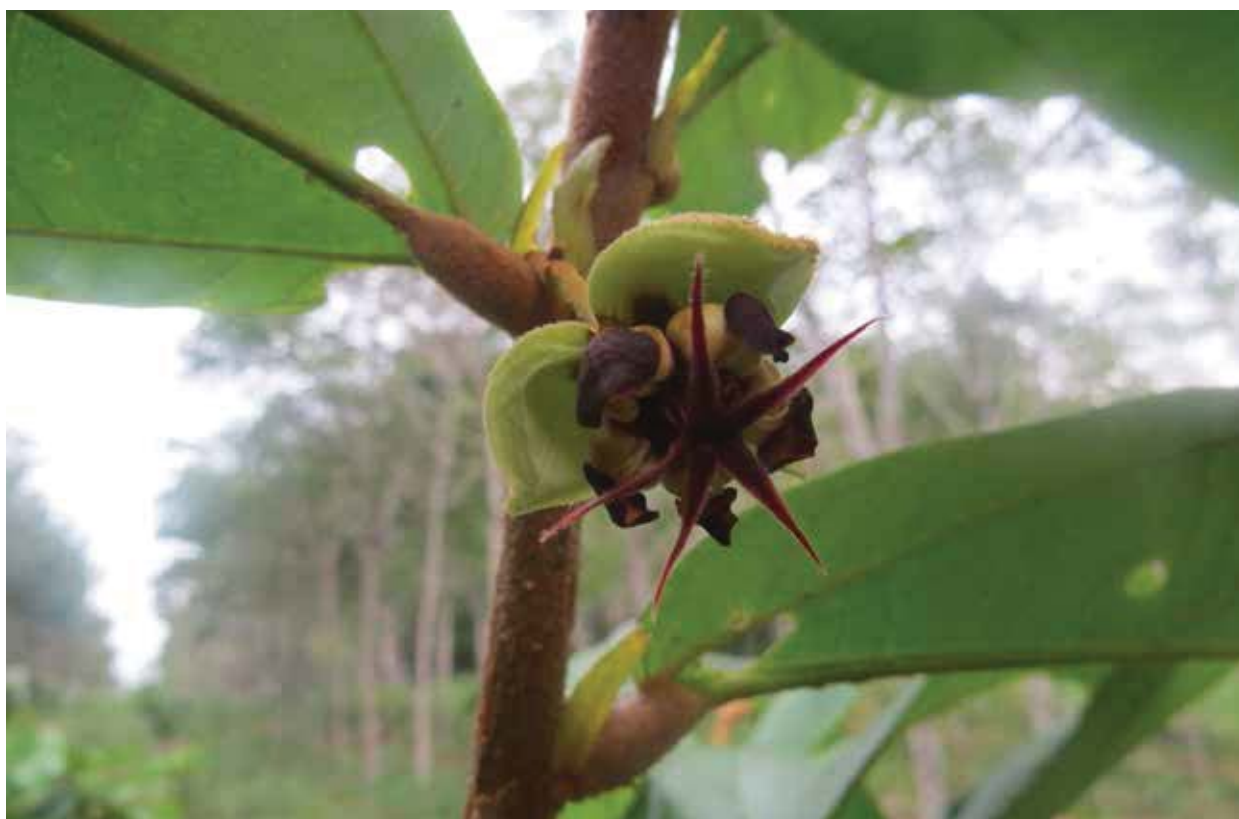
una baja tolerancia a la luz solar directa (Barrera *et al.* 2006, Guerrero *et al.* 2007, Guerrero 2012).

En el presente estudio, los mayores índices de crecimiento del copoazú se observaron en San Vicente del Caguán (zona de menor incidencia de problemas fitosanitarios para el cultivo del caucho) (Sterling y Rodríguez 2012) y en los ecotipos 11 y el testigo, cuando hubo presencia de los clones de caucho IAN 873 y FX 3864 que ofrecieron una mayor interceptación de la luz para el cultivo del copoazú (< 80% de irradiancia). Estos resultados son similares a lo reportado por Sterling y Suárez (2014) quienes encontraron un mejor desempeño en el ecotipo 4 de copoazú en San Vicente del Caguán, en los clones que suministraron mayor sombrío para el copoazú (FX 4098 y IAN 873).

Dentro de los índices de crecimiento analizados en la presente investigación, la altura fue uno de los parámetros más influenciados por la localidad, el ecotipo de copoazú y el clon de caucho. Al comparar las medias de altura alcanzadas por los ecotipos más destacados (ecotipo 11 = 0,83 m y el testigo = 0,86 m) luego de dos años del establecimiento en el asocio agroforestal (Cuadro 3), se observan valores inferiores a los reportados por autores como Deus *et al.* (1993) (1,3 m), Silvestre (1996) (1,6 m), Ribeiro *et al.* (2004) (1,5 m) y Pérez *et al.* (2005) (2,1 m). Estas diferencias probablemente pudieron relacionarse con variaciones en el genotipo, el sistema de cultivo y las condiciones edafoclimáticas imperantes (Rodrigo *et al.* 2004).

El buen crecimiento observado en el ecotipo testigo puede asociarse a la adaptabilidad del material en las condiciones agroecológicas de región, en tanto que el ecotipo 11 de copoazú representa un material con características vegetativas deseables y su buen crecimiento debe estar ligado a sus características genéticas intrínsecas debido a que fue evaluado bajo las mismas condiciones experimentales que sus homólogos en los diferentes asociados con los clones de caucho y plátano Hartón.

En relación con D+10, las mayores medias del copoazú se observaron en San Vicente del Caguán, en los ecotipos 11 y el testigo, y en el asocio clon de caucho IAN 873 /plátano Hartón. Estos resultados



coincidieron con las medias observadas para la altura del copoazú, y con lo reportado por Sterling y Suárez (2014), quienes encontraron las mejores tallas en cuanto a la circunferencia del tallo del copoazú en San Vicente del Caguán. Probablemente las condiciones edafológicas y microclimáticas inherentes a ésta localidad pudieron favorecer el desarrollo y el crecimiento del copoazú, toda vez que en ambos estudios el copoazú demostró mayor desempeño en la zona norte del Caquetá en comparación con lo observado en la zona sur del mismo.

Barrera *et al.* (2009) al evaluar el crecimiento del copoazú en diferentes niveles de radiación bajo sistemas agroforestales con caucho en etapa productiva (20 – 30 años de edad) por un periodo de 2 años, encontraron valores inferiores al presente estudio para los años 1 y 2 que oscilaron entre 0,5 y 0,9 cm y 0,7 a 1,4 cm, respectivamente. Por otro lado, Silvestre (1996), Ribeiro *et al.* (2004) y Sterling y Suárez (2014), reportaron valores de circunferencia de 4,3 y 3,6 cm, respectivamente, en asociados con caucho en etapa improductiva (< 7 años), muy cercanos a los encontrados en el presente estudio.

Estos comparativos permiten suponer el efecto que debe tener el tamaño y la densidad de las copas del caucho sobre el crecimiento del copoazú, pues, las plantaciones adultas de caucho permiten el ingreso de niveles muy bajos de irradiancia (< 50%) (Guerrero 2012) que pueden afectar el crecimiento del copoazú en comparación con asociados de caucho en etapa improductiva donde la irradiancia es mayor (> 75%) y resulta menos favorable en las primeras etapas del crecimiento del copoazú, lo que obliga a emplear otras especies como el plátano Hartón para favorecer la sombra requerida por el copoazú.

Según Guerrero (2012), el comportamiento facultativo de sombra del copoazú se traduce en una sugerencia de manejo para que en las etapas de crecimiento las plantas de copoazú se puedan establecer en sombra moderada, y posteriormente esta puede ser ampliada y/o regulada a medida que llega a la etapa reproductiva, donde se necesitará mayor fijación y asimilación de fotosintetizados para el llenado de los frutos y por ende una mejora en el rendimiento de la especie.

Por otro lado, los resultados en las medias del índice de área foliar (IAF) mostraron la misma lógica que lo explicado para la altura y el D+10 en los diferentes ecotipos de copoazú (Cuadro 3). En este sentido, los ecotipos 11 y el testigo, presentaron la mayor superficie foliar y por tanto, probablemente tendrán una mayor tasa de crecimiento y acumulación de biomasa como resultado de la eficiencia en la interceptación y eficiencia en el uso de la radiación (Kozlowsky *et al.* 1991). Esta aseveración desde luego, es congruente con los mayores crecimientos en altura y diámetro observados en el presente estudio para los ecotipos de copoazú anteriormente referidos.

Al respecto, Sterling y Suárez (2014) en un estudio agroforestal con caucho y copoazú en Caquetá, reportaron que el mayor análisis de los índices de crecimiento asociadas al dosel (IAF) fue dado en la localidad de Albania al sur del Departamento del Caquetá, lo cual contrasta con los resultados encontrados en el enriquecimiento agroforestal realizado en la presente investigación en el cual el mayor IAF se presentó en la zona norte del Departamento, específicamente en San Vicente del Caguán.

De acuerdo con lo anterior, la reducción del IAF puede ser causada por una disminución en el área foliar específica debida a un incremento de biomasa por unidad de área foliar (Curtis y Lauchli 1986). La variación en la respuesta de este índice depende de una serie de factores que incluye el clima, el agua y la disponibilidad de nitrógeno (Drake *et al.* 1997, Ewert y Pleijel 1999, Hartz- Rubin y DeLucila 2001, Kimball *et al.* 2002, Cowling y Field 2003). En el presente estudio, aunque no se evaluaron específicamente estos indicadores ambientales, se observó un efecto de las interacciones sitio (localidad) x ecotipo y ecotipo x asocio clon caucho/plátano Hartón a partir de los cuales se pudo determinar los mayores IAF en los ecotipos 11 y el testigo en San Vicente del Caguán y en general, el comportamiento de estos materiales genéticos en los asociados de plátano Hartón con los clones de caucho IAN 873 y FX 4098.

Es importante mencionar que este tipo de estudios en los que se analiza la relación interespecífica en los sistemas de cultivo, son la base técnica para la formulación y el diseño agroforestal con especies nativas promisorias como es el caso de *T. grandiflorum*

y *H. brasiliensis*. Las especies vegetales tropicales cumplen principios básicos que rigen la respuesta de la planta frente a factores como la densidad de la población, la radiación solar, el suministro de agua y de nutrientes como factores limitantes en la producción (Valladares y Niinemets 2008).

El presente estudio indica una interacción ecotipo x asocio caucho/plátano distinta para cada localidad, reflejado en el comportamiento vegetativo de la planta, lo cual refleja una plasticidad fisiológica contrastante para ambas localidades estudiadas, probablemente por las características microclimáticas y edáficas específicas de cada zona, especialmente favorable hacia la zona norte de Caquetá (Cuadro 1 y Figuras 1 y 2). Esta capacidad de adaptación resulta favorable en el asocio clon IAN 873 / plátano Hartón, toda vez que el manejo apropiado del régimen lumínico resulta preponderante para la supervivencia y desarrollo del copoazú (Guerrero *et al.* 2007).

En general, se puede concluir que el ecotipo 11 de copoazú presentó el mejor crecimiento vegetativo en los diferentes asociados con caucho y plátano Hartón, especialmente en San Vicente del Caguán. Así mismo, removiendo el efecto de la localidad, los asociados con plátano Hartón en donde se empleó el clon de caucho IAN 873 resultaron más favorables para la supervivencia y el desarrollo de los tres ecotipos de copoazú en condiciones del departamento del Caquetá, Amazonia colombiana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen: a) al proyecto: “Evaluación del asocio agrisilvícola: caucho (*Hevea brasiliensis*)–nuevos clones de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) mediante el uso de indicadores agronómicos, ecofisiológicos, bioquímicos y epidemiológicos en el Departamento del Caquetá”–Contrato 746-2011–Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación Colciencias, por el soporte económico a la presente investigación; b) a la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá – Asoheca, por el apoyo técnico y logístico en la fase de campo; y c) a los productores de caucho de los municipios de Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán por facilitar sus fincas para el desarrollo del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera JA, MS Hernández, G Vargas, O Martínez, LM Melgarejo, AE Casas, JE Zambrano, CD Bedoya. 2006. Caracterización del crecimiento y desarrollo vegetativo de especies promisorias del género *Theobroma* bajo condiciones de la Amazonia Colombiana. En: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. Melgarejo LM, MS Hernández, JA Barrera, M Carrillo (Eds.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI. Bogotá, Colombia. p. 65-105.
- Barrera J, N Orjuela, LM Melgarejo, D Caicedo, MS Hernández, G Vargas. 2009. Interacciones planta-ambiente en modelos de producción con arazá (*Eugenia stipitata*) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*). En: Frutas amazónicas: competitividad e innovación. Hernández M, JA Barrera (Eds.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI. Bogotá, Colombia. p.35-62.
- Carver TLW, E Griffiths. 1981. Relationship between powdery mildew infection, green leaf area and grain yield of barley. *Ann. Appl. Biol.* 99:255-266.
- Cowling SA, CB Field. 2003. Environmental Control of Leaf Area Production: Implications for Vegetation and Land-surface Modeling. *Global Biogeochemical Cycles.* 17:1-14.
- Curtis PS, A Lauchli. 1986. The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 18:553-565.
- Chen JM, PM Rich, ST Gower, JM Norman, S Plummer. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques and measurements. *Journal of Geophysical Research.* 102:429-443.
- Deus CE, R Weigand, VM Viana, P Ferraz, HB Borges, M Almeida, M Silveira, CA Vicente, P Andrade. 1993. Comportamento de 28 especies arbóreas tropicais sob diferentes régimen de luz em Rio Branco, Acre. UFAC. 170 p.
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada, CW Robledo. InfoStat version 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Drake BG, MA González-Meler, SP LONG. 1997. More Efficient Plants: a Consequence of Rising Atmospheric CO₂. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 48: 609-639
- Embrapa, Cpf-Ro. 1996. Obtenção de matrizes superiores de cupuacuzaios em Rondônia. Porto Velho. Relatório Técnico de Andamento de Sub-projeto. 2 p.
- Ewert F, H Pleijel. 1999. Phenological development, leaf emergence, Tillering and leaf area index, and duration of spring Wheat across Europe in response to CO₂ and Ozone. *European Journal of Agronomy.* 10:171-184.
- Fancelli AL. 1990. Seringueira consorciada a cultura anuais perenes. Piracicaba: ESALQ. p. 205-222. Simposio sobre a cultura da seringueira no estado de São Paulo. Piracicaba. Anais.
- Fournier C, B Andrieu. 1999. ADEL-maize: an L-system based model for the integration of growth processes from the organ to the canopy: application to regulation of morphogenesis by light availability. *Agronomie.* 19(3/4):313-327.
- Guerrero D, J Barrera, MS Hernández, G Vargas. 2007. Análisis de crecimiento durante la fase vegetativa de cinco fenotipos de copoazú *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng) K. Schum en la amazonia occidental Colombiana. *Revista Colombia de Ciencias Hortícolas.* 1(1):52-66.
- Guerrero CD. 2012. Interceptación de luz y respuestas en crecimiento de plantas de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K Schum.) bajo modelos de enriquecimiento forestal con caucho en el Caquetá. Tesis: Maestría en Agroforestería. 85 p.
- Hartz-Rubin J.S, EH De Lucia. 2001. Canopy development of a mode herbaceous community exposed to elevated atmospheric CO₂ and soil nutrients. *Physiologia Plantarum.* 113:258-266.
- Hernández MS, JA Barrera. 2004. Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de Especies Nativas de la Amazonia. Ed. Guadalupe Ltda. Bogotá. 70-92.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. 2012. Estación meteorológica en el Departamento del Caquetá. EM 23206. Febrero de 2011 – mayo de 2012.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. 2014. Coordenadas geográficas

- del área de estudio. Global Positioning System (GPS) Garmin Oregon 550.
- Instituto amazónico de investigaciones científicas Sinchi –SINCHI. 2015. Información cartográfica. Laboratorio Sig Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. Mapa de suelos localizada en el departamento del Caquetá (Colombia).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi–IGAC. 1993. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial Occidente del departamento de Caquetá. 3 Tomos. Tercer Mundo Editores. Santafé de Bogotá, D.C. (Proyecto Investigaciones para la Amazonia –INPA: Estudios en la Amazonia Colombiana VI).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 1999. Paisajes Fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia. *Análisis Geográficos Nos Bogota*, D.C. Colombia. 27-28.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 2010. Caquetá, características geográficas. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 373 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 2012. Resultado análisis químico del suelo Q-02. Laboratorio de Suelos IGAC. Bogotá, D.C. 6p.
- Kimball BA, K Kobayashi, M Bindi. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy*. 77:293-368.
- Kozlowski TT, PJ Kramer, SG Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. San Diego California: Academic Press. 657 p.
- Lim TK. 2012. Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 3, Fruits. sp.
- Marshall JD, RH Waring. 1986. Comparison of methods of estimating leaf area index in old-growth douglas fir. *Ecology* 67:975-979.
- Melgarejo LM, MS Hernandez, JA Barrera, M Carrillo. 2006. Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. 224 p.
- Nair PKR. 1986. Sistemas e praticas agroflorestais: Aplicacoes no uso multiplo das florestas. Sao Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. p.3-35. Congresso florestal brasileiro. Olinda, PE. Anais. Sao Paulo.
- Pereira AV, EBC Pereira, J de F Fialho, NTV Junqueira. 1996. Seringueira em sistemas agroflorestais. Planaltina: EMBRAPA/ CPAC. 60 p.
- Pereira AV. 2007. Desenvolvimento de novos clones de seringueira. Guarapari-Es. 32 p. I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER/CEDAGRO.
- Pérez H, P Bucheli, BB Giraldo. 2005. La Agroforesteria en Guainía: Una alternativa sostenible. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. 36 p.
- Pinheiro J, Bates–Douglas, Saikat–Debroy, Deepayan Sarkar and the R Development Core Team. 2013. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package versión (3):1-109.
- Rangel E, Luengas B. 1997. Clima-Aguas. En Zonificación ambiental para el Plan Modelo Colombo-Brasileiro (Eje Apaporis-Tabatinga: PAT). p.47-68. Bogotá: IGAC.
- Ribeiro G, F Jardim, L Rosa. 2004. Preliminar agroflorestal Avaliação do Projeto de água verde, Albras, Barcarena, II. *Rev. Cienc. Agrar.* 41:49-72.
- Righi, CA, AMP Lunz, MS Bernardes, CR Pereira, D Dourado-Neto, JL Favarin. 2008. Radiation availability in agroforestry system of coffee and rubber trees. In: Shibu J, Gordon A. (Eds). *Toward agroforestry design: an ecological approach*. Series: *Advances in Agroforestry*, chap. 15. Springer SBM, Dordrecht. p.249-266.
- Righi CA, MS Bernardes, AMP Lunz, CR Pereira, FT Camargo. 2011. Competição Um em água sistema de seringueira Agroflorestal e cafeeiro. *Anais Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*. Embrapa. sp.
- Rodrigo VHL, A Nugawela, LSS De S Pathirathne, UP Waidyanatha, ACI Samaranyake, PB Kodikara, JKL Weeralal. 1995. Effect of planting density on growth, yield. *J. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka*. 76:55-71.
- Rodrigo VHL, TUK Silva, ES Munasinghe. 2004. Improving the spatial arrangement of planting rubber (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) for long term intercropping. *Field Crop Res.* 89(3):327-335.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: URL <http://www.R-project.org/>.
- Santos CR, JL Pires, RX Correa. 2012. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC- CEPLAC), Ilhé'us, BA, Brazil. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59:327–345.

- Silvestre WVD. 1996. Observacoes preliminares sobre a cultura do cupuacuzairo (*Theobroma grandiflorum* Schum) cultivada a pleno sol. Belem: FCAP. 18 p.
- SINCHI-INADE. 1998. Macrozonificación ambiental de la Cuenca del río Putumayo, Área Colombiana. Plan Colombo-Peruano para el Desarrollo integral de la cuenca del río Putumayo. OEA.
- Snoeck D, R Lacote, J Keli, A Doumbia, T Chapuset, P Jagoret, E Gohet. 2013. Association of *Hevea* with other tree crops can be more profitable than *Hevea* monocrop during first 12 years. *Industrial Crops and Products*. 43:578-586.
- Sterling CA, LCH Rodriguez. 2011. Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia Colombiana: Énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI. Colombia. 195 p.
- Sterling CA, LCH Rodriguez. 2012. Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI. Colombia. 147 p.
- Sterling CA, LCH Rodriguez, HI Dussan, OJO Castillo, TPN Ruiz, JLY Jara. 2012. Crecimiento de diez clones de caucho natural en campo clonal a gran escala en condiciones de la amazonia colombiana. *Revista Colombiana Amazónica* 5:161-175.
- Sterling CA, LCH Rodriguez. 2014. Agroforesteria en el Caquetá clones promisorios de Caucho en asocio con Copoazú y Plátano Hartón con potencial para la Amazonia Colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. Colombia. 220 p.
- Sterling CA, SJC Suarez. 2014. Evaluación del crecimiento de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y plátano Hartón (*Musa AAB*) en sistema agroforestal con caucho (*Hevea brasiliensis*) en dos zonas edafoclimáticas del departamento del Caquetá. En: Sterling CA, LCH Rodríguez. (Eds.). *Agroforesteria en el Caquetá: Clones Promisorios de Caucho en Asocio con Copoazú y Plátano Hartón con Potencial para la Amazonia Colombiana*. Capítulo 2. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. Scripto S.A.S. Bogotá. Colombia. p.193-220.
- Sterling CA, SJC Suarez, DF Caicedo, LCH Rodriguez, TYM Salas, DYR Virguez. 2015. Crecimiento inicial de clones promisorios de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. en sistema agroforestal en Caquetá, Colombia. *Revista Colombia Forestal* 18(2):175-192.
- Teixeira LB, RF Oliveira, EB Andrade. 1988. Consórcio de seringueira com cacau Latossolo Amarelo e Vermelho em podzólico Amarelo. Encontro Consorciamento técnico no cacaueiro por seringueira. Altamira, PA. Relatório. Belém: Embrapa-Ceplac.
- Valladares F, U Niinemets. 2008. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 39:157-168.
- Virgens Filho A De C, R Alvin, AC Araujo. 1988. Sistemas de cultivo em consorciacao com a seringueira. Sudeste da Bahia. p.79-87. Resultados de pesquisa da seringueira no sudeste da Bahia.
- Wilhem WW, K Ruwe, M Schlemmer. 2000. Comparison of three leaf area index meters in a crop canopy. *Crop Science* 40:1179-1183.