



**APROXIMACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL
SOBRE LA PRECIPITACIÓN INCIDENTE EN RELICTOS DE
BOSQUE Y SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL MUNICIPIO EL
RETORNO (GUAVIARE – COLOMBIA)**

JUAN JAIR VITAR MENDOZA

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
PROGRAMA DE BIOLOGIA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2018**

**APROXIMACIÓN DEL EFECTO LA COBERTURA VEGETAL
SOBRE LA PRECIPITACIÓN INCIDENTE EN RELICTOS DE
BOSQUE Y SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL MUNICIPIO EL
RETORNO (GUAVIARE – COLOMBIA)**

JUAN JAIR VITAR MENDOZA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Biólogo

Directora:

Luisa Fernanda Pinzón Pérez, M.Sc., Bióloga

Codirectora:

Laura Isabel Mesa Castellanos, M.Sc., Bióloga

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
PROGRAMA DE BIOLOGIA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2018**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto “*Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*”, financiado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “SINCHI”.

Agradezco a los investigadores y profesionales del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “SINCHI” – Sede Guaviare por brindar sus instalaciones, equipos y personal técnico necesarios para el desarrollo de este proyecto.

A Luisa F. Pinzón Pérez por dirigir, asesorar y apoyar este proyecto en un momento bastante importante, además de formarme en el área de Ecología Funcional. A la profesora Laura I. Mesa por codirigir este trabajo y hacer un acompañamiento excelente en todo el proceso de desarrollo del proyecto. A los evaluadores Mary Lee Berdugo y Oscar Rojas por sus aportes para mejorar el proyecto y el manuscrito final.

Agradezco al Doctor Jaime A. Barrera, por su coordinación y apoyo durante el desarrollo de campo del proyecto. A todas aquellas personas que me brindaron la mano en campo como Angela Camargo, Mireya Pérez, Elbenis Quintero, Hilda Betancourt y Dimar López, a Don Álvaro Pabón y Don Luis Vergara que permitieron que este trabajo se realizara en sus predios.

A mis compañeros y amigos que hicieron más llevadera y amena mi formación como biólogo, en especial a Karen Sandoval, Leandro Zapata, Angie Herrera, Yulieth Navarro, Catalina Pérez, Yinny Cano, Mayira Bocanegra y Angélica Rincón.

Al programa de Biología y a la Universidad de los Llanos que me formó como Biólogo y a todas las personas que de alguna u otra forma aportaron al presente trabajo.

Quiero dedicar este trabajo a dos personas, en primer lugar, a mi madre Denis Vitar Mendoza, que siempre me ha apoyado y gracias a su tenacidad y fortaleza por salir adelante aprendí a terminar y concluir todo lo que inicias por más tropiezos que se den en el camino. Y al profesor Jorge Pachón García, que siempre me inspiró por su amor desinteresado a la docencia y a querer mejorar este país con base en la educación.

RESUMEN

En el departamento del Guaviare el bosque con mayor extensión es el *Bosque denso alto de tierra firme*, que ha sido degradado por la comunidad en los últimos años para el desarrollo de actividades agropecuarias y el crecimiento urbano. Esta fragmentación ha generado alteraciones en el suelo y en el microclima, lo que puede a su vez tener implicaciones en la regulación hídrica de los bosques de la región. En este sentido el objetivo general de éste estudio fue analizar los rasgos funcionales de especies vegetales en coberturas de bosque y en sistemas agroforestales, y su relación con la redistribución de la precipitación incidente en el municipio El Retorno, Guaviare.

Para esto se seleccionaron las especies que pertenecían al estrato arbóreo de ambos ecosistemas con 38,5% para los relictos de bosque y 71% para los sistemas agroforestales respecto a la biodiversidad total. Se midieron 14 rasgos funcionales que según la literatura estaban asociados al servicio ecosistémico hídrico y se trabajó dentro de tres parcelas de 50 x 50 m por cada cobertura, también, una parcela control en pastizales. Se instalaron 50 pluviómetros por parcela con el fin de medir la precipitación directa, también, se ubicaron 60 collarines en doce especies seleccionadas, ocho para bosques y cinco para los sistemas agroforestales, así se midió la precipitación translocada. Además, se usaron los datos de las precipitaciones del IDEAM arrojados por las estaciones climáticas aledañas al área de estudio, y con esta información se calculó la intercepción de la precipitación por el dosel.

Primero se determinó el aporte hídrico de la precipitación incidente para cada sistema con resultados similares en ambos y porcentajes superiores al 60% para escurrimiento por el dosel. Sin embargo, el escurrimiento fustal fue mayor en sistemas agroforestales con un 0,9% respecto a un 0,5% de la precipitación total. Este aumento se debió principalmente a la cantidad de individuos de las especies utilizadas que presentaban estas parcelas. En cuanto a la retención de agua en el suelo, esta fue mucho mayor en bosques, lo que puede ser explicado por la textura del suelo y la cobertura densa de estos ecosistemas.

La intercepción de agua lluvia fue relativamente alta para los dos ecosistemas, lo que se explica por los eventos de lluvia prolongados e intensos y a que posiblemente los valores de escurrimiento por el dosel pudieron ser subestimados.

Finalmente, de los 14 rasgos funcionales propuestos se analizaron sólo 11 debido a que dos de ellos presentaban variaciones similares que eran explicadas por otros rasgos. Dichos rasgos correlacionados con las variables hídricas permitieron establecer agrupaciones de plantas de acuerdo con su desempeño en el ciclo hidrológico: “interceptoras”, “captadoras de dosel”, “captadoras de fuste” y “consumidoras”. El análisis conjunto de los resultados permite señalar una mayor eficiencia del bosque para distribuir la precipitación incidente dentro del mismo.

Se recomienda en trabajos posteriores realizar mediciones durante un tiempo más prolongado e incluir otras variables hídricas importantes para la evaluación del servicio ecosistémico hídrico que permitan análisis más completos sobre la diversidad funcional asociada a este servicio. Sin embargo, consideramos que la información preliminar que brinda este estudio sobre la redistribución de la precipitación incidente para los bosques del Guaviare y los sistemas agroforestales de la región es un primer paso para entender un poco más el funcionamiento de los ecosistemas.

Palabras clave. Esgurrimiento, precipitación incidente, rasgos funcionales, regulación hídrica, bosques de tierra firme.

ABSTRACT

The ecosystem with the largest extension in the Guaviare department is the High dense forest of firm ground, which had been degraded by the community in the last past years due to the development of agricultural activities and urban growth. This fragmentation has generated alterations in the soil and microclimate, which can affect the water regulation of the region's forests. Therefore, the general aim of this study was to analyse plant species functional traits in forest and agroforestry systems covers, and their relation to incident precipitation redistribution in El Retorno municipality, Guaviare.

To accomplish the stated, species from the arboreal stratum were selected in both ecosystems, with 38.5% for forest coverage, and 71% for agroforestry systems, in regard to total biodiversity. 14 functional traits associated with the water ecosystem service (according to previous works) were measured and three plots of 50x50 m were established in each coverage, in addition to one more control plot in grassland. 50 rain gauges were installed in each plot to measure the throughfall, also, 60 collars were located in twelve selected species, eight for forest and five for agroforestry systems, and that is how steamflow was measured. Furthermore, the IDEAM data for rainfalls in nearby climatic stations was used to calculate the canopy interception of rainfall.

First, the incident rainfall water input was determined for each system, obtaining similar results and over 60% percentages for steamflow. However, the steamflow was bigger in agroforestral systems with 0.9% in comparison to 0.5% of the total rainfall. This was mainly due to the amount of individuals in these plots. Regarding the water retention of the soil, it was much greater in forests, possibly because of the ground texture and dense canopy of the ecosystem.

The rainfall interception was relativity high for both ecosystems, which is related to the prolonged and intense rain periods during the study time, and also because of the possible underestimation of throughfall values.

Finally, from the 14 functional traits, only 11 were analysed because two had similar variations that were explained by other traits. When correlating those traits with water variables, groups of plants were established as follow: "Interceptors", "Canopy catchers", "Bore catchers" and "consumers". The joint analysis of the results allows to point out a forests greater efficiency to distribute the incident precipitation.

For future studies larger time frames for the measurements are recommended, and also the inclusion of other water variables important for the water ecosystem service to perform a more complete analysis of the functional diversity associated with this ecosystem service. Nevertheless, we consider that the preliminary information given by this research about the redistribution of incident precipitation for Guaviare forests and agroforestry system of the region, are a first approach to the understanding of these ecosystems.

Key words. Stemflow, incident precipitation, functional traits, water regulation, forest of firm ground.

Tabla de Contenido

CAPITULO 1: INFORME FINAL	18
1.1. MARCO TEÓRICO	19
1.1.1. Servicios ecosistémicos (SE)	19
1.1.2. Servicios Ecosistémicos Hídricos (SEH).....	20
1.1.3. Ecurrimiento por el dosel o precipitación directa	20
1.1.4. Escorrentia cortical o precipitación translocada	20
1.1.5. Intercepción por el dosel	21
1.1.6. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo	21
1.1.7. Diversidad funcional y rasgos funcionales	22
1.1.7.1. Rasgos foliares	23
1.1.7.2. Rasgos del fuste, copa y otros	24
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
1.4. OBJETIVOS.....	30
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	31
1.6. ÁREA DE ESTUDIO	32
1.6.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme.....	33
1.6.2. Sistemas agroforestales y pastizales.....	33
1.7. MÉTODOS.....	36
1.7.1. Establecimiento de parcelas y toma de datos.....	36
1.7.2. Ecurrimiento por el dosel (E)	36
1.7.3. Ecurrimiento fustal (Ef)	38
1.7.4. Capacidad de retención de agua disponible (CRAD).....	40
1.7.5. Intercepción de la copa de los árboles (ICA)	42
1.7.6. Selección y medición de rasgos funcionales.....	42
1.7.7. Análisis de la información	45
1.8. RESULTADOS	47
1.8.1. Características de la lluvia.....	47
1.8.2. Ecurrimiento por el dosel (E)	47
1.8.3. Ecurrimiento fustal (Ef)	50
1.8.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo	52
1.8.5. Intercepción de las copas de los árboles (ICA).....	53
1.8.6. Análisis de los rasgos funcionales	54

1.8.7. Relación de los rasgos funcionales y la precipitación incidente	61
1.9. DISCUSIÓN.....	65
1.9.1. Características de la lluvia.....	65
1.9.2. Ecurrimiento por el dosel	65
1.9.3. Ecurrimiento fustal	66
1.9.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo	67
1.9.5. Intercepción de las copas de los árboles.....	68
1.9.6. Análisis de los rasgos funcionales y su relación con la precipitación incidente ...	69
1.9.7. Análisis preliminar de agrupaciones de plantas	70
1.10. CONCLUSIONES	72
1.11. RECOMENDACIONES	73
1.12. BIBLIOGRAFÍA.....	74
1.13. ANEXOS.....	87
1.13.1. Estadística descriptiva de las especies evaluadas en el estudio.....	87
1.13.2. Formato de lectura de datos SHE	94
1.13.3. Formato de rasgos funcionales.....	95
CAPÍTULO 2: ARTÍCULO	96
2.1. RESUMEN.....	97
2.2. ABSTRACT.....	98
2.3. INTRODUCCIÓN	99
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	101
2.4.1. Área de Estudio.....	101
2.4.2. Métodos	103
2.4.2.1. Selección de especies	103
2.4.2.2. Medición de variables hídricas	104
2.4.2.3. Medición de rasgos funcionales	106
2.4.2.4. Procesamiento de datos y análisis estadístico	107
2.5. RESULTADOS	108
2.5.1. Ecurrimiento por el dosel (E)	108
2.5.2. Ecurrimiento fustal (Ef)	109
2.5.3. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo	110
2.5.4. Intercepción de las copas de los árboles (ICA).....	111
2.5.5. Análisis de los rasgos funcionales	111

2.5.6. Relación de los rasgos funcionales y la precipitación incidente	114
2.6. DISCUSIÓN.....	117
2.6.1. Escurrimiento por el dosel	117
2.6.3. Escurrimiento fustal.....	118
2.6.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo	118
2.6.5. Intercepción de las copas de los árboles	119
2.6.6. Análisis de los rasgos funcionales y su relación con la precipitación incidente .	120
2.6.7. Análisis preliminar de agrupaciones de plantas a partir del PCA	121
2.7. CONCLUSIONES	122
2.8. RECONOCIMIENTOS	123
2.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: INFORME FINAL

- FIGURA 1.** Efecto y respuesta de la diversidad funcional (DF) como factor modificador de procesos ecosistémicos y manejador de cambio global. 1. Efecto directo de DF sobre los servicios ecosistémicos. 2. DF regula procesos ecosistémicos y a su vez los servicios ecosistémicos. Fuente: Adaptado de Diaz et al., (2004).....23
- FIGURA 2.** Registros de precipitación y temperatura promedio para los periodos de 1987-2016 de la estación meteorológica El Trueno, municipio El Retorno, Guaviare. **Fuente:** Datos otorgados por el IDEAM, 2018.....32
- FIGURA 3.** Mapa de localización de las parcelas de estudio.....35
- FIGURA 4.** Representación gráfica del pluviómetro para medir el escurrimiento del dosel.....37
- FIGURA 5. a)** Representación esquemática de la disposición de 50 pluviómetros para medir el escurrimiento; **b)** Fotografía de los mismos en la parcela. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).....37
- FIGURA 6.** Imágenes de los collarines instalados para medir la precipitación translocada. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).....39
- FIGURA 7.** Imágenes del procedimiento en campo para el cálculo de Capacidad de campo (a) y punto de marchitez permanente (b). **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).....41
- FIGURA 8.** Imágenes de las categorías para la textura de la hoja. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).....45
- FIGURA 9.** Imágenes de las categorías para la corteza del tronco. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).....45
- FIGURA 10.** Precipitación promedio total para los meses de enero a septiembre en el municipio El Retorno para el año 2016. Pi: datos tomados por las estaciones metereológicas (El Trueno y San José), Ppc: datos obtenidos con la parcela control de pastizales y T: temperatura promedio.....47
- FIGURA 11.** Evaluación de la precipitación directa en cada una de las parcelas de ambas coberturas. SA: Sistemas agriforestales; RDB: Relictos de bosque.....49
- FIGURA 12.** Escurrimiento fustal medio semanal y relación porcentual entre el escurrimiento fustal y la precipitación incidente en función de la precipitación neta para bosque (a) y sistemas agroforestales (b). Cada punto representa las semanas evaluadas.....52

FIGURA 13. Porcentaje de la capacidad de retención de agua disponible en el suelo para las parcelas analizadas en el estudio.....	53
FIGURA 14. Inteccción de agua de lluvia por las copas de los árboles (ICA) promedio mensual para cada cobertura en todo el periodo de estudio.....	54
FIGURA 15. Analisis de componentes principales para las especies de bosque (a) y las especies de sistemas agroforestales (b).....	56
FIGURA 16. Análisis de componentes principales. a. para especies de los relictos de bosque y b. para especies de los sistemas agroforestales.....	60
FIGURA 17. Gráficas de dispersión que muestran la tendecia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para bosque (RDB) en el periodo de estudio; cada punto representa a los individuos evaluados.....	61
FIGURA 18. Gráficas de dispersión que muestran la tendecia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para los sistemas agroforestales (SA) en el periodo de estudio; cada punto representa a los individuos evaluados.....	63

CAPÍTULO 2: ARTÍCULO

FIGURA 1. Mapa de localización del área de estudio en el municipio El Retorno, Guaviare Colombia. SA: Sistemas agroforestales; RDB: relictos de bosque.....	102
FIGURA 2. Organización de pluviómetros y collarines en las parcelas; a. Representación esquemática de la disposición de 50 pluviómetros en la parcela; b. Pluviómetros distribuidos dentro de la parcela; c. Sistema de collarines instalado para medir la precipitación translocada; d. Base del tronco con recipiente contenedor de agua.....	105
FIGURA 3. Evaluación de la precipitación directa en cada una de las parcelas de ambas coberturas. SA: Sistemas agroforestales; RDB: Relictos de bosque.....	108
FIGURA 4. Escurrimiento fustal medio semanal y relación porcentual entre el escurrimiento fustal y la precipitación incidente en función de la precipitación neta para bosque (a) y sistemas agroforestales (b).....	110

FIGURA 5. Intecccpci3n de agua de lluvia por las copas de los 1rboles (ICA) promedio mensual para cada cobertura en todo el periodo de estudio.....	111
FIGURA 6. An1lisis de componentes principales. a. para especies de los relictos de bosque y b. para especies de los sistemas agroforestales.....	113
FIGURA 7. An1lisis de regresi3n l1neal entre los rasgos que presentaron una correlaci3n significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para bosque (RDB) en el periodo de estudio; cada punto representa los individuos de las especies evaluadas.....	114
FIGURA 8. An1lisis de regresi3n l1neal entre los rasgos que presentaron una correlaci3n significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para los sistemas agroforestales (SA) en el periodo de estudio; cada punto representa los individuos de las especies evaluadas.....	116

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1: INFORME FINAL

TABLA 1. Clasificación de los servicios ambientales. Fuente: Haines-Young & Potschin (2018).....	19
TABLA 2. Especies seleccionadas para la realización del estudio según APG IV. SA: sistemas agroforestales (5 especies) y RDB: relictos de bosque (8 especies).....	39
TABLA 3. Rasgos funcionales seleccionados para la medición de la regulación hídrica en las especies priorizadas. Los rasgos con un (*) tienen una explicación más extensa en el texto.....	43
TABLA 4. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.....	48
TABLA 5. Escurrimiento bajo el dosel medio semanal en cada parcela evaluada y la relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio; S: seca, LI: lluvia y E: Escurrimiento.....	49
TABLA 6. Escurrimiento fustal promedio semanal para las especies de los sistemas agroforestales durante el período de estudio. D.E. = Desviación estándar.....	50
TABLA 7. Escurrimiento fustal promedio semanal para las especies de los relictos de bosque durante el período de estudio. D.E. = Desviación estándar.....	51
TABLA 8. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.....	51
TABLA 9. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) y test LSD Fisher; gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05. Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes.....	53
TABLA 10. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.....	54
TABLA 11. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque Rep = Repeticiones, n = número de especies, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	55

TABLA 12. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales Rep = Repeticiones, n = número de especies, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	55
TABLA 13. Coeficientes de correlación de spearman entre rasgos funcionales para la cobertura boscosa. De la diagonal hacia abajo se presentan los coeficientes de correlación y de la diagonal hacia arriba la significancia ($\alpha=0,05$).....	58
TABLA 14. Coeficientes de correlación de spearman entre rasgos funcionales para la cobertura agroforestal. De la diagonal hacia abajo se presentan los coeficientes de correlación y de la diagonal hacia arriba la significancia ($\alpha=0,05$).....	58
TABLA 15. Correlaciones entre rasgos involucrados con el servicio ecosistémico hídrico para cada cobertura.....	59
TABLA 16. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Cedrelinga cateniformis</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	87
TABLA 17. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Oenocarpus bataua</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	87
TABLA 18. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Protium sagotianum</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	88
TABLA 19. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Pseudolmedia laevis</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	88
TABLA 20. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Goupia glabra</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	89
TABLA 21. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Terminalia amazonia</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	89
TABLA 22. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie <i>Virola elongata</i> Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....	90
TABLA 23. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura	

de bosque para la especie *Euterpe precatoria* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....90

TABLA 24. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Cedrelinga cateniformis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....91

TABLA 25. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Cariniana pyriformis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....91

TABLA 26. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Minquartia guianensis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....92

TABLA 27. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Aspidosperma* sp. Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....92

TABLA 28. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Centrolobium paraense* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.....93

CAPÍTULO 2: ARTÍCULO

TABLA 1. Esguerrimiento bajo el dosel medio semanal en cada parcela evaluada y la relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio; RDB: relictos de bosque; SA: sistemas agroforestales; PAc: parcela control y E: Esguerrimiento..... 109

TABLA 2. Correlaciones entre rasgos involucrados con el servicio ecosistémico hídrico para cada cobertura.....112

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

- AF:** Área foliar
- AFE:** Área foliar específica
- CC:** Capacidad de campo
- CCE:** Capacidad de carga de epífitas
- Co_d:** Diámetro de la copa
- CRAD:** Capacidad de retención de agua disponible
- CRAH:** Contenido relativo de agua en la hoja
- CRAR:** Contenido relativo de agua en la rama
- DAP:** Diámetro a la altura del pecho
- DC:** Densidad de la copa
- DF:** Diversidad funcional
- E:** Escurrimiento
- EF:** Escurrimiento fustal
- FC:** Forma de la copa
- GH:** Grosor de la hoja
- HT:** Altura total
- HF:** Altura del fuste
- ICA:** Intercepción de las copas de los árboles
- I.V.I.:** Índice de valor de importancia
- PMP:** Punto de marchitez permanente
- PI:** Precipitación incidente
- SA:** Sistemas agroforestales
- SEH:** Servicios ecosistémicos hídricos
- SE:** Servicios ecosistémicos
- RDB:** Relictos de bosque
- TxM:** Textura de la madera

CAPITULO 1

INFORME FINAL

APROXIMACIÓN DEL EFECTO LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PRECIPITACIÓN INCIDENTE EN RELICTOS DE BOSQUE Y SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL MUNICIPIO EL RETORNO (GUAVIARE – COLOMBIA)

JUAN JAIR VITAR MENDOZA

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
PROGRAMA DE BIOLOGIA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2018**

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. Servicios ecosistémicos (SE)

El estudio de los servicios que brindan los ecosistemas ha surgido en gran medida por una de sus temáticas centrales, que es la necesidad de trabajar en conjunto con las comunidades locales para generar conciencia y evitar la destrucción de los ecosistemas que ha venido ocurriendo en las últimas décadas (Carpenter *et al.*, 2009; Fisher, *et al.*, 2009).

Dentro de los bienes y servicios que brindan los ecosistemas se encuentran la oferta de materias primas el cual es catalogado como servicio de provision, y que es fundamental para el hombre ya que este ofrece el autosustento y comercialización de alimentos, agua, madera, fibras, etc. (*Millenium Ecosystem Assesment*, 2005; Díaz, *et al.*, 2004). Por otra parte los ecosistemas ofrecen servicios secundarios como son los de regulación y soporte, los cuales evitan desastres naturales, y ayudan a la generación de oxígeno a través de la fotosíntesis (ESPA-AA, 2008; Balvanera, 2012). Además estos servicios (regulación y soporte) se obtienen gracias a la dinámica de los procesos ecológicos, donde se incluyen los servicios ecosistémicos hídricos, que permiten el desarrollo del ciclo hidrológico y regulan la contribución de agua local (Brauman *et al.*, 2007; Lara *et al.*, 2013).

En la tabla 1 se exhibe una de las propuestas de clasificación de estos servicios ecosistémicos de acuerdo con Haines-Young & Potschin (2018).

TABLA 1. Clasificación de los servicios ambientales. **Fuente:** Haines-Young & Potschin (2018)

Tipo	Definición	Ejemplos
Servicios de aprovisionamiento o suministro	Productos que se obtienen de los ecosistemas ya sea para alimentación, energía, productos abióticos y agua.	Alimentación, madera, fibras, combustible, bioquímicos, recursos genéticos.
Servicios de regulación y mantenimiento	Todas las formas en que los organismos vivos pueden regular el ambiente que puede afectar la salud, seguridad o comodidad del bienestar humano.	Clima, control de enfermedades, regulación del agua, polinización.
Servicios culturales	Aportes intangibles que se obtienen de los ecosistemas que afectan el estado físico y mental de las personas.	Recreación y ecoturismo, enriquecimiento espiritual y religioso, educativo.

1.1.2. Servicios Ecosistémicos Hídricos (SEH)

Estos servicios son todos aquellos que incluyen el recurso hídrico desde el abastecimiento de agua para uso doméstico hasta la mitigación de los daños causados por las inundaciones. Esta definición es establecida por el *Millenium Ecosystem Assesment* (2005) y apoyada por varios autores (Manson, 2004; Brauman *et al.*, 2007; Lara *et al.*, 2013; Fernández, 2007), sin embargo en la actualidad otros autores la manejan como servicios de regulación del ciclo hidrológico y del flujo de agua (Aquino, 2009; Haines-Young & Potschin, 2018).

La interdependencia entre la biodiversidad con el ciclo hidrológico generan cambios en factores como la evaporación, la transpiración, la humedad del suelo, el agua superficial y freática, y el agua costera, que dentro de una perspectiva integral, sustentada por las unidades hidrológicas básicas definen el potencial hídrico de una región (Brauman *et al.*, 2007; Fernández, 2007; Manson, 2004). Dicho potencial puede ser derivado de los ecosistemas forestales que alteran la intensidad, captación y retención de la precipitación incidente que se conoce como la principal entrada de agua al bosque a través del dosel (Aquino, 2009; León *et al.*, 2010; Siles *et al.*, 2010). Esta redistribución del agua lluvia abarca tres procesos esenciales: *precipitación directa*, *precipitación translocada* e *intercepción por el dosel*.

1.1.3. Escurrimiento por el dosel o precipitación directa

Se define como el agua que llega al suelo a través de la cobertura del ecosistema y es la principal fuente de agua en un ecosistema forestal terrestre (Levia & Germer, 2015; Liang *et al.*, 2009; Siles *et al.*, 2010). Las características estructurales del dosel y de las especies como la densidad de follaje, presencia de epífitas y textura de la corteza influyen en la intercepción y cuantificación del agua (Fernández, 2007; Aquino, 2009). Por otro lado la magnitud y frecuencia de las lluvias, velocidad del viento y la evapotranspiración también afectan la precipitación directa (Bonan, 2003; Levia & Germer, 2015).

1.1.4. Escorrentia cortical o precipitación translocada

También denominada como Escurrimiento Fustal (EF), es la precipitación que drena de las hojas periféricas y ramas, y se canaliza en el tronco de las plantas (Crockford & Richardson, 2000). Representa una pequeña fracción de la precipitación total que incide en un área

boscosa, pero tiene influencia significativa en la humedad del suelo y distribución de la vegetación del sotobosque. Dicho escurrimiento puede estar relacionado con rasgos como tamaño de la planta, rugosidad de la corteza, forma y tamaño de las copas, entre otros (Fernández, 2007; Levia & Germer, 2015; Olmos, 2006; Siles *et al.*, 2010).

1.1.5. Intercepción por el dosel

Es definida como la diferencia entre la precipitación incidente que cae sobre la cobertura de la vegetación y la precipitación directa que llega al suelo (Dominguez, 1997; Gómez-Tagle Ch *et al.*, 2015; Iroume & Huber, 2000; Levia & Germer, 2015). Esta diferencia no llega al suelo del bosque, sino que regresa a la atmósfera a través de la evaporación, es así que cuanto mayor sea la densidad de la cobertura vegetal mayor volumen será interceptado y menor será el escurrimiento en el ecosistema (García, 2006; Aquino, 2009, Siles, *et al.*, 2010). También se ve influenciado por otros factores como son la intensidad de la lluvia, duración, dirección, ángulo y tamaño de la gota (Crockford & Richardson, 2000; Fernández, 2007).

1.1.6. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo

Los suelos desempeñan un papel clave en el abastecimiento de agua limpia al impedir que los contaminantes se infiltren en el agua freática; y también es relevante en la resiliencia de las inundaciones y sequías (Ataroff, 1997; Bautista *et al.*, 2004; Huntington, 2007). Además, los suelos cumplen con la función de capturar y almacenar agua lluvia para el mantenimiento de los procesos fisiológicos de la vegetación y así, reduce al mínimo la superficie de evaporación y maximiza la eficacia y productividad en el uso del suelo (Porta *et al.*, 2003; FAO, 2015; Peña-Venegas & Cardona, 2010; Rojas, 2015).

La humedad del suelo en general se entiende como la cantidad o porcentaje de agua máximo que el suelo puede retener, este porcentaje se define entre la “capacidad de campo” y el “punto de marchitez permanente”, que a su vez son definidos como la fracción volumétrica de agua en el suelo a potenciales hídricos de 10-33 y 1500 kPa, respectivamente (Huntington, 2007; Chicas *et al.*, 2014). Esta capacidad de retención de agua (CRAD) variará según la textura, el contenido de materia orgánica, la profundidad de enraizamiento y la estructura del suelo. Una de las pautas de la ciencia del suelo es que la materia orgánica se relaciona positivamente con el CRAD permitiéndole retener casi 20 veces su peso, ya que aumenta la capacidad de campo de los suelos (Romano *et al.*, 2002;

Huntington, 2007; Reichert *et al.*, 2009; da Costa *et al.*, 2013). También, mejora la agregación del mismo aumentando propiedades físicas como la formación de poros lo que mejora la infiltración y percolación del suelo (Porta *et al.*, 2003; Huntington, 2007).

1.1.7. Diversidad funcional y rasgos funcionales

La Diversidad Funcional (DF) es una de las dimensiones de la diversidad, definida como la influencia de los componentes de la biodiversidad en la organización y funcionalidad del ecosistema (Casanoves, *et al.*, 2011). La DF es medida por los valores y rango de los rasgos de las especies presentes en un ecosistema (Fernández, 2007; Aquino, 2009; de Bello *et al.*, 2010). Estos rasgos funcionales son las características morfológicas, fisiológicas o fenológicas medidas a nivel individual, que impactan el éxito biológico a través de sus relaciones con el crecimiento, reclutamiento y mortalidad (Gitay *et al.*, 1999; Lavorel & Garnier, 2002; Salgado-Negret, 2015).

Los rasgos funcionales han permitido establecer en el caso de la vegetación diferentes tipos funcionales que han funcionado como indicadores, para predecir o explicar distintos procesos, estrategias o respuestas de las plantas ante diferentes condiciones ambientales (Díaz *et al.*, 2004; Lavorel *et al.*, 2007; Suárez-Castro *et al.*, 2018). Estas agrupaciones de especies pueden ser o no de la misma filogenia pero se caracterizan por tener una función similar en los ecosistemas, esto amplía el concepto de nicho ecológico a un nicho funcional que está relacionado con la redundancia funcional, donde algunas de las especies que están desempeñando un mismo papel pueden ausentarse y el impacto sería bajo en los procesos ecosistémicos a los que estén relacionadas (de la Riva *et al.*, 2014; Córdova-Tapia & Zambrano, 2015; Vásquez-Valderrama & Solorza-Bejarano, 2018). Sin embargo es importante dejar claro que todos estos cambios de nicho y de descarte de especies están estrechamente relacionados a la clasificación de estos tipos funcionales la cuál debe ser bastante precisa para no alterar la dinámica de los ecosistemas y por ende los servicios ecosistémicos que puedan proveer (Figura 1).

A continuación, se describen los distintos rasgos que se usan para evaluar la capacidad de retención de la precipitación incidente del ecosistema relacionado con las hojas, fuste, ramas y plantas en general.

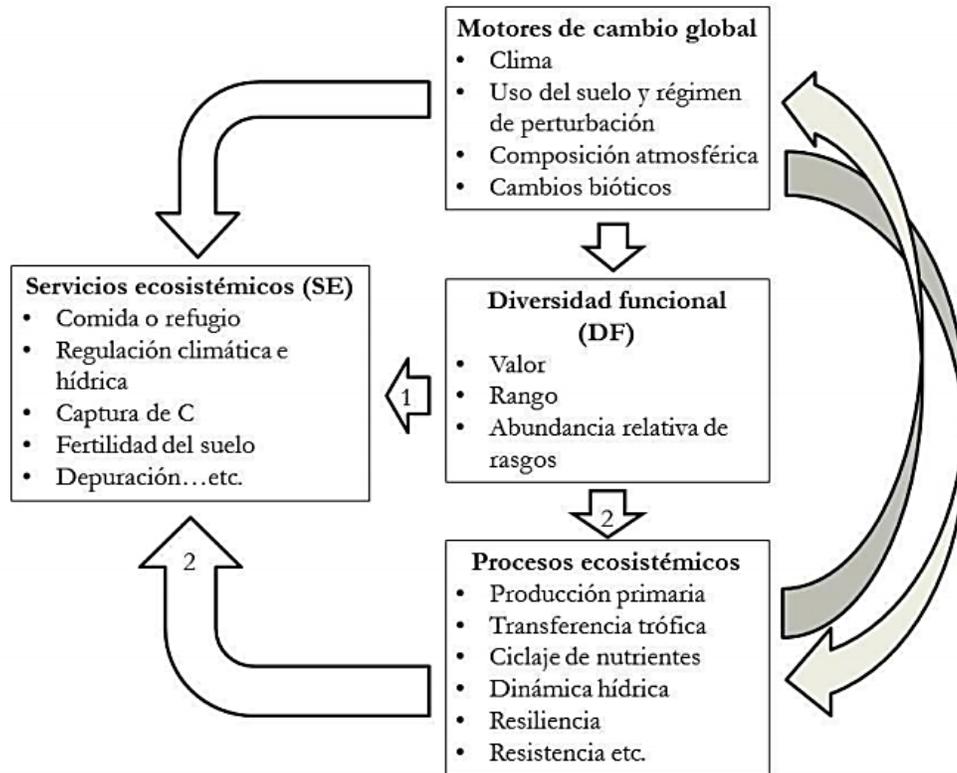


Fig. 1. Efecto y respuesta de la diversidad funcional (DF) como factor modificador de procesos ecosistémicos y manejador de cambio global. **1.** Efecto directo de DF sobre los servicios ecosistémicos. **2.** DF regula procesos ecosistémicos y a su vez los servicios ecosistémicos. **Fuente:** Adaptado de Díaz *et al.*, (2007).

1.1.7.1. Rasgos foliares

Están propiamente relacionados a las hojas de las plantas y se conocen como los rasgos más sensibles a la variación ambiental e influyen procesos de los ecosistemas como la regulación hidrológica, la productividad primaria y el ciclaje de nutrientes, por ello son los atributos más usados en los estudios de DF en plantas (Hulshof *et al.*, 2013; Salgado-Negret, 2015), uno de estos rasgos es el área foliar específica (AFE), descrita como una unidad de área foliar fresca dividida por el peso seco de esta unidad (Asner *et al.*, 2003; Pérez-Harguindeguy, *et al.*, 2013; Stark *et al.*, 2015). Este rasgo indica la relación de la planta en el crecimiento y almacenamiento lo que facilita el estudio del área basal importante en la regulación hídrica del ecosistema, y es relevante en la interceptación de agua lluvia por el dosel porque puede retener agua que posteriormente puede llegar al suelo

(Díaz *et al.*, 2001; Chapin, 2003). Además, las hojas pueden presentar características morfológicas como la textura (TxH) y el grosor de la hoja (GH), que permiten drenar el exceso de agua de su superficie al suelo para poder llevar a cabo el proceso de fotosíntesis y que pueden ser rasgos relevantes al evaluar la retención hídrica (Wright & Westoby, 2001). El tamaño foliar (AF) es otro rasgo que es directamente proporcional con la capacidad de intercepción de agua en el dosel ya que hojas de gran tamaño pueden retener más fácil el agua lluvia evitando que lleguen al suelo (Asner *et al.*, 2003; Aquino, 2009; Stark *et al.*, 2015). La fenología foliar es otro rasgo importante cuando se trata de entender la función de los bosques en el aspecto hídrico como lo demuestra un estudio en el que se encontró que la capacidad de almacenamiento del dosel disminuye con la senescencia simultánea de las hojas de algunas especies de plantas (Pypker *et al.*, 2005; Poorter & Bongers, 2006; Hulshof & Swenson, 2010).

1.1.7.2. Rasgos del fuste, copa y otros

Un rasgo importante relacionado con el fuste es la rugosidad de la corteza, esta juega un papel importante en la esorrentía cortical ya que a medida que presenta ciertas conformaciones a lo largo del tronco dificulta dicho flujo y altera los valores del volumen que llega al suelo los cuales pueden aumentar con cortezas lisas y disminuir con cortezas rugosas (Garnier, 2001; Huber e Iroume, 2001; Cornelissen *et al.* 2003). Estos valores también se ven afectados por otro rasgo que es la capacidad de carga de epífitas (CCE), muy relacionada al rasgo anterior, como lo evidencian estudios donde se reporta que el huésped (epífitas vasculares) prefiere la corteza fisurada para establecerse, lo que genera una disminución en los valores de precipitación translocada ya que la especie hospedera pueda toma un volumen de agua que no va a llegar al suelo (Rosa *et al.*, 2007).

Entre los rasgos de la copa se encuentran la densidad del follaje, el área y la apertura de la copa; que juegan un rol importante en la redistribución de la precipitación incidente (PI) ya que permiten conocer si las especies pueden ser captadoras o interceptoras del agua lluvia (Fernández, 2007; Park y Cameron, 2008; Aquino, 2009).

1.1.7.3. Cuantificación de la diversidad funcional

La expresión de la diversidad funcional puede ser de forma discontinua o continua. En la primera se calcula la riqueza de tipos funcionales de plantas en una comunidad. Entre sus

deventajas están las diferencias interespecíficas pueden ser funcionalmente significativas, pero su análisis es arbitrario (Petchey *et al.*, 2004; Casanoves *et al.*, 2011).

Por otro lado, la DF analizada de forma continua no puede ser explicada por un solo índice, como lo expresa Manson *et al.* (2005), existen diferentes índices que dependiendo de las condiciones del estudio se pueden adecuar a diversas situaciones relacionadas con los diferentes componentes que hacen parte de la diversidad funcional (de Bello *et al.*, 2009; Mouchet *et al.*, 2010). Uno de estos índices es conocido como la media ponderada de la comunidad (MPC) que está relacionado con representar el valor esperado de un rasgo en una muestra relacionado con la abundancia relativa de las especies con las que se está trabajando (Cornelissen *et al.*, 2011).

Es fundamental tener en cuenta que el escoger los rasgos funcionales según el análisis, puede ser un punto crítico para obtener resultados estadísticos robustos, sobre todo en los bosques del neotrópico que son ecosistemas con alta diversidad florística (Díaz *et al.*, 2007).

1.1.8. Estudios de regulación hídrica y ecología funcional

En general se han estudiado los componentes de la regulación hídrica en diversos tipos de vegetación tanto naturales como artificiales (Ataroff & Monasterio, 1997; Crockford & Richardson, 2000; Siles *et al.*, 2010). Estudios recientes abordan el tema con una perspectiva química y de balance de nutrientes (Levia & Frost, 2003); otros realizan modelamiento de la regulación hídrica en ecosistemas boscosos (Gómez-Delgado *et al.*, 2011; Liang *et al.*, 2009); también los que se centran en la fisiología de las especies y el transporte de agua interno (Jackson *et al.*, 1995; Meinzer *et al.*, 2008) y algunos se han centrado en la importancia del escurrimiento fustal en la redistribución del agua y sus implicaciones eco-hidrológicas (Dominguez, 1997; Andrade *et al.*, 1998; Ruiz, 2013; Levia & Germer, 2015). En lo que respecta a los estudios de ecología funcional estos son bastante escasos. Existen trabajos que se enfocan en cómo intervienen los rasgos funcionales a nivel hídrico en general (Cornelissen *et al.*, 2003; Lavorel & Garnier, 2002; Casanoves *et al.*, 2011), algunos realizados específicamente en sabanas (Franco *et al.*, 2005), otros en bosque (Gitay *et al.*, 1999; Wright & Westoby, 2002; Asner *et al.*, 2003; Fernández, 2007; Aquino, 2009; Cianciaruso *et al.*, 2009) y otros para la especie *Quercus ilex* (Bussotti *et al.*, 2002; de la Riva *et al.*, 2014). También en el aporte que genera la ecología funcional para

la restauración ecológica en ecosistemas aledaños a fuentes hídricas a través de la creación de grupos o tipos funcionales (Ruiz, 2015; Enríquez, 2017).

Todos estos estudios sugieren como un valor importante la cuantificación de la regulación hídrica de los ecosistemas forestales vinculando las especies vegetales que componen el dosel desde un enfoque morfológico, fisiológico y funcional para poder generar información base que permita establecer con mayor claridad y entendimiento lo importante que son estos ecosistemas para el componente hídrico terrestre y el gran aporte que puede brindar al bienestar humano.

Para el caso de Colombia, los estudios de regulación hídrica y rasgos funcionales relacionados al agua son relativamente pocos y se concentran en ecosistemas de bosque andino y cuencas (Jaramillo-Robledo, 2005; Olmos, 2006; Vásquez-Valderrama & Solorza-Bejarano; 2018). No obstante, en la región amazónica existen pocos estudios en ecología funcional relacionado con el componente hídrico como el de Turriago (2013). Los demás estudios sólo vinculan rasgos funcionales para analizar otros aspectos ajenos a la regulación hídrica (Medina & Cuevas, 2011; Hernández-Atilano, 2012). En cuanto a otros aspectos de escurrimiento y medición de la precipitación existen pocos estudios en el país como el de León *et al.*, (2010) en el cual las variables principales a analizar fueron el flujo hídrico del dosel y la interceptación de un bosque climacico de roble (*Quercus humboldtii*) y dos plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) y ciprés (*Cupressus lusinatica*), este estudio permitió señalar a pesar de que no hubo diferencias significativas que una existe mayor eficiencia en el robledal para distribuir la precipitación incidente dentro del bosque, seguido del pinar y, muy distantes ambos del cipresal. También, en particular para la esorrentía cortical se evidenció una correlación importante con características de cada árbol individual, especialmente en función de su grosor y tamaño de la copa.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bosques húmedos tropicales son ecosistemas dinámicos que se caracterizan por su gran diversidad y altas interacciones bióticas que influyen en su funcionamiento y su estabilidad ecológica (Holdridge, 1947; *Millenium Ecosystem Assesment*, 2005; Aquino, 2009). Estos bosques prestan diferentes servicios ecosistémicos que aportan un beneficio a las comunidades mejorando la salud, la economía y la calidad de vida de las personas, dichos servicios derivan de las funciones propias de los bosques (Díaz *et al.*, 2004; *Millenium Ecosystem Assesment*, 2005; ESPA-AA, 2008; Balvanera, 2012; Pacha, 2014).

En el departamento del Guaviare el bosque con un mayor porcentaje en superficie es el Bosque denso alto de tierra firme con un área de 3.432.661,14 ha (61,81%) (Sinchi, 2015). Este tipo de cobertura recibe este nombre de la clasificación CORINE Land Cover y se caracteriza por un estrato arbóreo casi continuo con un dosel superior a los 15 metros ubicado en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos (IDEAM, 2010).

Sin embargo, estudios realizados en el departamento indican que para el año 2006 un 89,66% del área de bosques estaba fragmentado, principalmente la vegetación próxima a la vía entre San José y Calamar (Sinchi, 2007). No obstante, la deforestación excesiva y la transformación del uso del suelo a pastizales y zonas urbanas han aumentado dicha fragmentación y reducido la extensión de los bosques a un 83% (2014), todo esto a razón del crecimiento demográfico y la ganadería extensiva, que es una de las actividades pecuarias más importantes de la región (Sinchi, 2015); además de los efectos de los impulsores de cambio global como el cambio climático, el cambio de uso del suelo y la presencia de especies invasoras (Aquino, 2009; Balvanera, 2012). Los componentes de los bosques están siendo afectados por las diferentes presiones antrópicas mencionadas antes, que además de conducir a su reducción generan un desbalance importante en el aporte hídrico de las zonas aledañas (Olmos, 2006; Siles *et al.*, 2010; Levia & Germer, 2015). Todos estos cambios van a afectar finalmente los procesos sobre los que se sustentan los diferentes servicios ecosistémicos, entre ellos el relacionado con la oferta y la regulación hídrica (Sinchi, 2015; Armenteras *et al.*, 2016).

Los sistemas agroforestales al igual que los bosques participan en la regulación hídrica del ecosistema, servicio ecosistémico estrechamente relacionado con la cobertura vegetal (Jaramillo, 2005; Ahmed *et al.*, 2015). La presencia de esta cobertura disminuye el impacto

negativo sobre el suelo en los periodos intensos de lluvias, contribuye al almacenamiento de agua que es útil para las épocas secas, genera valores más favorables de evapotranspiración y de infiltración de agua en el suelo, y todo en conjunto permite la reducción de la escorrentía y la mitigación de posibles inundaciones o sequías (Díaz, *et al.*, 2004; Olmos, 2006; Aquino, 2009; Balvanera, 2012; Hosseini *et al.*, 2012; IDEAM, 2015).

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi como alternativa para combatir las presiones mencionadas, implementó los sistemas agroforestales en la región con base en el conocimiento, valoración y uso de las especies forestales, con el fin de que los productores amazónicos realicen el manejo y aprovechamiento de los recursos, y también para combatir la degradación de los bosques naturales (Giraldo-Benavides, 2013; Zubieta-Vega, 2013). El desarrollo de esa estrategia tuvo 16 años continuos de monitoreo (1993-2009) que permitió la selección de especies con una alta tasa de crecimiento para el enriquecimiento forestal de estos sistemas. Actualmente tienen una extensión de 119 hectáreas con 25 años aproximadamente y se evalúan cada cinco años (Girado-Benavides *et al.*, 2013).

Es de especial interés analizar como se afectan los servicios ecosistémicos hídricos y en particular la regulación hídrica, relevante en los procesos ecológicos de la región y en la oferta hídrica; ya que en general el criterio para la selección de las especies que se fomentan en los sistemas agroforestales tiene que ver más con las materias primas que ofrecen (Servicio ecosistémico de provisión) que con la función ecológica que desempeñan por ejemplo en la redistribución de la precipitación incidente en el ciclo hidrológico. Para conocer esto se propone hacer una comparación entre las coberturas vegetales de relictos de bosque y sistemas agroforestales que permita responder las siguientes preguntas: ¿Existe una relación entre la cobertura vegetal y la retención de la precipitación incidente? Y ¿Los rasgos funcionales de las plantas pueden aportar información importante para la retención de la precipitación incidente?

El interés de realizar este trabajo es dejar un punto de partida para estudios de mayor complejidad para en un futuro apoyar al mejoramiento de estrategias que garanticen el desarrollo sostenible de los ecosistemas boscosos, el uso y aprovechamiento de sus especies forestales con menor impacto en la regulación hídrica.

1.3. HIPÓTESIS

Hipótesis 1: La retención de la precipitación incidente está influenciada por la estructura y composición de la cobertura vegetal siendo mayor en relictos de bosque dada la heterogeneidad de su cobertura, y menor en sistemas agroforestales por la homogeneidad de la misma.

Hipótesis 2. La variación de los rasgos funcionales está relacionada con la capacidad de retención de agua que es mayor en relictos de bosque que en sistemas agroforestales debido a la composición de especies vegetales.

1.4. OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar los rasgos funcionales de especies vegetales en relictos de bosque y en sistemas agroforestales, y su relación con la precipitación incidente en el municipio El Retorno, Guaviare.

Objetivos específicos

- Determinar el aporte hídrico de la precipitación incidente en relictos de bosque y en sistemas agroforestales.
- Estimar la pérdida de precipitación incidente en relictos de bosques y en sistemas agroforestales.
- Evaluar los rasgos funcionales de especies vegetales relacionados con el servicio ecosistémico hídrico en los relictos de bosque y los sistemas agroforestales.
- Establecer las posibles relaciones entre los rasgos funcionales y la precipitación incidente en relictos de bosque y en sistemas agroforestales.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Los bosques de la región Amazónica abarcan cerca del 50% del territorio colombiano y son importantes porque cumplen servicios claves como alimento o refugio, indispensables en el bienestar humano (Muñoz, 2016); además de ser fuente de almacenamiento de carbono y aportar a la regulación hídrica de la región (Díaz, *et al.*, 2004; Brauman *et al.*, 2007; Aquino, 2009; Giraldo-Benavides, *et al.*, 2013; FAO, 2015; Sinchi, 2015).

Debido a las presiones a las que están sometidos los bosques amazónicos del Guaviare, como el cambio climático y la expansión demográfica y agrícola, nace la necesidad de conocer sus diferentes componentes y de implementar estrategias de desarrollo sostenible. Esta información es relevante dada la importancia ecológica de estos ecosistemas como fuente de almacenamiento de carbono y reguladores hídricos. Por lo tanto, estudiar la relación entre la cobertura vegetal y la redistribución de la precipitación incidente en bosques y sistemas agroforestales del Guaviare, permitirá aportar información de la dinámica y estabilización del ciclo hidrológico, al determinar como se ven involucradas las especies vegetales en la captación y almacenamiento de la lluvia (Whitford, *et al.*, 1997; Jaramillo, 2005; Petchey & Gaston, 2006; Aquino, 2009; Siles, *et al.*, 2010; Casanoves, *et al.*, 2011).

En la actualidad estudios de regulación y ecología funcional hídrica permiten conocer la dinámica de la precipitación incidente en un ecosistema boscoso y agroforestal, así como, aportar información a la estabilización del ciclo hidrológico y determinar hasta qué punto se ven involucradas las especies vegetales en la captación y almacenamiento de la lluvia (Whitford, *et al.*, 1997; Jaramillo, 2005; Petchey & Gaston, 2006; Aquino, 2009; Siles, *et al.*, 2010; Casanoves, *et al.*, 2011). Sin embargo este tipo de investigaciones no han tenido al Guaviare como su área de estudio, un departamento con una extensión bastante amplia de ecosistemas boscosos que como se ha mencionado se está viendo altamente afectada por perturbaciones antrópicas (Sinchi, 2015).

Como un aporte adicional, los resultados formarán parte del proyecto “*Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*”, presentándose como uno de los estudios pioneros del departamento sobre el conocimiento de la distribución de la precipitación incidente en los ecosistemas forestales.

1.6. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en dos localidades del municipio El Retorno, en el departamento del Guaviare, el ecosistema boscoso estaba ubicado en las vereda Chaparral medio, Chaparral bajo y La morichera. Mientras que los sistemas agroforestales se encontraban en la vereda San Antonio.

En la zona de influencia el régimen de la precipitación es monomodal (Fig. 2), caracterizado por un periodo seco entre los meses de diciembre y enero con un promedio de 124,65 mm mensuales y uno lluvioso entre abril y julio con un promedio de 374,35 mm mensuales, con algunas épocas intermedias de menor precipitación debido al paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Sinchi, 2015). Así mismo se presenta un período de altas temperaturas entre los meses de octubre a marzo con un promedio de 25,78°C y otro periodo con una temperatura media mensual de 24,72°C.

La media anual de la humedad relativa es de 84,3%, con el valor más alto en los meses de mayo a julio. El valor mínimo de humedad es de 79,8% y se presenta en el mes de enero. La distribución temporal del brillo solar tiene valores máximos durante los meses de septiembre a enero (oscila entre 140 y 160 No de horas), en el periodo seco, y valores mínimos en los meses de abril a julio (100 horas), correspondiente a la temporada de lluvias (IDEAM, 2018).

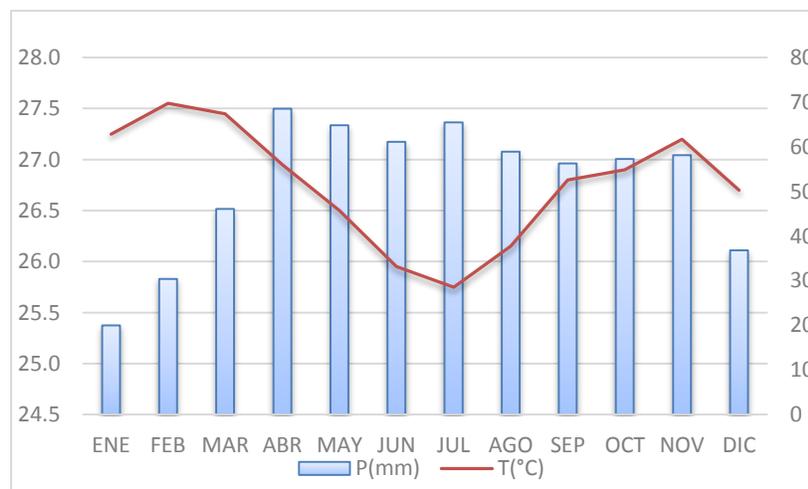


Fig. 2. Registros de precipitación y temperatura promedio para el periodo entre 1987-2016 de la estación meteorológica El Trueno, municipio El Retorno, Guaviare. **Fuente:** Datos otorgados por el IDEAM, 2018.

1.6.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme

Corresponde a un área de la reserva forestal del departamento del Guaviare, en los municipios de San José, El Retorno y Calamar en zonas con mediana y baja intervención. La zona escogida para este estudio se encuentra ubicada en el municipio El Retorno dentro de tres fincas de usuarios que hacen parte del proyecto “*Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*”. Se encuentran a 22,1 Km; 23,7 Km y 25,1 Km del casco urbano del municipio El Retorno con coordenadas 02°17'59,3" N y 72°26'34" W; 02°11'9,6" N y 72°28'48,6" W; 02°14'10,6" N y 72°29'46,8" W respectivamente (Fig. 3).

El área presenta un ecosistema donde predomina el estrato arbóreo con un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies. Las familias botánicas más importantes por tener mayor representación en número de especies, individuos y área basal, corresponden a Moraceae, Burceraceae y Arecaceae. Es un bosque que presenta una alta heterogeneidad en donde muy pocas especies están representadas por un alto porcentaje de individuos, mientras la mayoría tienden a ser localmente raras (Stevenson & Rodríguez, 2008; Camargo, 2016).

1.6.2. Sistemas agroforestales y pastizales

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi estableció un área de 113 ha en los años ochenta, como centro de investigación de especies maderables y frutales amazónicos para generar sistemas agroforestales dentro del marco de desarrollo sostenible que permitieran a la comunidad el manejo, uso y aprovechamiento de estos recursos forestales (Zubieta-Vera, 2013). El desarrollo de este centro de investigación permitió la selección de especies con una alta tasa de crecimiento que funcionan como una herramienta técnica valiosa para la oferta del recurso forestal (Girado-Benavides *et al.*, 2013).

Esta área se encuentra ubicada a 25 Km de San José del Guaviare en la vereda San Antonio del municipio El Retorno, con coordenadas 02°24' N y 72°43' W, a una altura aproximada de 220 msnm (Fig. 3). Registra una temperatura de 26°C, una precipitación anual de 2800 mm y humedad relativa entre el 70-85%. La zona cuenta con bosque con diferentes grados de intervención, rastrojo, potreros en revegetalización, pastizales, bancos de germoplasma vegetal, y sistemas productivos sostenibles agroforestales, silvopastoriles,

de enriquecimiento forestal y de regeneración natural con 30 años de producción. Se encuentra en la zona de vida de Bosque húmedo tropical de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1947) y fisiográficamente al gran paisaje de denudación (Sinchi, 2002).

En este proceso de conocimiento han medido y valorado especies de las familias botánicas: Lecythidaceae, Fabaceae, Meliaceae, Bignoniaceae, Rutaceae, Araliaceae, Apocynaceae, Rubiaceae, Malvaceae, Olacaceae, Combretaceae, Vochycaceae y Lamiaceae (Girlando-Benavides, 2013).

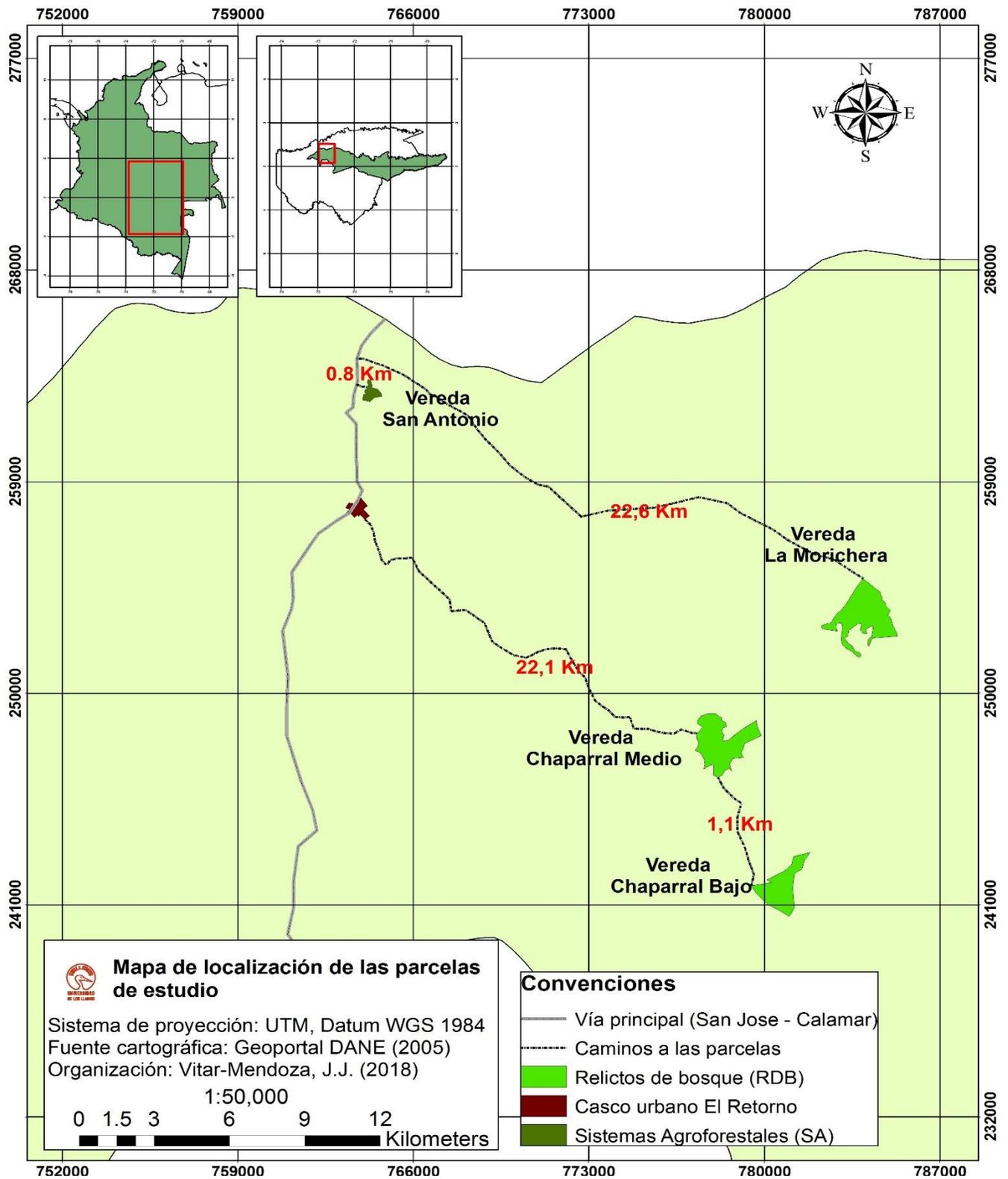


Fig. 3. Mapa de localización de las parcelas de estudio.

1.7. MÉTODOS

Para la medición de la precipitación incidente en los ecosistemas se tuvieron en cuenta las propuestas para estudios de regulación hídrica de Siles *et al*, (2010), García-Ortiz (2006) & Olmos (2006) para estudios de regulación hídrica.

1.7.1. Establecimiento de parcelas y toma de datos

Para la caracterización hídrica de las coberturas evaluadas se establecieron siete parcelas semipermanentes de 50 x 50 m distribuidas de la siguiente forma: tres en cobertura boscosa, tres en cobertura agroforestal y una parcela control en cobertura herbácea.

Las mediciones en campo se realizaron una vez a la semana durante 34 semanas, desde enero hasta principios de septiembre que fue el tiempo establecido en el que iba a durar todo el proyecto. La información fue registrada en formatos prediseñados (Anexo 1) y luego digitalizada en una base de datos de Excel. Para la colección de datos se contó con el apoyo de técnicos y auxiliares del componente de vegetación del proyecto *“Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare”*.

Adicionalmente, se utilizaron dos estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (“El Trueno” y “San José”) para obtener los valores promedio diarios de la precipitación incidente de la zona, datos proporcionados por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM (2018).

1.7.2. Ecurrimiento por el dosel (E)

Se evaluó a través de pluviómetros caseros contruidos con botellas plásticas con un volumen de 2,1 L y embudos plásticos de 11 cm de diámetro y área de recepción de 95 cm², a los cuales se les adaptó un tubo de PVC de media pulgada con el fin de reducir la posible evaporación del agua (Fig. 4). Los embudos fueron adheridos a las botellas y protegidos con una malla plástica con el fin de evitar la caída interior de algún elemento que pueda obstruir la circulación del agua. Los pluviómetros fueron anclados al suelo sujetos por un tubo de PVC (Fig. 5b). En cada parcela se distribuyeron 50 pluviómetros situando dos por cada subcuadrante (Fig. 5a).

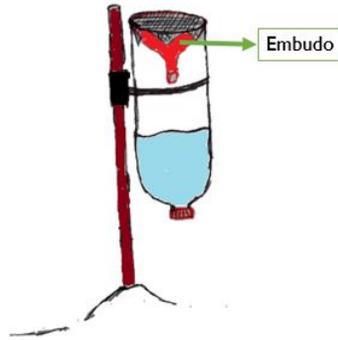


Fig. 4. Representación gráfica del pluviómetro para medir el escurrimiento del dosel. **Fuente:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016)

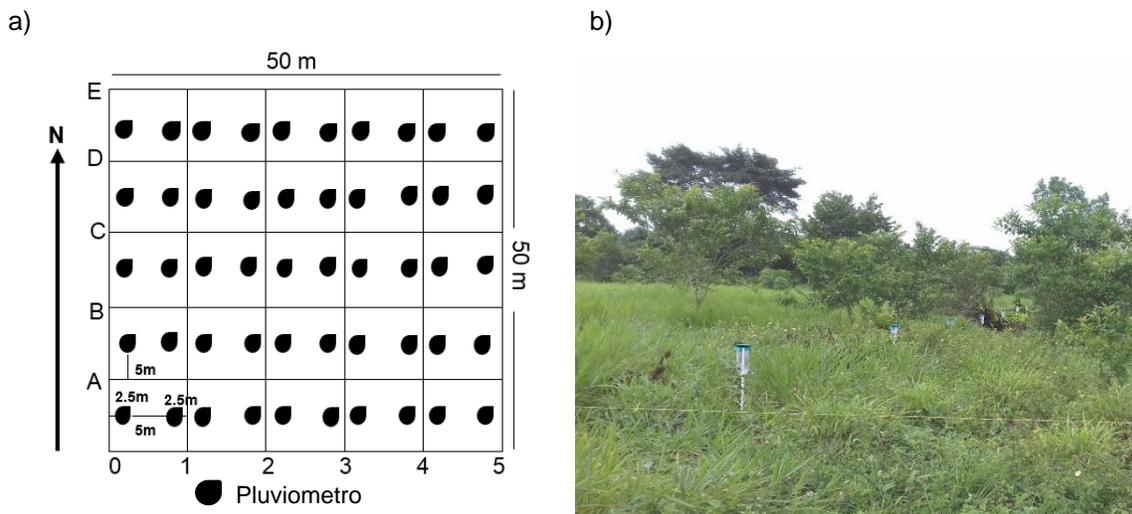


Fig. 5. a) Representación esquemática de la disposición de 50 pluviómetros para medir el escurrimiento; **b)** Fotografía de los mismos en la parcela. **Fuente:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016)

Se realizó una colección de los datos en el programa Excel (2010). Para obtener el cálculo final de la cantidad de lluvia transferida a través de las copas de los árboles, se aplicó la fórmula usada por Siles, *et al.* (2010) donde se tomo cada dato por separado para un total de 50 datos por parcela para cada semana durante los nueve meses:

$$E = \frac{\text{(Cantidad de agua lluvia recolectada por el pluviometro (cm}^3\text{))}}{\text{(Área de recepción del pluviometro)}}$$

Dónde: **E**, equivale al escurrimiento por el dosel.

1.7.3. Escurrimiento fustal (Ef)

Selección de especies: para poder lograr entender el papel de las especies en el ecosistema, se tuvo en cuenta la caracterización florística previamente realizada para el proyecto marco (Camargo, 2016). Así, se seleccionaron las ocho especies que se encuentran en la tabla 2 y hacen parte de las especies priorizadas por el proyecto marco y cuatro especies introducidas. Todas estas especies representaban los valores más altos en el porcentaje del IVI (en un rango de 6,32 a 10,9), alto uso maderable y gran valor comercial.

Las especies de bosque representan el 38,5% de los individuos por ha ya que el porcentaje restante corresponde a 308 especies que en su mayoría son herbáceas o no tenían un aporte significativo en el número de individuos para poderlas incluir en el estudio. Para los sistemas agroforestales las especies representaban el 71,4% de individuos por hectárea las 27 restantes hacían parte del estrato arbustivo y herbáceo.

El escurrimiento se midió en cinco individuos adultos de cada especie que presentaran un rango alto de área basal (21,3 - 28,9 m²/ha) a través de collarines construidos con mangueras de plástico transparentes con un grosor de 3 mm. Las mangueras se cortaron por la mitad para ser instaladas en una espiral ascendente en el tronco de cada árbol seleccionado y se ubicaron de tal manera que la pérdida de agua sea mínima.

El agua recogida por el collarín fue desviada por una manguera sin cortar a un contenedor cerrado colocado en la parte baja del árbol con capacidad de 22 a 25 Litros. Se midió el volumen de escurrimiento por el tronco de cada árbol, un día a la semana durante 34 semanas (Fig. 6).

TABLA 2. Especies seleccionadas para la realización del estudio según APG IV. SA: sistemas agroforestales (5 especies) y RDB: relictos de bosque (8 especies).

Familia	Especie	Abundancia relativa	Localidad
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.	36	SA
Lecythidaceae	<i>Cariniana pyriformis</i> Miers	44	SA
Fabaceae	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	16 & 36	RDB & SA
Fabaceae	<i>Centrolobium paraense</i> Tul.	130	SA
Arecaceae	<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	24	RDB
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	28	RDB
Olacaceae	<i>Miquartia guianensis</i> Aubl.	36	SA
Arecaceae	<i>Oenocarpus bataua</i> Mart.	36	RDB
Burseraceae	<i>Protium sagotianum</i> Marchand	20	RDB
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) J.F. Macbr.	48	RDB
Combretaceae	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	12	RDB
Myristicaceae	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	34	RDB



Fig. 6. Imágenes de los collarines instalados para medir la precipitación translocada. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016)

De igual forma para estimar semanalmente el escurrimiento por el tronco de árboles, se realizó el cálculo usado por Siles *et al.*, (2010) donde se tomó el volumen de escurrimiento por el tronco por árbol y por semana (L), después se multiplicó por la densidad de árboles o número de tallos por especie dentro de cada cobertura con DAP > 10 cm por ha y se dividió en 10.000 m² (1 Ha).

1.7.4. Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

Es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida por las plantas para permitir su adecuado crecimiento. Se midió siguiendo el método empírico mostrado en Cabrera (1999), Mariño (2006) y Peralta (2006) en donde esta variable se desprende a partir de una medición puntual de la capacidad de campo del suelo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

Para calcular la capacidad de campo se seleccionó un sitio de muestra representativo dentro de cada parcela, se tomó una sección de 1 a 1,5 m de largo y 0,30 m de ancho, luego se añadió agua hasta saturar el suelo y se cubrió el área delimitada con una bolsa de plástico para evitar pérdidas por evapotranspiración. Se realizó el muestreo de tres réplicas de suelo húmedo por cada parcela 48 horas después y se pesaron para luego ser llevadas a un horno de secado y 24 horas después obtener el peso del suelo seco.

Esta variable se calculó a través de la siguiente fórmula (Silva, 2002):

$$\%CC = \frac{(Psh - Pss)}{(Pss)} * 100$$

Dónde: **Psh** es peso del suelo húmedo y **Pss** es peso del suelo seco.

Para el caso del PMP se llenaron varios recipientes (tres réplicas por parcela) con suelo de cada parcela a un volumen de 475 cm² hasta un nivel de 2 cm del borde, y se introdujeron plántulas de las especies muestreadas. Durante varios días se aplicó agua hasta que la plántula este adaptada y se cubrió la parte superior con aluminio para evitar la evaporación de la superficie del suelo, al entrar la plántula en marchitez se revisó constantemente para

evitar marchitamiento excesivo. Finalmente, para reconocer que el PMP se llevó a refrigeración cuando la planta no se recuperó, se procedió tomar la muestra de suelo en húmedo y calcular su peso.

Esta variable se calculó a través de la siguiente fórmula (Silva, 2002):

$$\%PMP = \frac{(Psh - Pss)}{(Pss)} * 100$$

Dónde: **Psh** es peso del suelo húmedo y **Pss** es peso del suelo seco.

a)



b)



Fig. 7. Imágenes del procedimiento en campo para el cálculo de Capacidad de campo (a) y punto de marchitez permanente (b). **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016).

Finalmente, para calcular el CRAD se realizó la siguiente fórmula (Huntington, 2007):

$$CRAD (\%) = CC (\%) - PMP (\%)$$

Dónde: **CRAD** es el porcentaje de la capacidad de retención de agua disponible en el suelo, **CC** el porcentaje de capacidad de campo y **PMP** el porcentaje del punto de marchites permanente.

1.7.5. Intercepción de la copa de los árboles (ICA)

Esta intercepción es la captura de la precipitación por el dosel de las plantas y su posterior progreso a la atmósfera a través del proceso de evaporación (Siles *et al.*, 2010) expresada en términos relativos, como un porcentaje de la precipitación incidente (P_i), la cual corresponde a la lluvia que ingresa al sistema proveniente de las nubes sin pasar por una cubierta vegetal (Aquino, 2009).

Para calcular el ICA que es el porcentaje promedio de intercepción de la lluvia, se realizó a partir de las diferencias medias de la precipitación registrada a cielo abierto menos la precipitación promedio de cada parcela registrada bajo el dosel del bosque.

$$ICA = ppt \text{ cielo abierto} - (pplx \text{ pluviómetro} + EF)$$

Dónde: **ICA** es la intercepción de las copas de los árboles, ppt a cielo abierto es la precipitación registrada por la estación meteorológica, pplx pluviómetro es la precipitación media capturada en los pluviómetros de la parcela y EF es el escurrimiento fustal (Siles *et al.*, 2010).

1.7.6. Selección y medición de rasgos funcionales

La selección, colecta y medición de los rasgos funcionales se llevaron a cabo teniendo en cuenta los protocolos estandarizados descritos por Garnier (2001), Cornelissen *et al.*, (2003) y Pérez-Harguindeguy *et al.*, (2013).

TABLA 3. Rasgos seleccionados para la medición de la regulación hídrica en las especies. Los rasgos con un (*) tienen una explicación más extensa en el texto.

Rasgo	Siglas	Und. de medida	Rol funcional
Área foliar	AF	mm ²	Dependiendo del área permite llegar el agua al suelo o interceptarla hasta que es evaporada (Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013).
Área foliar específica	AFE	mm ² g ⁻¹	Indica la relación entre la inversión de la planta en el crecimiento y el almacenamiento (Aquino, 2009).
Grosor de la hoja	GH	mm	Longevidad foliar y tasas de fotosíntesis. (Salgado-Negret, 2015).
Contenido relativo de agua en la hoja	CRAH	%	Retención de agua lluvia en el área foliar de la planta. (Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013).
Textura de la hoja*	TH	Tipo	Morfología general de la hoja que está relacionada con el intercambio hídrico (Aquino, 2009).
Diámetro a la altura del pecho	DAP	cm	Participa en el área basal medida que permite a un individuo arbóreo tener mayor captación de agua por el fuste (Aquino, 2009).
Contenido relativo de agua en la rama	CRAR	%	Retención de agua lluvia en las ramas para evitar la desecación (Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013).
Textura de la corteza*	TxM	Tipo	Capacidad que tiene para retener especies epífitas y el agua que escurra por el tronco (Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013).
Altura total	HT	m	Puede estar relacionado con la captación y retención de agua lluvia si alcanzan el dosel arboreo del ecosistema (Gómez, 2012).
Altura del fuste	HF	m	Este rasgo puede influir en la precipitación translocada o intercepción de los árboles teniendo en cuenta la altura que alcanza (Aquino, 2009).
Densidad de la copa*	DC	Tipo	Captación de luz y agua entre más densa menor es el agua que llega al suelo (Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013).
Diámetro de la copa	Co_d	m	Captación de luz y agua, dependiendo del tamaño de la copa facilita el escurrimiento de agua lluvia por el dosel o el fuste (Miranda, 2012).
Forma de la copa*	FC	N/A	Puede captar el agua lluvia teniendo en cuenta los ángulos que definen a la copa (Aquino, 2009).
Capacidad de carga de epífitas*	CCE	Tipo	Especies usadas como forófitos para recibir una mejor captación de luz y agua (Aquino, 2009).

Selección de especies: se seleccionaron las mismas doce especies utilizadas para medir la precipitación translocada (Tabla 2) las cuales representaban los valores más altos en el porcentaje del IVI (en un rango de 6,32 a 10,9), tenían alto uso maderable y gran valor comercial.

La selección de rasgos se realizó con base en aquellas características relevantes que poseen las plantas como respuestas a la variación ambiental, al componente hídrico y que han sido reconocidas en otros estudios (Aquino, 2009; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013; Salgado-Negret, 2015) con una posible relación relevante con el servicio ecosistémico hídrico (Tabla 3).

A continuación se describen brevemente las características de las mediciones de acuerdo con las especificaciones y los métodos requeridos para su correcta medición.

Rasgos foliares y del tallo: Los individuos evaluados fueron los mismos a los que se les realizó el procedimiento para el análisis de escurrimiento fustal es decir, cinco individuos por cada especie. El material colectado fue tomado de la parte de la copa con máxima exposición a la luz, es decir hojas de sol. De cada individuo se seleccionaron diez hojas al azar totalmente expandidas, endurecidas, en lo posible sin daños de herbivoría o patógenos, y cinco ramas de 25 cm que se guardaron en bolsas plásticas en una hielera, selladas y codificadas hasta llegar al laboratorio donde se realizó la medición de peso fresco, área foliar y grosor de la hoja. Posteriormente el material vegetal se hidrató durante 24 horas, se volvió a pesar y finalmente se paso a un horno para conocer su peso seco y calcular las variables de CRAH y CRAR (Garnier, 2001; Fernández, 2007; Aquino, 2009; Pérez y Harguindeguy *et al.*, 2013).

En caso del rasgo TH se utilizaron cuatro categorías de acuerdo con su textura en el haz/envés: 1. glabra/glabra, 2. glabra/rugosa, 3. glabra/tricoma y 4. tricoma/tricoma (Fig. 7). Mientras que para la TxM las categorías fueron cinco determinadas por el grado de rugosidad: 1. Lisa, 2. Lenticelada, 3. Escamas en papel, 4. Fisurada y 5. Corteza surcada (Fig. 8).

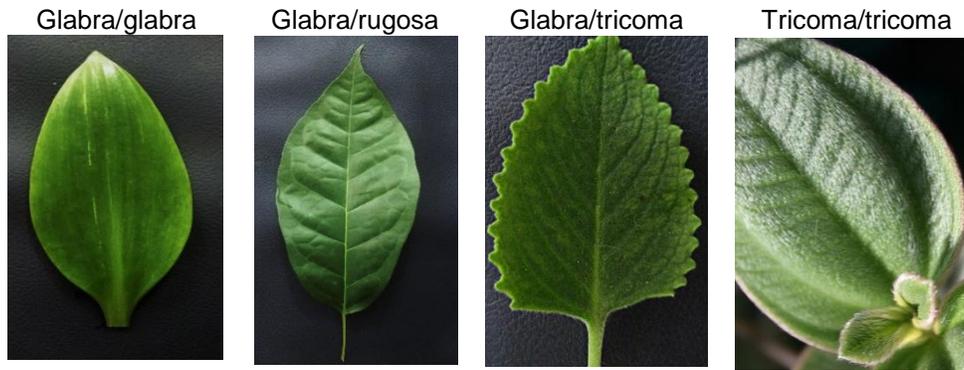


Fig. 8. Imágenes de las categorías para la textura de la hoja. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016)



Fig. 9. Imágenes de las categorías para la corteza del tronco. **Fotos:** Vitar-Mendoza, J.J. (2016)

1.7.7. Análisis de la información

Ahora bien después de haber calculado todos estos datos y siguiendo la metodología de Fernández, (2007), Aquino, (2009) & Siles, *et al.* (2010). Se realizó un análisis descriptivo univariado de las variables de escurrimiento y de los rasgos calculados para observar las tendencias generales de los datos y la variación de los mismos, además se calculo el porcentaje de las variables de escurrimiento según la precipitación para observar la tendencia de la precipitación calculada en campo respecto a la cuantificada por las estaciones.

Se realizaron pruebas de varianza no paramétricas para este caso el test de Kruskal-Wallis y análisis de la varianza dependiendo del comportamiento de los datos para evaluar si el

efecto de la cobertura vegetal en el escurrimiento y el de las especies sobre el escurrimiento fustal, la interceptación de las copas de los árboles y la capacidad de retención de agua en el suelo presentaba alguna diferencia según el ecosistema.

También, un análisis exploratorio de las correlaciones existentes entre los rasgos por medio de la obtención de una matriz de correlación de Spearman. Para la relación entre el escurrimiento del dosel y los rasgos funcionales de las especies se usó un parámetro funcional de la comunidad que es la media ponderada de la comunidad (MPC) sobre las especies trabajadas en cada ecosistema, siendo éstas las más representativas en la cobertura se tomarón como una comunidad para este calculo. También, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) y la matriz de correlación de Spearman. Para el EF de cada especie se realizó un análisis de regresión líneal con cada rasgo.

Los diferentes análisis estadísticos fueron realizados para las diferentes épocas climáticas (seca y lluviosa) presentes en el periodo de estudio con el estadístico InfoStat versión estudiantil 2017.

1.8. RESULTADOS

1.8.1. Características de la lluvia

Según las estaciones climáticas del IDEAM (El Trueno y San José), la precipitación incidente durante los meses de enero a septiembre fue de 2785,6 mm, mientras que la parcela control obtuvo una precipitación de 1632,93 mm (Fig. 10). A pesar de que los resultados son diferentes se puede apreciar que en ambos casos las precipitaciones presentan rangos similares para cada mes, con valores mayores en los meses de lluvia que van de abril a septiembre.

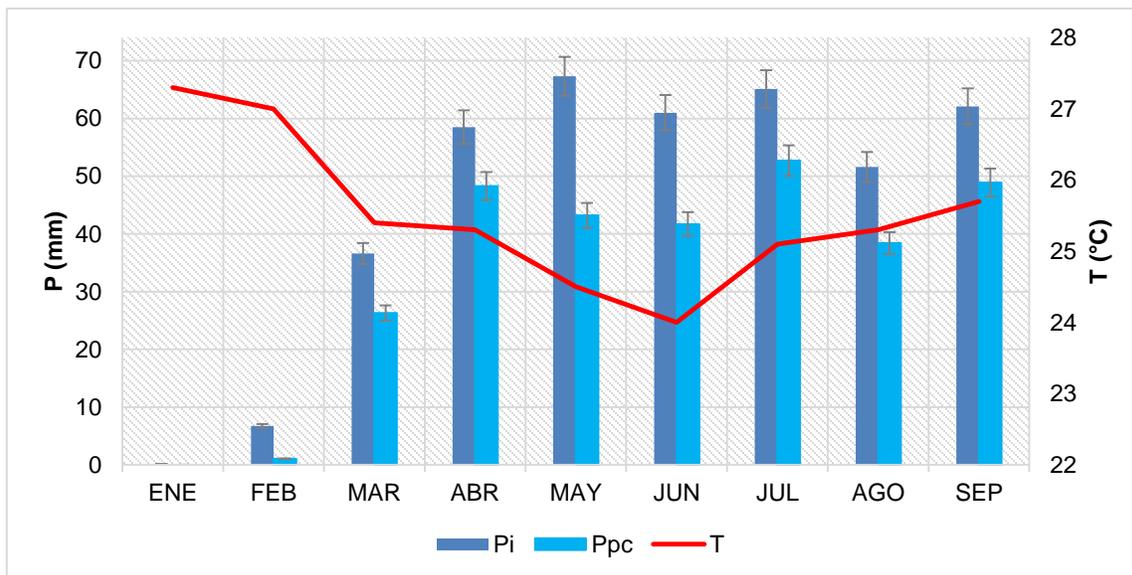


Fig. 10. Precipitación promedio total para los meses de enero a septiembre en el municipio El Retorno para el año 2016. Pi: datos tomados por las estaciones meteorológicas (El Trueno y San José), Ppc: datos obtenidos con la parcela control de pastizales y T: temperatura promedio.

1.8.2. Escurrimiento por el dosel (E)

Se realizaron pruebas de aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad antes de proceder a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ya que no había normalidad en los datos. Se obtuvo que el escurrimiento por el dosel no fue estadísticamente diferente entre las dos coberturas para los meses de enero a marzo que es la época seca (Tabla 4). El

escurrimiento semanal promedio para la época seca en bosque fue de 15,5 mm que abarca el 36,9% de la precipitación total, y 12,2 mm para los sistemas agroforestales que representa el 33,9% de la precipitación incidente (Tabla 5). Además las precipitaciones muestran una similitud en los valores de escurrimiento de ambos sistemas (Fig. 11).

De igual forma para los meses de abril a septiembre (meses correspondientes a época de lluvia), tampoco hubo diferencias significativas para el escurrimiento. En este caso el escurrimiento semanal promedio de bosque fue de 71,4 mm para un porcentaje de 78,8% de la precipitación incidente, y para sistemas agroforestales fue de 69,8 mm con un porcentaje del 70,0% respecto a la precipitación total (Tabla 5).

Tabla 4. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.

Época	Gl	p-valor	Prueba estadística
Seca	1	0,9284	Kruskall-Wallis
Lluviosa	1	0,8798	Kruskall-Wallis

En la figura 11 se puede observar el comportamiento de las precipitaciones durante el periodo de estudio con valores de precipitación directa más altos para los meses que presentaron eventos de lluvia intensos, como abril, mayo y julio en los cuales la cobertura boscosa presentó mayor escurrimiento por el dosel respecto a las demás coberturas. Por otra parte, la parcela control, para la mayoría de los meses mostró los valores más bajos de E durante el estudio, excepto en agosto donde sus valores son similares con los de las otras coberturas, durante este mes los eventos de lluvia eran suaves pero prolongados. Adicional a esto, esta parcela sólo abarcó el 11,4% para época seca y 71,5% para época de lluvia de la precipitación total, porcentajes inferiores en comparación con los anteriores.

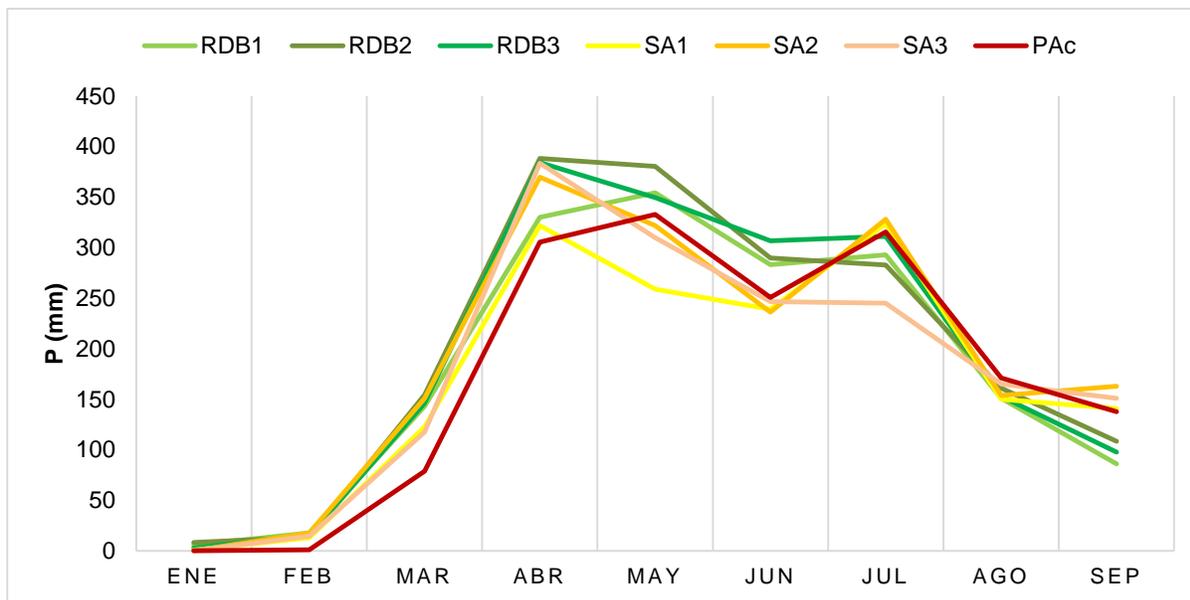


Fig. 11. Evaluación de la precipitación directa en cada una de las parcelas de ambas coberturas. SA: Sistemas agriforestales; RDB: Relictos de bosque; PAc: Parcelar control de pastizales.

Tabla 5. Escurrimiento bajo el dosel medio semanal en cada parcela evaluada y la relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio; S: seca, Ll: Iluvia y E: Escurrimiento.

Cobertura	E medio mm/sem						%E/P					
	E. Seca			E. Lluvia			E. Seca			E. Lluvia		
	Media	D.E.	Mediana	Media	D.E.	Mediana	Media	D.E.	Mediana	Media	D.E.	Mediana
RDB1	13,9	25,9	2,87	68,1	38,9	69,9	34,8	38,7	22,1	68,8	27,8	73,5
RDB2	14,7	25,2	3,47	73,2	37,3	68,3	38,1	38,8	30,1	71,6	27,3	75,1
RDB3	13,7	22,5	2,68	72,8	42,9	62,9	38,0	36,4	43,7	71,5	32,2	75,8
RDB	15,5	24,2	3,34	71,4	39,2	70,4	36,9	36,9	40,6	69,7	28,8	78,8
SA1	11,4	23,3	1,42	65,2	28,5	59,4	30,6	35,1	15,7	65,9	19,9	71,9
SA2	14,8	31,4	1,75	71,5	32,1	63,3	37,9	45,6	13,7	71,2	20,7	72,5
SA3	11,0	20,7	1,63	72,8	32,1	65,5	33,0	38,5	16,1	73,0	20,9	70,0
SA	12,2	24,8	1,60	69,8	30,6	64,2	33,9	38,9	15,1	66,1	20,4	72,8
PA (control)	6,66	13,5	0,00	68,8	25,0	70,2	11,4	19,9	0,00	68,7	18,9	71,5

1.8.3. Ecurrimiento fustal (Ef)

Para las especies de bosque, *O. bataua* y *P. laevis* destacaron en ambas épocas recogiendo la mayor cantidad de agua (Tabla 7), para el caso de los SA la especie que destacó fue *C. paraense* por la cantidad de individuos por hectárea (Tabla 6).

El comportamiento de los datos según las pruebas de homogeneidad, aletoreidad y normalidad permitió realizar un análisis de varianza de un factor para ambas épocas (Tabla 8). Arrojando una variabilidad notable para la época de lluvia donde se encontró diferencias significativas entre las dos coberturas que en gran medida están marcadas por la abundancia de los individuos de las especies evaluadas. El porcentaje representativo de escurrimiento fustal que recogieron estas especies respecto a la precipitación incidente para esta época fue de 0,50 y 0,90% para bosque y sistemas agroforestales respectivamente.

Para la época seca el porcentaje de la precipitación total retenida por el Ef fue de 0,62% para bosque y 0,50% para los agroforestales, en esta época no se establecieron diferencias estadísticamente significativas. El análisis de regresión líneal muestra una relación positiva en ambas coberturas, que explica que a mayor precipitación había una mayor captación por el fuste de los individuos de las especies (Fig. 12).

Tabla 6. Ecurrimiento fustal promedio semanal para las especies de los sistemas agroforestales durante el período de estudio. D.E. = Desviación estándar

Especies de Sistemas agroforestales	Época seca		Época de lluvia	
	Media	D.E.	Media	D.E.
<i>C. paraense</i>	0,0036	0,0059	0,0220	0,0174
<i>M. guianensis</i>	0,0111	0,0216	0,0541	0,0140
<i>Aspidosperma</i> sp.	0,0095	0,0213	0,0481	0,0253
<i>C. cateniformis</i>	0,0073	0,0211	0,0480	0,0235
<i>C. pyriformis</i>	0,0174	0,0285	0,0100	0,0614

Tabla 7. Esguerrimiento fustal promedio semanal para las especies de los relictos de bosque durante el período de estudio. D.E. = Desviación estándar

Especies de Bosque	Época seca		Época de lluvia	
	Media	D.E.	Media	D.E.
<i>E. precatória</i>	0,0036	0,0059	0,0220	0,0174
<i>G. glabra</i>	0,0035	0,0055	0,0163	0,0062
<i>C. cateniformis</i>	0,0055	0,0073	0,0097	0,0059
<i>O. bataua</i>	0,0127	0,0217	0,0504	0,0214
<i>P. sagotianum</i>	0,0033	0,0051	0,0167	0,0069
<i>P. laevis.</i>	0,0060	0,0117	0,0301	0,0140
<i>T. amazonia</i>	0,0052	0,0097	0,0247	0,0083
<i>V. elongata</i>	0,0048	0,0080	0,0290	0,0175

Tabla 8. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.

Época	gl	p-valor	Prueba estadística
Seca	1	0,9531	ANOVA
Lluviosa	1	0,0001	ANOVA

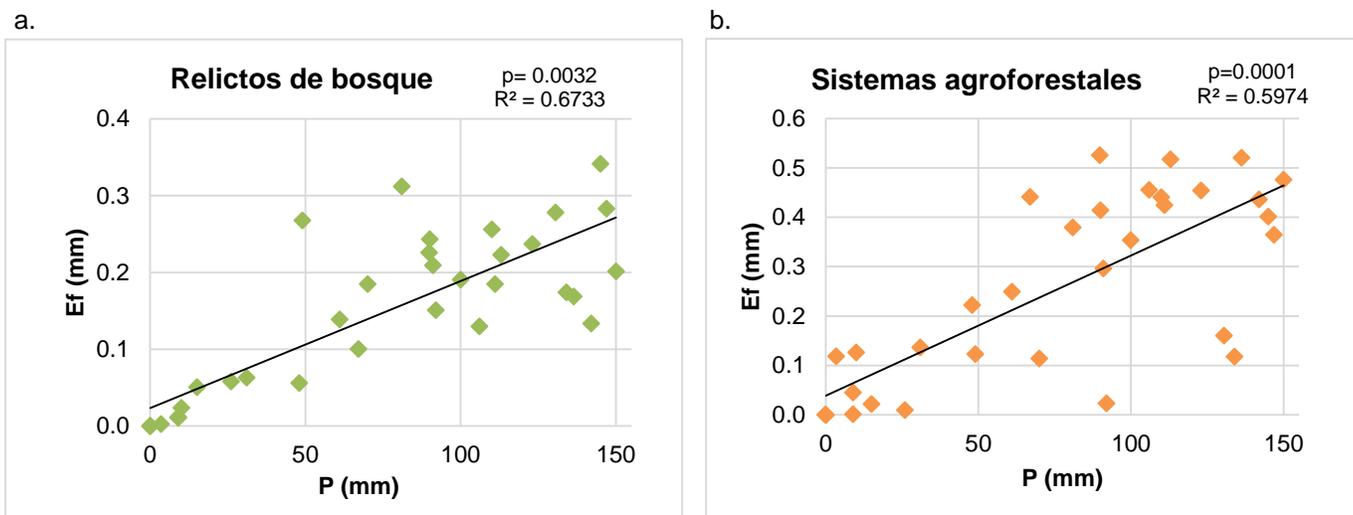


Fig. 12. Escurrimiento fustal medio semanal y relación porcentual entre el escurrimiento fustal y la precipitación incidente en función de la precipitación neta para bosque (a) y sistemas agroforestales (b). Cada punto representa las semanas evaluadas.

1.8.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo

Teniendo en cuenta la textura y la variación en los porcentajes de retención es claro que existe una capacidad diferente para retener e infiltrar el agua de lluvia por los suelos y se confirma con un análisis de varianza que a través de una prueba post-hoc LSD Fisher muestra que existen diferencias entre la cobertura boscosa y los sistemas agroforestales (Tabla 9).

Es así que la capacidad de retención de agua disponible en el suelo fue mayor para las parcelas de los ecosistemas boscosos con un valor promedio de $24,6\% \pm 4,9\%$, que presentaban suelos en su mayoría arcillosos y franco-arcillosos. En las parcelas de los sistemas agroforestales tenían suelos franco-arcillosos y franco-limosos con un valor promedio de $14,9\% \pm 1,9\%$ y finalmente la parcela control tuvo una retención del $16,7\% \pm 0,44\%$ con un tipo de suelo arcilloso (Fig. 13).

Tabla 9. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) y test LSD Fisher; gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05. Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes.

Coberturas	Media	Letra	gl	p-valor
RDB	24,6% ± 4,9%	A	2	0,0001
SA	14,9% ± 1,9%	B		
PA	16,7% ± 0,44%	B		

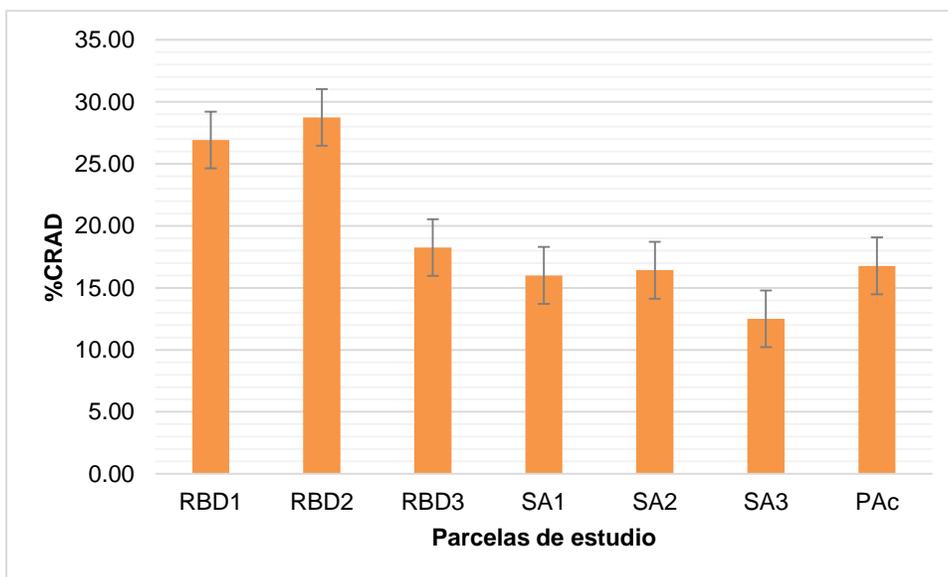


Fig. 13. Porcentaje de la capacidad de retención de agua disponible en el suelo para las parcelas analizadas en el estudio.

1.8.5. Intercepción de las copas de los árboles (ICA)

En la figura 14 se muestra el promedio mensual del porcentaje de intercepción que hubo para cada cobertura evaluada siendo mayor la pérdida de precipitación incidente en los sistemas agroforestales para los meses de época seca con 107,3 mm y menor en los meses de lluvia exceptuando julio y agosto con 691 mm respecto al bosque.

Para la cobertura boscosa la pérdida de agua lluvia fue menor con 84,3 mm en época seca y mayor con 794,9 mm en época de lluvia respecto a los sistemas agroforestales. A través de una prueba estadística Kruskal-Wallis se buscó comparar las coberturas por épocas arrojando valores sin diferencias importantes para cada una (Tabla 10).

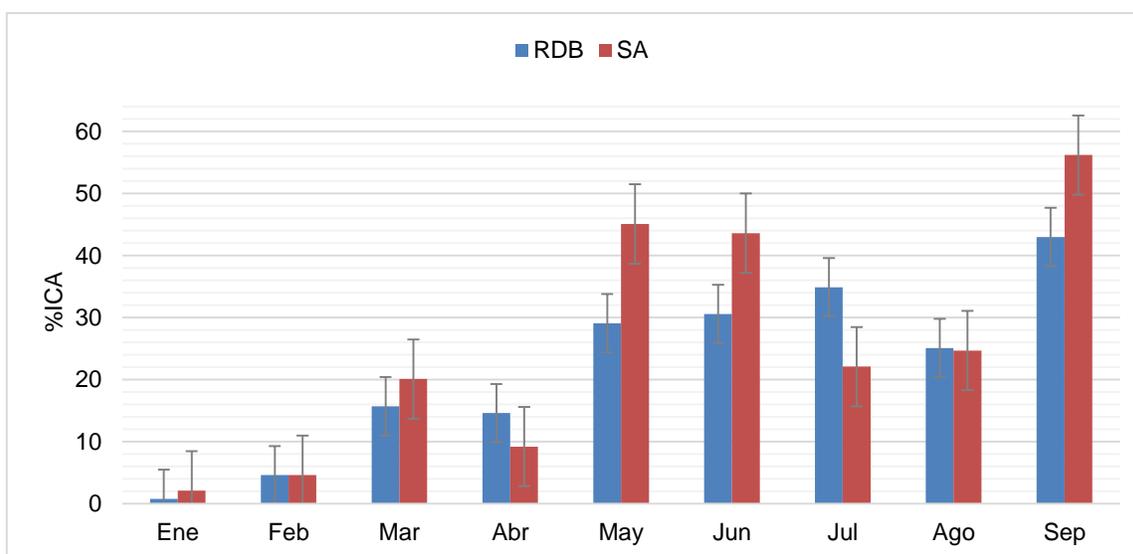


Fig. 14. Intección de agua de lluvia por las copas de los árboles (ICA) promedio mensual para cada cobertura en todo el periodo de estudio.

Tabla 10. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III); gl: grados de libertad, con un alfa de 0,05.

Época	gl	p-valor	Prueba estadística
Seca	2	0,7909	Kuskall-Wallis
Lluviosa	2	0,7239	Kruskall-Wallis

1.8.6. Análisis de los rasgos funcionales

Se evaluaron 14 rasgos funcionales relacionados que posiblemente podían estar relacionados con el servicio ecosistémico hídrico (Aquino, 2009; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). En las tablas 11 y 12 se presenta la estadística descriptiva de los rasgos evaluados

por cobertura donde n es el número de especies con un total de 40 individuos por cobertura (Los demás estadísticos descriptivos se muestran en el apartado de anexos).

Tabla 11. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque Rep = Repeticiones, n = número de especies, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	8	5	16,48	6	36,43	10,94	29,14	15,2
Altura del fuste	8	5	10,87	2,5	23,02	7,32	14,08	10,5
Diametro a la altura del pecho	8	5	36,48	26,3	72,11	11,7	80,2	22,49
Densidad de la copa	8	5	-	-	-	1	3	2
Textura de la hoja	8	na	-	-	-	1	3	2
Textura de la madera	8	5	-	-	-	1	5	2
Capacidad de carga de epífitas	8	5	-	-	-	1	3	1,5
Diametro de la copa	8	5	11,93	6,94	58,16	6,18	22,65	8,02
Forma de la copa	8	5	1,19	0,64	53,63	0,53	2,11	1,11
Área foliar	8	10	116,13	152,88	131,65	27,82	486,49	65,47
Grosor de la hoja	8	10	0,35	0,29	81,96	0,17	1,05	0,26
Área foliar específica	8	10	107,23	29,22	27,25	59,56	152,13	106,22
Contenido relativo de agua en la hoja	8	10	0,88	0,05	5,6	0,8	0,95	0,89
Contenido relativo de agua en la rama	8	10	0,87	0,03	3,96	0,82	0,92	0,89

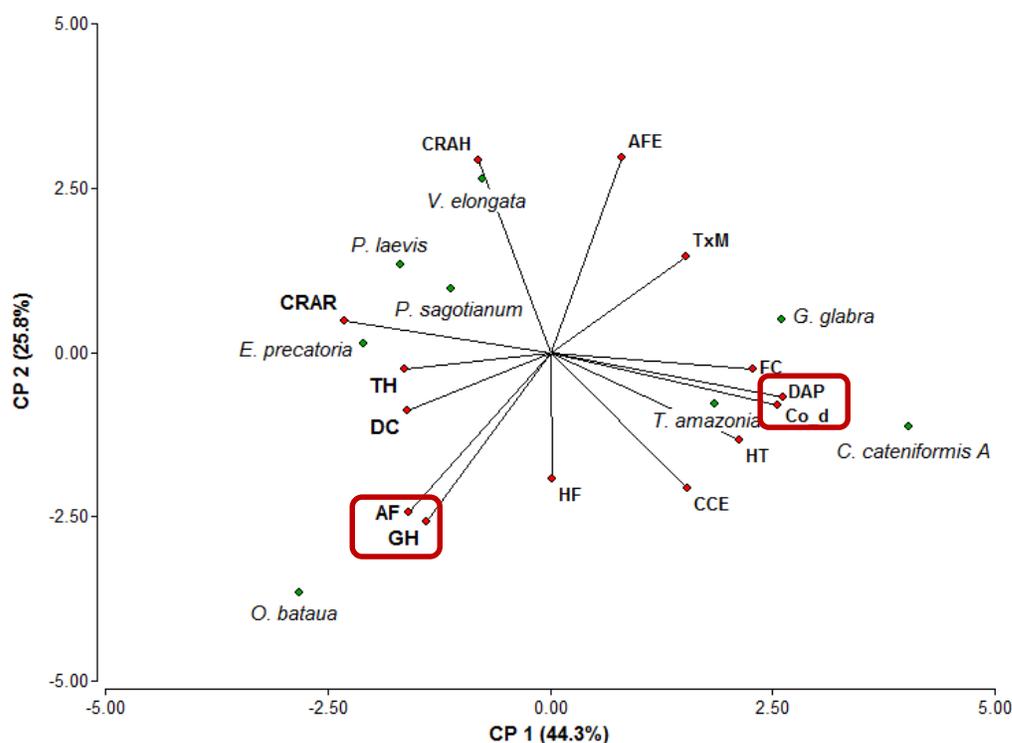
Tabla 12. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales. Rep. = Repeticiones, n = número de especies, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	18,46	7,21	39,06	7,62	25,54	22,04
Altura del fuste	5	5	7,34	2,66	36,22	3,62	11,08	7,38
Diametro a la altura del pecho	5	5	31,96	22,13	69,23	13,72	67,76	24,32
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	2	1
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	4	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	1	5	2
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	1
Diametro de la copa	5	5	8,64	5,08	58,82	4,05	17,19	8,1
Forma de la copa	5	5	1,37	0,78	56,77	0,59	2,59	1,2
Área foliar	5	10	52,64	22,64	43	19,43	77,62	50,04
Grosor de la hoja	5	10	0,23	0,06	24,21	0,14	0,28	0,24
Área foliar específica	5	10	184,92	89,7	48,51	119,95	339,37	156,44
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0,83	0,06	6,87	0,74	0,88	0,86
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0,86	0,06	7,35	0,79	0,93	0,87

Se determinó que para los relictos de bosque los rasgos área foliar (AF) y grosor de la hoja (GH) utilizados en el estudio tienen los mayores coeficientes de variación. En el caso del AF este coeficiente fue superior al 100%, lo que indica que su alta variabilidad se debe principalmente a los valores aportados por los individuos de la familia Arecaceae (Tabla 11). Por otra parte para los rasgos de los SA el coeficiente de variación no superó el 70% siendo el más alto el diámetro a la altura del pecho (DAP) con un 69,2%; seguido del diámetro de la copa (Co_d) con un 58,8% debido a la especie *C. pyriformis* que presentaba valores de DAP y Co_d bastante altos (Tabla 12).

Por último de los 14 rasgos evaluados se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para observar el comportamiento de las especies con la variación de los rasgos medidos (Fig. 16). Esto permitió descartar el rasgo diámetro a la altura del pecho (DAP) ya que con el diámetro de la copa (Co_d) presentan una autocorrelación y este rasgo está más relacionado con la captura de carbono que con la regulación hídrica. También, se descartó el rasgo grosor de la hoja que explica una variación similar en el análisis con el área foliar (AF) que según la literatura puede estar mucho más relacionado con la retención hídrica de las plantas (Fig. 15).

a)



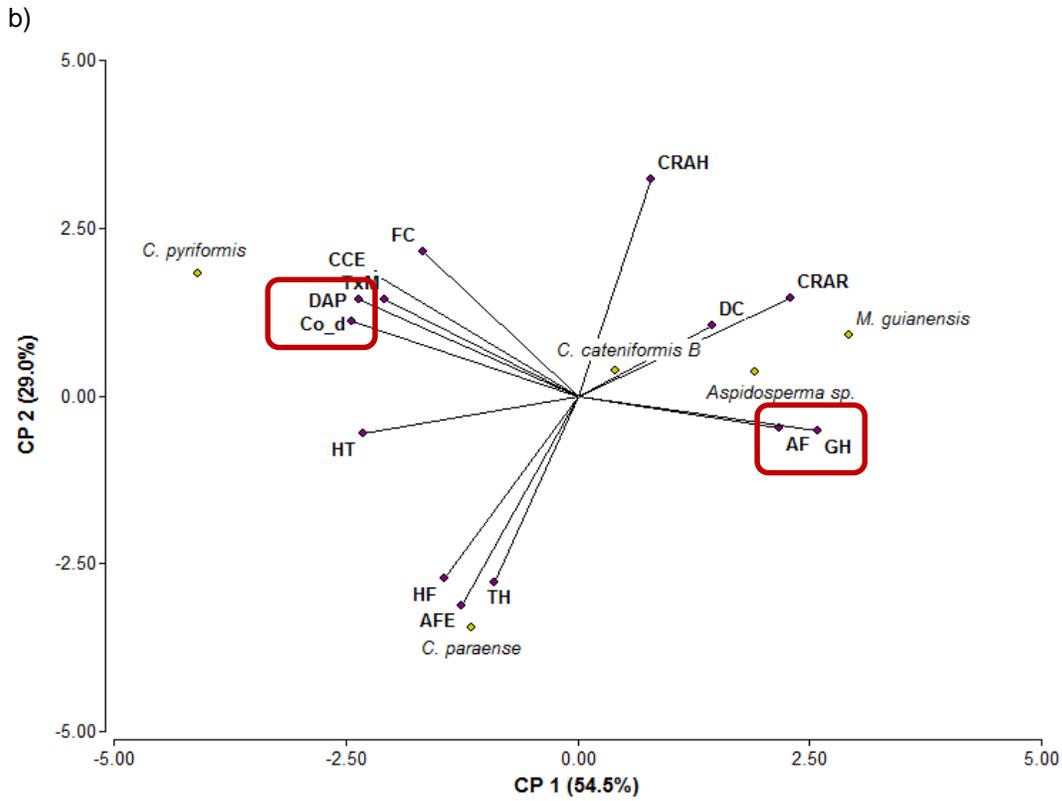


Fig. 15. Analisis de componentes principales para las especies de bosque (a) y las especies de sistemas agroforestales (b).

En las tablas 13 y 14 se muestran el análisis de correlación de spearman entre los valores de los rasgos de cada especie para la cobertura de bosque como para la de los sistemas agroforestales.

Tabla 13. Coeficientes de correlación de spearman entre rasgos funcionales para la cobertura boscosa. De la diagonal hacia abajo se presentan los coeficientes de correlación y de la diagonal hacia arriba la significancia ($\alpha=0,05$)

CVIP	HT	HF	Co_d	FC	AF	AFE	CRAH	CRAR	TxM	TH	DC	CCE
HT	1	0,28	0,09	0,34	0,23	0,57	0,10	0,42	0,56	0,65	0,43	0,23
HF	0,4	1	0,38	0,13	0,17	0,49	0,85	0,26	0,86	0,17	0,53	0,08
Co_d	0,64	-0,33	1	0,02	0,03	0,75	0,07	0,01	0,07	0,16	0,13	0,23
FC	0,36	-0,57	0,86	1	0,01	0,71	0,31	0,00	0,09	0,31	0,10	0,42
AF	-0,45	0,52	-0,81	-0,95	1	0,41	0,41	0,01	0,85	0,09	0,07	1
AFE	-0,21	-0,26	-0,12	0,14	-0,31	1	0,41	0,65	0,1	0,38	0,38	0,17
CRAH	-0,62	-0,07	-0,69	-0,38	0,31	0,31	1	0,42	0,53	0,34	0,31	0,56
CRAR	-0,34	0,46	-0,84	-0,93	0,86	-0,19	0,34	1	0,10	0,42	0,38	0,06
TxM	0,67	-0,65	0,77	0,17	0,33	0,65	0,65	0,72	1	0,04	0,34	0,28
TH	0,98	0,53	0,75	-0,43	0,19	-0,32	0,32	0,56	0,25	1	0,65	0,34
DC	0,81	0,87	0,32	-0,65	0,83	-0,66	0,28	0,53	-0,58	-0,13	1	0,76
CCE	0,07	0,32	0,57	0,83	0,88	-0,14	-0,67	0,12	0,84	0,55	0,16	1

HT = Altura Máxima; HF = Altura del fuste; Co_d = Densidad de la Copa; FC = Forma de la Copa; AF = Área Foliar; AFE = Área foliar específica; CRAH = Contenido relativo de agua en la hoja; CRAR = Contenido relativo de agua en la rama; TxM = Textura de la Madera; TH = Textura de la Hoja; DC = Densidad de la copa y CCE = Capacidad de carga de epífitas.

Tabla 14. Coeficientes de correlación de spearman entre rasgos funcionales para la cobertura agroforestal. De la diagonal hacia abajo se presentan los coeficientes de correlación y de la diagonal hacia arriba la significancia ($\alpha=0,05$)

CVIP	HT	HF	Co_d	FC	AF	AFE	CRAH	CRAR	TxM	TH	DC	CCE
HT	1	0,23	0,11	0,42	0,23	0,16	0,32	0,23	0,03	0,38	0,19	0,07
HF	0,61	1	0,23	0,69	0,69	0,07	0,07	0,11	0,74	0,54	1	0,38
Co_d	0,82	0,63	1	0,23	0,42	0,11	0,16	0,07	0,80	0,09	0,81	0,91
FC	0,45	-0,22	0,61	1	1	1	0,84	0,55	0,88	1	0,34	0,21
AF	-0,68	-0,29	-0,44	0,60	1	0,32	0,84	0,69	0,12	0,42	0,62	0,46
AFE	0,72	0,97	0,83	0,31	-0,50	1	0,11	0,07	0,26	0,95	0,32	0,09
CRAH	-0,58	-0,93	-0,72	-0,1	-0,13	-0,84	1	0,07	0,06	0,87	0,53	0,32
CRAR	-0,63	-0,83	-0,96	-0,31	0,22	-0,95	0,90	1	0,08	0,92	0,76	0,07
TxM	0,97	0,34	0,68	0,42	-0,15	0,23	0,88	-0,65	1	0,11	0,54	0,88
TH	-0,87	-0,19	-0,75	0,88	0,51	0,18	-0,69	0,74	0,27	1	0,31	0,16
DC	0,77	0,63	0,87	0,54	0,24	0,29	0,65	0,10	-0,83	0,68	1	0,28
CCE	0,38	0,44	0,82	0,89	-0,19	0,76	0,81	0,99	0,70	0,32	0,55	1

HT = Altura Máxima; HF = Altura del fuste; Co_d = Densidad de la Copa; FC = Forma de la Copa; AF = Área Foliar; AFE = Área foliar específica; CRAH = Contenido relativo de agua en la hoja; CRAR = Contenido relativo de agua en la rama; TxM = Textura de la Madera; TH = Textura de la Hoja; DC = Densidad de la copa y CCE = Capacidad de carga de epífitas.

Ahora bien, en la tabla 15 se muestra el resumen de las correlaciones positivas y negativas estadísticamente significativas tanto para los rasgos involucrados en la cobertura boscosa como para la agroforestal.

Tabla 15. Correlaciones entre rasgos involucrados con el servicio ecosistémico hídrico para cada cobertura.

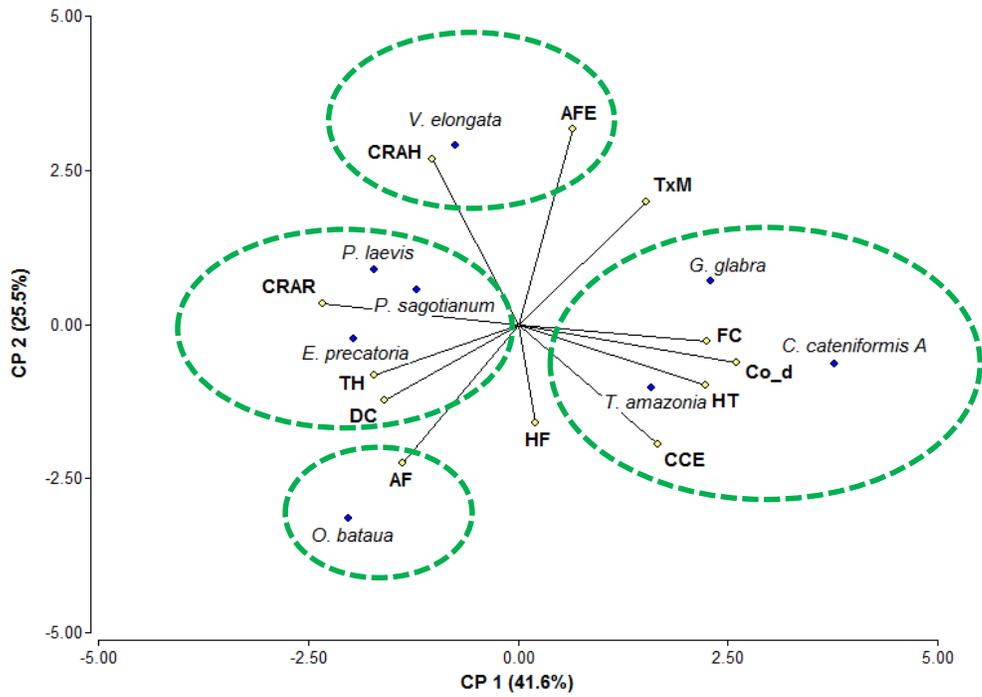
Correlaciones	SEH RDB	SEH SA
Positivas	Co_d↔FC; AF↔CRAR; TH↔TxM	HT↔TxM
Negativas	Co_d↔AF, CRAR; FC↔CRAR, AF	NC

Co_d = Densidad de la Copa; FC = Forma de la Copa; AF = Área Foliar; HT = Altura Máxima; TH = Textura de la Hoja; CRAR = Contenido relativo de agua en la rama; CRAH = Contenido relativo de agua en la hoja; TxM = Textura de la Madera; NC = No hay correlación.

Según los análisis de componentes principales (ACP), que explican el 67,1% (41,6% en el componente uno y 25,5% en el componente dos) del comportamiento de los rasgos funcionales y separa las especies de bosque en diferentes conjuntos de plantas, lográndose identificar cuatro agrupaciones: el primer conjunto está conformado por *P. laevis*, *P. sagotianum* y *E. precatória*, las cuales están relacionadas con altos valores de CRAR, TH y DC; el segundo conjunto se conforma por *G. glabra*, *C. cateniformis* A y *T. amazonia*, relacionados con valores de altura, y altos valores relacionados con la copa (FC, CO_d) y el tronco (HT, Capacidad de carga de epífitas CCE); y una tercer y cuarta agrupación conformadas por solo una especie, la tercera se caracteriza por altos valores de CRAH y AFE y es la especie *V. elongata*; y la cuarta para *O. bataua* con altos valores de área foliar (Fig. 16a).

Para los sistemas agroforestales el análisis explica el 80,8% (49,8% del componente uno y 31,4% del componente dos) de la variación de los rasgos respecto a las especies de esta cobertura y permite identificar tres agrupaciones: la primera con especies caracterizadas por presentar altos valores de DC y CRAR conformado por: *C. cateniformis* B, *Aspidosperma* sp. y *M. guianensis*; la segunda conformada por *C. pyriformis*, relacionado con altos valores de Co_d, CCE, además de presentar una textura de la madera con una categoría de rugosidad mayor (TxM) en comparación a las demás; por ultimo la tercer agrupación conformada por *C. paraense* con individuos con valores mayores en los rasgos: HT, HF y AFE (Fig. 16b).

a.



b.

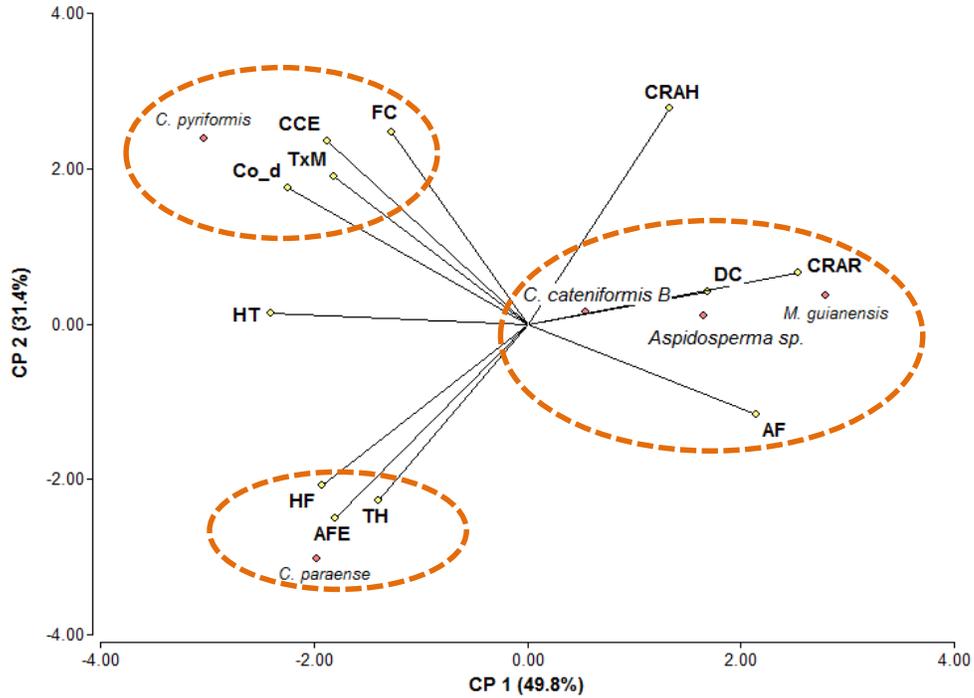
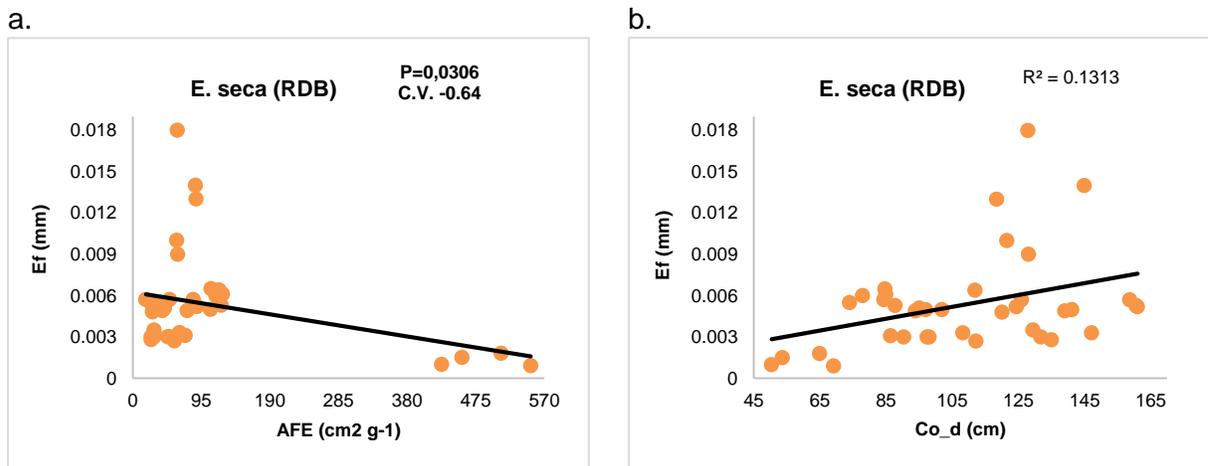


Fig. 16. Análisis de componentes principales. **a.** para especies de los relictos de bosque y **b.** para especies de los sistemas agroforestales.

1.8.7. Relación de los rasgos funcionales y la precipitación incidente

Para relacionar los rasgos funcionales con el escurrimiento por el dosel de cada cobertura se utilizó la media ponderada de la comunidad (MPC) para cada época teniendo en cuenta las diferentes parcelas trabajadas, y a través de un análisis de correlación de spearman con un alfa de 0,05 se encontró una correlación positiva con los rasgos de altura total (HT) y diámetro de la copa (Co_d) para los RDB en época de lluvia y para los SA sólo se encontró correlaciones positivas para la época de lluvia con HT, Co_d, altura del fuste (HF), forma de la copa (FC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE).

En cuanto a la relación entre el escurrimiento fustal y los rasgos funcionales se realizó un análisis de correlación de spearman y se encontraron varias correlaciones para las dos coberturas evaluadas en las diferentes épocas que eran estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Para los RDB en época seca se encontró una correlación negativa entre el AFE y dicho escurrimiento siendo menor en especies con altos valores de área foliar específica (Fig. 17a), mientras que para el Co_d la correlación fue positiva con un mayor Ef para especies con una gran copa (Fig. 17b). Ahora bien, para el periodo de lluvias el análisis arrojó tres correlaciones negativas entre la CRAH, FC y AF en función de la precipitación translocada, de esta manera para especies con alto porcentaje de agua en sus hojas, una forma de la copa mayor a uno y grandes hojas el Ef era menor (Fig. 17c; 17d; 17e).



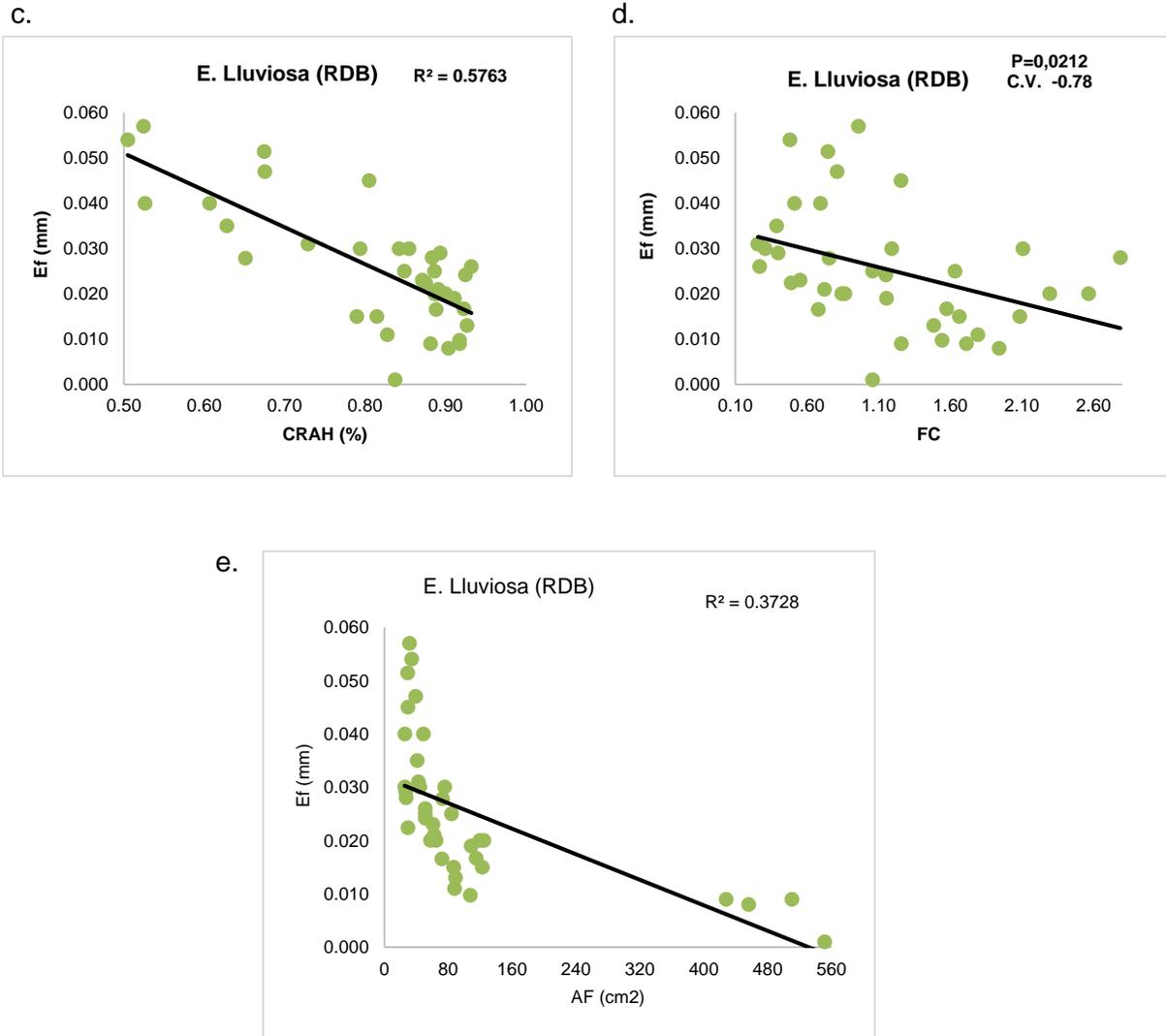
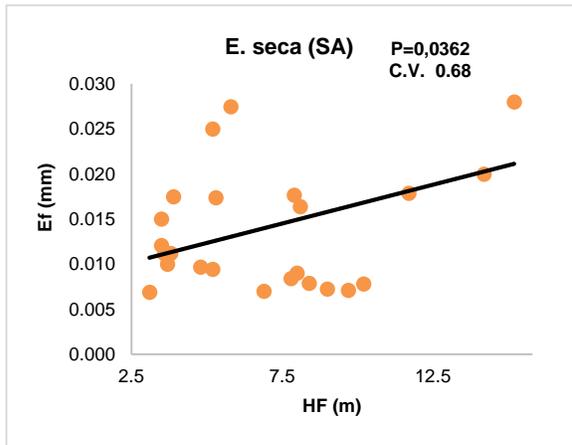


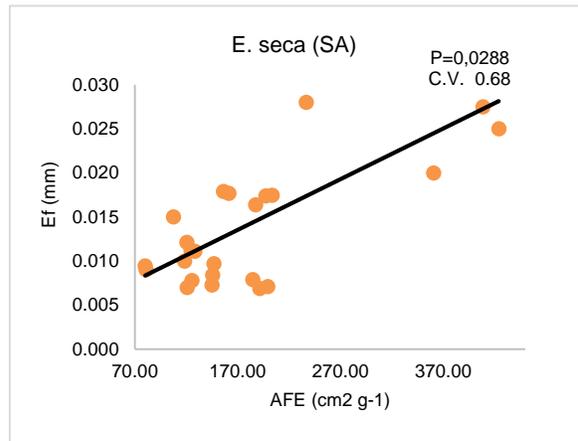
Fig. 17. Gráficas de dispersión que muestran la tendencia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para bosque (RDB) en el periodo de estudio; cada punto representa a los individuos evaluados.

La correlación de spearman para los SA en época seca dio correlaciones negativas para el AF, AFE, CRAH y HF con el Ef, es así que las especies con hojas de gran tamaño y masa foliar con altos porcentajes de contenido de agua, y un fuste alto presentaban bajos contenidos de escurrimiento fustal (Fig. 18a; 18b; 18c; 18d). En la época de lluvia hubo dos correlaciones positivas con el Ef que fue para los rasgos HF y CRAH, es decir, especies con gran porte y altos valores de contenido de agua en la hoja interceptaban más agua a través del tronco (Figura 18e; 18f), también se dió una correlación negativa entre el AFE y el escurrimiento fustal (Figura 18g).

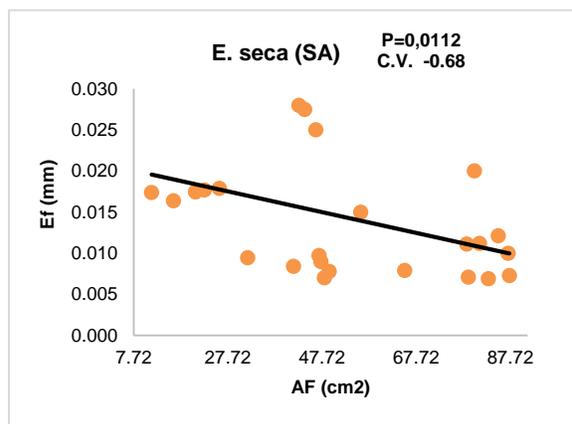
a.



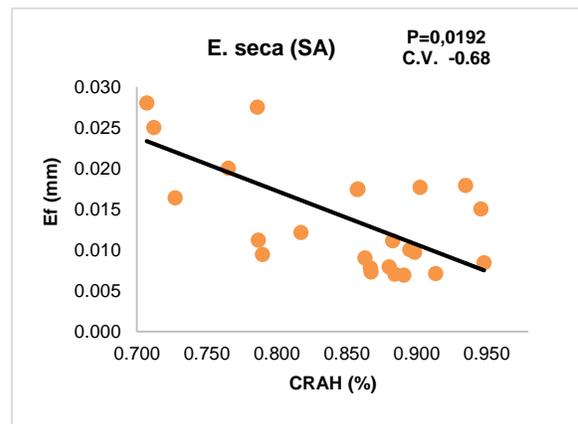
b.



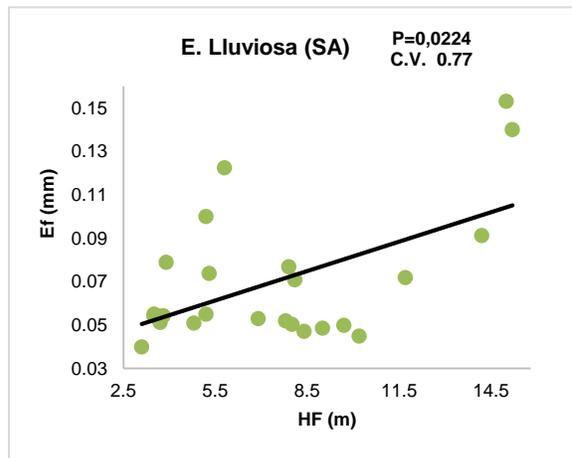
c.



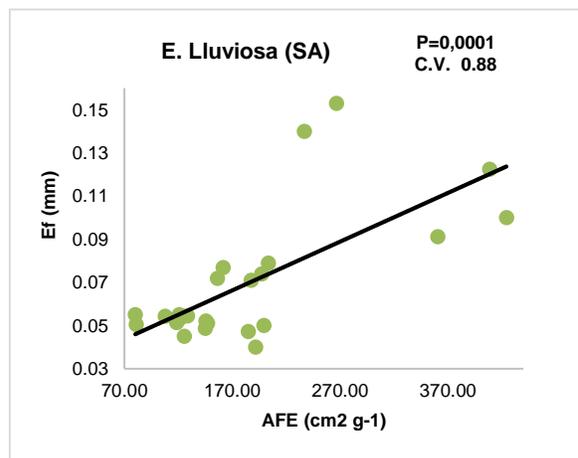
d.



e.



f.



g.

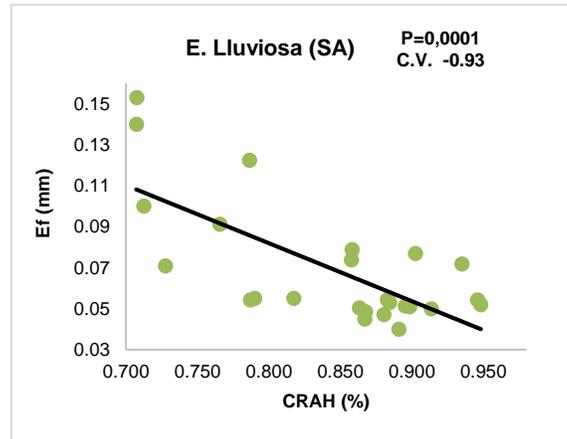


Fig. 18. Gráficas de dispersión que muestran la tendencia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para los sistemas agroforestales (SA) en el periodo de estudio; cada punto representa a los individuos evaluados.

1.9. DISCUSIÓN

1.9.1. Características de la lluvia

Las precipitaciones fueron contrastantes entre la parcela control y las estaciones meteorológicas del IDEAM para todo el periodo de estudio (Fig. 10). En las estaciones para la época seca se obtuvo un total 254 mm de precipitación incidente lo que para la parcela control fue de 137,8 mm, esto equivale al 54,2% de la lluvia total para esta época, mientras que para la época de lluvia las estaciones mantuvieron sus valores altos en los meses de mayo y julio con un total de precipitación incidente de 2235,7 mm respecto a 1610,3 mm para la parcela control que corresponde al 72,1% de la precipitación neta, con mayores precipitaciones en los meses de abril y septiembre meses en los cuales hubieron eventos de mayor de lluvias con una fuerte intensidad.

Estas diferencias pueden deberse principalmente al microclima de la parcela y a su alta evapotranspiración al presentar una cobertura herbácea y estar desprovista de individuos arbóreos que permitan disminuir la evapotranspiración tanto de la vegetación herbácea como la del suelo ya que la diferencia fue mayor para los meses de época seca que en los meses de lluvia (Jaramillo, 2005; Siles *et al.*, 2010) causando una disminución en el agua almacenada en cada uno de los pluviómetros. Teniendo en cuenta que los porcentajes de agua lluvia recogida por la parcela control están por encima del 50% se puede apreciar que a pesar de que las estaciones acogen una gran área no hay un desfase alto al momento de comparar estos valores con las variables hídricas calculadas en este estudio.

1.9.2. Ecurrimiento por el dosel

Los valores de escurrimiento por el dosel (E), fueron todos encontrados por encima del 40% para época seca y el 65% para época lluvia, a pesar de que el análisis estadístico no arrojó diferencias significativas la cantidad total de precipitación directa permite concluir que dicho escurrimiento fue mayor en bosque (Fig. 11). Sin embargo, estudios anteriores con metodologías similares en bosques tropicales registran valores de escurrimiento entre el 70-95% de la precipitación total (Jackson, 1971; Bruijnzeel, 1989; Loescher *et al.*, 2002), y otros estudios en plantaciones agroforestales también registran valores entre 73-85% respecto a la precipitación incidente (Jaramillo, 2005; Siles *et al.*, 2010). Estos valores

inferiores al 70% se pudieron dar debido a que en primer lugar, los análisis se realizaron en un corto periodo de tiempo y el registro no fue diario (Levia & Germer, 2015). Por otro lado, la metodología aplicada no incluyó la evaluación de la evapotranspiración que permitieran explicar cuanta agua pudo haber sido evaporada.

Estudios como el de Lloyd & Marques (1988), y Hölscher *et al.* (1998) establecen que bosques con alta biodiversidad pueden presentar valores de 60-80% para el total de la pluviosidad, lo cual es el caso para los Bosques densos altos de tierra firme, por otra parte, para los sistemas agroforestales el valor obtenido es similar al del bosque natural (León *et al.*, 2010).

1.9.3. Esguerrimiento fustal

Para los relictos de bosque las especies con mayor esguerrimiento fustal para ambas épocas fueron *O. bataua* y *E. precatória* pertenecientes a la familia Arecaceae con características morfológicas como su tronco liso que disminuye la cantidad de individuos epifitos en el mismo, la arquitectura central de su copa que permite acceder de una manera mas sencilla al tronco y la altura que estas alcanzan respecto a las demás especies, así el agua llega en mayor volumen al suelo (Levia & Frost, 2003; León *et al.*, 2010). Entretanto, para los sistemas agroforestales la especie con mayor esguerrimiento fustal para la época de lluvia ya que en época seca ninguna de las especies destacó fue *C. paraense*, el alto porcentaje de Ef estuvo estrechamente relacionado con el gran número de individuos por hectárea y el área basal, características fundamentales para el análisis de la precipitación translocada (Miranda, 2012; Levia & Germer, 2015; Zhang *et al.*, 2015).

Se observó una relación positiva entre el esguerrimiento fustal (Ef) y la precipitación incidente que explicaba más del 55% de variabilidad de los datos para ambas coberturas durante el periodo de estudio (Fig. 12). También, se pueden apreciar valores aislados que son explicados por la intensidad de las lluvias que facilitaban el esguerrimiento por el dosel como se puede observar en la figura 11 donde en los meses de marzo, mayo y junio hay un incremento significativo en esta variable (Jaramillo, 2005).

Los porcentajes para cada cobertura se encontraban entre 0,5-0,9% respecto a la precipitación total, valores que concuerdan con los hallados en diversos estudios para bosques tropicales (Ubarana *et al.*, 1996; Téllez & Boshell, 2004; Jaramillo, 2005). Dichos

porcentajes mencionados están altamente influenciados por el número de individuos que se encuentran por hectárea en el ecosistema para las especies evaluadas y por la intensidad de los eventos de lluvia (Hölscher *et al.*, 1998; Siles *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2015), es por esto que para la época de lluvia los resultados entre ambas coberturas arrojaron diferencias significativas siendo mayor para la cobertura agroforestal con especies forestales definidas y un valor mayor de individuos respecto a los bosques conservados (León, *et al.*, 2010; Siles *et al.*, 2010). Sin embargo, dichos bosques presentan especies epífitas que no fueron incluidas en el estudio las cuales retienen una gran cantidad de agua lluvia para su subsistencia que nunca llega al suelo pero que corre por los troncos de las especies arbóreas (Stevenson & Rodríguez, 2008).

1.9.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo

La precipitación incidente y la cobertura boscosa junto con las propiedades químicas y físicas de los suelos estructuran un complejo que almacena e infiltra el agua de lluvia que tiene una función importante en el desarrollo de las especies y comunidades (Poorter *et al.*, 2003; da Costa *et al.*, 2013). Para el estudio hubo diferencias significativas entre los bosques y los sistemas agroforestales presentando mayores valores de retención de humedad en el suelo en los relictos de bosque (Fig. 13). Las parcelas de bosque presentaban en su mayoría suelos arcillosos que se conocen que tienen una capacidad de retención mayor respecto a suelos arenosos o limosos (Reichert *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2014; Bautista *et al.*, 2004). También los suelos con una cobertura vegetal expuesta a la radiación solar que es el caso de la parcela control y los sistemas agroforestales evaluados con un dosel mucho más abierto y menos denso que los bosques, facilitan la evaporación del suelo y hacen que procesos como escorrentía y percolación sean bajos (Jaramillo, 2005).

Existe muy poca información sobre el tema para ecosistemas naturales, la mayoría de investigaciones se centran en cultivos o sistemas silvopastoriles lo que dificulta un análisis correcto de la información. En estos estudios se muestra que la disminución de la capacidad del suelo para retener, aceptar y liberar agua reduce su productividad (Poorter *et al.*, 2003; Bravo *et al.*, 2004). El contenido de materia orgánica en el suelo va a mejorar la capacidad de retención de agua de los mismos, por la porosidad que aumenta y por ende aumenta la

capacidad de campo (Huntington, 2007), esto relacionado a estudios que caracterizan a los suelos de los bosques amazónicos por presentar una capa de aproximadamente 20 cm de espesor de materia orgánica (Peña-Venegas & Cardona, 2010) confirman que los suelos boscosos van a presentar una mayor retención e infiltración de agua respecto a los suelos agroforestales y de pastizales.

1.9.5. Intercepción de las copas de los árboles

Para un ecosistema arbóreo gran parte de la precipitación incidente es retenida en el dosel o parte aérea de las plantas generando una intercepción entre el agua que ingresa al sistema y la que llega finalmente al suelo (Levia & Germer, 2015). Para las coberturas evaluadas en este estudio no se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de intercepción para ninguna de las épocas, pero hubo una menor pérdida de agua en los relictos de bosque respecto a los sistemas agroforestales (Fig. 14).

La correlación entre el porcentaje de intercepción y la precipitación incidente explican más del 40% de variabilidad entre ambos componentes y establece que a mayor precipitación mayor será dicho porcentaje, estos valores difieren de varios estudios que establecen que el porcentaje de intercepción está en un rango de 1-20% de toda la lluvia, y que además es mayor en eventos de lluvias pequeñas (Price & Carlyle-Moses, 2003; Staelens, 2008; León *et al.*, 2010; Siles *et al.*, 2010). Aún así, Los datos calculados en este estudio apoyan lo establecido por otros autores que explican que el ICA puede estar en rangos de 10-50% dependiendo de las propiedades climáticas del área de muestreo, la densidad de individuos y la composición florística (Dajoz, 2002; Jaramillo, 2005; Pypker *et al.*, 2005, Gerrits *et al.*, 2007). El municipio El Retorno presenta un clima de tipo tropical estacional caracterizado por su régimen monomodal, con una temporada seca corta y una lluviosa larga con eventos de lluvia intensa o suave pero bastante prolongados, además de una humedad relativa bastante alta (Stevenson & Rodríguez, 2008; Camargo, 2016), lo cual puede explicar porque los porcentajes de intercepción son tan altos, también, la falta de una estación climática local que estableciera datos más precisos para el área de muestreo puede ser otro factor determinante en estos porcentajes.

1.9.6. Análisis de los rasgos funcionales y su relación con la precipitación incidente

Para el estudio se analizaron diferentes rasgos funcionales que la literatura reporta como importantes para el servicio ecosistémico hídrico (Aquino, 2009; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013), dentro de estos mismos rasgos se encontraron correlaciones que explican su comportamiento al momento de analizar el efecto de la cobertura vegetal en la precipitación incidente de cada sistema evaluado (Tabla 15). Para la cobertura boscosa las especies presentan un diámetro de la copa (Co_d) y forma de la copa (FC) que permiten el paso del agua a través del dosel y su relación directamente proporcional puede favorecer o afectar la precipitación directa (Aquino, 2009; León *et al.*, 2010), por otro lado la correlación positiva entre el área foliar (AF) y el contenido relativo de agua en las ramas (CRAR) de las especies puede ser justificado con el tamaño de las hojas entre más grandes las ramas que las sostiene requieren de un mayor espesor por lo tanto hay mayor volumen y puede aumentar la cantidad de agua en las ramas (Milla *et al.*, 2008).

Las correlaciones negativas entre Co_d con AF y CRAR podrían ser explicadas asumiendo que árboles con baja acumulación de agua en sus ramas y hojas pequeñas permiten que un gran tamaño de la copa logre captar mayor cantidad de agua favoreciendo el escurrimiento, lo que coincide también con la forma de la copa, una forma más cercana a valores de uno va a permitir una mayor área de captación de agua lluvia (Wright & Westoby, 2002; Aquino, 2009; Miranda, 2012). A su vez, que la correlación de la textura de la corteza (TxM) con la altura total (HT) sea negativa en las especies de bosque está relacionada con las palmas que se encuentran en todos los estratos del bosque e independiente de su edad su corteza siempre se mantiene lisa, también la especie arborea *P. laevis* presenta dicha característica.

Entretanto para las especies de la cobertura agroforestal sólo se dio una correlación que fue positiva entre la TxM con la altura total HT, que puede estar justificada en razón de que los árboles más grandes tienen potencialmente mayor edad y a mayor edad existe una mayor rugosidad en la corteza del tronco, característica común en el conjunto de especies evaluado para esta cobertura. Sin embargo a pesar de que la rugosidad facilita la presencia de epífitas para estos ecosistemas este rasgo en la mayoría de especies fue bajo pero la altura permitió una mayor captación del agua por el tronco de estas especies que por el dosel del ecosistema (Valová & Bielezová; 2008; Murakami, 2009).

1.9.7. Análisis preliminar de agrupaciones de plantas

Ahora bien, con las especies de mayor abundancia en la cobertura de los RDB se conformaron cuatro agrupaciones de especies que actúan como estrategias funcionales en el proceso de redistribución de la lluvia, la primer agrupación la conforman las especies *E. precatória*, *P. laevis* y *P. sagotianum* que presentaron los mayores valores en la textura de la hoja que las define como especies con tricomas o estrías características importantes que generan un aislamiento de las mismas, pero retiene agua en su superficie lo que facilita la intercepción por evaporación. También, valores altos en la densidad de la copa (DC) y CRAR esto anudado a que no fueron rasgos estadísticamente significativos para la retención de agua (Fig. 16), las cataloga como especies “interceptoras” lo que aportaría mayor capacidad de intercepción de la lluvia por el dosel del bosque (Crockford & Richardson, 2000; Huber e Iroume, 2001; Aquino, 2009).

La segunda agrupación conformada por *C. cateniformis*, *T. amazonia* y *G. glabra* relaciona las especies con gran altura (HT), copas grandes y frondosas (FC, Co_d) y alta capacidad para retener epifitas (CCE) lo que las caracteriza como especies “captadoras del dosel” que facilitan la precipitación directa, es decir el agua lluvia que llega directamente al suelo, así lo manifiesta el análisis con la media ponderada de la comunidad arrojando una correlación positiva con los rasgos de HT y diámetro de la copa (Co_d), (León *et al.*, 2010; Miranda, 2012).

La tercer agrupación sólo tiene una especie *V. elongata* con altos valores de contenido relativo de agua en la hoja (CRAH) y área foliar específica (AFE), estas características la relacionan como una especie “consumidora” que se caracteriza por tomar la precipitación incidente para su propio sostenimiento (Wright & Westoby, 2002; Marengo *et al.*, 2009). La última agrupación definida por una especie, *O. batua* presenta valores altos de AF característica importante según la literatura para la captación de agua por el dosel (Miranda, 2012), Sin embargo no presenta valores altos para los demás rasgos que permita establecer claramente su aporte funcional a la retención de la precipitación incidente.

Por lo que se refiere a los sistemas agroforestales se obtuvieron tres agrupaciones, la primera está conformada por *Aspidosperma sp.*, *C. cateniformis* y *M. guianensis* no tiene una función clara en la retención de la precipitación incidente, aun así sus altos valores en la densidad de la copa (DC) y el tamaño de sus hojas (AF) facilitan la intercepción del agua por el dosel siendo “interceptoras”.

La segunda agrupación está establecida por la especie *C. pyriformis* con valores altos para Co_d y FC que estadísticamente son significativas para la captación de agua por el dosel y los valores altos de capacidad de carga de epifitas (CCE) y la corteza rugosa dificultan la captación de agua por el fuste pero facilitan la llegada de la precipitación al suelo por el dosel, por ello se catalogan como especies “captadoras de dosel”.

Finalmente, la última agrupación también compuesta por una sola especie *C. paraense* presenta los valores más altos de AFE y HF significativamente importantes para ser “captadoras de fuste”, así al presentar valores bajos para la DC, CRAR y CRAH queda claro que su aporte en la retención de la precipitación incidente está marcado por la precipitación translocada.

1.10. CONCLUSIONES

- La medición preliminar de la regulación hídrica ecosistémica para los relictos de bosque (RDB) y los sistemas agroforestales (SA) estuvo representada en este estudio por variables hídricas de escurrimiento y de suelo que permitieron establecer una mayor eficiencia para redistribuir el agua lluvia en los bosques que en sistemas agroforestales.
- La pérdida de precipitación incidente por el dosel tanto del bosque como de los sistemas agroforestales tuvo valores mayores a lo registrado en la literatura (Price & Carlyle-Moses, 2003; Staelens, 2008; León et al., 2010; Siles et al., 2010), esto se pudo deber a una subestimación del escurrimiento por el dosel ya que esta variable contribuye al mayor porcentaje de precipitación directa de los sistemas o para el caso del ecosistema boscoso al gran número de especies que este contiene.
- Los rasgos funcionales analizados en las especies más abundantes de cada sistema muestran un aporte funcional de las mismas en el servicio ecosistémico hídrico. No obstante, es importante resaltar que la relación de estas especies con variables como el escurrimiento que solo se centran en la captación del agua pero no en la retención de la misma puede conducir a subestimaciones de las estrategias funcionales definidas en el estudio (Téllez & Boshel, 2004; Miranda, 2012, Aquino, 2009).
- El presente estudio representa una apreciación preliminar sobre la retención y captación del agua de lluvia en los bosques del Guaviare y los sistemas agroforestales que se están implementando en el área y, teniendo en cuenta que el análisis estadístico utilizado es exploratorio, se recomienda en evaluaciones siguientes realizar mediciones más completas (Ver recomendaciones)

1.11. RECOMENDACIONES

- Es importante para estudios que quieran replicar la metodología de este estudio ajustar con métodos propuestos por otros autores y tener en cuenta un intervalo de tiempo mucho mayor, incluir más replicas y evaluar otras variables hídricas para realizar un análisis estadístico más robusto y hacer una evaluación más completa del servicio ecosistémico hídrico.
- Se recomienda aumentar los estudios para cuantificar la regulación hídrica que involucren la diversidad funcional para tener una mejor comprensión del servicio ecosistémico hídrico de la región.
- Aunque falta realizar análisis más complejos con los resultados de este trabajo se pueden sugerir la implementación de especies como *O. batava* y *P. laevis* para la creación de sistemas agroforestales, así permitir una mayor eficiencia de la distribución de la PI en estos ecosistemas.

1.12. BIBLIOGRAFÍA

Andrade, J.L., Meinzer, F.C., Goldstein, G., Holbrook, N.M., Cavelier, J., Jackson, P. & Silveira, K. (1998). Regulation of water flux through trunks, branches, and leaves in trees of a lowland tropical forest. *Oecologia*, 115, pag: 463-471.

Armenteras, D., González, TM., Retana, J., Espelta., JM. (eds) (2016). Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. Publicado por IBERO-REDD+, 57 p.

Aquino, S. (2009). Impactos humanos en la provisión de servicios ecosistémicos por bosques tropicales muy húmedos: un enfoque de ecología funcional. *Magister Scientiae*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 92 p.

Asner, G.P., Scurlock, J.M.O. & Hicke, J.A. (2003). Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology & Biogeography*, 12, pag: 121-205.

Ataroff, M., & Monasterio, M. (1997). Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Soil Technology*, 11(1), p.p.95–108.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1), pag. 136–147. Disponible en: <https://goo.gl/a6wm7C>

Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R.F., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13 (2), pag: 90-97.

Bonan, G. (2002). *Ecological Climatology*. 1st ed. New York: Cambridge University Press. p.p.607

Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A. (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment & Resources*, 32(1), p.p.67–98. Disponible en: <https://goo.gl/aDc2iR>

Bravo, C., Lozano, Z., Hernández, R., Piñango, L. & Moreno, B. (2004). Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro*, 16(3), 163-172.

Bruijnzeel, L.A. (1989) Nutrient content of bulk precipitation in south-central Java, Indonesia. *J Trop Ecol*, 5:187-202.

Bussotti, F., Bettini, D., Grossoni, P., Mansuino, S., Nibbi, R., Soda, C., & Tani, C. (2002). Structural and functional traits of *Quercus ilex* in response to water availability. *Environmental and Experimental Botany*, 47, p.p.11–23. Disponible en: <https://goo.gl/7Kd6Fe>

Camargo, A. (Ed) (2016). Línea base de coberturas de vegetación en relictos de bosque del departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi: “Informe técnico”, San José del Guaviare, 59 p.

Casanoves, F., Pla, L. & Di Rienzo, J.A. (eds) (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) 1ra ed., Turrialba, Costa Rica. 104 p.

Chicas, R.A., Vanegas, E.A. & Álvarez, N.G. (2014) Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Rev. Cien. Tec. Agro*, 23(1), 41-46.

Cianciaruso, M.V., Silva, I.A. & Batalha, M.A. (2009). Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*, 9(3), pag: 93-103

Córdova-Tapia, F. & Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24(3), pag: 78-87.

Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., ter Steege, H., Morgan, H. D., van der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G. & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, p.p.335–380. Disponible en: <https://goo.gl/VOqvjg>

Crockford, R. H., & Richardson, D. P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, 14, p.p.2903–2920.

da Costa, A., Albuquerque, J.A., da Costa, A., Pértile, P. & Rodrigues, F. (2013). Water retention and availability in soils of the state of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. *R. Bras. Ci. Solo*, 37, 1535-1548.

Dajoz, R. (2002). *Tratado de ecología*, Segunda edición. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 600 p

de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J. H. C., Bardgett, R. D., Berg, M. P., Cipriotti, P., Feld, C. K., Hering, D., da Silva, P. M., Potts, S. G., Sandin, L., Sousa, J. P., Storkey, J., Wardle, D. A. & Harrison, P. A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), p.p.2873–2893. Disponible en: <https://goo.gl/GJK8LX>

de Bello, F., Thuiller, W., Leps, J., Choler, P., Clement, J-C., Macek, P., Sebastià, M-T. & Lavorel, S. (2009) Partitioning of functional diversity reveals the scale and extent of trait convergence and divergence. *Journal of Vegetation Science*, 20, pag: 475-486.

de la Riva, E. G., Pérez-Ramos, I., Fernández, C. N., Olmo, M., Arana, T. M., & Villar, R. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Revista Ecosistemas*, 23(2), pag: 82–89. Disponible en: <https://goo.gl/DdShIG>

Díaz, S. Hodgson, J.G., Thompson, K., Cabido, M., Cornelissen, J.H.C., Jalili, A., Montserrat-Martí, G., Grime, J.P., Zarrinkamar, F., Asri, Y., Band, S.R., Basconcelo, S., Castro-Díez, P., Funes, G., Hamzehee, B., Khoshnevi, M., Pérez-Harguindeguy, N., Pérez-Rontomé, M.C., Shirvany, F.A., Vendramini, F., Yazdani, S., Abbas-Azimi, R., Bogaard, A., Boustani, S., Charles, M., Dehghan, M., de Torres-Espuny, L., Falczuk, V., Guerrero-Campo, J., Hynd, A., Jones, G., Kowsary, E., Kazemi-Saeed, F., MaestroMartínez, M., Romo-Díez, A., Shaw, S., Siavash, B., Villar-Salvador, P. & Zak, M.R. (2004). The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, 15: 295-304 p.p.

Díaz, S., Lavorel, S., Stuart, C.F., Tecco, P.A., Gurvich, D.E. & Grigulis, K. (2007) Functional diversity – at the Crossroads between Ecosystem functioning and Environmental filters. En: Canadell, J.G., Pataki, D. & Pitelka L (Eds.). *Territorial Ecosystems in a Changing World*. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pag: 81-91.

Dominguez, A.R. (1997) Traslocación y escorrentía cortical en dos encinares (*Quercus ilex* L.) del macizo del Montseny (Barcelona). En: Congresos Forestales, España, pag: 545-550. Disponible en <https://goo.gl/t6S2UR>

Enríquez Prada, V.L. (2017). Grupos funcionales y su papel en la restauración de paisajes en la región del sur del Ecuador. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja, Ecuador, 79 p.

ESPA-AA. (2008). Challenges to Managing Ecosystems Sustainably for Poverty Alleviation: Securing Well-Being in the Andes/Amazon. Situation Analysis prepared for the ESPA Program. Amazon Initiative Consortium, Belém, Brazil. 120 p.

FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. 2da ed. p.p. 54 Disponible en: www.fao.org/3/a-i4793s.pdf

Fernández, F. (2007). Diversidad funcional de bosques muy húmedos tropicales en el noréste de Costa Rica a partir de rasgos foliares y densidad de la madera. Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 91 p.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), p.p.643–653.

Franco, A. C., Bustamante, M., Caldas, L. S., Goldstein, G., Meinzer, F. C., Kozovits, A. R., Rundel, P. & Coradin, V.T.R. (2005). Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees - Structure and Function*, 19(3), p.p.326–335. Disponible en: <https://goo.gl/E4nVvG>

García-Ortíz, E. (2006). Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Tesis doctoral. Universidad de Almería, España. 403 p.

Gerrits, A; Savenije, H., Hoffman, L & Pfister, L. (2007). New technique to measure forest floor interception an application in a beech forest in Luxembourg. *Hyd. Earth Syst. Sci.*, 11:695–

701.

Giraldo-Benavides, B., Zubieta-Vega, M., Vargas-Ávila, G., & Barrera-García, J. (2013). Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana. 1ra ed. Bogotá D.C., SINCHI: Mora-Rodríguez, D., p.314

Gitay, H., Noble, I. R., & Connell, J. H. (1999). Deriving functional types for rain-forest trees. *Journal of Vegetation Science*, 10(5), p.p.641–650. Disponible en: <http://doi.org/10.2307/3237079>

Gómez, J. (2012). Efecto de las características de las plantas y rasgos funcionales de la copa de árboles del neotrópico seco, sobre la transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes. Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 63 p.

Gómez-Delgado, F., Roupsard, O., Le Maire, G., Taugourdeau, S., Pérez, A., van Oijen, M., Vaast, P., Rapidel, B., Harmand, J. M., Voltz, M., Bonnefond, J. M., Imbach, P. & Moussa, R. (2011). Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1), p.p.369–392. Disponible en: <https://goo.gl/e0WFEM>

Gómez-Tagle Ch, A., Gómez-Tagle R, A. F., Ávila O, J. A., & Bruijnzeel, L. A. (2015). Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Bosque*, 36(3), p.p.505–518. Disponible en: <https://goo.gl/ce58ja>

Haines-Young, R. & Potschin, M.B. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. 53 p. Available from: www.cices.eu

Hernández-Atilano, E., Aguirre-Ramírez, N.J., Palacio-Baena, J.A., Ramírez-Restrepo, J.J., Duque-Escobar, S., Guisande-González, C., Aranguren, N. & Mogollón, M. (2012). Rasgos morfológicos de fitoplancton en seis sistemas leníticos de las regiones Amazónica, Andina y Caribe de Colombia. *Actual Biol.* 34(96), pag: 67-83.

Hodgson, J., Wilson, P., Hunt, R., Grime, J., & Thompson, K. (1991). Allocating C-S-R Plant Functional Types: A Soft Approach to a Hard Problem. *Oikos*, 85(2), 282–294.

Holdridge, L.R. (1947) Determination of world plant formation from simple climate data. *Science*, 367-368 p.

Hölscher, D., Sá, T. D. A., Möller, R. F., Denich, M. & Fölster, H. (1998). Rainfall partitioning and related hydrochemical fluxes in a diverse and in a mono specific (*Phenakospermum guyanense*) secondary vegetation stand in eastern Amazonia. *Oecologia*, 114(2): 251-257.

Hosseini, S.M., Attarod, P., Bayramzadeh, V., Ahmadi, M.T. & Radmehr, A. (2012) Throughfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forests of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran. *Ann. For. Res.* 55(2): 197-206.

Huber, A., Iroume, A. (2001). Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest cover in Chile. *Journal of Hydrology*. 248: 78-92 p.

Hulshof, C.M., Martínez-Yrizar, A., Burquez, A., Boyle, B., & Enquist, B. J. (2013). Plant functional trait variation in tropical dry forests: a review and synthesis. En: Sánchez-Azofeifa, A., Powers, JS, Fernandes, GW, Quesada, M. (Eds): *Tropical Dry Forests in the Americas: Ecology, Conservation, and Management*, pag: 129-140.

Hulshof, C.M. & Swenson, N.G. (2010). Variation in leaf functional trait value within and across individuals and species: an example from a Costa Rica dry forest. *Functional Ecology*, 24, pag: 217-223.

Huntington, T.C. (2006). Available water capacity and soil organic matter. En: Lal, R. (ed): *Encyclopedia of soil science*, 1, pag: 139-143.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 (Instituto). Bogotá D. C. 65 p.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015) Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D.C. 496 p.

Iroume, A., & Huber, A. (2000). Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. *Bosque*, 21(1), pag: 45–56.

Jackson, I.J. (1971). Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 12: 234-254.

Jackson, P.C., Cavelier, J., Goldstein, G., Meinzer, F.C. & Holbrook, N.M. (1995). Partitioning of water resources among plants of a lowland tropical forest. *Oecologia*, 101, pag: 197-203.

Jaramillo-Robledo, A. (2005). La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 29(112), pag:371–381.

Keim, R. F., Tromp-van Meerveld, H. J., & McDonnell, J. J. (2006). A virtual experiment on the effects of evaporation and intensity smoothing by canopy interception on subsurface stormflow generation. *Journal of Hydrology*, 327(3-4), p.p.352–364. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.024>

Lara, A., Lateralra, P., Manson, R., & Barrantes, G. (eds.). (2013). *Servicios Ecosistémicos Hídricos: Estudios De Caso En América Latina Y El Caribe*, 1ra ed. Valdivia, CH. 312 p. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits. *Functional Ecology*, 16, p.p.545–556.

Lavorel, S., Díaz, S., Cornelissen, J.H.C., Garnier, E., Harrison, S.P., McIntyre, S., Pausas, J.G., Pérez-Harguindeguy, N., Roumet, C. & Urcelay, C. (2007) Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? En: Canadell, J.G., Pataki, D. & Pitelka L (Eds.). *Territorial Ecosystems in a Changing World. The IGBP Series*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pag: 150-160

León, J.D., González, M.I. & Gallardo, J.F. (2010). Distribución del agua de lluvia en tres bosques altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 63(1), 5319-5336.

Levia, D. F., & Germer, S. (2015). A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. *Rev. Geophys.*, 53, p.p.673–714. Disponible en: <http://doi.org/10.1002/2014RG000468>

Levia, D., & Frost, E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, 274, p.p.1–29.

Liang, W., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2009). A three-dimensional model of the effect of stemflow on soil water dynamics around a tree on a hillslope. *Journal of Hydrology*, 366(1-4), p.p.62–75. Disponible en: <https://goo.gl/78ao0B>

Lloyd, C.R. & Marques, A.O. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and forest meteorology*, 42(1): 63-73.

Loescher, H. W., Powers, J. S., & Oberbauer, S. F. (2002). Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 18(3): 397-407.

Manson, R.H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera Y Bosques*, 10(1), 3–20. Disponible en: <https://goo.gl/ZmVxgM>

Marenco, R. A., Antezana-Vera, S. A. & Nascimento, H.C.S. (2009). Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*, 47(2): 184-190.

Mariño, Y.A. (2006). Evaluación del punto de marchitez permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de *Gmelina arborea* (Roxb) a sitios potenciales de plantación. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá, 172 p.

Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G. & Wilson, B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111, pag: 112-118

Medina, E. & Cuevas, E. (2011). Complejo Caatinga amazónica: bosques pluviales esclerófilos sobre arenas blancas. *BioLlania*. 10, pag: 241-249. Disponible en: <https://goo.gl/b7vJpE>

Meinzer, F.C., Woodruff, D.R., Domec, J-C., Goldstein, G., Campanello, P.I., Gatti, M.G. & Villalobos-Vega, R. (2008). Coordination of leaf and stem water transport properties in tropical forest trees. *Oecologia*, 156, pag: 31-41.

Milla, R; Reich, P.B., Niinemets, U. & Castro-Dez, P. (2008). Environmental and developmental controls on specific leaf area are little modified by leaf allometry. *Functional Ecology*, 22:565-576.

Millenium Ecosystem Assesment. (2005). Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington D.C., USA: Island Press, 155 p.

Miranda, J. (2012). Efecto de las características de las plantas y rasgos funcionales de la copa de los árboles del neotrópico seco, sobre la transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes. (Tesis de Maestría). Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 81 p.

Mouchet, M.A., Villéger, S., Mason, N.W.H. & Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24, pag: 867-876.

Muñoz, P.J.A. (2016). La Amazonía Colombiana y su importancia estratégica a nivel internacional. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., 20 p.

Murakami, S. (2009). Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress. *Hydrological Research Letters*, 3:32-35.

Olmos, C. F. G. (2006). Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del Rio San Cristóbal, Bogotá D.C. *Colombia Forestal*, 10(20), pag: 127–147. Disponible en: <https://goo.gl/pUVfng>

Pacha, M. J. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. Brasilia, Iniciativa Amazonía Viva. 92 p.

Park, A., Cameron, J. (2008). The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management*. 255(5-6):1915-1925 p.

Patiño, J.F., León, J.D., León, A.M. & Hernández, L.C. (2007) Propuesta Metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas. Aplicación en la microcuenca de la quebrada La murcielago, Antioquia. *Avances en recursos hidrológicos*. 15(0121-5701), pag: 89-100.

Peña-Venegas, C.P. & Cardona, G.I. (2010) Dinámica de los suelos amazónicos: procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Instituto Sinchi, Bogotá, 115 p.

Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiburry, P., Breet-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklas, E.J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgsson, J. G., Thompson, K., Morgan, H. D., ter Steege, H., van der Heijden, M. G. A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M. V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S. & Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 6 (13), p.p.167–234. Disponible en: <http://www.publish.csiro.au/bt/BT12225>

Petchey, O., & Gaston, K. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, p.p.741–758.

Philip, M. (1998) *Measuring Trees and Forests*. CABI Publishing. 310 p.

Porta, J., López-Acevedo, M. & Roquero, C. (eds) (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, Mundi-Prensa, 917 p.

Poorter, L. & Bongers, F. (2006) Leaf traits are good predictors of a plant performance across 53 rain forest species. *Ecology*, 87(7): 1733-1743.

Price, A.G. & Carlyle-Moses, D.E. (2003). Measurement and modelling of growingseason canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. *Agric. Forest. Meteorol.* 119 (1–2): 69–85.

Pypker, T., Bond, B., Link, T., Marks, D. & Unsworth, M. (2005) The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and old- growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 130, 113-129 p.

Reichert, J.M., Albuquerque, J.A., Kaiser, D.R., Reinert, D.J., Urach, F.L. & Carlesso, R. (2009). Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 33, pag: 1547-1560.

Romano, N. & Santini, A. (2002). Measurement of water retention: field methods. En: Dane, J.H. & Topp, G.C. (Eds): *Methods of Soil Analysis, Part 4*, Madison, pag: 721-738.

Rosa, R., Silva, A., Bomfim, A. (2007). Preferência de hospedeiro para *Ficus clusiifolia* Schott (Moraceae) em uma área de recuperação florestal no sul da Bahia. *Revista Brasileira de Biociências* 5(1):432-434 p.

Ruiz Molina, J. (2015). Grupos funcionales de plantas con potencial para la restauración ecológica de manantiales de agua en la microcuenca de la Laguna de Pedro Palo y sus alrededores, Cundinamarca-Colombia. Magister Scientie. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., 123 p.

Ruiz Osorio, E.C. (2013). Impacto potencial del cambio climático en bosques de un gradiente altitudinal a través de rasgos funcionales. Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 101 p.

Salgado-Negret, B. (ed). (2015). La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 236 p.

Santa Regina, I., Gallardo, J. F., San Miguel, C., & Moyano, A. (1989). Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España). *Bosque*, 10(1), pag: 19–27.

Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., Verhoest, N.E.C. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrol. Process.* 22 (1), 33–45.

Stark, S.C., Enquist, B.J., Saleska, S.R., Leitold, V., Schiatti, J., Longo, M., Alves, L.F., Camargo, P.B. & Oliveira, R.C. (2015). Linking canopy leaf area and light environments with tree size distributions to explain Amazon forest demography.

Stevenson, P.R. & Rodríguez, M.E. (2008). Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el Guaviare, Amazonia colombiana, *Colombia Forestal*, 11, pag: 5-17.

Siles, P., Vaast, P., Dreyer, E., & Harmand, J. M. (2010). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture

compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. *Journal of Hydrology*, 395(1-2), pag: 39–48. Disponible en: <https://goo.gl/IJJJV2>

Sinchi, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (2002). Informe de Gestión 2002 y Proyecciones 2003.

Sinchi, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (2007). Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana 2006. 1ra ed. Bogotá D. C. 249 p.

Sinchi, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (2015). Investigación de Relictos de Bosque como Estrategia para generar Bienes y Servicios ambientales en el departamento del Guaviare. “Avance técnico.” Bogotá D.C., 90 p.

Suárez-Castro, A.F., Simmonds, J.S., Mitchel, M.G.E., Maron, M. & Rhodes, J.R. (2018) The Scale-Dependent role of biological traits in landscape ecology: a review. *Current Landscape Ecology Reports*, 3(1), pag: 12-22.

Téllez, P. & Boshell, J. (2004). Flujos de agua a través de bosques de diferentes edades en la Amazonia colombiana. *Metereol. Colomb.*, 8: 61-72.

Turriago, J. (2013). Ecología funcional de raíces aéreas absorbentes del Yare (*Heteropsis* spp (Kunt)) en bosques de tierra firme de la Amazonia Colombiana. Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Leticia, 51 p.

Ubarana, V.N., Gash, J.H.C., Nobre, C.A., Robert, J.M. & Victoria, R.L. (1996). Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. En: Gash, J.H.C.; Nobre, Carlos Alfonso; Robert, J.M.; Victoria, R.L. (Eds). *Amazonian deforestation and climate*. New York, pag: 151-162.

Valová, M & Bielešová, S. (2008). Interspecific variations of bark's water storage capacity of chosen types of trees and the dependance on occurrence of epiphytic mosses. *GeoScience Engineering*, (4):45-51.

Vásquez-Valderrama, M. & Solorza-Bejarano, J. (2018). Agrupación funcional de especies vegetales para la restauración ecológica de ecosistemas de montaña, Bogotá, Colombia. *Colombia Forestal*, 21(1), pag: 5-17.

Walker, B., Kinzig, A., & Langridge, J. (1999). Plant Attribute Diversity, Resilience, and Ecosystem Function: The Nature and Significance of Dominant and Minor Species. *Ecosystems*, 2(2), pag: 113–95.

Wardle, D.A., Barker, G.M., Bonner, K.I. & Nicholson, K.S. (1998). Can comparative approaches based on plant ecophysiological traits predict the nature of biotic interactions and individual plant species effects in ecosystems? *Journal of Ecology*, 86, pag: 405-420.

Whitford, W. G., Anderson, J., & Rice, P. M. (1997). Stemflow contribution to the “fertile island” effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. *Journal of Arid Environments*, 35(3), 451–457. <http://doi.org/10.1006/jare.1996.0164>

Wright, I.J. & Westoby, M. (2002). Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, lifespan and physiology. *New Phytologist*, 155, pag: 403-416.

Zhang, Y., Wang, X., Hu, R., Pan, Y., & Paradeloc, M. (2015). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. *Journal of Hydrology*, 527, pag: 1084–1095. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.060>

1.13. ANEXOS

1.13.1. Estadística descriptiva de las especies evaluadas en el estudio

Tabla 14. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Cedrelinga cateniformis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	29,14	1,65	5,67	27,5	31,90	28,70
Altura del fuste	5	5	13,34	3,95	29,61	8,6	17,50	13,30
Diametro a la altura del pecho	5	5	80,2	9,02	11,25	70,5	90,50	80,40
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	2	2	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	1	1
Textura de la madera	5	5	-	-	-	4	4	4
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	2	3	2,5
Diametro de la copa	5	5	22,65	3,90	17,23	16,7	26,25	22,80
Forma de la copa	5	5	1,75	0,26	14,67	1,49	2,09	1,71
Área foliar	5	10	39,07	9,15	23,41	27,15	51,02	39,08
Grosor de la hoja	5	10	0,24	0,03	11,65	0,20	0,28	0,24
Área foliar específica	5	10	113,5	14,1	12,41	95,06	125,97	120,11
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0,80	0,02	2,54	0,77	0,83	0,79
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0,83	0,10	12,10	0,65	0,89	0,85

Tabla 15. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Oenocarpus bataua* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	15.15	3.45	36,43	11.5	19	15.05
Altura del fuste	5	5	13.43	3.54	23,02	9.6	17	13.55
Diametro a la altura del pecho	5	5	17.52	4.88	72,11	11.3	23	17.9
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	3
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	1	1	1
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	1.5
Diametro de la copa	5	5	6.67	1.6	23.96	4.6	8.1	7
Forma de la copa	5	5	0.54	0.23	43.69	0.27	0.84	0.52
Área foliar	5	10	486.49	55.09	11.32	427.95	551.27	483.36
Grosor de la hoja	5	10	1.05	0.28	26.25	0.81	1.45	0.97
Área foliar específica	5	10	59.56	8.94	15	50.42	69.16	59.34
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.81	0.02	1.99	0.79	0.82	0.81
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.9	0.02	1.95	0.88	0.93	0.91

Tabla 16. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Protium sagotianum* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	12.58	4.04	32.13	8	17.8	14
Altura del fuste	5	5	7.32	3.08	42.01	4.7	11.2	5.4
Diametro a la altura del pecho	5	5	24.04	7.03	29.25	13.3	30.5	23.8
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	2	2	2
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	1	1
Diametro de la copa	5	5	8.96	2.66	29.64	5.6	12.4	8.5
Forma de la copa	5	5	1.37	0.62	45.18	0.68	2.3	1.19
Área foliar	5	10	59.02	9.89	16.75	48.71	72.74	57.85
Grosor de la hoja	5	10	0.24	0.02	7.17	0.22	0.27	0.24
Área foliar específica	5	10	98.95	11.13	11.25	86.44	112.22	97.42
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.89	0.04	4.07	0.82	0.92	0.9
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.89	0.06	6.4	0.79	0.93	0.91

Tabla 17. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Pseudolmedia laevis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	12.22	2.2	18.04	10.3	16	11.6
Altura del fuste	5	5	8.5	1.31	15.45	7.1	10	8.3
Diametro a la altura del pecho	5	5	16.4	1.56	9.51	14.5	18.2	16.5
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	1
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	3	3	3
Textura de la madera	5	5	-	-	-	1	1	1
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	1
Diametro de la copa	5	5	7.07	2.1	29.67	4.8	9.3	6.2
Forma de la copa	5	5	0.85	0.29	33.64	0.48	1.26	0.81
Área foliar	5	10	71.91	14.07	19.56	60.79	87.78	62.29
Grosor de la hoja	5	10	0.27	0.02	7.9	0.24	0.29	0.28
Área foliar específica	5	10	128.2	10.22	7.97	118.48	144.91	127.88
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.89	0.07	7.45	0.81	0.95	0.92
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.88	0.01	0.98	0.87	0.89	0.89

Tabla 18. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Goupia glabra* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	21.3	4.1	19.25	17	28.1	20.5
Altura del fuste	5	5	10.48	1.98	18.93	9	13.7	9.4
Diametro a la altura del pecho	5	5	62	4.53	7.3	55.5	67	61.5
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	1
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	1	1
Textura de la madera	5	5	-	-	-	3	3	3
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	3	2
Diametro de la copa	5	5	18.08	3.46	19.14	14.5	23.1	17.25
Forma de la copa	5	5	1.77	0.49	27.48	1.26	2.57	1.66
Área foliar	5	10	27.82	2.12	7.61	25.46	29.53	29.17
Grosor de la hoja	5	10	0.17	0.01	7.43	0.15	0.18	0.17
Área foliar específica	5	10	128.29	18.24	14.22	98.03	147.17	131.85
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.87	0.04	5.09	0.82	0.93	0.86
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.86	0.05	5.83	0.81	0.93	0.84

Tabla 19. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Terminalia amazonia* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	1	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	15.24	4.4	28.85	10.7	20.7	15.9
Altura del fuste	5	5	9.32	3.46	37.08	4.5	13.5	9.3
Diametro a la altura del pecho	5	5	59	12.86	21.8	45	77	57.5
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	3
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	2	2	2
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	3	3	3
Diametro de la copa	5	5	13.33	4.33	32.44	9.02	19.6	12.55
Forma de la copa	5	5	1.62	0.81	49.93	0.87	2.79	1.16
Área foliar	5	10	31.99	10.2	31.89	18.12	42.51	31.39
Grosor de la hoja	5	10	0.25	0.03	11.35	0.22	0.28	0.24
Área foliar específica	5	10	87.4	8.99	10.29	73.99	96.99	87.72
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.89	0.1	11.07	0.82	1.06	0.86
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.82	0.02	3.01	0.78	0.84	0.83

Tabla 20. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Virola elongata* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	13.96	3.46	24.78	8.6	16.8	15.6
Altura del fuste	5	5	10.52	3.01	28.65	6.5	14.8	10.6
Diametro a la altura del pecho	5	5	20.94	0.78	3.71	20.2	22.2	20.7
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	2	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	1	1
Textura de la madera	5	5	-	-	-	5	5	5
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	1	1
Diametro de la copa	5	5	13.33	4.33	32.44	9.02	19.6	12.55
Forma de la copa	5	5	1.62	0.81	49.93	0.87	2.79	1.16
Área foliar	5	10	95.79	19.12	19.96	75.6	122.7	89.02
Grosor de la hoja	5	10	0.3	0.06	20.09	0.26	0.41	0.28
Área foliar específica	5	10	152.13	11.04	7.26	139.03	161.02	158.74
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.95	0.02	1.73	0.93	0.97	0.94
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.89	0.02	1.78	0.88	0.92	0.89

Tabla 21. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de bosque para la especie *Euterpe precatoria* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	15.28	5.19	34.01	7.9	20	16.6
Altura del fuste	5	5	14.07	4.36	30.98	7.6	17.1	15.8
Diametro a la altura del pecho	5	5	11.7	1.46	12.46	10.5	13.8	11.25
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	2	1.5
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	1	1	1
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	1
Diametro de la copa	5	5	6.22	1.49	23.99	4.4	8.05	6.22
Forma de la copa	5	5	0.53	0.36	68.38	0.26	1.06	0.4
Área foliar	5	10	116.97	6.67	5.7	108.75	124.38	117.37
Grosor de la hoja	5	10	0.27	0.02	7.43	0.25	0.3	0.27
Área foliar específica	5	10	89.84	15.03	16.73	77.95	111.87	84.78
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.9	0.02	2.35	0.87	0.92	0.91
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.92	0.01	0.76	0.91	0.93	0.92

Tabla 22. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Cedrelinga cateniformis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	22.26	6.67	29.95	12.6	29.3	23.8
Altura del fuste	5	5	7.78	2.9	37.31	3.1	10.2	9
Diametro a la altura del pecho	5	5	37.9	13.28	35.03	22.5	54.2	33.2
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	1	1
Textura de la madera	5	5	-	-	-	4	4	4
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	1
Diametro de la copa	5	5	8.1	2.15	26.51	5.18	10.63	8.25
Forma de la copa	5	5	1.21	0.62	51.1	0.58	2.23	1.04
Área foliar	5	10	69.39	19.09	27.5	48.27	87.55	78.81
Grosor de la hoja	5	10	0.24	0.05	21.2	0.19	0.32	0.23
Área foliar específica	5	10	156.44	36.85	23.55	120.78	199.33	144.92
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.88	0.02	2.18	0.87	0.91	0.88
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.87	0.07	7.93	0.76	0.91	0.91

Tabla 23. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Cariniana pyriformis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	25.54	7.25	28.41	14.3	33.6	27.7
Altura del fuste	5	5	7.38	3	40.59	3.9	11.7	7.9
Diametro a la altura del pecho	5	5	67.76	20.67	30.5	32.4	84	71.6
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	2	1
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	5	5	5
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	2	2
Diametro de la copa	5	5	17.19	3.12	18.13	12.3	19.5	19.15
Forma de la copa	5	5	2.59	0.86	33.16	1.35	3.61	2.43
Área foliar	5	10	19.43	5.66	29.15	11.52	25.92	20.81
Grosor de la hoja	5	10	0.14	0.07	51.8	0.09	0.27	0.11
Área foliar específica	5	10	181.21	21.28	11.74	156.3	203.53	187.61
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.86	0.08	9.24	0.73	0.94	0.86
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.8	0.02	2.77	0.78	0.83	0.8

Tabla 24. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Minquartia guianensis* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	7.62	2.25	29.56	4.8	10.4	7.9
Altura del fuste	5	5	3.62	0.13	3.6	3.5	3.8	3.6
Diametro a la altura del pecho	5	5	13.72	2.88	21.02	10.4	17.7	13.2
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	2	2	2
Textura de la madera	5	5	-	-	-	1	1	1
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	1	1
Diametro de la copa	5	5	5.7	0.9	15.7	4.73	7	5.41
Forma de la copa	5	5	1.57	0.23	14.55	1.28	1.84	1.5
Área foliar	5	10	77.63	12.59	16.22	55.96	87.3	81.22
Grosor de la hoja	5	10	0.28	0.05	17.56	0.22	0.33	0.26
Área foliar específica	5	10	119.95	7.84	6.53	107.71	128.41	120.65
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.87	0.06	7.35	0.79	0.95	0.88
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.91	0.04	4.79	0.83	0.94	0.92

Tabla 25. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Aspidosperma* sp. Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	14.84	1.51	10.16	13.1	16.5	15.4
Altura del fuste	5	5	6.84	1.7	24.85	4.8	8.4	7.8
Diametro a la altura del pecho	5	5	16.12	2.58	16	13	20	15.8
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	2	1
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	1	1	1
Textura de la madera	5	5	-	-	-	2	2	2
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	1	1
Diametro de la copa	5	5	4.05	1.26	31.07	2.65	5.75	4.05
Forma de la copa	5	5	0.59	0.1	16.52	0.48	0.72	0.61
Área foliar	5	10	46.71	12.15	26.01	31.96	65.33	47.1
Grosor de la hoja	5	10	0.27	0.06	22.35	0.18	0.35	0.27
Área foliar específica	5	10	127.62	45.86	35.93	80.1	184.79	145.52
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.88	0.06	6.58	0.79	0.95	0.88
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.93	0.01	0.65	0.92	0.94	0.93

Tabla 26. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales involucrados en el SEH de la cobertura de sistemas agroforestales para la especie *Centrolobium paraense* Rep = Repeticiones, n = número de individuos, D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Rasgo	n	Rep.	Media	D.E.	C.V.	Mín	Max	Mediana
Altura total	5	5	22.04	3.92	17.77	16.8	27.3	21.8
Altura del fuste	5	5	11.08	5.11	46.14	5.2	15.2	14.2
Diametro a la altura del pecho	5	5	24.32	6.22	25.56	16.7	33.2	23.5
Densidad de la copa	5	5	-	-	-	1	3	2
Textura de la hoja	5	na	-	-	-	4	4	4
Textura de la madera	5	5	-	-	-	2	2	2
Capacidad de carga de epífitas	5	5	-	-	-	1	1	1
Diametro de la copa	5	5	8.17	2.62	32.09	5.65	12.42	7.86
Forma de la copa	5	5	0.88	0.41	47.05	0.38	1.35	0.82
Área foliar	5	10	50.04	17.19	34.35	36.8	80.13	44.03
Grosor de la hoja	5	10	0.22	0.02	11.32	0.19	0.26	0.22
Área foliar específica	5	10	339.37	84.06	24.77	236.86	424.18	360.63
Contenido relativo de agua en la hoja	5	10	0.74	0.04	5.11	0.71	0.79	0.71
Contenido relativo de agua en la rama	5	10	0.79	0.03	3.91	0.75	0.83	0.8

CAPÍTULO 2

RASGOS FUNCIONALES ASOCIADOS A LA REGULACIÓN HÍDRICA EN DIFERENTES COBERTURAS VEGETALES DEL MUNICIPIO EL RETORNO, COLOMBIA

Juan Jair Vitar-M¹, Luisa Fernanda Pinzón-P², Laura Mesa-C³ & Jaime Barrera-G⁴

juan.vitar@unillanos.edu.co¹, luisafernanda24@gmail.com²,
lmesa@unillanos.edu.co³ & jbarrera@sinchi.org.co⁴

Formato revista Colombia Forestal, 2018.

**RASGOS FUNCIONALES ASOCIADOS A LA REGULACIÓN HÍDRICA DE DIFERENTES
COBERTURAS VEGETALES DEL MUNICIPIO EL RETORNO, COLOMBIA
FUNCTIONAL TRAITS ASSOCIATED WITH WATER REGULATION OF DIFFERENT
COVERAGES OF THE MUNICIPALITY EL RETORNO, COLOMBIA**

Título corto: Análisis funcional de coberturas vegetales relacionado a regulación hídrica

Juan Jair Vitar Mendoza¹, Luisa Pinzón Pérez², Laura Mesa Castellanos³, & Jaime Barrera García⁴

2.1. RESUMEN

Los ecosistemas boscosos están sometidos a diversos factores de perturbación que alteran la regulación hídrica de los mismos, por ello requieren de análisis de cuantificación de las variables hídricas. En este estudio se analizaron los rasgos funcionales de especies vegetales para diferentes coberturas vegetales, y su relación con la transferencia de la precipitación incidente en el municipio El Retorno, Colombia. Se evaluó la precipitación directa y la intercepción por el dosel para bosques (RDB) y sistemas agroforestales (SA) siendo estadísticamente similares ($p > 0,05$). También, se registró la precipitación translocada que fue mayor en los SA debido a la cantidad de individuos por hectárea de las especies utilizadas. Por el contrario, la retención de agua en el suelo fue mayor en bosques gracias a la textura y el contenido de materia orgánica. Se registraron doce rasgos asociados al servicio ecosistémico hídrico que permitieron establecer tres agrupaciones funcionales dentro del espectro de especies utilizadas para la regulación hídrica: captadoras de dosel, del fuste y consumidoras. Esta aproximación sugiere que los bosques y los SA tienen una captación de agua similar y una retención mayor en ecosistemas boscosos, también más especies captadoras debido a

¹Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Programa de Biología. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. juan.vitar@unillanos.edu.co Autor para correspondencia

²luisafernanda24@gmail.com

³Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Biología y Química. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. imesa@unillanos.edu.co

⁴Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. jbarrera@sinchi.org.co

su alta diversidad. Se recomienda a futuro establecer un diseño experimental más riguroso que permita obtener un análisis estadístico más completo.

Palabras claves: escurrimiento, rasgos funcionales, regulación hídrica, precipitación incidente, estrategias funcionales.

2.2. ABSTRACT

Forest ecosystems are subjected to various perturbation factors that alter their water regulation, this is why analysis of the quantification of water variables are required. On this study, plant species functional traits were analysed for different covers, and their relation with the incident rainfall transference in El Retorno municipality, Colombia. Throughfall and canopy interception was evaluated in forests (F) and agroforestral systems (AS), being statistically similar ($p > 0,05$). Also, steamflow was registered being higher in AS due to the amount of individuals per hectare. On the contrary, soil water retention was greater in forest given the texture and organic matter content. Twelve traits related with water ecosystem service were registered in order to stablish three functional groups among the plant species used: canopy and bore catchers, and consumers. This approximation suggests that forests and AS have a similar water retention, being greater in forest ecosystem, also more catcher's species given their high diversity. It's recommended, for future studies, to establish a more rigorous experimental design that allows the obtaining of a more complete statistical analysis.

Key Words: functional traits, water regulation, incident precipitation, functional strategies.

2.3. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales juegan un rol importante en el ciclo hidrológico ya que presentan un proceso denominado redistribución del agua proveniente de la precipitación (Siles *et al.*, 2010; Levia & Germer, 2015). Es así como la presencia de cobertura vegetal disminuye el impacto negativo sobre el suelo en los periodos intensos de lluvias ya que redistribuye la precipitación en tres componentes esenciales: Precipitación directa, flujo caulinar y la intercepción por el dosel (Liang *et al.*, 2009).

La precipitación directa o escurrimiento por el dosel, se define como el agua que llega al suelo a través de la cobertura del ecosistema, y es la principal fuente de agua en un ecosistema forestal terrestre (Levia & Germer, 2015). El escurrimiento fustal, también denominado precipitación translocada, es la precipitación que drena de las hojas periféricas y ramas, y que se canaliza en el tronco de las plantas (Crockford & Richardson, 2000). El escurrimiento representa una pequeña fracción de la precipitación total que incide en un área boscosa, pero tiene influencia significativa en la humedad del suelo y distribución de la vegetación del sotobosque (Jaramillo, 2005). Por último, la intercepción por el dosel se caracteriza por ser la diferencia entre la precipitación incidente que cae sobre la cobertura vegetal y la precipitación directa que llega al suelo (Gómez-Tagle Ch *et al.*, 2015). Esta diferencia no llega al suelo del bosque, sino que regresa a la atmósfera a través de la evaporación, es así, que cuanto mayor sea la densidad de la cobertura vegetal mayor volumen será interceptado y menor será el escurrimiento en el ecosistema (Siles, et al., 2010).

El suministro hídrico derivado de los bosques es importante para la comunidad ya que brinda beneficios agrícolas, comerciales, industriales y termoeléctricos que se entienden como servicios ecosistémicos hídricos (Brauman *et al.*, 2007; Lara *et al.*, 2013). Por ello se reconoce la necesidad de la conservación de los ecosistemas forestales a través del enfoque funcional ya que ha arrojado resultados favorables para caracterizar y valorar dichos servicios (Casanoves *et al.*, 2011).

Dicho enfoque se conoce como la diversidad funcional y es definida como la influencia de los componentes de la biodiversidad en la organización y funcionalidad del ecosistema (Casanoves *et al.*, 2011; Salgado-Negret., 2015). El conocimiento de la misma aporta información de alto valor científico y social ya que relaciona los impactos que están sufriendo los bosques, con su funcionalidad y la provisión de servicios ecosistémicos. La DF es medida por los valores y el rango de los rasgos de las especies presentes en un ecosistema (Aquino, 2009; de Bello *et al.*, 2010). Estos rasgos funcionales son las características morfológicas, fisiológicas o fenológicas medidas a nivel individual (Lavorel & Garnier, 2002). Debido a que los rasgos son utilizados como indicadores funcionales, son de gran interés al evaluar servicios ecosistémicos, ya que permiten el equilibrio entre la adquisición y procesamiento de recursos (Leps *et al.*, 2006). Es así, que con ayuda de ellos se logran establecer grupos funcionales (Wright *et al.*, 2004; Casanoves *et al.*, 2011).

Los rasgos foliares son probablemente los rasgos más sensibles a la variación ambiental e influyen procesos de los ecosistemas como la regulación hidrológica, la productividad primaria y el ciclaje de nutrientes, por ello son los atributos más usados en los estudios de DF en plantas (Hulshof *et al.*, 2013; Salgado-Negret, 2015).

En la actualidad, la Amazonia colombiana cuenta con muy pocos estudios que estimen cambios de regulación hídrica ecosistémica, y que tomen en cuenta la cobertura del dosel como un parámetro para analizar la pérdida o retención del agua que este puede tener (Téllez & Boshell, 2004). No obstante, en bosques densos altos de tierra firme (IDEAM, 2010) hay pocos estudios que analicen aspectos de la diversidad funcional sin tomar en cuenta la regulación hídrica o el servicio ecosistémico hídrico (Medina & Cuevas, 2011; Hernández-Atilano, 2012; Turriago, 2013).

Finalmente, tomando en cuenta las amenazas que reciben los bosques densos altos de tierra firme, y los vacíos de información en regulación hídrica y diversidad funcional para la Amazonia, se consideró necesario

analizar los rasgos funcionales de especies vegetales en diferentes coberturas vegetales, y su relación con la precipitación incidente en el municipio El Retorno, Colombia. Se espera de esta manera comprobar que los ecosistemas boscosos retienen mayor cantidad de agua lluvia en comparación a ecosistemas agroforestales y que la variación de los rasgos funcionales va estar relacionada con la capacidad de retención de agua.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en cuatro localidades del municipio El Retorno, Guaviare, Colombia, con un área de 0,75 ha para las dos coberturas de interés: Bosques conservados y Sistemas agroforestales. Las primeras tres localidades correspondieron a fincas conformadas principalmente por coberturas de Bosques densos altos de tierra firme, pastos limpios y áreas cultivables. Estos bosques presentan un ecosistema donde predomina el estrato arbóreo con un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies (Stevenson & Rodríguez, 2008; Sinchi, 2015) La primera localidad se encuentra ubicada a $02^{\circ}17'59.3''$ latitud N y $72^{\circ}26'34''$ longitud W, a 234 m de altitud; la segunda esta a $02^{\circ}11'9,6''$ latitud N y $72^{\circ}28'48.6''$ longitud W, a 214 m de altitud; y la tercera a $02^{\circ}14'10.6''$ latitud N y longitud $72^{\circ}29'46.8''$ W, a 193 m de altitud (Figura 1).

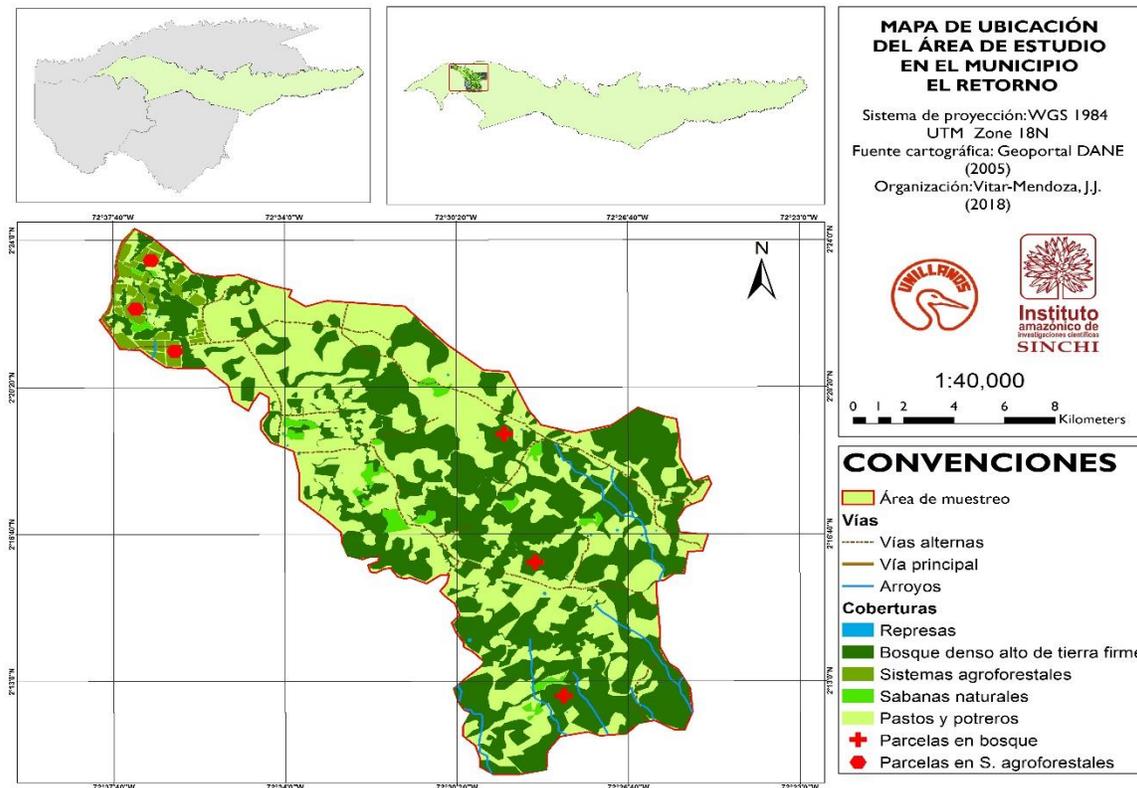


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en el municipio El Retorno, Guaviare Colombia. SA: Sistemas agroforestales; RDB: relictos de bosque.

La última localidad es una finca conocida como “*Estación Experimental El Trueno*”, un centro de investigación de especies maderables y frutales amazónicos del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, ubicada entre 02°24’ latitud N y 72°43’ longitud W, a 220 m de altitud (Figura 1). Este centro cuenta con una extensión de 113 ha, dividida en Bosques con diferentes grados de intervención, pastizales, sistemas agroforestales de tipo silvopastoril, de enriquecimiento forestal y de regeneración natural con 30 años de producción (Giraldo-Benavides, 2013).

El municipio El Retorno presenta un clima de tipo tropical estacional caracterizado por su régimen monomodal, con una temporada seca corta y una lluviosa larga con eventos de lluvia intensa o suave pero bastante prolongados, además de una humedad relativa bastante alta (Stevenson & Rodríguez, 2008; Camargo, 2016). La temperatura promedio es de 26°C, con precipitación anual de 2800 mm y humedad

relativa entre 70-85%, por lo cual se clasifica como Bosque húmedo tropical (bh-T) de acuerdo con el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdrige (1947). Dentro del área de influencia se identifican dos paisajes: Lomeríos y llanuras aluviales.

2.4.2. Métodos

El muestreo se desarrolló en los meses de enero a septiembre del año 2016 cubriendo las dos épocas climáticas. Se utilizó una metodología modificada a partir de las propuestas de Philip (1988), Aquino (2009), Siles *et al.* (2010), Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013) y Huntington (2007). Se establecieron siete parcelas semipermanentes de 50 x 50 m divididas en 25 subcuadrantes, distribuidas de la siguiente manera: tres en coberturas de relictos de bosque (RDB), tres en coberturas de sistemas agroforestales (SA) y una como control en coberturas de pastizales (Figura 2a).

2.4.2.1. Selección de especies

Para la estimación de la precipitación translocada y la caracterización de rasgos funcionales se seleccionaron 12 especies según valores registrados del IVI (en un rango de 6,32 a 10,9), área basal (21,3 – 28,9 m²/ha) e importancia maderable y comercial: En los RDB las especies *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (A), *Goupia glabra* Aubl., *Oenocarpus bataua* Mart., *Protium sagotianum* Marchand, *Pseudolmedia laevis* (Ruiz & Pav.) J.F. Macbr., *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.), *Virola elongata* (Benth.) Warb., *Euterpe precatoria* Mart., representan el 38,5 % de los individuos por ha (Camargo, 2016). Para el caso de los SA las especies *Cariniana pyriformis* Miers, *Centrolobium paraense* Tul., *Miquartia guianensis* Aubl., *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (B) y *Aspidosperma* spp., representan el 71,4 % ind/ha (Giraldo *et al.*, 2013). En cuanto al porcentaje restante corresponde a 308 y 27 especies respectivamente que no hacían parte del estrato arbóreo o no había un aporte significativo en el número de individuos para poderlas incluir en el estudio.

2.4.2.2. Medición de variables hídricas

Precipitación directa (E) y precipitación translocada (Ef): en cada parcela se instalaron 50 pluviómetros artesanales para captar el escurrimiento por el dosel (E) distribuidos de a dos por subcuadrante (Figura 2b). Cada pluviómetro se construyó con botellas plásticas (altura de 45 cm y 9,5 cm² de área de recepción), a las cuales se les instaló un embudo recubierto de malla fina plástica acoplado a un tubo de pvc para evitar la evaporación. Para la estimación del escurrimiento fustal (Ef) se instalaron 65 collarines en todas las parcelas de las coberturas arbóreas, distribuídas de a cinco collarines por especie, siendo 40 collarines para la cobertura de bosque y 25 para la cobertura agroforestal, todo esto con la intención de representar las principales especies de cada cobertura vegetal. El sistema de collarines consistió en mangueras plásticas dispuestas helicoidalmente en cada tronco desde el fuste hasta la base para garantizar el total cubrimiento del individuo (Figura 2c). El agua finalmente se recogía en un contenedor con capacidad de 22 a 25 L (según el diámetro del individuo, $DAP \geq 10$ cm) ubicado en la base del árbol (figura 2d). Las mediciones se realizaron una vez por semana durante 32 semanas.

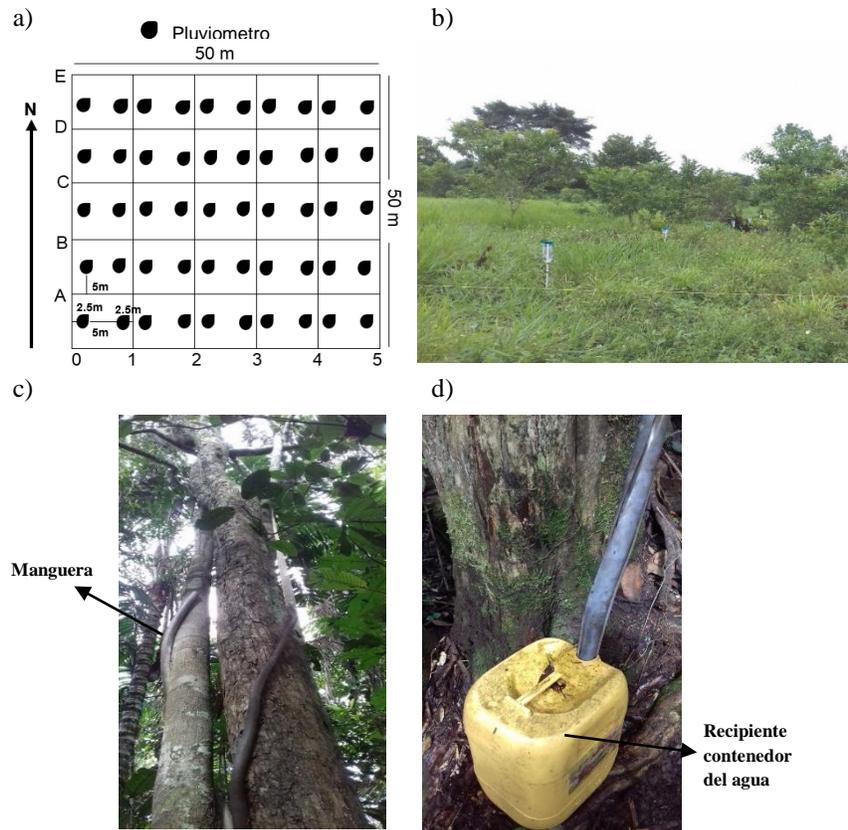


Figura 2. Organización de pluviómetros y collarines en las parcelas; **a.** Representación esquemática de la disposición de 50 pluviómetros en la parcela; **b.** Pluviómetros distribuidos dentro de la parcela; **c.** Sistema de collarines instalado para medir la precipitación translocada; **d.** Base del tronco con recipiente contenedor de agua.

Capacidad de retención de agua disponible en el suelo: se realizó un hoyo de 1 m de profundidad por 0,30 m de ancho en cada parcela, este fue llenado con agua hasta saturar el suelo y cubierto para evitar evapotranspiración por 48 h. Pasado este tiempo se tomó muestras de suelo para poder hayar la capacidad de campo (CC) de cada zona (Mariño, 2006), este procedimiento tuvo tres réplicas por parcela.

Para calcular el punto de marchitez permanente (PMP) se llenaron varios recipientes con un volumen de 475 ml de suelo de cada parcela y se introdujeron plántulas de las especies muestreadas. Se aplicó agua durante varios días hasta que la plántula estuviera adaptada, y se cubrió la parte superior para evitar la evaporación, se espero hasta que la plántula entrara en proceso de marchitez y se aisló a un lugar con una

alta humedad relativa (100%), al no recuperarse la plantula se tomó la muestra de suelo para poder realizar el cálculo del PMP (Cabrera, 1999), al igual que la CC también se realizaron tres réplicas por parcela.

Para el procesamiento y comprobación de las variables pluviométricas se usaron datos de dos estaciones meteorológicas del IDEAM cercanas (El Trueno y San José).

2.4.2.3. Medición de rasgos funcionales

Con el fin de obtener una relación entre la regulación hídrica y la funcionalidad de algunas especies en el ecosistema, se seleccionaron las mismas especies anteriormente mencionadas y los mismo individuos con las cuales se realizó el monitoreo de Ef (cinco individuos por especie). A las especies seleccionadas se les registraron rasgos de fácil medición (Pérez-Harguideguy *et al.*, 2013) asociados al servicio ecosistémico hídrico. Se usaron 12 rasgos en total: cuatro foliares, dos de tallo y seis asociados a la arquitectura de la copa y del individuo. Para los rasgos foliares se seleccionaron diez hojas al azar con máxima exposición a la luz, a las cuales se les midió el área foliar específica (AFE), el área foliar (AF) mediante un escáner digital (Salgado-Negret, 2015), la textura de la hoja (TH) y el contenido relativo de agua en la hoja (CRAH) según los protocolos sugeridos por La rosa *et al.*, (2011) y Perez-Harguindeguy *et al.*, (2013).

Los rasgos del tallo se tomaron siguiendo los protocolos de Perez-Harguindeguy *et al.*, (2013) y Aquino (2009), dichos rasgos fueron textura de la madera (TxM), y contenido relativo de agua en la rama (CRAR), este se calculó tomando cinco ramas de 25 cm por individuo. Por último, para los rasgos de la arquitectura de la copa se calculó la densidad (DC), el diámetro (Co_d) y la forma de la copa (FC), la altura del fuste (HF) y total (HT), y la capacidad de carga de las epífitas por individuo (CCE).

2.4.2.4. Procesamiento de datos y análisis estadístico

Los volúmenes semanales de E y Ef, fueron transformados de las unidades registradas (ml) a lámina de agua (mm), cociente que se obtuvo a partir del volumen de cada pluviómetro por el área de recepción del pluviómetro. Por otro lado, para el escurrimiento fustal se realizó la transformación multiplicando el volumen de cada individuo por la densidad de árboles por hectárea de cada especie y dividido en 10 000 m² (1 ha) (Siles *et al.*, 2010). Con estos valores se calculó la intercepción de las copas de árboles (ICA) que es la diferencia media de la precipitación registrada a cielo abierto (Pi) obtenida por las estaciones y la parcela de pastizales menos la precipitación registrada bajo el dosel de las coberturas evaluadas (León *et al.*, 2010). Para calcular la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) se utilizó la siguiente ecuación (Huntington., 2007):

$$\text{CRAD (\%)} = \text{CC (\%)} - \text{PMP (\%)}$$

El escurrimiento por el dosel y fustal de cada cobertura fue comparado a través de pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis o análisis de varianza dependiendo del comportamiento de los datos, seguido de esto se correlacionaron con los diferentes rasgos para poder evaluar la regulación hídrica. Para Ef se utilizó un análisis de regresión lineal para cada rasgo, mientras que para E se recurrió a un índice funcional denominado Media Ponderada de la comunidad (MPC). Además, se hizo un análisis exploratorio de las correlaciones existentes a través de Spearman y PCA para comparar la variación de los rasgos con respecto a las variables hídricas medidas.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Esguerrimiento por el dosel (E)

Se obtuvo a través de una prueba de Kruskal-Wallis que el esguerrimiento por el dosel no fue estadísticamente diferente entre las dos coberturas para los meses de enero a marzo. De igual forma para los meses de abril a septiembre que corresponden a la época de lluvia, tampoco hubo diferencias significativas para dicho esguerrimiento.

En la figura 3 se puede observar el comportamiento de la parcela control respecto a las dos coberturas evaluadas, que superan los valores de la misma para ambas épocas. También, que esta parcela sólo abarcó el 13,5% para época seca y 68,7% para época de lluvia de la precipitación total siendo porcentajes inferiores en comparación con los anteriores, y se puede evidenciar que la cobertura boscosa permitió mayor ingreso de precipitación incidente que la cobertura agroforestal (Tabla 1).

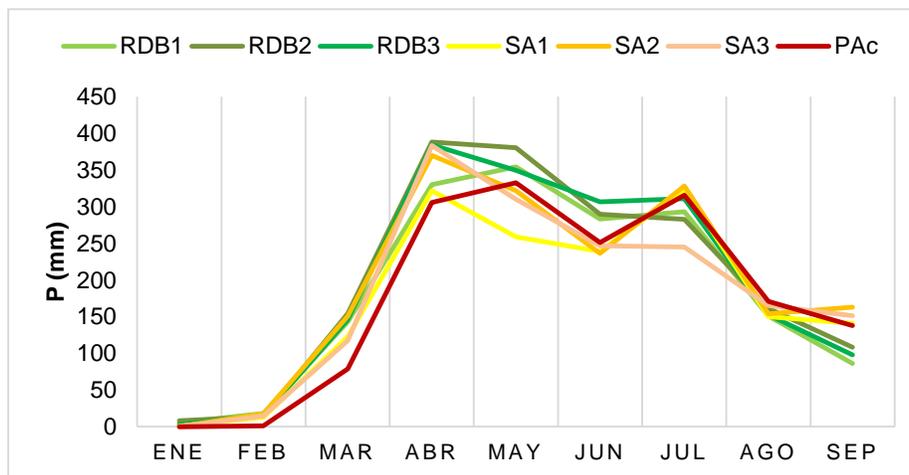


Figura 3. Evaluación de la precipitación directa en cada una de las parcelas de ambas coberturas. SA: Sistemas agroforestales; RDB: Relictos de bosque.

Tabla 1. Escurrimiento bajo el dosel medio semanal en cada parcela evaluada y la relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio; RDB: relictos de bosque; SA: sistemas agroforestales; PAc: parcela control y E: Escurrimiento.

Cobertura	E medio mm/sem		%E/P	
	E. Seca	E. Lluvia	E. Seca	E. Lluvia
RDB	15,5 ± 24,2	71,4 ± 39,2	36,9 ± 36,9	69,7 ± 28,8
SA	12,2 ± 24,8	69,8 ± 30,6	33,9 ± 38,9	66,1 ± 20,4
PAc	6,66 ± 13,5	68,8 ± 25,0	11,4 ± 19,9	68,7 ± 18,9

2.5.2. Escurrimiento fustal (Ef)

Para las especies de bosque, *O. bataua* y *P. laevis* destacaron en ambas épocas recogiendo la mayor cantidad de agua, para el caso de los SA la especie que destacó fue *C. paraense* por la cantidad de individuos por hectárea.

Según los análisis estadísticos sólo la época de lluvia arrojó diferencias significativas ($p=0,0001$) entre las dos coberturas que en gran medida están marcadas por los individuos de las especies evaluadas. El porcentaje representativo de estas especies para la precipitación total de esta época fue de 0,50 y 0,90% para bosque y sistemas agroforestales respectivamente.

Finalmente, el análisis de regresión lineal muestra una relación positiva en ambos ecosistemas, que explica que a mayor precipitación había una mayor captación por el fuste de los individuos de las especies (Figura 4). También, se pueden apreciar valores aislados que son explicados por la intensidad de las lluvias que facilitaban el escurrimiento por el dosel como se puede observar en la figura 3 donde en los meses de marzo, mayo y junio hay un incremento significativo en esta variable (Jaramillo, 2005).

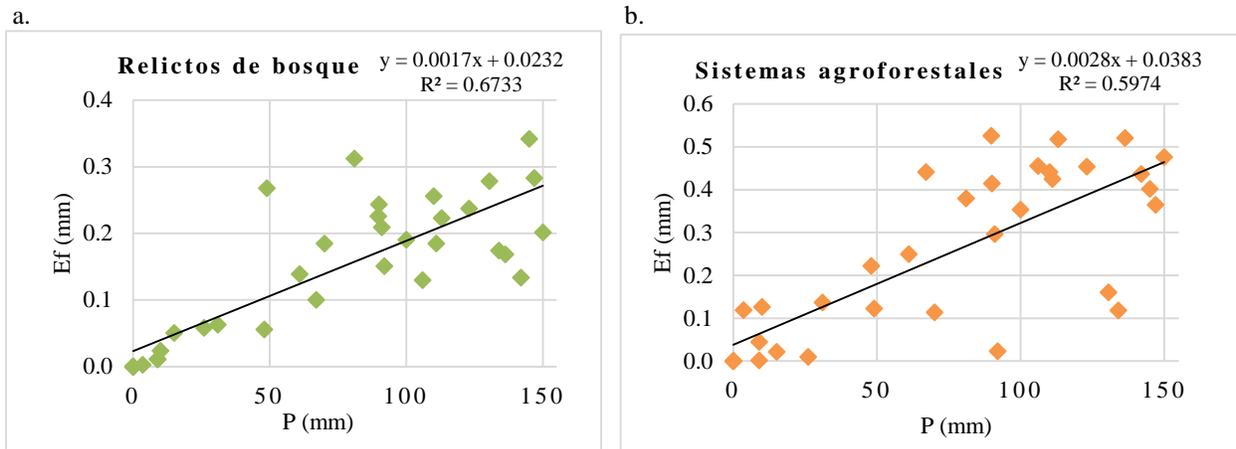


Figura 4. Esguerrimiento fustal medio semanal y relación porcentual entre el esguerrimiento fustal y la precipitación incidente en función de la precipitación neta para bosque (a) y sistemas agroforestales (b).

2.5.3. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo

La capacidad de retención de agua en el suelo fue mayor para las parcelas de los ecosistemas boscosos con un valor promedio de $24,6\% \pm 4,9\%$, que presentaban suelos en su mayoría arcillosos y franco-arcillosos. Por otra parte las parcelas de los sistemas agroforestales tenían suelos franco-arcillosos y franco-limosos con un valor promedio de $14,9\% \pm 1,9\%$ y finalmente la parcela control tuvo una retención del $16,7\% \pm 0,44\%$ con un tipo de suelo arcilloso. Teniendo en cuenta la textura y la variación en los porcentajes de retención es claro que existe una capacidad diferente para retener e infiltrar el agua de lluvia por los suelos y se confirma con el análisis de varianza que a través de una prueba post-hoc LSD Fisher muestra que existen diferencias significativas ($p=0,0001$ con $n-2$ grados de libertad) entre la cobertura boscosa y agroforestal.

2.5.4. Intercepción de las copas de los árboles (ICA)

A través de una prueba estadística Kruskal-Wallis se buscó comparar las coberturas por épocas arrojando valores sin diferencias importantes para cada una. Durante el periodo de estudio la pérdida para bosque fue de 84,3 mm en época seca y de 794,9 mm en época de lluvia respecto a la precipitación total.

Por otro lado la intercepción en los sistemas agroforestales fue de 107,3 mm y 691,7 mm en época seca y de lluvia respectivamente. La parcela control en esta variable tuvo un comportamiento por debajo de los sistemas agroforestales pero en la mayoría de los meses superaba el porcentaje de intercepción a los bosques con una pérdida de 131,3 mm para época seca y de 625,4 mm para época de lluvia (Figura 5).

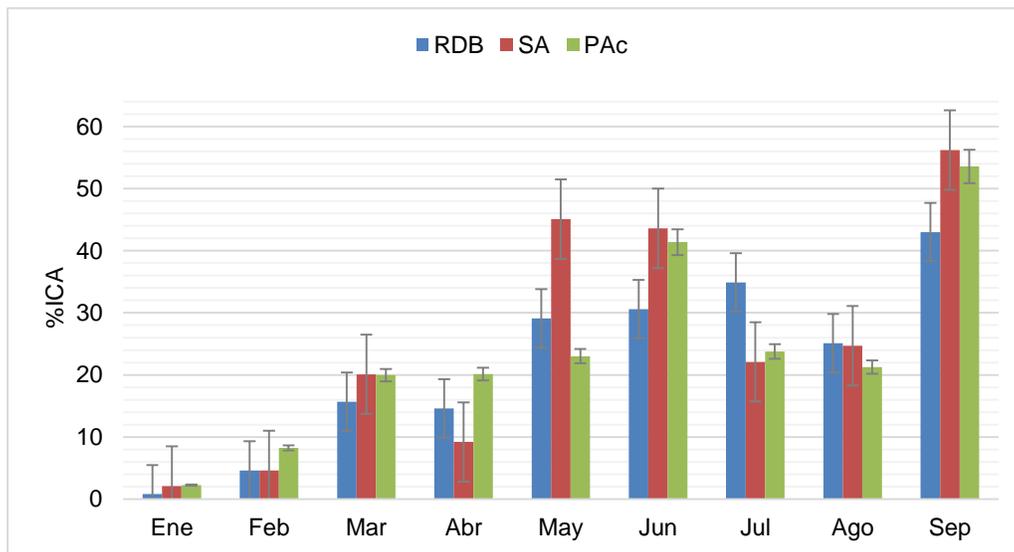


Figura 5. **Inteccción de agua de lluvia por las copas de los árboles (ICA) promedio mensual para cada cobertura en todo el periodo de estudio.**

2.5.5. Análisis de los rasgos funcionales

En la tabla 2 se muestra el resumen de las correlaciones positivas y negativas estadísticamente significativas tanto para los rasgos involucrados en la cobertura boscosa como para la agroforestal.

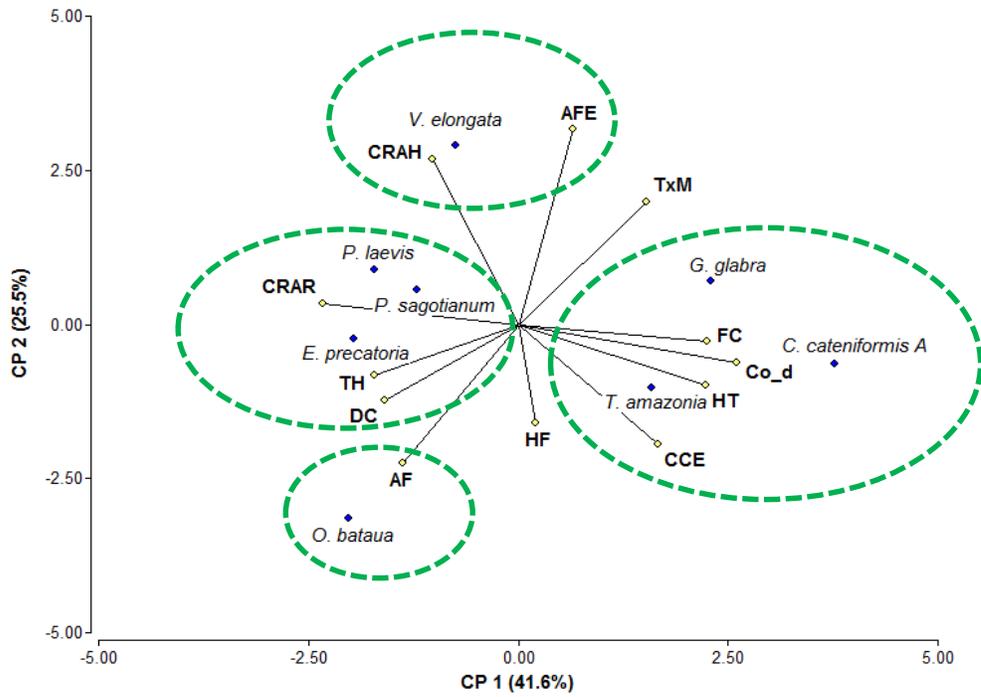
Según los análisis de componentes principales (ACP), que explican el 67,1% (41,6% en el componente uno y 25,5% en el componente dos) del comportamiento de los rasgos funcionales y separa las especies de bosque en diferentes conjuntos de plantas, lográndose identificar cuatro agrupaciones (Figura 6a). Para los sistemas agroforestales el análisis explica el 80,8% (49,8% del componente uno y 31,4% del componente dos) de la variación de los rasgos respecto a las especies de esta cobertura y permite identificar tres agrupaciones (Figura 6b).

Tabla 2. Correlaciones entre rasgos involucrados con el servicio ecosistémico hídrico para cada cobertura.

Correlaciones	SEH RDB			SEH SA		
	Rasgos	p-valor	CV	Rasgos	p-valor	CV
Positivas	Co_d↔FC	0,0200	0,86			
	AF↔CRAR	0,0100	0,86	HT↔TxM	0,0300	0,97
	TH↔TxM	0,0400	0,25			
Negativas	Co_d↔AF	0,0300	0,81			
	Co_d↔CRAR	0,0100	0,84	NC		
	FC↔CRAR	0,0001	0,93			
	FC↔AF	0,0100	0,95			

Co_d = Densidad de la Copa; FC = Forma de la Copa; AF = Área Foliar; HT = Altura Máxima; TH = Textura de la Hoja; CRAR = Contenido relativo de agua en la rama; CRAH = Contenido relativo de agua en la hoja; TxM = Textura de la Madera; NC = No hay correlación; CV = coeficiente de variación.

a.



b.

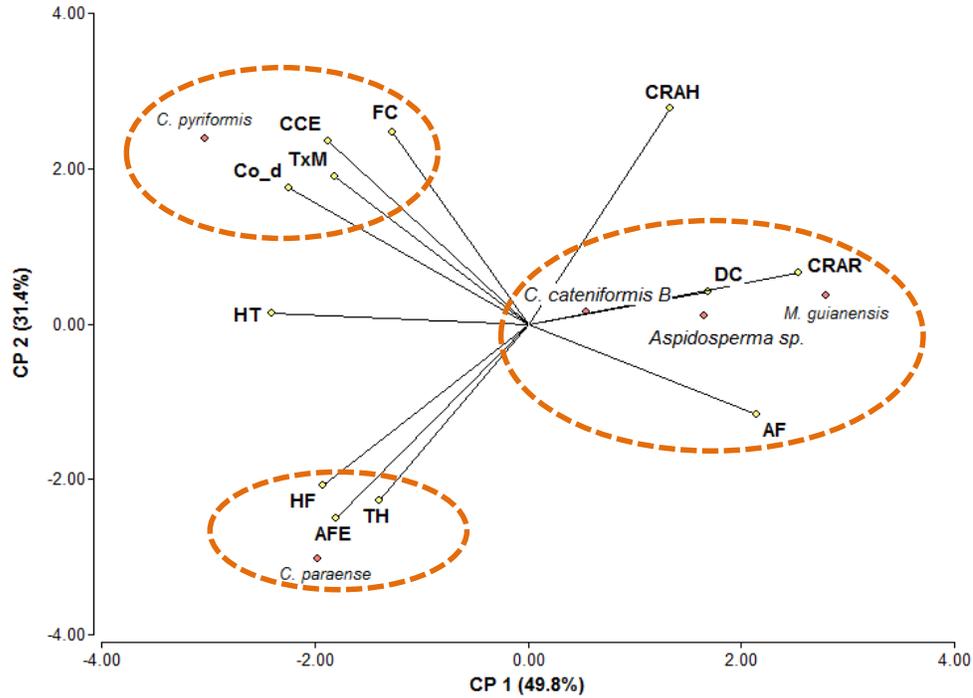


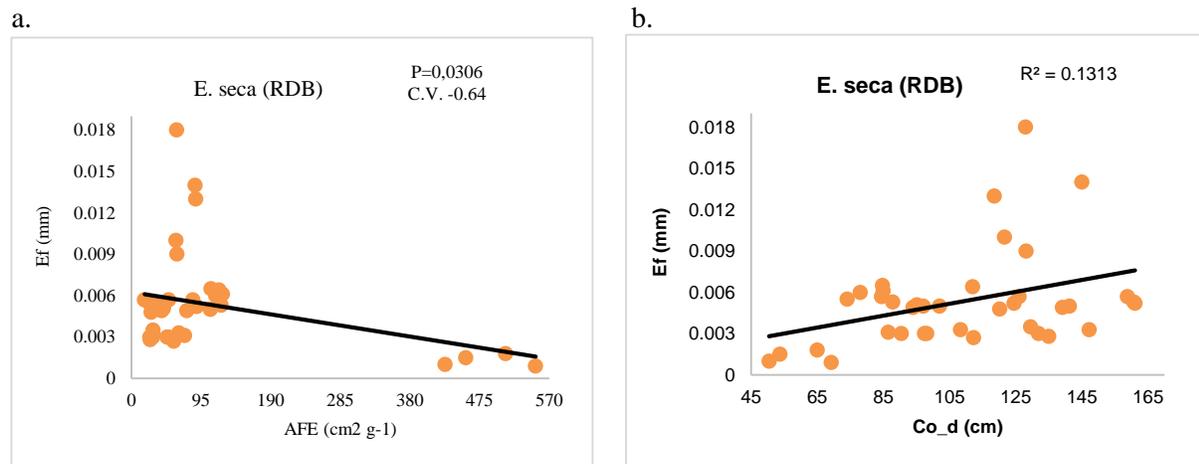
Figura 6. Análisis de componentes principales. **a.** para especies de los relictos de bosque y **b.** para especies de los sistemas agroforestales.

2.5.6. Relación de los rasgos funcionales y la precipitación incidente

Para relacionar los rasgos funcionales con el escurrimiento por el dosel de cada cobertura se utilizó la media ponderada de la comunidad (MPC) para cada época teniendo en cuenta las diferentes parcelas trabajadas, y a través de un análisis de correlación de spearman con un alfa de 0,05 se encontró una correlación positiva con los rasgos de altura total (HT) y diámetro de la copa (Co_d) para los RDB en época de lluvia y para los SA sólo se encontró correlaciones positivas para la época de lluvia con HT, Co_d, altura del fuste (HF), forma de la copa (FC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE).

En cuanto a la relación entre el escurrimiento fustal y los rasgos funcionales se realizó un análisis de correlación de spearman y se encontraron varias correlaciones para las dos coberturas evaluadas en las diferentes épocas que eran estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Para los RDB en época seca se encontró una correlación negativa entre el AFE y dicho escurrimiento siendo menor en especies con altos valores de área foliar específica (Fig. 7a), mientras que para el Co_d la correlación fue positiva con un mayor Ef para especies con una gran copa (Fig. 7b).

Ahora bien, para el periodo de lluvias el análisis arrojó tres correlaciones negativas entre la CRAH, FC y AF en función de la precipitación translocada, de esta manera para especies con alto porcentaje de agua en sus hojas, una forma de la copa mayor a uno y grandes hojas el Ef era menor (Fig. 7c; 7d; 7e).



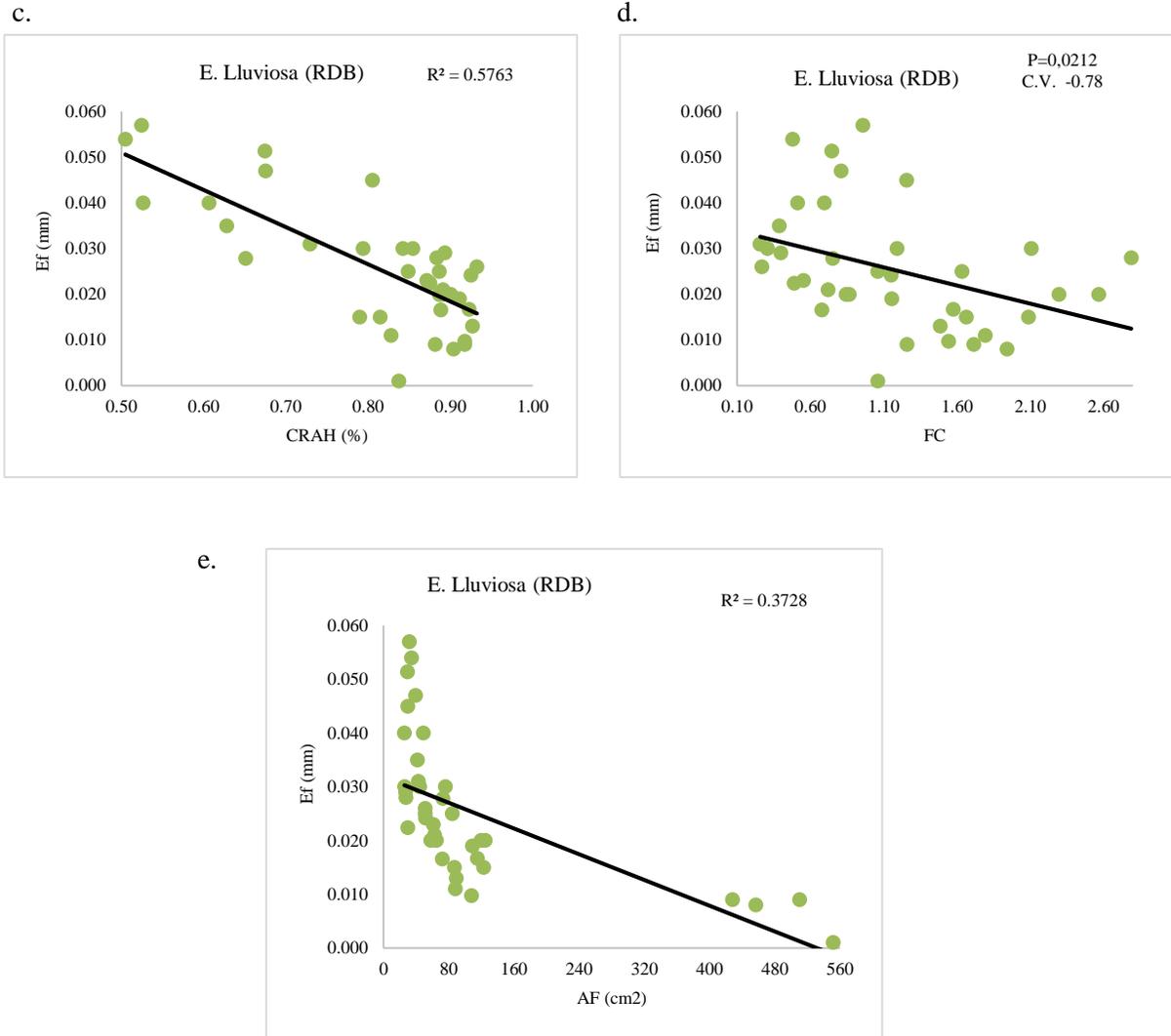
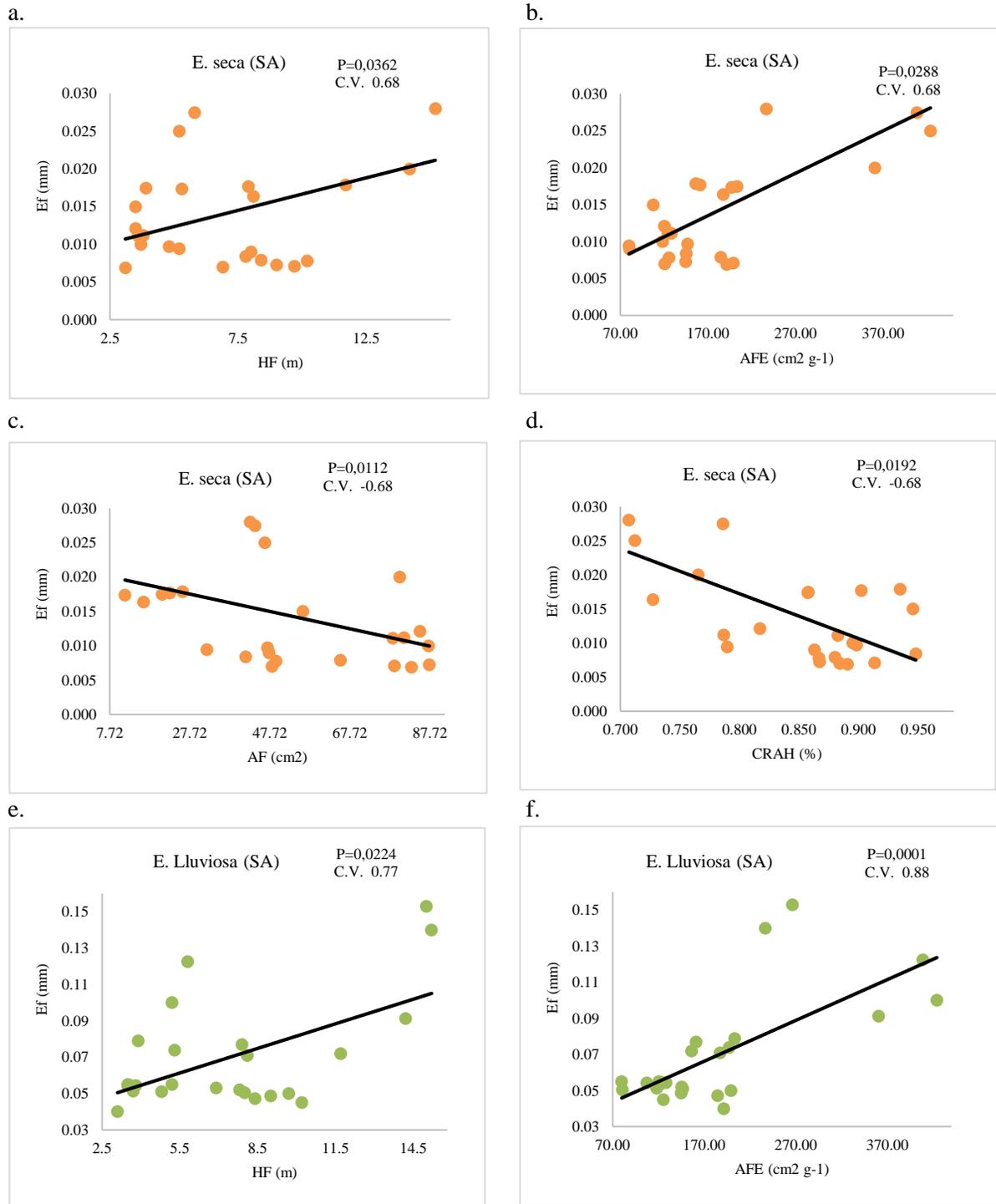


Figura 7. Gráficas de dispersión que muestran la tendencia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para bosque (RDB) en el periodo de estudio; cada punto representa los individuos de las especies evaluadas.

La correlación de spearman para los SA en época seca dio correlaciones negativas para el AF, AFE, CRAH y HF con el Ef, es así que las especies con hojas de gran tamaño y masa foliar con altos porcentajes de contenido de agua, y un fuste alto presentaban bajos contenidos de escurrimiento fustal (Fig. 8a; 8b; 8c; 8d). En la época de lluvia hubo dos correlaciones positivas con el Ef que fue para los rasgos HF y CRAH, es decir, especies con gran porte y altos valores de contenido de agua en la hoja interceptaban más agua a

través del tronco (Figura 8e; 8f), también se dió una correlación negativa entre el AFE y el escurrimiento fustal (Figura 8g).



g.

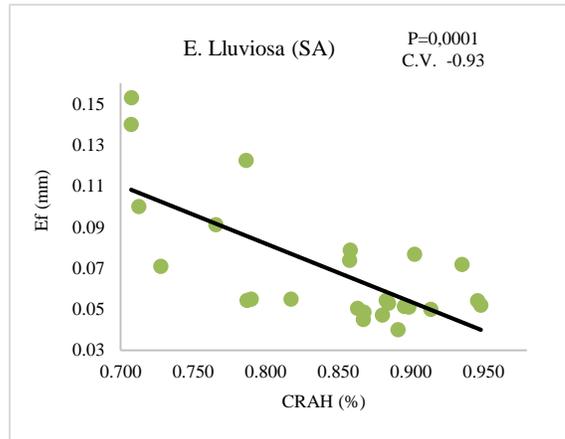


Figura 8. Gráficas de dispersión que muestran la tendencia de los datos entre los rasgos que presentaron una correlación significativa ($p < 0,05$) con el escurrimiento fustal para los sistemas agroforestales (SA) en el periodo de estudio; cada punto representa a los individuos evaluados.

2.6. DISCUSIÓN

2.6.1. Escurrimiento por el dosel

Los valores de escurrimiento por el dosel (E), fueron todos encontrados por encima del 40% para época seca y el 65% para época lluvia, a pesar de que el análisis estadístico no arrojó diferencias significativas la cantidad total de precipitación directa permite concluir que dicho escurrimiento fue mayor en bosque (Figura 3). Sin embargo, estudios anteriores con metodologías similares en bosques tropicales registran valores de escurrimiento entre el 70-95% de la precipitación total (Jackson, 1971; Bruijnzeel, 1989; Loescher *et al.*, 2002), y otros estudios en plantaciones agroforestales también registran valores entre 73-85% respecto a la precipitación incidente (Jaramillo, 2005; Siles *et al.*, 2010). Estos valores inferiores al 70% se pudieron dar debido a que en primer lugar, los análisis se realizaron en un corto periodo de tiempo y el registro no fue diario (Levia & Germer, 2015), también, que la metodología aplicada no incluyó la evaluación de la evapotranspiración que permitieran explicar cuánta agua pudo haber sido evaporada.

Aún así, estudios como el de Lloyd & Marques (1988), y Hölscher *et al.* (1998) establecen que bosques con alta biodiversidad pueden presentar valores de 60-80% para el total de la pluviosidad, lo cual es el caso para los Bosques densos altos de tierra firme, y para los sistemas agroforestales el valor obtenido es similar al del bosque natural (León *et al.*, 2010).

2.6.3. Esguerrimiento fustal

Se observó una relación positiva entre el esguerrimiento fustal (Ef) y la precipitación incidente que explicaba más del 55% de variabilidad de los datos para ambas coberturas durante el periodo de estudio (Figura 4). Los porcentajes para cada cobertura se encontraban entre 0,5-0,9% respecto a la precipitación total, valores que concuerdan con los hallados en diversos estudios para bosques tropicales (Ubarana *et al.*, 1996; Téllez & Boshell, 2004; Jaramillo, 2005). Los porcentajes mencionados están altamente influenciados por el número de individuos que se encuentran por hectárea en el ecosistema para las especies evaluadas y por la intensidad de los eventos de lluvia (Hölscher *et al.*, 1998; Siles *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2015), es por esto que para la época de lluvia los resultados entre ambas coberturas arrojaron diferencias significativas siendo mayor para la cobertura agroforestal con especies forestales definidas y un valor mayor de individuos respecto a los bosques conservados (León, *et al.*, 2010; Siles *et al.*, 2010). Sin embargo, dichos bosques presentan especies epífitas que no fueron incluidas en el estudio las cuales retienen una gran cantidad de agua lluvia para su subsistencia que nunca llega al suelo pero que corre por los troncos de las especies arbóreas (Stevenson & Rodríguez, 2008).

2.6.4. Capacidad de retención de agua disponible en el suelo

La precipitación incidente y la cobertura boscosa junto con las propiedades químicas y físicas de los suelos estructuran un complejo que almacena e infiltra el agua de lluvia que tiene una función importante en el desarrollo de las especies y comunidades (Poorter *et al.*, 2003; da Costa *et al.*, 2013). Para el estudio hubo

diferencias significativas entre los bosques y los sistemas agroforestales presentando mayores valores de retención de humedad en el suelo en los relictos de bosque. Las parcelas de bosque presentaban en su mayoría suelos arcillosos que se conocen que tienen una capacidad de retención mayor respecto a suelos arenosos o limosos (Reichert *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2014; Bautista *et al.*, 2004).

2.6.5. Intercepción de las copas de los árboles

Para un ecosistema arbóreo gran parte de la precipitación incidente es retenida en el dosel o parte aérea de las plantas generando una intercepción entre el agua que ingresa al sistema y la que llega finalmente al suelo (Levia & Germer, 2015). Para las coberturas evaluadas en este estudio no se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de intercepción para ninguna de las épocas, pero hubo una menor pérdida de agua en los relictos de bosque respecto a los sistemas agroforestales (Figura 5).

La correlación entre el porcentaje de intercepción y la precipitación incidente explican más del 40% de variabilidad entre ambos componentes y establece que a mayor precipitación mayor será dicho porcentaje, esto difiere de varios estudios que establecen que el porcentaje de intercepción está en un rango de 1-20% de toda la lluvia, y que además es mayor en eventos de lluvias pequeñas (Price & Carlyle-Moses, 2003; Staelens, 2008; León *et al.*, 2010; Siles *et al.*, 2010). Aún así, Los datos calculados en este estudio apoyan lo establecido por otros autores que explican que el ICA puede estar en rangos de 10-50% dependiendo de las propiedades climáticas del área de muestreo, la densidad de individuos y la composición florística (Dajoz 2002; Jaramillo, 2005; Pypker *et al.*, 2005, Gerrits *et al.*, 2007). La variación climática de la zona puede explicar porque los porcentajes de intercepción son tan altos, además, la falta de una estación climática local que estableciera datos más precisos para el área de muestreo puede ser otro factor determinante en estos porcentajes.

2.6.6. Análisis de los rasgos funcionales y su relación con la precipitación incidente

Para el estudio se analizaron diferentes rasgos funcionales que la literatura reporta como importantes para el servicio ecosistémico hídrico (Aquino, 2009; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013), dentro de estos mismos rasgos se encontraron correlaciones que explican su comportamiento al momento de analizar el efecto de la cobertura vegetal en la precipitación incidente de cada sistema evaluado (Tabla 2). Para la cobertura boscosa las especies presentan un diámetro de la copa (Co_d) y forma de la copa (FC) que permiten el paso del agua a través del dosel y su relación directamente proporcional puede favorecer o afectar la precipitación directa (Aquino, 2009; León *et al.*, 2010), por otro lado la correlación positiva entre el área foliar (AF) y el contenido relativo de agua en la ramas (CRAR) de las especies puede ser justificado con el tamaño de las hojas entre más grandes las ramas que las sostiene requieren de un mayor espesor por lo tanto incrementa su capacidad de retener agua (Milla *et al.*, 2008).

Las correlaciones negativas entre Co_d con AF y CRAR podrían ser explicadas asumiendo que árboles con baja acumulación de agua en sus ramas y hojas pequeñas permiten que un gran tamaño de la copa logre captar mayor cantidad de agua favoreciendo el escurrimiento, lo que coincide también con la forma de la copa, una forma más cercana a valores de uno va a permitir una mayor área de captación de agua lluvia (Wright & Westoby, 2002; Aquino, 2009; Miranda, 2012). A su vez, que la correlación de la textura de la corteza (TxM) con la altura total (HT) sea negativa en las especies de bosque está relacionada con las palmas que se encuentran en todos los estratos del bosque e independiente de su edad su corteza siempre se mantiene lisa, también la especie arborea *P. laevis* presenta dicha característica.

Entretanto para las especies de la cobertura agroforestal sólo se dio una correlación que fue positiva entre la TxM con la altura total HT, que puede estar justificada en razón de que los árboles más grandes tienen potencialmente mayor edad y a mayor edad existe una mayor rugosidad en la corteza del tronco, característica común en el conjunto de especies evaluado para esta cobertura. Sin embargo a pesar de que

la rugosidad facilita la presencia de epífitas para estos ecosistemas este rasgo en la mayoría de especies fue bajo pero la altura permitió una mayor captación del agua por el tronco de estas especies que por el dosel del ecosistema (Valová & Bielezová; 2008; Murakami, 2009).

2.6.7. Análisis preliminar de agrupaciones de plantas a partir del PCA

Ahora bien, con las especies de mayor abundancia en la cobertura de los RDB se conformaron cuatro agrupaciones de especies que actúan como estrategias funcionales en el proceso de redistribución de la lluvia, la primer agrupación la conforman las especies *E. precatória*, *P. laevis* y *P. sagotianum* que presentaron los mayores valores en la textura de la hoja que las define como especies con tricomas o estrías características importantes que generan un aislamiento de las mismas, pero retiene agua en su superficie lo que facilita la intercepción por evaporación. También, valores altos en la densidad de la copa (DC) y CRAR esto anudado a que no fueron rasgos estadísticamente significativos para la retención de agua (Figura 6), las cataloga como especies “interceptoras” lo que aportaría mayor capacidad de intercepción de la lluvia por el dosel del bosque (Crockford & Richardson, 2000; Huber e Iroume, 2001; Aquino, 2009).

La segunda agrupación conformada por *C. cateniformis*, *T. amazonia* y *G. glabra* relaciona las especies con gran altura (HT), copas grandes y frondosas (FC, Co_d) y alta capacidad para retener epifitas (CCE) lo que las caracteriza como especies “captadoras del dosel” que facilitan la precipitación directa, es decir el agua lluvia que llega directamente al suelo, así lo manifiesta el análisis con la media poderada de la comunidad arrojando una correlación positiva con los rasgos de HT y diámetro de la copa (Co_d), (León *et al.*, 2010; Miranda, 2012).

La tercer agrupación sólo tiene una especie *V. elongata* con altos valores de contenido relativo de agua en la hoja (CRAH) y área foliar específica (AFE), estas características la relacionan como una especie “consumidora” que se caracteriza por tomar la precipitación incidente para su propio sostenimiento (Wright

& Westoby, 2002; Marengo *et al.*, 2009). La última agrupación definida por una especie, *O. bataua* presenta valores altos de AF característica importante según la literatura para la captación de agua por el dosel (Miranda, 2012), Sin embargo no presenta valores altos para los demás rasgos que permita establecer claramente su aporte funcional a la retención de la precipitación incidente.

Por lo que se refiere a los sistemas agroforestales se obtuvieron tres agrupaciones, la primera está conformada por *Aspidosperma sp*, *C. cateniformis* y *M. guianensis* no tiene una función clara en la retención de la precipitación incidente, aun así sus altos valores en la densidad de la copa (DC) y el tamaño de sus hojas (AF) facilitan la intercepción del agua por el dosel siendo “interceptoras”.

La segunda agrupación está establecida por la especie *C. pyriformis* con valores altos para Co_d y FC que estadísticamente son significativas para la captación de agua por el dosel y los valores altos de capacidad de carga de epifitas (CCE) y la corteza rugosa dificultan la captación de agua por el fuste pero facilitan la llegada de la precipitación al suelo por el dosel, por ello se catalogan como especies “captadoras de dosel”. Finalmente La última agrupación también compuesta por una sola especie *C. paraense* presenta los valores más altos de AFE y HF significativamente importantes para ser “captadoras de fuste”, así al presentar valores bajos para la DC, CRAR y CRAH queda claro que su aporte en la retención de la precipitación incidente está marcada por la precipitación translocada.

2.7. CONCLUSIONES

El análisis conjunto de los resultados de las variables hídricas permite señalar una mayor eficiencia en la cobertura boscosa para redistribuir la precipitación incidente dentro del bosque respecto a la cobertura agroforestal.

La pérdida de precipitación incidente por el dosel tanto del bosque como de los sistemas agroforestales tuvo valores mayores a lo registrado en la literatura, esto se pudo deber a una subestimación

del escurrimiento por el dosel ya que esta variable contribuye al mayor porcentaje de precipitación directa de los sistemas o para el caso del ecosistema boscoso al gran número de especies que este contiene.

Los rasgos funcionales analizados en las especies más abundantes de cada sistema muestran un aporte funcional de las mismas en el servicio ecosistémico hídrico. No obstante, es importante resaltar que la relación de estas especies con variables como el escurrimiento que solo se centran en la captación del agua pero no en la retención de la misma puede conducir a subestimaciones de los grupos funcionales definidos en el estudio.

Es pertinente aclarar que este estudio brinda información preliminar sobre la retención y captación del agua de lluvia en los bosques del Guaviare y los sistemas agroforestales que se están implementando en el área y, teniendo en cuenta que el análisis estadístico utilizado es exploratorio, se recomienda en evaluaciones siguientes realizar mediciones con un rango de tiempo mayor, replicas que permitan realizar un análisis estadístico más robusto y tomar otras variables hídricas importantes para la evaluación del servicio ecosistémico hídrico.

Aunque falta realizar análisis más complejos con los resultados de este trabajo se pueden sugerir la implementación de especies como *O. bataua* y *P. laevis* para la creación de sistemas agroforestales, así permitir una mayor eficiencia de la distribución de la PI en estos ecosistemas.

2.8. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi por la financiación de este proyecto liderado por el último autor. De igual manera agradecemos por el apoyo en la fase de campo a Mireya Pérez, Elbenis Quintero, Hilda Betancourt y Dimar López. A Mary Lee Berdugo y Oscar Rojas Zamora por sus comentarios y sugerencias en la elaboración de este documento.

2.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino, S.** (2009). Impactos humanos en la provisión de servicios ecosistémicos por bosques tropicales muy húmedos: un enfoque de ecología funcional (Trabajo de Maestría). Turrialba: *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. 92 p.
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R.F., Gutiérrez, C.** (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13 (2), pag: 90-97.
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A.** (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment & Resources*, 32(1), 67-98.
- Bruijnzeel, L.A.** (1989) Nutrient content of bulk precipitation in south-central Java, Indonesia. *J Trop Ecol*, 5:187-202.
- Cabrera, R.** (1999). Prácticas básicas en el uso y manejo del agua. (Trabajo de pregrado). México. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, 119 p.
- Casanoves, F., Pla, L. & Di Rienzo, J.A.** (eds) (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Turrialba: *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* (CATIE). 104 p.
- Camargo, A.** (Ed) (2016). *Línea base de coberturas de vegetación en relictos de bosque del departamento del Guaviare*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi: “Informe técnico”, San José del Guaviare, 59 p.
- Crockford, R. H., & Richardson, D. P.** (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, 14, 2903-2920.
- da Costa, A., Albuquerque, J.A., da Costa, A., Pértile, P. & Rodrigues, F.** (2013). Water retention and availability in soils of the state of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. *R. Bras. Ci. Solo*, 37: 1535-1548.
- Dajoz, R.** (2002). *Tratado de ecología*, Segunda edición. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 600 p

- de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J. H. C., Bardgett, R. D., Berg, M. P., Cipriotti, P., Feld, C. K., Hering, D., da Silva, P. M., Potts, S. G., Sandin, L., Sousa, J. P., Storkey, J., Wardle, D. A. & Harrison, P. A.** (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2873-2893.
- Gerrits, A; Savenije, H., Hoffman, L & Pfister, L.** (2007). New technique to measure forest floor interception an application in a beech forest in Luxembourg. *Hyd. Earth Syst. Sci.*, 11:695–701.
- Giraldo-Benavides, B., Zubieta-Vega, M., Vargas-Ávila, G., & Barrera-García, J.** (2013). *Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. 314 p.
- Gómez-Tagle Ch, A., Gómez-Tagle R, A. F., Ávila O, J. A., & Bruijnzeel, L. A.** (2015). Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Bosque*, 36(3), 505-518.
- Hernández-Atilano, E., Aguirre-Ramírez, N.J., Palacio-Baena, J.A., Ramírez-Restrepo, J.J., Duque-Escobar, S., Guisande-González, C., Aranguren, N. & Mogollón, M.** (2012). Rasgos morfológicos de fitoplancton en seis sistemas leníticos de las regiones Amazónica, Andina y Caribe de Colombia. *Actual Biol.* 34(96): 67-83.
- Hölscher, D., Sá, T. D. A., Möller, R. F., Denich, M. & Fölster, H.** (1998). Rainfall partitioning and related hydrochemical fluxes in a diverse and in a mono specific (*Phenakospermum guyannense*) secondary vegetation stand in eastern Amazonia. *Oecologia*, 114(2): 251-257.
- Huber, A. & Iroume, A.** (2001). Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest cover in Chile. *Journal of Hydrology*. 248: 78-92 p.
- Hulshof, C.M., Martínez-Yrizar, A., Burquez, A., Boyle, B., & Enquist, B.J.** (2013). Plant functional trait variation in tropical dry forests: a review and synthesis. En: Sánchez-Azofeifa, A., Powers, JS, Fernandes, GW, Quesada, M. (Eds): *Tropical Dry Forests in the Americas: Ecology, Conservation, and Management*, pag: 129-140.

Huntington, T.C. (2006). Available water capacity and soil organic matter. En: Lal, R. (ed): *Encyclopedia of soil science*, 1, pag: 139-143.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 Bogotá: *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 65 p.

Jackson, I.J. (1971). Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 12: 234-254.

Jaramillo, A. (2005). La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 29 (112): 371-382.

La Rosa, R., Acuña, R., Acurio, K., Castillo, A., Cepeda, C., Chavarry, C., Correa, M., De La Cruz, L., García, M., Huamaní, M., Jáuregui, J., Luyo, L. & Villanueva, F. (2011). Respuestas fisiológicas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. (Malvaceae) en el cerro “El Agustino”, Lima, Perú. *The Biologist*, 9(1), 1-8.

Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits. *Functional Ecology*, 16, 545-556.

León, J.D., González, M.I., Gallardo, J.F. (2010). Distribución del agua de lluvia en tres bosques altoandinos de la cordillera central de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 63(1), 5319-5336.

Levia, D.F. & Frost, E.E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *J. Hydrol.* 274 (1-4): 1-29.

Levia, D. F., & Germer, S. (2015). A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. *Rev. Geophys.*, 53, 673-714.

Liang, W., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2009). A three-dimensional model of the effect of stemflow on soil water dynamics around a tree on a hillslope. *Journal of Hydrology*, 366(1-4), 62-75

Lloyd, C.R. & Marques, A.O. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and forest meteorology*, 42(1): 63-73.

- Loescher, H. W., Powers, J. S., & Oberbauer, S. F.** (2002). Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 18(3): 397-407.
- Marenco, R. A., Antezana-Vera, S. A. & Nascimento, H.C.S.** (2009). Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*, 47(2): 184-190.
- Mariño, Y.A.** (2006). Evaluación del punto de marchitez permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de *Gmelina arborea* (Roxb) a sitios potenciales de plantación. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá, 172 p.
- Medina, E. & Cuevas, E.** (2011). Complejo Caatinga amazónica: bosques pluviales esclerófilos sobre arenas blancas. *BioLlania*. 10, pag: 241-249.
- Milla, R; Reich, P.B., Niinemets, U. & Castro-Dez, P.** 2008. Environmental and developmental controls on specific leaf area are little modified by leaf allometry. *Functional Ecology*, 22:565-576.
- Millenium Ecosystem Assessment.** (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. 155 p.
- Miranda, J.** (2012). Efecto de las características de las plantas y rasgos funcionales de la copa de los árboles del neotrópico seco, sobre la transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes. (Tesis de Maestría). Turrialba: *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. 81 p.
- Murakami, S.** (2009). Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress. *Hydrological Research Letters*, 3:32-35.
- Olmos, C. F. G.** (2006). Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la Cuenca del Rio San Cristóbal, Bogotá D.C. *Colombia Forestal*, 10(20), 127-147.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiburry, P., Breet-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklas, E.J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgsson, J. G., Thompson, K., Morgan, H. D., ter Steege, H., van der Heijden, M. G. A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M. V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S. &**

- Cornelissen, J. H. C.** (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 6(13), 167-234.
- Petchey, O., & Gaston, K.** (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, 741-758.
- Philip, M. S.** (ed.) (1998) *Measuring Trees and Forests*. Reino unido: CABI Publishing. 310 p.
- Poorter, L. & Bongers, F.** (2006) Leaf traits are good predictors of a plant performance across 53 rain forest species. *Ecology*, 87(7), 1733-1743.
- Price, A.G. & Carlyle-Moses, D.E.** (2003). Measurement and modelling of growingseason canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. *Agric. Forest. Meteorol.* 119 (1–2): 69–85.
- Pypker, T., Bond, B., Link, T., Marks, D. & Unsworth, M.** (2005) The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and old- growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, 113-129.
- Reichert, J.M., Albuquerque, J.A., Kaiser, D.R., Reinert, D.J., Urach, F.L. & Carlesso, R.** (2009). Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 33: 1547-1560.
- Salgado-Negret, B.** (ed.) (2015). *La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236 p.
- Siles, P., Vaast, P., Dreyer, E., & Harmand, J. M.** (2010). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. *Journal of Hydrology*, 395(1-2), 39-48.
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., Verhoest, N.E.C.** (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrol. Process.* 22 (1), 33–45.

- Stevenson, P.R. & Rodríguez, M.E.** (2008). Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el Guaviare, Amazonia colombiana, *Colombia Forestal*, 11, pag: 5-17.
- Téllez, P. & Boshell, J.** (2004). Flujos de agua a través de bosques de diferentes edades en la Amazonia colombiana. *Metereol. Colomb.*, 8: 61-72.
- Tobon, C., Sevink, J. & Verstraten, J.M.** (2004). Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Biogeochemistry*, 70 (1): 1–25.
- Turriago, J.** (2013). Ecología funcional de raíces aéreas absorventes del Yare (*Heteropsis spp* (Kunt)) en bosques de tierra firme de la Amazonia Colombiana (Tesis de Maestría). Leticia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ubarana, V. N., Gash, J. H. C., Nobre, C. A., Robert, J. M. & Victoria, R. L.** (1996). Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. En: Gash, J.H.C.; Nobre, Carlos Alfonso; Robert, J.M.; Victoria, R.L. (Eds). *Amazonian deforestation and climate*. New York, pag: 151-162.
- Valová, M & Bielešová, S.** (2008). Interspecific variations of bark's water storage capacity of chosen types of trees and the dependence on occurrence of epiphytic mosses. *GeoScience Engineering*, (4):45-51.
- Wright, I.J. & Westoby, M.** (2002). Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, lifespan and physiology. *New Phytologist*, 155, pag: 403-416.
- Wright, I.J., Reich, P., Westoby, M., Ackerly, D., Baruch, Z., Bongers, F. & Cavender-Bares, J.** (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), pag: 821-827.
- Zhang, Y., Wang, X., Hu, R., Pan, Y., & Paradeloc, M.** (2015). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. *Journal of Hydrology*, 527: 1084–1095.