

DIVERSIDAD FUNCIONAL ASOCIADA A LA REGULACIÓN HÍDRICA DE ESPECIES ARBÓREAS EN DIFERENTES COBERTURAS VEGETALES EN CÓRDOBA, COLOMBIA.

FUNCTIONAL DIVERSITY ASSOCIATED WITH WATER REGULATION OF TREE SPECIES IN DIFFERENT PLANT COVERAGE IN CÓRDOBA. COLOMBIA.

Luis Alfonso Llanos-Banda^{1,2*}; Merly Yenedith Carrillo-Fajardo^{2,3}

¹Universidad de Córdoba, Facultad Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Semillero de investigación *Quercus*. Montería, Colombia.

²Universidad de Córdoba, Facultad Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Grupo de investigación BIODIVERSIDAD UNICORDOBA. Montería, Colombia.

³Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Uptc, Doctorado en Ciencias Biológicas y Ambientales, Grupo de Investigación Sistemática Biológica-SisBio. Tunja, Colombia.

*Correspondencia: Llanosbanda68@correo.unicordoba.edu.co

RESUMEN: La transformación del bosque seco tropical ha originado diferentes tipos de cobertura que generan cambios sobre la diversidad funcional y por ende sobre la dinámica hidrológica en los nuevos ambientes. **Objetivo.** Caracterizar la diversidad funcional asociada a la regulación hídrica de especies arbóreas en diferentes coberturas vegetales del departamento de Córdoba. **Materiales y métodos.** Se midieron los rasgos TIF y AF; DAP, TC; AC, ARC y DC; en cinco individuos de las especies más abundantes en tres coberturas vegetales: bosque secundario, sistema silvopastoril y plantación forestal. Se realizaron descripciones de los rasgos de las especies, pruebas de comparación de rasgos entre coberturas y análisis multivariado para identificar grupos funcionales y cómo se asocian a las coberturas **Resultados.** Se hallaron diferencias de AC, ARC y DAP entre las coberturas y se identificaron tres GFs. Los rasgos más importantes para la separación de los GFs fue el AF y DC. El GF1 se asocio a estrategias de interceptación y predominó en la cobertura SSP, por otra parte, los GFs dos y tres presentaron estrategias de captación asociados a las coberturas BS y PF. **Conclusiones.** Los resultados permiten ampliar la

compresión del proceso de regulación hídrica mediante el análisis de los rasgos de las especies arbóreas e inferir como se da el proceso en las coberturas.

PALABRAS CLAVES: Árboles. Composición funcional. Dinámica hidrológica. Proceso ecosistémico. Rasgo funcional.

ABSTRACT: The transformation of the tropical dry forest has originated different types of cover that generate changes in the functional diversity and therefore in the hydrological dynamics in the new environments.

Objective. Characterize the functional diversity associated with the water regulation of tree species in different plant covers in the department of Córdoba. **Materials and methods.** TIF and AF traits were measured; DAP, TC; AC, ARC and DC; in five individuals of the most abundant species in three vegetal covers: secondary forest, silvopastoral system and forest plantation. Descriptions of the traits of the species, tests of comparison of traits between covers and multivariate analysis were carried out to identify functional groups and how they are associated with the covers **Results.** Differences in AC, ARC and DAP were found between the coverages and three GFs were identified. The most important features for the separation of the GFs were the AF and DC. The GF1 was associated with interception strategies and predominated in the SSP coverage, on the other hand, the GFs two and three underwent capture strategies associated with the BS and PF coverage. **Conclusions.** The results allow to broaden the understanding of the water regulation process by analyzing the traits of the tree species and infer how the process occurs in the covers.

KEYWORDS: Trees. Functional composition. Hydrological dynamics. Ecosystem process. Functional trait.

INTRODUCCIÓN:

La diversidad funcional abarca los diferentes roles que desempeñan los organismos en un sistema ecológico. Su estudio permite comprender el funcionamiento de los ecosistemas y cómo estos benefician a la humanidad (1). Bajo este escenario, los bosques secos tropicales brindan servicios ecosistémicos de regulación, aprovisionamiento y culturales, fundamentales para el desarrollo de las comunidades asociadas, además, presentan importantes endemismos y composición florística de especies, razones por las cuales, son reconocidos como ecosistemas estratégicos en el país (2-4).

La mala planificación de los diferentes usos del suelo en Colombia, ha conllevado a una reducción significativa (92%) de la cobertura original del bosque seco tropical. En el departamento de Córdoba esta cobertura ha sido fuertemente transformada, teniendo representación de solo el 0.5% del total nacional (3). La transformación del ecosistema generó un mosaico de coberturas dentro de las que se destacan: bosque secundario, sistema silvopastoril y plantación forestal, entre otras (5); como consecuencia se generan cambios en la diversidad taxonómica y funcional que influyen sobre la dinámica de los procesos ecológicos, particularmente la regulación hídrica que proveen las especies leñosas (2,6-8).

Las especies dominantes en los ecosistemas cumplen un rol importante por la influencia de sus rasgos en la magnitud, tasa y dirección de los procesos ecosistémicos en comparación con las especies raras, esto es denominado hipótesis Ratio-Biomass, y suele utilizarse como marco para la selección de especies al realizar estudios de diversidad funcional (9,10). En ecosistemas forestales, la forma de crecimiento dominante es el arbóreo; sus características estructurales y de follaje regulan la precipitación incidente, que es la principal entrada de agua al sistema (2,12,13). De esta manera, los árboles participan activamente en la regulación hídrica y son claves en mitigar las inundaciones, avalanchas y sequías; disminuyendo los procesos erosivos del impacto de las gotas de lluvia y los riesgos de deslizamiento de tierras, debido a la reducción de la escorrentía (14). A pesar de sus beneficios suelen ser los más afectados por la transformación de los ecosistemas (15-17).

La remoción de la cobertura arbórea provoca un desequilibrio en la dinámica hidrológica por la reducción de los niveles de evapotranspiración, aumento en el drenaje profundo y escurrimiento superficial; cuyo entendimiento requiere conocer los nuevos rasgos y atributos incorporados en el sistema (13,18,19). Estudiar los rasgos concernientes a la hoja (Área y tipo de indumento), el tallo (diámetro a la altura del pecho y tipo de corteza) y la copa (altura, área y densidad); de las especies arbóreas en diferentes coberturas, es importante para la comprensión de los cambios que ocurren por efecto de la intervención antrópica en ecosistemas naturales, dado que los rasgos y grupos funcionales influyen de forma diferenciada en cada tipo de cobertura, lo cual determina el funcionamiento y la producción del sistema (12,13,20,21)

Las investigaciones en este tema, han determinado los rasgos de especies arbóreas que tienen potencial influencia sobre la regulación hídrica (12) y el impacto humano sobre este servicio ecosistémico en ecosistemas húmedos (14). En Colombia, particularmente, se ha abordado la influencia de los rasgos de los árboles sobre los procesos de regulación hídrica en zonas de restauración en ecosistemas andinos (20). En esta investigación, se redirecciona el enfoque y se parte del planteamiento de Mayfield et al. (22), quienes asumen que diferentes tipos de coberturas vegetales actúan como filtros ambientales condicionando los valores de los rasgos y tipos funcionales de especies arbóreas relacionados con la regulación hídrica; y se presenta la caracterización de dicha diversidad funcional en diferentes coberturas vegetales del departamento de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Área de estudio. El trabajo se llevó a cabo en tres coberturas vegetales del Centro de Investigación Turipaná-Agrosavia, el cual cuenta con un área aproximada de 1000 ha ubicadas en el municipio de Cereté (Córdoba), en las coordenadas 8°51' N y 75°49" W, a 18 msnm (Figura 1). El patrón de distribución de lluvias es de tipo unimodal-biestacional con dos períodos climáticos: el seco entre diciembre-abril y otro de lluvias entre mayo-noviembre. La precipitación promedio anual es alrededor de 1218,2 mm, con temperatura media anual de 28°C. Durante el año se registra una evapotranspiración potencial de 1240 mm y humedad relativa de 81% (23,24); por lo tanto, el área de estudio corresponde a la zona de vida bosque seco tropical (25).

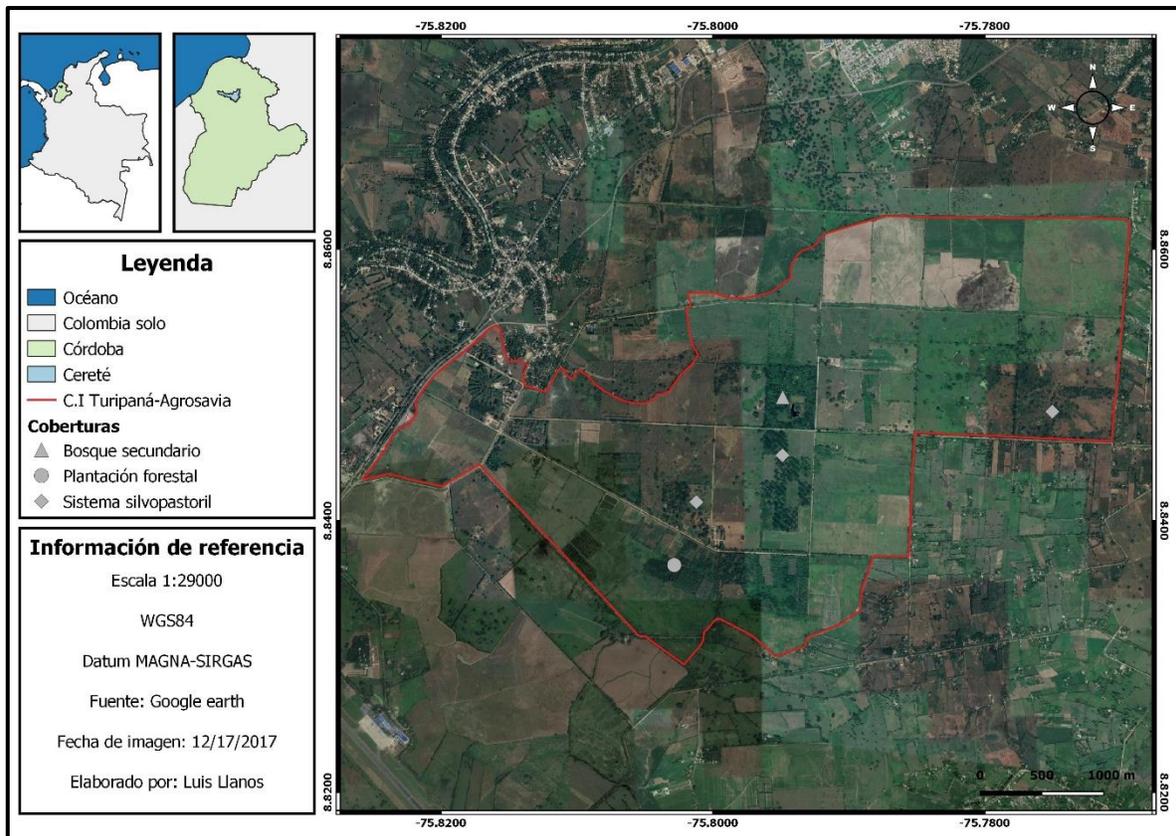


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y coberturas vegetales en el C.I Turipaná-Agrosavia.

Las tres coberturas registradas al interior del área de estudio (Figura 1) presentan las siguientes características:

Bosque secundario (BS). Bosque de aproximadamente 20 ha con alrededor de 30 años regeneración natural. La estructura vertical presenta diferentes estratos que denotan el proceso de sucesión. El estrato arbóreo en promedio alcanza 15 m, conformado en su mayoría por *Albizia saman* (Jacq.) F. Muell. (Campano), *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC. (Roble) y *Sapium glandulosum* (L.) Morong (Ñipi Ñipi) que cubren cerca del 70-80% del dosel; el sotobosque está conformado por especies arbustivas como *Pithecelobium lanceolatum* (Willd.) Benth. (Espino) que alcanza una altura promedio de 5 m. El fragmento se caracteriza por el predominio variable de lianas. En la época lluviosa, algunas zonas presentan inundación debido a depresiones en el suelo de origen antrópico.

Sistema silvopastoril (SSP). Cobertura de regeneración natural y antrópica, con establecimiento de árboles forrajeros y multipropósitos como *A. saman* (Campano), *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Orejero), *Cassia grandis* L.f. (Cañafístula) y *Pachira quinata* (Jacq.)

W.S.Alverson (Ceiba Tolúa) que alcanzan alturas mayores a los 15 m; con una densidad aproximada de siembra mayor a 30 árboles/ha que permite el paso de aproximadamente del 80-90% de luminosidad, lo que favorece el crecimiento de vegetación herbácea. Se encuentra rodeado de potreros de baja densidad de árboles y cultivos rotacionales (maíz, yuca, entre otros). Por lo general se permite el ingreso de ganado.

Plantación forestal (PF). Plantaciones de especies maderables nativas como *Swietenia macrophylla* King (Caoba), *P. quinata* (Ceiba tolúa), *T. rosea* (Roble) e introducidas como *Gmelina arborea* Roxb. (Melina), *Eucalyptus grandis* W.Hill (Eucalipto) y *Tectona grandis* L.f (Teca); con una distribución de siembra rectangular de aproximadamente tres metros de distancia. La superficie de los monocultivos varía de acuerdo a la especie utilizada en la plantación.

Selección de especies. Se eligieron las especies más abundantes registradas en el Inventario de la diversidad arbórea del CI Turipaná-Agrosavia (Convenio 394115 del 2019 entre AGROSAVIA y Universidad Córdoba), teniendo en cuenta los siguientes criterios para cada cobertura: BS y SSP, especies con el 70-85% de la abundancia relativa acumulada; aludiendo a la importancia que tienen las especies abundantes en los procesos ecosistémicos (8,9,26). Para el caso de las PF, por ser coberturas de distribución uniforme y monocultivos, las especies ya están establecidas, es decir *S. macrophylla*, *Cariniana pyriformis* Miers, *G. arborea*, *E. grandis* y *T. grandis*.

Rasgos funcionales de especies arbóreas. Se midieron los rasgos: Tipo de indumento foliar (TIF), Área foliar (AF), Diámetro a la altura del pecho (DAP), Tipo de corteza (TC), Altura de copa (AC), Área de copa (ARC) y Densidad de copa (DC) asociados a la regulación hídrica en cinco individuos con DAP > 10 cm y sin rastro de daños por herbívoros o plantas parásitas (26,27,28).

Se recolectaron cinco hojas de la parte media de la copa con plena exposición al sol y sin presencia de daños por herbívoros u hongos (8,26) y se almacenaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas. Se digitalizaron en escáner y se procesaron con el programa ImageJ para determinar el AF. El TIF se determinó mediante la observación de las hojas para identificar las categorías propuestas por Cano (20): 1: Glabra/Glabra (Gl/Gl); 2: Glabra/Pubescente (Gl/Pb) y 3: Pubescente/Pubescente (Pb/Pb), teniendo en cuenta la ausencia o presencia de indumento en la parte adaxial/abaxial de la hoja.

El DAP fue obtenido de manera indirecta a partir de la medición de la circunferencia a la altura del pecho (CAP a 1.3 m) utilizando cinta métrica, los valores obtenidos se transformaron a DAP utilizando la fórmula $DAP = CAP / \pi$ (29). El TC se determinó de acuerdo a las categorías propuestas por Aquino (14): 1: Lisa (Lis); 2: Escamosa (Esc); 3: Ligeramente lenticelada (LgLen); 4: Lenticelada-Verrugosa (LenVe); 5: Escamas en placa o ligeramente fisurada (EscPl o LgFis) y 6: Fisurada o Surcada (Fis o Sur).

La AC se calculó a través de la diferencia entre la altura del individuo y la altura mínima de copa, ambos parámetros medidos con clinómetro (20). El ARC fue estimado a partir de la medición de la longitud más larga (r_1) y la longitud perpendicular a ésta (r_2); de la parte aérea de la planta utilizando un flexómetro. El área se calculó por medio de la fórmula: $A = 1/2 r_1 r_2$. Asumiendo la forma de la copa como una elipse (29). Finalmente se tomaron fotografías en los cuatro puntos cardinales debajo de la copa de cada individuo para determinar la DC (20), las imágenes digitales fueron procesadas en el programa Gap Ligth Analyzer (GAP 2.0).

ANÁLISIS DE DATOS. Se describieron los rasgos cualitativos y se calculó la media y desviación estándar de los rasgos cuantitativos para todas las especies evaluadas en relación a la cobertura. Se evaluaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro Wilks y de homogeneidad de varianzas con la prueba estadística de Levene.

Para establecer la variación de los rasgos entre cobertura, se realizaron pruebas de χ^2 para determinar si existía asociación de los rasgos cualitativos entre coberturas. Por otra parte, se aplicó Anova de Kruskal-Wallis y prueba de comparaciones, para establecer si había diferencia estadística de los rasgos cuantitativos entre coberturas vegetales, la distribución de los datos fue graficada mediante diagramas de cajas y bigotes.

Se llevó a cabo un análisis de correlación de rasgos para determinar las posibles tendencias entre rasgos y con base al resultado se identificaron los grupos funcionales de especies arbóreas a través del análisis de conglomerados utilizando el método de agrupamiento jerárquico de Ward y la distancia de Gower cuyo algoritmo de cálculo usa distancia Euclídea para las variables continuas y Jaccard para las variables cualitativas (30). Para determinar los rasgos que definen a los grupos funcionales y establecer cómo se diferencian se aplicó Anova Kruskal-Wallis y prueba de comparaciones en caso de que se obtuvieron

diferencias significativas. Finalmente, La asociación de los grupos funcionales entre las coberturas se evaluó a partir de análisis de correspondencia simple. Todos Los análisis estadísticos se ejecutaron en el programa InfoStat.

RESULTADOS.

Especies seleccionadas en cada cobertura

Las 12 especies seleccionadas del inventario de la diversidad arbórea del CI Turipaná-Agrosavia se presentan en la Tabla 1; estas se distribuyen entre las coberturas así: tres en BS, cuatro en SSP y cinco en PF. Se resalta que *A. saman* y *G. ulmifolia*, son especies compartidas entre las dos primeras coberturas, mientras que *P. lanceolatum* fue única en BS y *E. cyclocarpum*, exclusiva de SSP.

Tabla 1. Especies seleccionadas de acuerdo a la abundancia relativa

Coberturas	Especies	A _i %
BS	<i>Albizia saman</i>	37
	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	54
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	75
SSP	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	27
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	49
	<i>Albizia saman</i>	66
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	82
PF	<i>Swietenia macrophylla</i>	NA
	<i>Cariniana pyriformis</i>	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	
	<i>Gmelina arborea</i>	
	<i>Tectona grandis</i>	

acumulada para cada cobertura en el C.I Turipaná-Agrosavia.

BS: Bosque Secundario; SSP: Sistema Silvopastoril; PF: Plantación forestal; A_i%: Porcentaje de abundancia relativa acumulada; NA: No aplica.

Descripción de rasgos por especie en relación a la cobertura

En BS, *A. saman* y *G. ulmifolia* presentan pubescencia en haz y envés, el tipo de corteza, es fisurada o surcada para ambas especies. *M. tinctoria* es la única especie en la cobertura SSP que presenta un indumento foliar del tipo GI/Pb, el resto de las especies tienen hojas Pb/Pb; respecto al TC, el 50% de las especies en esta cobertura presentan corteza Fis o Sur, el resto se caracterizaron por corteza LgLen a LVe. En la cobertura PF, el atributo TIF más frecuente es GI/GI (80%) y en menor medida GI/Pb, representado únicamente por *T. grandis*. El

40% de las especies (*C. pyriformis* y *T. grandis*) en esta cobertura se caracterizan por su corteza Fis o Sur. (Anexo 1 y 2; Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de rasgos cualitativos de las especies evaluadas en las distintas coberturas del C.I Turipaná-Agrosavia.

Coberturas	Especies	TIF	TC
BS	<i>Albizia saman</i>	Pb/ Pb	Fis o Sur
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Pb/ Pb	Fis o Sur
	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Gl/Pb	EscPl o LgFis
SSP	<i>Albizia saman</i>	Pb/ Pb	Fis o Sur
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Pb/ Pb	LVe
	<i>Maclura tinctoria</i>	Gl/Pb	LgLen
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Pb/ Pb	Fis o Sur
PF	<i>Swietenia macrophylla</i>	Gl/Gl	LgLen
	<i>Cariniana pyriformis</i>	Gl/Gl	Fis o Sur
	<i>Eucalyptus grandis</i>	Gl/Gl	EscPl o LgFis
	<i>Gmelina arborea</i>	Gl/Gl	LVe
	<i>Tectona grandis</i>	Gl/Pb	Fis o Sur

TIF: Tipo de Indumento Foliar; Gl/Gl: Glabra/Glabra; Gl/Pb: Glabra/Pubescente; Pb/Pb: Pubescente/Pubescente; TC: Tipo de Corteza; LgLen: Ligeramente Lenticelada; LVe: Lenticelada Verrugosa; EscPl o LgFis: Escamas en Placa o Ligeramente Fisurada; Fis o Sur: Fisurada o Surcada; PF: Plantación Forestal; SSP: Sistema Silvopastoril; BS: Bosque Secundario.

Teniendo en cuenta los rasgos cuantitativos, *A. saman* cuenta con los promedios más altos para todos los rasgos evaluados en BS. En la cobertura SSP, los valores promedios más altos son para *E. cyclocarpum* con los rasgos DAP (121.47 ± 11.5 cm), AC (24.98 ± 6.06 m) y ARC (557.28 ± 167.87 cm²); y *A. saman* con AF (441.35 ± 109.68 cm²) y DC ($34.62 \pm 13.32\%$). *T. grandis* tiene el mayor promedio de los rasgos AF (545.26 ± 94.64 cm²), DAP (37.24 ± 5.67 cm) y ARC (34.9 ± 15.92 cm²) en la cobertura PF, mientras que *E. grandis* resalta por su alto valor en AC (24.92 ± 10.24 m) y DC ($43.9 \pm 9.1\%$) (Tabla 3; Anexo 3).

Tabla 3. Valores promedios y desviación estándar de rasgos cuantitativos por especies. Datos resaltados representan valores promedio máximo del rasgo para cada cobertura.

Coberturas	Especies	AF (cm²)	DAP (cm)	AC (m)	ARC (cm²)	DC (%)
BS	<i>Albizia saman</i>	532.25 ± 149.4	84.16 ± 18.94	13.86 ± 5.04	161.63 ± 90.36	36.43 ± 9.16
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	76.43 ± 21.57	23.24 ± 15.37	7.46 ± 2.07	15.24 ± 3.09	20.57 ± 4.16
	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	65.46 ± 15.61	33.74 ± 11.65	8.38 ± 4.82	28.7 ± 15.79	35.73 ± 8.12
SSP	<i>Albizia saman</i>	441.35 ± 109.68	87.73 ± 19.14	15.56 ± 5.45	337.2 ± 83.99	34.62 ± 13.32
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	356.47 ± 69.74	121.47 ± 11.5	24.98 ± 6.06	557.28 ± 167.87	30.69 ± 5.77
	<i>Maclura tinctoria</i>	41.18 ± 18.45	47.94 ± 9.8	13.22 ± 3.92	61.72 ± 29.08	13.1 ± 1.3
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	75.24 ± 52.73	41.38 ± 11.89	12.2 ± 4.09	78.68 ± 14.46	16.24 ± 3.48
PF	<i>Swietenia macrophylla</i>	445.38 ± 125.26	18.97 ± 2.94	13.12 ± 3.37	17.03 ± 6.57	12.04 ± 4.01
	<i>Cariniana pyriformis</i>	17.69 ± 1.7	14.95 ± 1.7	8.36 ± 0.92	15.21 ± 3.66	18.21 ± 4.38
	<i>Eucalyptus grandis</i>	32.29 ± 7.14	21.52 ± 3.37	24.92 ± 10.24	17.12 ± 6.62	43.9 ± 9.1
	<i>Gmelina arborea</i>	199.65 ± 19.36	22.35 ± 5.37	13.56 ± 8.75	24.04 ± 8.05	29.95 ± 10.26
	<i>Tectona grandis</i>	545.26 ± 94.64	37.24 ± 5.67	17.94 ± 6.71	34.9 ± 15.92	35.37 ± 8.49

AF: Área Foliar; DAP: Diámetro a la Altura del Pecho; AC: Altura de Copa; ARC: Área de Copa; DC: Densidad de Copa; PF: Plantación Forestal; SSP: Sistema Silvopastoril; BS: Bosque Secundario.

Variación de los rasgos entre coberturas

Los rasgos TIF y TC no presentan asociaciones significativas entre las coberturas ($p > 0.05$), sin embargo, se pueden destacar algunas tendencias con respecto al rasgo TIF, dado que hay prevalencia de hojas Gl/Gl en PF y Pb/Pb en SSP (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de tablas de contingencia con el estadístico Chi² y valores P entre los rasgos cualitativos y las coberturas evaluadas.

Rasgo	Atributos	BS	SSP	PF	Total	X ²	P
TIF	Gl/Gl	1	0	4	5	7,78	0,1
	Gl/Pb	0	1	1	2		
	Pb/Pb	2	3	0	5		
Total		3	4	5	12		
TC	EscPl o LgFis	1	0	1	2	4,67	0,5872
	Fis o Sur	2	2	2	6		
	LVe	0	0	1	1		
	LgLen	0	2	1	3		
Total		3	4	5	12		

TIF: Tipo de Indumento Foliar; Gl/Gl: Glabra/Glabra; Gl/Pb: Glabra/Pubescente; Pb/Pb: Pubescente/Pubescente; TC: Tipo de Corteza; LgLen: Ligeramente Lenticelada; LVe: Lenticelada Verrugosa; EscPl o LgFis: Escamas en Placa o Ligeramente Fisurada; Fis o Sur: Fisurada o Surcada.

En la Figura 2 se observa la distribución de los rasgos cuantitativos y su diferencia entre coberturas. El AF y la DC no son significativamente diferentes entre las coberturas ($p > 0.05$) a diferencia de los rasgos DAP, AC y ARC ($p < 0.05$). Según la prueba de comparaciones, el DAP es el único rasgo diferenciado en las tres coberturas, destacando el rango, promedio, mediana y valor máximo mayor en SSP, seguido BS y PF. La PF y el SSP, son similares en cuanto al rango y promedio de AC, pero mayores a BS ($p < 0.05$). Se destaca la poca dispersión de los datos encontrados para el rasgo ARC en PF y BS comparado con SSP; el mayor promedio para este rasgo se encuentra en SSP, que fue significativamente diferente de BS y PF ($p < 0.05$).

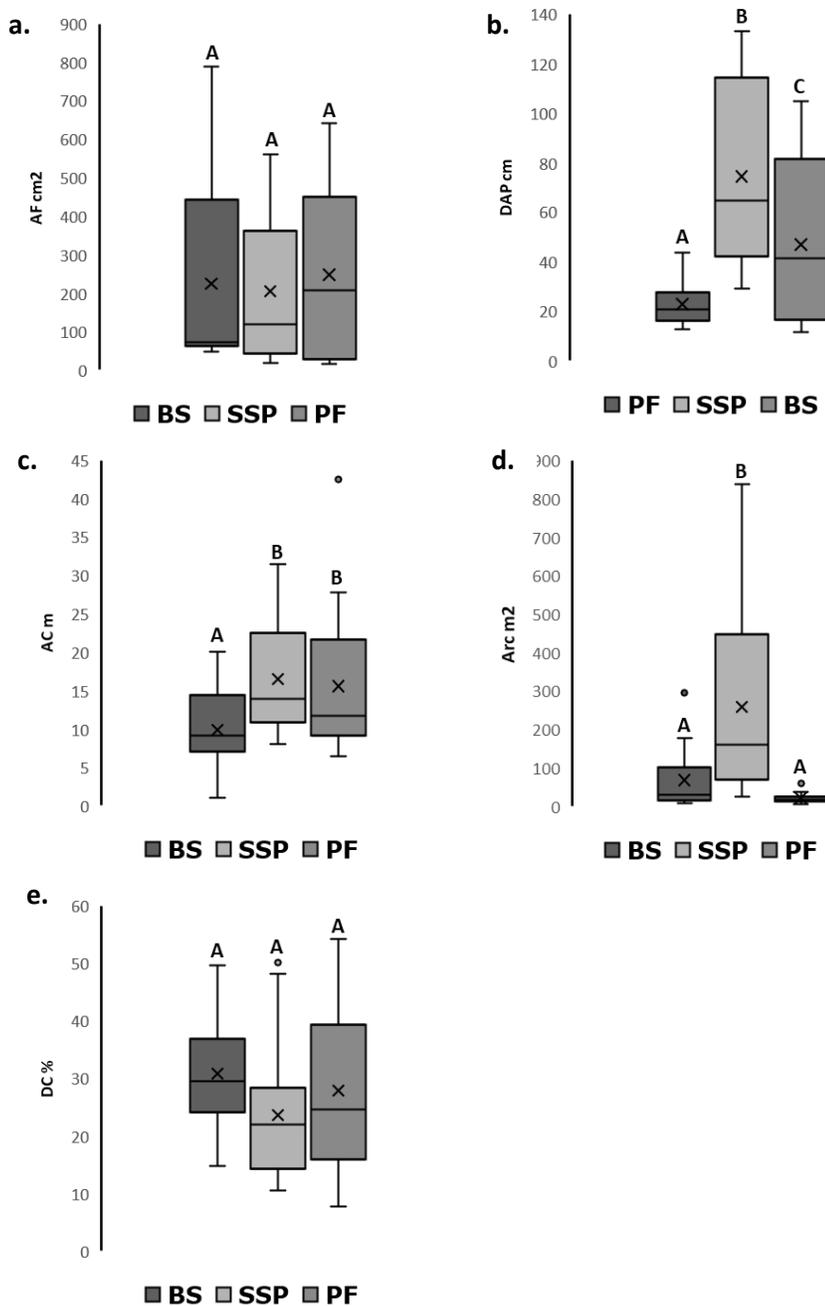


Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes para rasgos cuantitativos en las coberturas muestreadas en el C.I Turipaná-Agrosavia. **a.** Variación de AF; **b.** Variación de DAP; **c.** Variación de AC; **d.** Variación de ARC; **e.** Variación de DC; AF: Área foliar; DAP: Diámetro a la Altura del Pecho; AC: Altura de Copa; ARC: Área de Copa; DC: Densidad de Copa.

Interacción entre rasgos

Todos los rasgos presentan correlaciones positivas entre sí; resalta la relación considerable entre ARC y DAP. Las correlaciones más bajas están en los rasgos ARC-DC y DC con respecto a AC, AF y DAP. El resto de las interacciones AF-DAP, AF-AC, AF-ARC, DAP-AC y AC-ARC son moderadas (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de correlación de Spearman entre los rasgos cuantitativos evaluados en la investigación. Valores en la diagonal hacia arriba se encuentra la probabilidad asociada a la prueba, mientras que en la diagonal hacia abajo coeficiente de correlación.

	AF	DAP	AC	ARC	DC
AF		2,20E*03	0,02	3,60E*03	0,08
DAP	0,39		3,00E*04	0	0,03
AC	0,3	0,45		1,50E*03	0,09
ARC	0,39	0,87	0,4		0,31
DC	0,23	0,28	0,22	0,13	

AF: Área foliar; DAP: Diámetro a la Altura del Pecho; AC: Altura de Copa; ARC: Área de Copa; DC: Densidad de Copa.

Grupos funcionales asociados a la regulación hídrica

De acuerdo al análisis de conglomerados se identificaron tres grupos funcionales asociados a la regulación hídrica (Figura 3). Al evaluar los rasgos entre grupos funcionales de manera inferencial (Anova de Kruskal-Wallis) se observa que todos los rasgos cuantitativos son significativamente diferentes entre los grupos funcionales ($p < 0,05$) con diferencias en la discriminación de grupos (Tabla 6), de esta manera al realizar pruebas de comparaciones, los rasgos AF y DC permiten la separación de los tres grupos, en comparación con el resto que discrimina dos grupos. La media más alta para el AF se obtuvo en el GF1 seguido del GF3 y GF2, en contraste con la DC, el GF1 presentó los valores más altos seguido del GF2 y GF3.

Tanto para el DAP como ARC los valores promedio significativamente más altos se observan en el GF1, mientras valores similares estadísticamente no significativos se presentan para los GF2 y GF3. La AC permite la separación del GF1 y GF2, siendo el primero con mayor valor promedio. Por otra parte, los rasgos cualitativos no presentaron asociación significativa entre los grupos funcionales ($p > 0,05$) (Tabla 7).

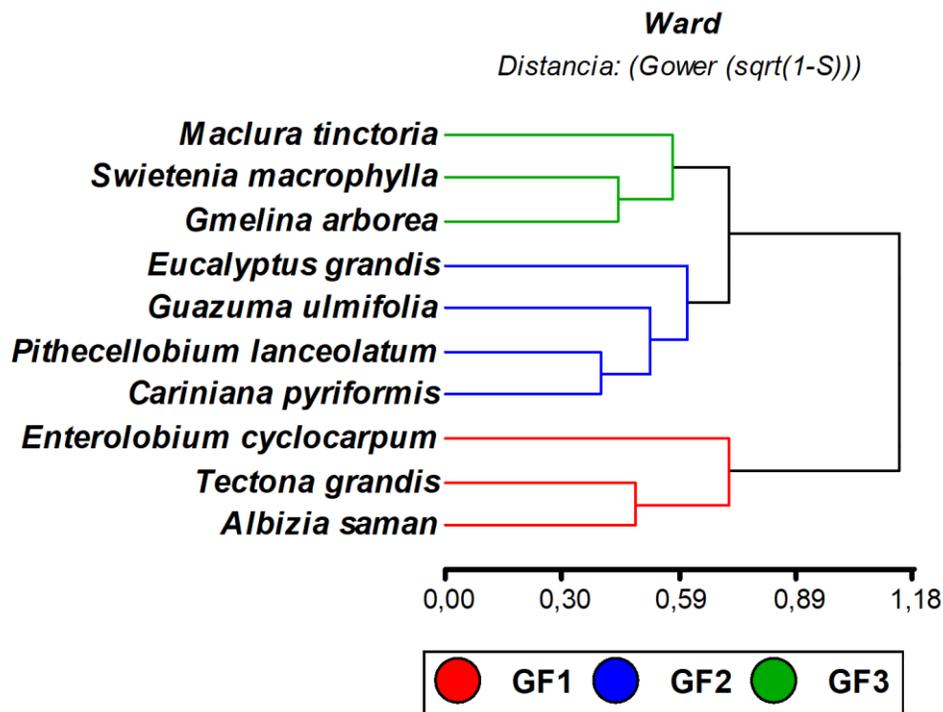


Figura 3. Análisis de conglomerados utilizando el método de agrupamiento de Ward y la distancia de Gower para las 12 especies más abundantes en las coberturas evaluadas en el C.I Turipaná-Agrosavia.

Tabla 6. Comparaciones de los rasgos cuantitativos entre grupos funcionales.

Rasgo	GF	Media	Prueba de comparaciones
AF	GF1	471,89	A
	GF2	53,42	B
	GF3	228,74	C
DAP	GF1	82,65	A
	GF2	26,96	B
	GF3	29,75	B
AC	GF1	18,09	A
	GF2	12,26	B
	GF3	13,3	AB
ARC	GF1	272,75	A
	GF2	30,99	B
	GF3	34,26	B
DC	GF1	34,28	A
	GF2	26,93	B
	GF3	18,36	C

Letras comunes no son significativamente diferentes ($P > 0.05$). AF: Área Foliar; DAP: Diámetro a la Altura del pecho; AC: Altura de Copa; ARC: Área de Copa; DC: Densidad de Copa.

Tabla 7. Tabla de contingencia entre los rasgos cualitativos y los grupos funcionales con el estadístico Chi² y valores P.

Rasgo	Atributo	GF1	GF2	GF3	X ²	P
TIF	Gl/Gl	0	3	2	6.34	0.1752
	Gl/Pb	1	0	1		
	Pb/Pb	3	2	0		
Total	Total	4	5	3		
TC	EscPl o LgFis	0	2	0	12,4	0,0536
	Fis o Sur	3	3	0		
	LVe	1	0	1		
	LgLen	0	0	2		
Total		4	5	3		

TIF: Tipo de Indumento Foliar; Gl/Gl: Glabra/Glabra; Gl/Pb: Glabra/Pubescente; Pb/Pb: Pubescente/Pubescente; TC: Tipo de Corteza; LgLen: Ligeramente Lenticelada; LVe: Lenticelada Verrugosa; EscPl o LgFis: Escamas en Placa o Ligeramente Fisurada; Fis o Sur: Fisurada o Surcada.

De acuerdo a lo anterior, los grupos funcionales se definieron de la siguiente manera:

El GF1 conformado por arboles con hojas grandes ($\bar{x}=471.89 \pm \sigma=129.06 \text{ cm}^2$), pubescentes/pubescentes y glabro/pubescentes; troncos con corteza fisurada o surcada hasta lenticelada verrugosa, con gran diámetro ($82.65 \pm 33.67 \text{ cm}$); de copas altas ($18.09 \pm 6.91 \text{ m}$), áreas grandes (272.75 m^2) y densas ($34.28 \pm 9.06\%$).

Las especies del GF2 presentaron bajas áreas foliares ($\bar{x}=34.49 \pm \sigma=48.66 \text{ cm}^2$), con indumento del tipo glabro/glabro a pubescentes/pubescentes; troncos con diámetros bajos ($26.96 \pm 13.41 \text{ cm}$), desde fisurados o surcados hasta escamas en placa; de alturas ($12.26 \pm 8.34 \text{ m}$) y áreas de copa menor ($30.99 \pm 26.57 \text{ cm}^2$), con valores de densidad intermedios ($26.93 \pm 12.54\%$).

Finalmente, el GF3 se caracteriza por hojas de tamaño intermedio ($\bar{x}=228.74 \pm \sigma=208.09 \text{ cm}^2$), glabras en haz y en envés desde glabros a pubescentes; con diámetros de tronco bajo ($29.75 \pm 14.74 \text{ cm}$), de corteza ligeramente lenticelada a lenticelada verrugosa; áreas ($34.26 \pm 26.17 \text{ cm}^2$), densidades de copa ($18.36 \pm 10.36\%$) y altura menor ($13.3 \pm 5.43 \text{ m}$).

Asociación de grupos funcionales en las distintas coberturas

Los tres grupos funcionales (GFs) se distribuyeron en las distintas coberturas a excepción del GF3 en BS, que estuvo ausente. El análisis

de correspondencia simple permitió visualizar qué GF se asocia más a cada cobertura (Figura 4), con una inercia del 65,3% el eje 1 separa el BS de SSP y PF, lo cual se interpreta como que estas dos últimas coberturas son más similares, además, es clara la separación del GF1 y GF2 del GF3; el BS se asocia al GF2 y la cobertura PF se encuentra influenciada por el GF2 y el GF3, pero principalmente está asociada al GF3. Finalmente, el SSP está fuertemente asociado al GF1 y poco influenciado por el GF3.

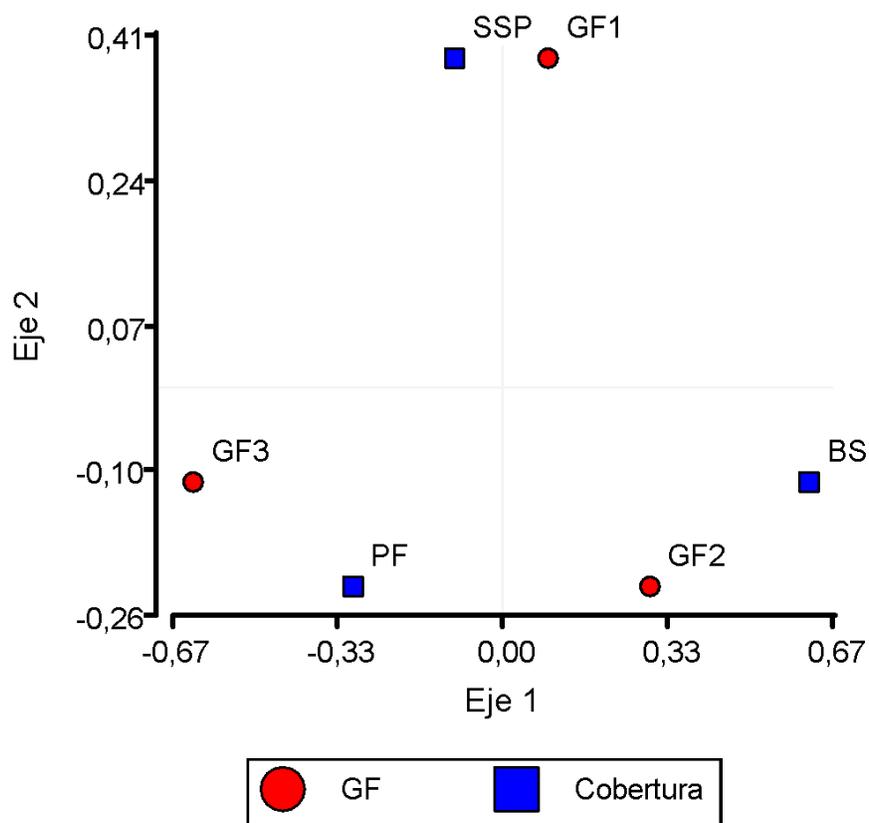


Figura 4. Análisis de correspondencia simple entre los grupos funcionales (GF) identificados y las coberturas evaluadas en esta investigación. PF: Plantación Forestal; SSP: Sistema Silvopastoril y BS: Bosque Secundario.

DISCUSIÓN.

La modificación del hábitat causada por la intensificación en el uso del suelo genera cambios en la diversidad funcional (6). Los resultados muestran que las especies más abundantes presentan una serie de rasgos particulares y pertenecen a grupos funcionales que influyen de manera distinta en la regulación hídrica por su papel mayoritario en la captación o intercepción de la precipitación incidente, lo que determina en gran medida la productividad primaria y grado de erosión del suelo (44,45).

De los siete rasgos funcionales estudiados, tres referidos a la arquitectura de los árboles presentan diferencias significativas entre las coberturas (DAP, AC y ARC): esto se encuentra relacionado con la conformación estructural de las mismas. La cobertura SSP cuenta con los mayores valores para estos rasgos, lo que puede ser explicado posiblemente por la mayor incidencia de luz solar, que posibilita el crecimiento rápido en altura y posteriormente la expansión de la copa para disipar el exceso calórico absorbido (31). Además, la baja ocupación de los árboles influye en desarrollar una mayor cantidad de ramas con la consecuente formación de nudos (32,33).

El resultado del mayor diámetro encontrado en SSP obedece al desarrollo de la copa por ausencia de competencia y la presencia a plena luz solar que permite que los individuos inviertan en el desarrollo de este rasgo (34). Por lo tanto, el crecimiento de los árboles tiene relación directamente proporcional con el tamaño de la copa, el espacio y los recursos del sitio como lo demuestra Arnoni et al. (32).

Aunque no hubo diferencia estadística significativa del TIF entre las coberturas, se destaca una tendencia de prevalencia a hojas GI/GI en PF y Pb/Pb en SSP. La presencia de indumento foliar está dada por la protección a las condiciones climáticas del ambiente, donde la radiación juega un rol importante en la presencia de este rasgo para reducir la temperatura de la hoja (35,36). Las hojas en la cobertura PF estarían menos expuestas a la luz incidente lo que resultaría en la presencia de hojas sin indumento foliar, contrario al resultado de la cobertura SSP.

Varios rasgos se correlacionaron en esta investigación, pero el resultado más sobresaliente está dado por la relación directamente proporcional entre el ARC y DAP. Un gran desarrollo de la copa aumenta el potencial fotosintético, lo que se traduce en incrementar el tamaño diamétrico del tronco (32,33). Aunque, no en todos los casos se muestre esta

tendencia como lo menciona Cisneros (33), puede ser un carácter intrínseco de cada especie.

De acuerdo con la literatura, los rasgos evaluados tienen un efecto potencial en la regulación hídrica. El TIF permite retener o drenar el exceso de agua de su superficie al suelo para poder llevar a cabo el proceso de fotosíntesis (37). El AF junto con la DC se constituirían en una barrera física para la precipitación, impidiendo que esta llegue al suelo, lo que favorece la intercepción o, por otra parte, facilita la desviación hacia el tronco, lo cual provoca escorrentía cortical (20,38,39).

En cuanto al diámetro y la rugosidad de los troncos, aquellos de grandes diámetros y de superficies lisas benefician el flujo del agua por el tallo, en comparación con superficies más rugosas que en cambio retendría el flujo de agua hasta la saturación donde provoca flujo caulinar (38).

Áreas de copas grandes incrementan el flujo caulinar de la precipitación (20,38), sin embargo, hay mayor posibilidad que el ángulo de inserción de las ramas estén más orientados a una posición horizontal, lo que puede afectar la captación, ya que no redirecciona de manera eficiente el flujo de agua (39). Finalmente, el rasgo AC es importante, dado que a medida que la copa tenga más longitud podrá captar más la precipitación incidente y posteriormente generar mayor escorrentía cortical (38), sin embargo, hay que tener en cuenta los otros rasgos referidos a la copa para determinar su rol en la regulación hídrica, entre éstos DC y ARC.

Uno de los objetivos principales en ecología funcional de plantas ha sido inferir estrategias funcionales de los organismos de acuerdo al análisis de sus rasgos (40). Mediante la comprensión de los rasgos relacionados a la regulación hídrica y al análisis de agrupamiento se identificó la participación de tres GFs en el proceso ecosistémico.

El GF1 lo conforman las especies *A. saman*, *T. grandis* y *E. ciclocarpum* caracterizadas por hojas pubescentes y de alta AF; protuberancias en el tronco; copas altas, de gran área y densas; lo que permitiría a estas especies detener y precipitar la lluvia incidente por escorrentía foliar, por lo que utilizan una estrategia funcional relacionada a la intercepción en el proceso de regulación hídrica (14,20,39)

Los grupos funcionales (GFs) dos y tres presentan características generales distintas comparadas al GF1, AF menor, diámetros de tronco bajo, menor altura de copa, área y densidad, rasgos que indicarían que

estos grupos cumplen un rol importante en la captación ya que redirigen el flujo de agua mayoritariamente al tronco y promueven la escorrentía cortical (12,20,38). Sin embargo, difieren entre sí en la capacidad de dicho proceso.

El GF2 se agrupan las especies *E. grandis*, *G. ulmifolia*, *P. lanceolatum*, *C. pyriformis* consideradas especies captadoras de baja capacidad comparada al GF3, debido a tamaños de hoja, altura y densidad de copa menores, rasgos que no permitirían la mayor eficiencia de la escorrentía cortical (14,38,39). En contraste, el GF3 conformado por *M. tinctoria*, *S. macrophylla* y *G. arborea*, los altos valores en estos rasgos permiten la captación eficiente de la lluvia (20,38,39).

Estos GFs obtenidos fueron menores comparados con el trabajo de Aquino (14), el cual identifica cuatro grupos funcionales en bosques húmedos secundarios y primarios en Costa Rica: interceptoras e interceptoras emergentes, captadores de dosel superior y de dosel medio, influenciadas por el papel ecológico en la estratificación vertical, variable que no se tuvo en cuenta en esta investigación; y al trabajo de Cano (20), que identifica cuatro grupos funcionales en zonas de restauración, que se relacionan en su mayoría con estrategias de captación por sus altos valores de escorrentía cortical; estos presentan áreas y alturas de copa de intermedios a bajos.

Las especies interceptoras se asocian más al SSP mientras que las captadoras a PF y BS. La diferenciación está dada por los rasgos DAP y ARC. Estos rasgos son iguales para las especies asociadas a PF y BS, pero significativamente diferente a SSP. Este patrón puede deberse a la disponibilidad de luz y espacio que es diferente entre ambientes, lo que conlleva a una mayor competencia por estos recursos y repercute en la inversión de biomasa que tiende a ser mínima en estas estructuras (41,42).

En BS se asoció el GF2 (captadoras de baja capacidad) y en menor medida el GF1 (interceptoras), por su parte el grupo GF3 (captación) estuvo ausente. Esto concuerda con Aquino (14), el cual encontró dominancia en bosque secundario de GF que se relacionan con estrategias de captación. Además, encontró prevalencia de GFs de intercepción en bosques primarios; de acuerdo con los resultados, podría esperarse esta misma tendencia en esta cobertura, en el cual se establezca un recambio de GFs a medida que avanza la sucesión de especies con estrategias de captación a interceptoras de la precipitación incidente.

Aunque en la cobertura SSP la densidad de árboles por hectárea es mucho menor a las otras coberturas, esta característica no afectaría la regulación hídrica ya que, como menciona Vallejos-Barra et al. (43), la interceptación depende más de la arquitectura de los árboles, la distribución espacial y tipo de hoja que de la cantidad de árboles por unidad de área.

Si bien se relaciona un grupo funcional con la cobertura PF, en términos eco-hidrológicos su composición, estructura y función están mediadas por arreglos de especies producto de la intervención del proyecto, que en muchos casos no tienen fundamento ecológico (20).

El reparto de precipitaciones afecta la distribución espacial del agua que ingresa al suelo, controlando profundamente la productividad primaria en zonas de baja precipitación (44). La falta de grupos funcionales en la interceptación de las precipitaciones puede conllevar a una disminución de la capacidad del dosel para disminuir el impacto cinético de las gotas de lluvia resultando en mayor posibilidad de erosión en el suelo (45). Los grupos funcionales de captación concentran la precipitación interceptada por el dosel y generan escorrentía cortical en un área pequeña, lo que favorece la infiltración preferencial, por tanto, es un mecanismo importante de resistencia a la sequía (46,47).

Se comprueba que los tipos de cobertura estudiadas influyen sobre los rasgos AC, ARC y DAP y GFs. Posiblemente por las distintas condiciones ambientales y de competencia que se dan en éstas, sin embargo, es necesario comprobar dicha tendencia y ampliar el conocimiento de los rasgos que no variaron, como lo son TIF, TC, AF y DC; se sugiere replicar con mayor tamaño de muestra. Además, se considera importante correlacionar tasas de interceptación y de escorrentía cortical con los GFs obtenidos en las distintas coberturas.

CONFLICTOS DE INTERESES

No se declaran conflictos de intereses por la información presentada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA y la Universidad de Córdoba por el financiamiento, préstamo de sus instalaciones y equipos para llevar a cabo el estudio; a los docentes investigadores del G.I BIODIVERSIDAD-UNICORDOBA por sus diversos aportes a la realización del trabajo; a los profesores Rosalba Ruiz Vega y César Vergara Córdoba por la evaluación

al documento. El primer autor agradece a Yeison Garrido Pineda y Liliana Peñate Pacheco por el apoyo en la logística de las salidas de campo y a Angie Almanza Espitia y Liseth Lastre Solís por las discusiones dadas entorno al documento.

REFERENCIAS

1. Díaz S, Cabido M. Vive la différence : plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Ecol Evol.* 2001;16(11):646–55. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
2. Pizano C, García H, editores. El bosque seco tropical en Colombia. Bogotá, D.C; Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH); 2014. Available from:
3. García H, Corzo G, Isaacs P, Etter A, editores. Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión. En: Pizano C. y García H, editores. El bosque seco tropical en Colombia. 1^{ra} ed. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 2014. 354 p. Available from:
4. Sánchez-Azofeifa G, Quesada M, Rodríguez J, Nassar J, Stoner K, Castillo A, et al. Research priorities for neotropical dry forests. *Biotropica.* 2005;37(4):477–85. <https://www.jstor.org/stable/30043216>
5. Cruz-Rodríguez C. Cambios de las coberturas y usos del suelo del paisaje rural risaraldense y su efecto en el ensamblaje de murciélagos a multiples dimensiones [Tesis de Maestría]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana; 2019. Available from:
6. Allan E, Manning P, Alt F, Binkenstein J, Blaser S, Blüthgen N, et al. Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecol Lett.* 2015;18(8):834–43. doi: 10.1111/ele.12469
7. Cardinale B, Duffy J, Gonzalez A, Hooper D, Perrings C, Venail P, et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature.* 2012;486:59–67. doi:10.1038/nature11148
8. Salgado-Negret B. La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. Bogotá, D.C; Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 2015. 236 p. Available from: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9299>

9. Grime J. Benefits of plant diversity to ecosystems : immediate, filter and founder effects. *J Ecol.* 1998;86(6):902–910. Available from: <https://www.jstor.org/stable/2648655>
10. Triana-D A, Sánchez J, Avella-M A, Gonzáles-Melo A, Torres-R F. Análisis funcional del secuestro de carbono en un bosque seco tropical interandino. *Caldasia.* 2019;41(1):179–93. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71304>
11. Ortega L. Evaluación comparativa del papel de diferentes coberturas vegetales sobre algunos servicios ecosistemicos en los Andes colombianos [Tesis de Maestría] Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2014. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/49306/>
12. Miranda J. Efecto de los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de árboles neotropicales en la transferencia de agua y nutrientes al suelo [Tesis de Maestría] Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; 2013. Available from: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4877>
13. Jobbágy E, Noretto M, Santoni C, Baldi G. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecol Austral.* 2008;18:305–22. Available from: <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Jobbagy%20et%20al%20008.pdf>
14. Aquino S. Impactos humanos en la provisión de servicios ecosistemicos por bosques tropicales muy húmedos: un enfoque de ecología funcional [Tesis de Maestría] Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; 2009. Available from: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/5221?show=full>
15. Carreón-Santos R, Valdez-Hernández J. Estructura y diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Rev Chapingo, Ser Ciencias For y del Ambient.* 2014;20(1):119–30. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.06.023
16. Granados-Victorino R, Sánchez-González A, Martínez-Cabrera D, Octavio-Aguilar P. Estructura y composición arbórea de tres estadios sucesionales de selva mediana subperennifolia del municipio de Huautla, Hidalgo, México. *Rev Mex Biodivers.* 2017;88(1):122–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.024>

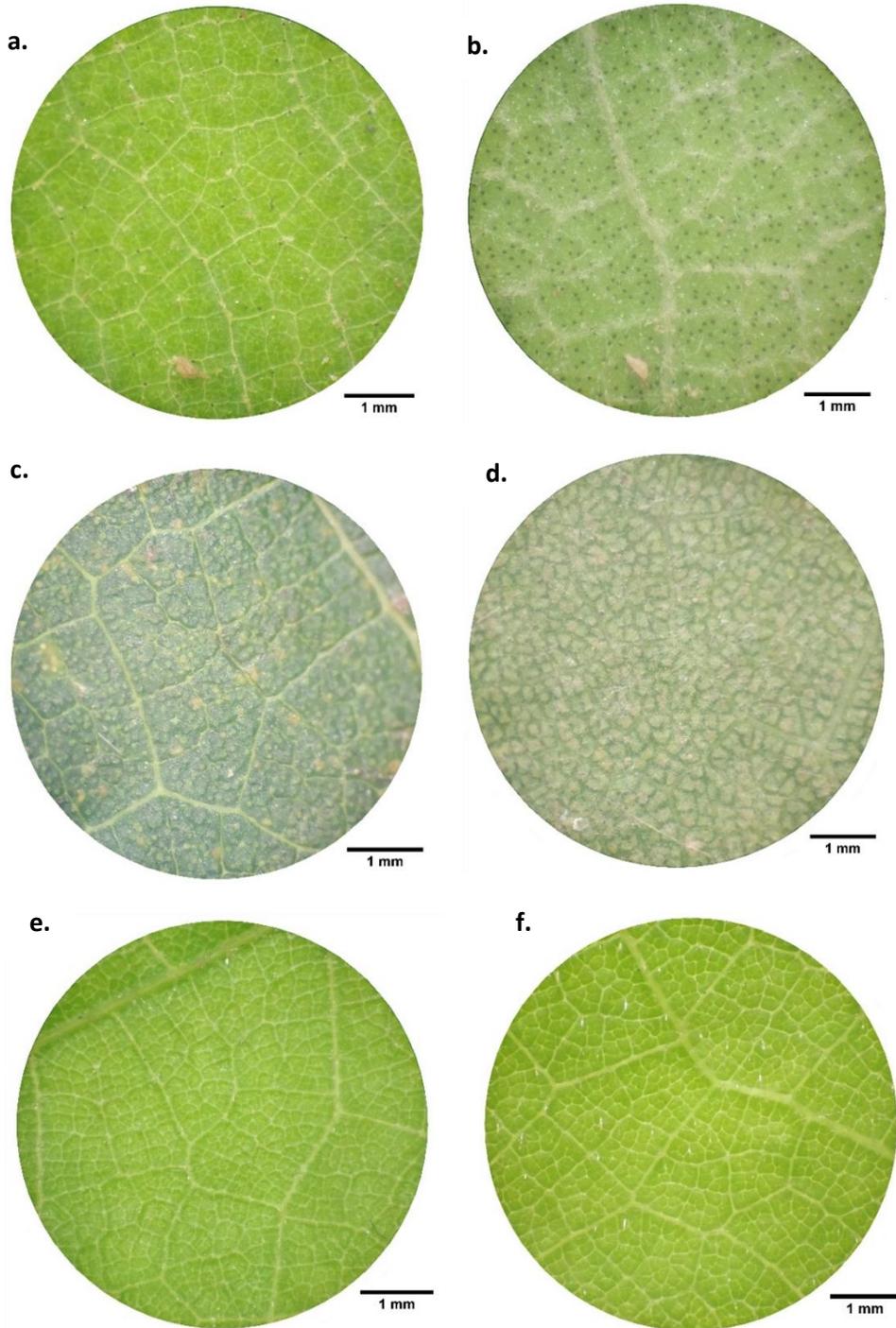
17. Sánchez H, García Y, Geada G, Arteaga Y, Rios J, Guerrero J. Efecto del grado de antropización en la estructura, en tres sitios fragmentados bosque siempreverde piemontano. *Rev Cuba Ciencias For.* 2017;5(2):172–180. Available from: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/266/html>
18. Chapin S, Zavaleta E, Eviners V, Naylor R, Vitousek P, Reynolds H, et al. Consequences of changing biodiversity. *Nature.* 2000;405:234–42. <http://dx.doi.org/10.1038/35012241>
19. García-leoz V, Villegas J, Suescún D, Flórez CP, Merino-martín L, Betancur T, et al. Land cover effects on water balance partitioning in the Colombian Andes : improved water availability in early stages of natural vegetation recovery. *Reg Env Chang.* 2017;18(4):13. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1249-7>
20. Cano L. Evaluación de la funcionalidad eco-hidrológica de intervenciones de restauración ecológica en áreas estratégicas para la conservación del recurso hídrico en zonas rurales de Medellín [Tesis de Maestría]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2018. Available from: <http://bdigital.unal.edu.co/71240/>
21. Alvarez R, Edgardo E. Capacidad de retención de agua por el dosel de los arbustos en la región Árida-Semiárida central de Argentina. *SEMIÁRIDA.* 2018. Vol 28(1): 31-40. DOI: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2018\(01\).3140](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2018(01).3140)
22. Mayfield M.M, Bonser S.P, Morgan J.W, Aubin I, McNamara S, Vesk P.A. What does species richness tell us about functional trait diversity? predictions and evidence for responses of species and functional trait diversity to land-use change. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 423–431. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00532.x>
23. Barragán-Hernández, Cajas-Girón Y. Cambios bromatológicos y estructurales en *Megathyrsus maximus* bajo cuatro arreglos silvopastoriles. *Cienc y Tecnol Agropecu.* 2019;20(2):231–44. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1458
24. Rangel-Ch O, Arellano H. Clima. En: Rangel-Ch O. editor. *Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad, Ecología y manejo ambiental.* 1^{ra} ed; Bogota, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales; 2010. p. 1–13. Available from:
25. Holdrige L.R. *Life Zone Ecology*, rev. ed. San José, Costa Rica: Tropical Science Center; 1967. Available from: http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf

26. Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, et al. Nuevo manual para la medición estandarizada de caracteres funcionales de plantas. *Aust J Bot.* 2013;61(3):167–234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
27. Cornelissen JHCA, Lavorel SB, Garnier EB, Díaz SC, Buchmann ND, Gurvich DEC, et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Aust J Bot.* 2003;51:335–80. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
28. Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Funct Ecol.* 2001;(1985):688–95. <https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x>
29. Rangel-Ch O, Velázquez A, editores. *Metodos de Estudio de la Vegetación. Tipos de vegetación en Colombia.* 1^{ra} edición. Bogota, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales; 1997. p. 378. Available from: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO20000010039>
30. Gower J. A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. *Biometrics.* 2007;27(4):857–71. doi: 10.2307/2528823
31. Interián-Ku M, Valdez-Hernández J, García-Moya E, Romero-Manzanares A, Borja-De-La-Rosa M, Vaquera-Huerta H. Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 2009. 85: 17-29
32. Costa E, Hess A, Guimaraes C. Estructura y crecimiento de los bosques de *Araucaria angustifolia* en el sur de Brasil. *Bosque.* 2017. Vol 38(2): 229-236.
33. Cisneros A, Moglia J, Álvarez J. Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb. *Ci. Fl.* 2019. Vol 29(2): 863-884.
34. Interián-Ku V, Vaquera-Huerta H, Valdez-Hernández J, García-Moya, Romero-Manzanares A, Borja-De-La-Rosa A. Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque tropical caducifolio, en México. *Chapingo.* 2014. Vol 20(3): 255-270.
35. Ehleringer J.R, Mooney H.A. Leaf hairs: Effects on Physiological Activity and Adaptative Value to a Desert Shrub. *Oecologia.* 1978. Vol 37: 183-200.
36. Sandquist D, Ehleringer J. Intraspecific variation of drought adaptation in brittlebush: leaf pubescence and timing of leaf loss vary with rainfall. *Oecologia.* 1998. Vol 133: 162-169.

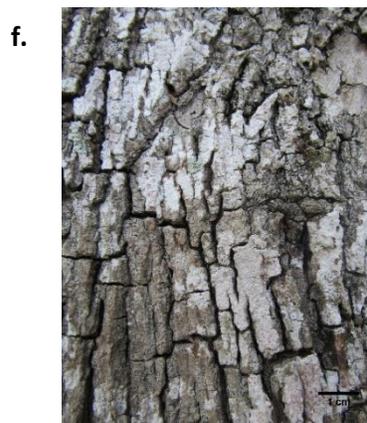
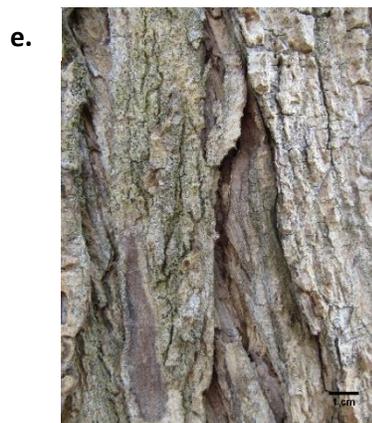
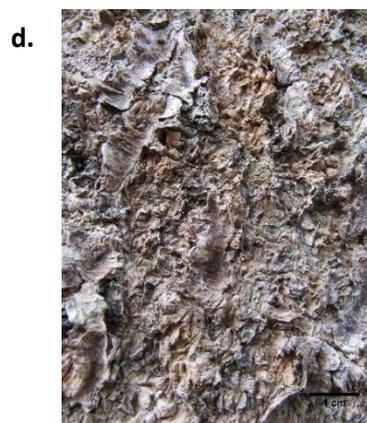
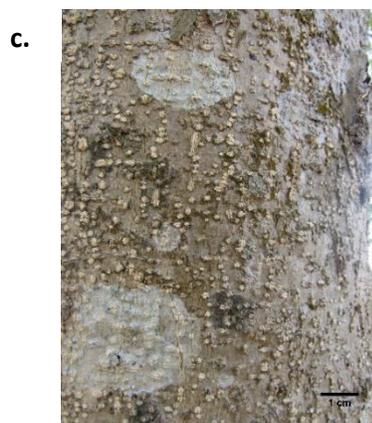
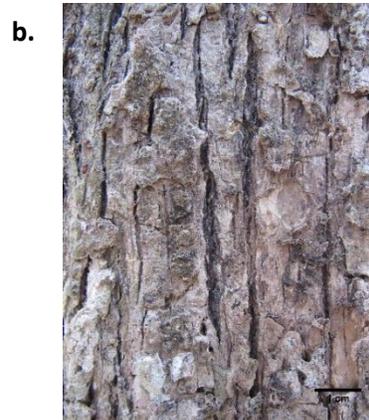
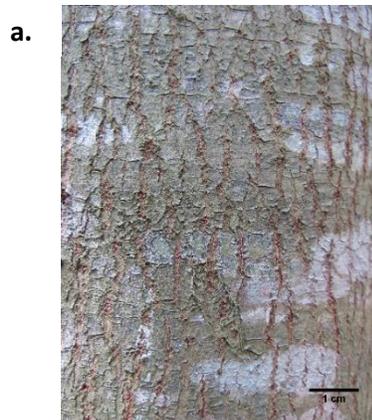
37. Wright I, Westoby M. Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, lifespan and physiology. *New Phytologist*. 2002. Vol 155: 403-416
38. Crockford R.H, Richardson D.P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*. 2000. Vol 14: 2903-2920.
39. Nájara J, Méndez G, González H. Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana*. 2009. Vol 26(1).
40. Bermeo D. Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas. [Tesis de Maestría]. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza; 2010.
41. Poorter L, Boot R.G.A, Hayashida-Oliver Y, Leigue-Gomez J, Peña-Carlos M, Zuidema P.A. Dinámica de especies arbóreas en un bosque húmedo tropical en el norte de la Amazonía Boliviana. En: Mostacedo B, Fredericksen T.S. Editores. *Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia*. Santa Cruz: El País;2001. 53-76. Available from:
<http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/154.pdf#page=60>
42. Rodríguez-Ortiz G, Aldrete A, González-Hernández V, Santos-Posada H, Gómez-Guerrero A, Fierros-González A. ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia*. 2011. Vol 45(6): 719-732.
43. Vallejos-Barra O.S, Pizarro-Tapia R.M, Vásquez M.A, Balocchi-Contreras F.J, Morales-Calderón C.M, León-Gutiérrez L, Vega-Torres L.P. Efecto de la vegetación en la intercepción de la precipitación en la precordillera de la región del Maule, Chile. *Chapingo*. 2010. Vol 16(2): 207-214.
44. Magliano P, Whitworth-Hulse J, Baldi G. Interception, throughfall and stemflow partition in drylands: Global synthesis and meta-analysis. *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 568: 638-645.
45. Park A, Lee J. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol 225:1915-1925.
46. Johnson M, Lehmann J. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. *Ecoscience*. 2006. Vol (13): 324-333. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-13-3-324.1>
47. Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of*

Hydrology. 2007. Vol 335 (1-2): 37-54. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216940600583X>

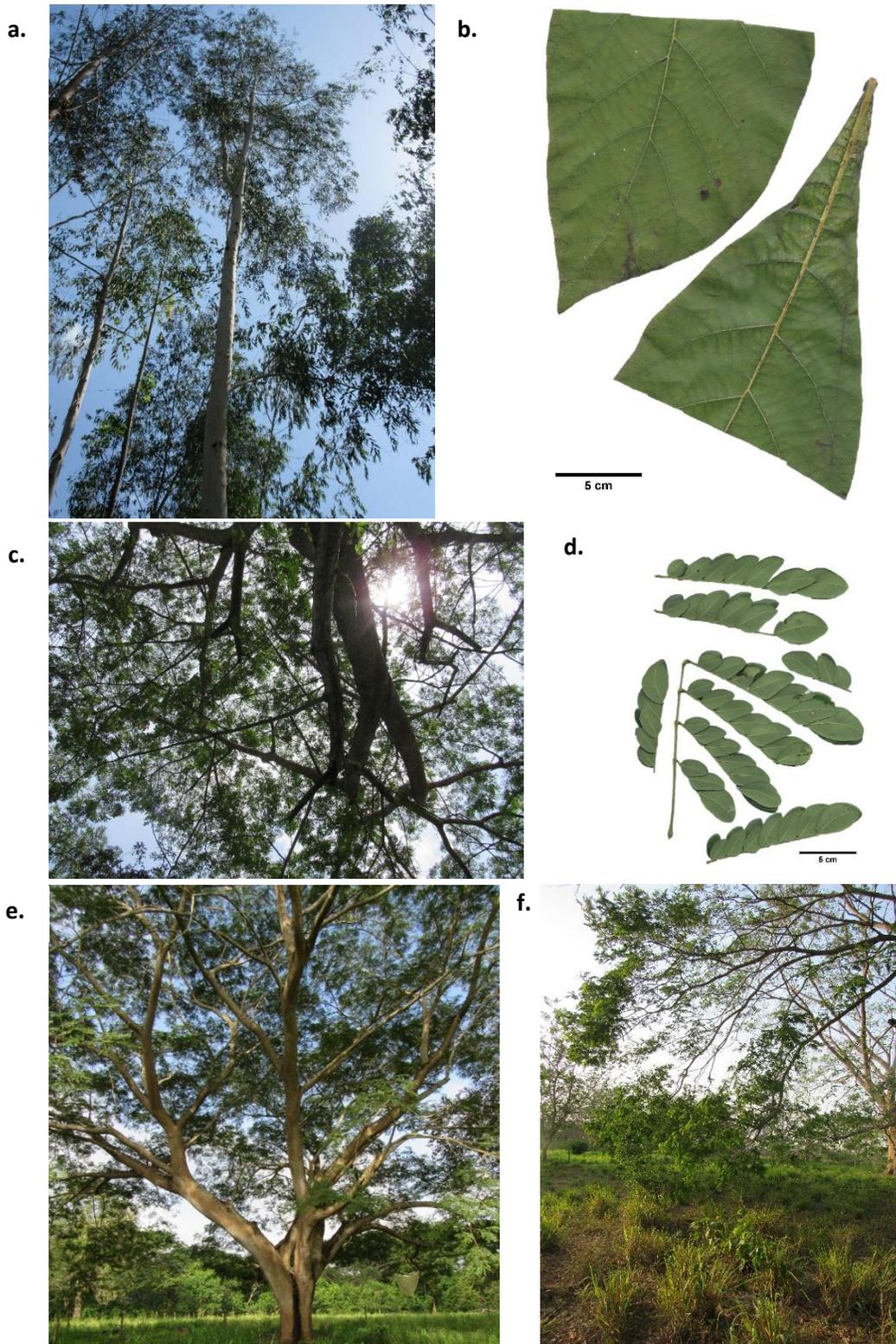
Anexos



Anexo 1. Indumento foliar. **a./b.** haz glabro/envés pubescente *T. grandis*; **c./d.** haz glabro/ envés pubescente *M. tinctoria*; **e./f.** haz pubescente/envés pubescente *G. ulmifolia*.



Anexo 2. TC de especies evaluadas en la investigación **a.** Corteza Fis o Sur en *C. pyriformis*; **b.** Corteza Fis o Sur en *T. grandis*; **c.** Corteza LgLen en *M. tinctoria*, **d.** Corteza LVe en *E. cyclocarpum*; **e.** Corteza Fis o Sur en *A. saman*; **f)** Corteza Fis o Sur en *G. ulmifolia*.



Anexo 3. Rasgos de las especies evaluadas en la investigación: **a.** AC y DC en *E. grandis*; **b.** AF en *T. grandis*; **c.** DC en *A. saman*; **d.** AF en *A. saman*; **e.** DAP y ARC en *E. cyclocarpum*; **f.** AC en *E. cyclocarpum*.