



UNIVERSIDAD DE **PAMPLONA**

**Interceptación de lluvia por *Schefflera cuatrecasiana* Steyerm y *Cyathea cf. andina* (H. Karst.) Domin en un relicto de bosque alto-andino, vereda Fontibón, Pamplona-Norte de Santander.**

Julieth Katherinn Florez Anteliz

1094278329

Programa de Biología

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de Pamplona

Pamplona, Colombia

2021



**Interceptación de lluvia por *Schefflera cuatrecasiana* Steyerm y *Cyathea cf. andina* (H. Karst.) Domin en un relicto de bosque alto-andino, vereda Fontibón, Pamplona-Norte de Santander.**

Estudiante

Julieth Katherinn Florez Anteliz

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

**BIÓLOGA**

Director

B.Sc. MSc. Luis Roberto Sánchez Montaña

Codirector

PhD. María Esther Rivera

Programa de Biología

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de Pamplona

Pamplona, Colombia

2021

## DEDICATORIA

*A mi madre que me ha apoyado incondicionalmente y ha sabido formarme enseñándome buenos sentimientos y valores, a mi hermana a que de alguna manera influyó para que obtuviera una visión más amplia del mundo y me apasionara por lo que estudio.*

*“Hay un libro abierto siempre para todos los ojos: la naturaleza”*

J.J. Rousseau.

## AGRADECIMIENTOS

A mis apreciados directores María Ester Rivera y Luis Roberto Sánchez por su apoyo, por sus innumerables enseñanzas, acompañamiento, compromiso y por la paciencia. Mi más sincero agradecimiento por su entrega y su generosidad. Para ellos todo mi agradecimiento, respeto y admiración. Fue una gran experiencia compartir con ustedes este proceso.

A mi madre, por su paciencia, su confianza, sus esfuerzos, por su cariño inmensurable, su apoyo incondicional y por enseñarme que con dedicación y pasión por lo que se hace, todo siempre sale bien.

A las personas que me apoyaron en campo, gracias por su valioso trabajo: Roberto Sánchez, Andrés Florez, Diego Parada, Lorena Valero. También a mi papá por su apoyo en la construcción de los pluviómetros, colectores y logística de las salidas.

A mi hermana Andrea Florez y Andrés Florez por compartir la vida y creer en este sueño, es un privilegio tenerlos.

A mis amigos entrañables, gracias por el apoyo, la paciencia, la fuerza y el amor. Diego, Johanna, Paola, Eliana, Carlos, Tatiana y los demás cuya lista se extendería unas cuantas líneas, por los buenos momentos que nos unieron durante estos años.

Al Herbario Catatumbo-Sarare (Unipamplona)

## Resumen

Los bosques andinos Colombianos exhiben una vegetación muy densa que se encarga de gestionar y administrar una parte importante de los recursos hídricos mediante los efectos de la precipitación incidente, la dinámica hidrológica del suelo y el balance de radiación local con sus directas implicaciones edáficas, cuyos procesos van determinados por el conjunto de rasgos funcionales que se relacionan con la dinámica de interceptación de aguas por las especies; los rasgos que describen la estructura y morfología de las copas de los árboles, son los que se relacionan significativamente con la escorrentía cortical y la precipitación interna, procesos que potencialmente transfieren agua al suelo. El objetivo de este proyecto es encontrar las relaciones entre la densidad y cantidad de lluvia que se distribuye por la copa de las especies más abundantes del bosque altoandino de niebla del sector La Lejía, en Pamplona, mediante la medición de sus rasgos funcionales, para poder establecer cuál es el comportamiento en conjunto de todas las variables. A través de un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 y correlaciones de Pearson se determinó que las especies estudiadas presentan diferencias en sus rasgos funcionales, generando un gradiente de efectos sobre procesos eco-hidrológicos: desde copas pequeñas y menos densas en *Cyathea cf. andina* a copas más amplias y densas en *Schefflera cuatrecasiana*, que influyen sobre la variabilidad temporal de la escorrentía cortical y precipitación interna, respectivamente. Estos resultados son importantes para entender la dinámica del bosque y como se reparte el agua luego de un escenario de lluvia.

**Palabras clave:** Función eco-hidrológica, rasgos funcionales, precipitación interna, escorrentía cortical.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	MARCO REFERENCIAL .....	14
2.1.	Bosques andinos .....	14
2.1.1.	Bosques altoandinos en Colombia .....	14
2.1.2.	Servicios Ecosistemicos .....	15
2.2.	Ecología Funcional.....	17
2.2.1.	Rasgos funcionales y ecosistémicos.....	19
2.3.	Generalidades familia Araliaceae.....	20
2.3.1.	Genero <i>Schefflera</i> .....	20
2.3.1.1.	<i>Schefflera cuatrecasiana</i> .....	21
2.3.2.	Familia Cyatheaceae.....	21
2.3.2.1.	Genero <i>Cyathea</i> .....	22
2.3.2.2.	<i>Cyathea</i> cf. <i>andina</i> .....	23
2.4.	El agua en los ecosistemas boscosos .....	23
3.	OBJETIVOS .....	25
3.1	Objetivo general .....	25
3.2	Objetivos específicos .....	25
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1.	Marco contextual.....	26
4.1.1.	Área de Estudio .....	27
4.2.	Selección de individuos.....	28
4.3.	Medición de los Rasgos Funcionales .....	29
4.3.1.	Área de la copa .....	30
4.3.2.	Altura del Individuo .....	31
4.3.3.	Altura de la copa.....	33

4.3.4.	Altura del fuste .....	33
4.3.5.	Volumen de la copa.....	33
4.3.6.	Transparencia de la copa .....	34
4.3.7.	Densidad de la copa.....	34
4.3.8.	Área foliar.....	34
4.3.9.	Área Foliar Específica .....	35
4.3.10.	Peso Fresco.....	36
4.3.11.	Peso Seco.....	36
4.3.12.	Contenido de Humedad .....	36
4.3.13.	% Contenido de Humedad.....	36
4.4.	Monitoreo de Precipitación y Clima .....	36
4.5.	Monitoreo Hidrológico.....	39
4.6.	Análisis Estadístico .....	40
4.6.1.	Análisis estadístico multivariado.....	40
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
5.1.	Dinámica del clima y la precipitación .....	42
5.1.1.	Temperatura.....	44
5.2.	Dinámica de los procesos hidrológicos en las especies .....	45
5.2.1.	Escorrentía cortical.....	45
5.2.2.	Interceptación (Precipitación Interna).....	48
5.3.	Características funcionales en relación a la forma y copa de las especies estudiadas 51	
5.5.	<i>Schefflera cuatrecasiana</i> .....	57
5.5.1.	Total Semanas monitoreadas.....	57
5.5.2.	Periodos húmedos.....	61
5.5.3.	Periodo seco .....	65
5.6.	<i>Cyathea cf. andina</i> .....	67
5.6.1.	Total Semanas monitoreadas.....	67
5.6.2.	Periodo húmedo.....	70
5.6.3.	Periodo Seco.....	73
5.7.	Relación entre las variables meteorológicas y las variables hidrológicas. ....	75
5.7.1.	Total semanas de monitoreo.....	75
5.7.2.	Periodos húmedos.....	77
5.7.3.	Periodos secos .....	79
5.8.	Especies, sus rasgos funcionales y la influencia en procesos hidrológicos.....	80

5.8.1.	Análisis de componentes principales para <i>Schefflera cuatrecasiana</i> .....	80
5.8.2.	Análisis de componentes principales para <i>Cyathea cf. andina</i> .....	82
6.	CONCLUSIONES .....	84
7.	BIBLIOGRAFIA .....	86
8.	ANEXOS .....	101

**LISTA DE TABLAS**

**TABLA 1.** Parámetros descriptivos de los rasgos funcionales de *Schefflera cuatrecasiana* Y

*Cyathea cf. andina*. ..... 52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación área de estudio, Bosque altoandino. Vereda Fontibón, La Lejía, Norte de Santander.....	26
<b>Figura 2.</b> Medidas dasométricas realizadas en los individuos elegidos para los rasgos funcionales. ....	30
<b>Figura 3</b> (A) Datos de entrada de la muestra, (B) Líneas de referencia dibujadas en la foto para escalar la imagen y delinear las regiones de transparencia y corona, (C) Resultado generado por el programa informático UrbanCrowns .....	32
<b>Figura 4.</b> (A) Recolección de las muestras en campo, (B) Área foliar en ImageJ para <i>Schefflera cuatrecasasiana</i> , (C) Área foliar en ImageJ para <i>Cyathea cf. andina</i> .....	35
<b>Figura 5.</b> (A) Instalación de collarines y pluviómetros para la medición de las variables escorrentía cortical y precipitación en interna en <i>Schefflera cuatrecasasiana</i> , (B) Resellado de los collarines en <i>Cyathea cf. andina</i> ., (C) Instalación de multiparametros. ....	38
<b>Figura 6.</b> Series de tiempo de la precipitación incidente en los días de monitoreo en la zona de estudio. ....	42
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de la temperatura media del aire en función de los días monitoreados (Agosto de 2020-Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander.....	44
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de la escorrentía cortical en <i>Schefflera cuatrecasasiana</i> (línea naranja) y <i>Cyathea cf. andina</i> (línea gris) en función de los días monitoreados (Agosto de 2020-Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander. ....	46

<b>Figura 9.</b> Diferencias entre las especies respecto al promedio de escorrentía cortical en las semanas húmedas, secas y totales; (A) Semanas secas, (B) Semanas húmedas, (C) Semanas totales. ....	47
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de la precipitación interna en <i>Schefflera cuatrecasiana</i> (línea naranja) y <i>Cyathea cf. andina</i> (línea gris) en función de los días monitoreados (Agosto de 2020-Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander .....	49
<b>Figura 11.</b> Diferencias entre las especies respecto al promedio de precipitación interna en las semanas húmedas, secas y totales; (A) Semanas secas, (B) Semanas húmedas, (C) Semanas totales. ....	50
<b>Figura 12.</b> Caracterización de las especies de plantas objeto de estudio. ....	53
<b>Figura 13.</b> Medias de los rasgos funcionales medidos en <i>Schefflera cuatrecasiana</i> y <i>Cyathea cf. andina</i> . Las medias exhiben diferencias significativas: Manova ( $P < 0,05$ ). ....	55
<b>Figura 14.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical durante el total de semanas de monitoreo. ....	58
<b>Figura 15.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y precipitación interna durante el total de semanas de monitoreo.....	60
<b>Figura 16.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas húmedas del monitoreo. ....	62
<b>Figura 17.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.....	64
<b>Figura 18.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo. ....	66

<b>Figura 19.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y precipitación interna en las semanas secas del monitoreo.....	67
<b>Figura 20.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas totales del monitoreo. ....	68
<b>Figura 21.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas totales del monitoreo.....	69
<b>Figura 22.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la escorrentía cortical en las semanas húmedas del monitoreo. ....	71
<b>Figura 23.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.....	72
<b>Figura 24.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo. ....	73
<b>Figura 25.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas secas del monitoreo.....	74
<b>Figura 26.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en el total de semanas del monitoreo.....	75
<b>Figura 27.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la precipitación interna en el total de semanas del monitoreo. ....	76
<b>Figura 28.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en el total de semanas del monitoreo.....	77
<b>Figura 29.</b> Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las (A) variables meteorológica y la escorrentía cortical (B) variables meteorológica y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo. ....	78

- Figura 30.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las (A) variables meteorológica y la escorrentía cortical (B) variables meteorológica y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo. .... 78
- Figura 31.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo..... 79
- Figura 32.** Análisis de componentes principales para *Schefflera cuatrecasiana* especies seleccionadas, rasgos funcionales, variables hidrológicas y variables meteorológicas..... 81
- Figura 33.** Análisis de componentes principales para *Cyathea cf. andina* especies seleccionadas, rasgos funcionales, variables hidrológicas y variables meteorológicas. .... 83

## 1. INTRODUCCIÓN

La vegetación es fundamental para la hidrología misma y está influenciada de manera crucial por la escala a la que se estudian los fenómenos, así como por las características fisiológicas de la vegetación, la pedología del suelo y el tipo de clima; el clima y el suelo controlan la dinámica de la vegetación y esta a su vez tiene influencia sobre procesos de interacción con la atmósfera (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 2004). La influencia de las plantas sobre la hidrología está determinada por sus características fisiológicas, morfológicas y anatómicas (Gerten *et al.*, 2004), que en conjunto estructuran la dinámica eco-hidrológica de una comunidad, y en últimas de las cuencas hidrográficas (Wang *et al.*, 2004).

La principal entrada de agua al bosque ocurre a través de la lluvia o precipitación incidente. Se reparte entre la que alcanza el follaje y la que llega al piso forestal conocida como agua de intercepción del dosel arbóreo (Cavelier *et al.*, 2002). Otra proporción de la lluvia es la que atraviesa el dosel o cae desde las copas de los árboles y alcanza el piso del bosque y se denomina precipitación interna (Koichiro *et al.*, 2001), mientras que la que resbala por los troncos de los árboles depositándose en las bases de éstos, se denomina escorrentía cortical (Crockford y Richardson, 2000). Cada uno de estos flujos hídricos interactúan de un modo particular con la vegetación, generando en ellos cambios tanto cuantitativos como cualitativos (Wang *et al.*, 2005).

La interceptación está directamente relacionada con la interacción suelo-planta-atmósfera, y condiciona los procesos de infiltración, escorrentía y evaporación (Méndez, 2013). Conocer la cantidad de agua de lluvia interceptada por el dosel de la vegetación es de gran

importancia en el balance hídrico de las cuencas, ya que es una parte significativa de las pérdidas de agua de los ecosistemas boscosos. El proceso de interceptación depende en gran medida de la estructura de la vegetación y de las condiciones meteorológicas del lugar que controlan la evaporación durante y después de la lluvia (Dingman, 2002). La interceptación ha sido ampliamente estudiada y se ha demostrado que la estructura de la cobertura boscosa tiene un papel fundamental en la regulación de este proceso.

La cantidad de agua interceptada varía según las características dasométricas de la cobertura vegetal (Méndez, 2013). La presencia de vegetación afecta la cantidad de agua que alcanza el nivel del suelo. Además, el agua sobre el follaje de la vegetación es un importante factor ecológico que condiciona los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren sobre las superficies foliares (Jaramillo, 2003).

En resumen, la cubierta vegetal ejerce una influencia considerable sobre el balance del agua de los suelos por medio de dos procesos fundamentales: la interceptación de la precipitación incidente y la escorrentía cortical (Rapp *et al.*, 1968).

En este trabajo se analiza la distribución del agua lluvia a través de diferentes rutas como una aproximación al balance hidrológico de dos especies arbóreas abundantes del bosque altoandino, localizado en el municipio de Pamplona, vereda Fontibón, Norte de Santander.

**Pregunta de investigación:**

¿Cómo se relacionan los rasgos funcionales de dos especies propias del bosque altoandino con las variables hidrológicas (escorrentía cortical y precipitación interna) en el sector de la Lejía, Vereda Fontibón, municipio de Pamplona, Colombia?

**Hipótesis**

**H0.** La capacidad de retención de lluvia en la cobertura vegetal mediante las variables (escorrentía cortical y precipitación interna) no se relacionan con algunos rasgos funcionales implicados con el ciclo del agua en la superficie de las especies *Cyathea cf. andina* y *Schefflera cuatrecasiana* del bosque altoandino en la Vereda Fontibón, sector la Lejía, municipio de Pamplona, Norte de Santander.

**HA.** La capacidad de retención de lluvia en la cobertura vegetal mediante las variables (escorrentía cortical y precipitación interna) se relacionan con algunos rasgos funcionales implicados con el ciclo del agua en la superficie de las especies *Cyathea cf. andina* y *Schefflera cuatrecasiana* del bosque altoandino en la Vereda Fontibón, sector la Lejía, municipio de Pamplona, Norte de Santander.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Bosques andinos

Los ecosistemas en Colombia se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo y ancho de todo el territorio, se ubican por encima de 1000 msnm aproximadamente, hasta un límite que puede estar hacia los 4000 msnm, ocupan un área de 9'108.474 ha, correspondientes a 8,0 % del país (Ideam, 1996). Este porcentaje tan bajo se explica por la fuerte presión tropical.

Los bosques andinos actúan como reguladores hídricos, los bosques de niebla (altoandinos) presentan una dinámica hídrica poco convencional (Bruijnzeel, 2001), que radica principalmente en que la niebla y la lluvia transportadas por el viento se convierten en un aporte adicional de agua (Tobón et al., 2008; Tobón y Arroyave, 2007; Bruijnzeel, 2001; González, 2000) y de nutrientes (Beiderwieden et al., 2005) al sistema. Todo esto, como resultado de la capacidad que tienen estos bosques para interceptar el agua de la niebla y de la consecuente disminución de la transpiración (Ferwerda et al., 2000).

#### 2.1.1. Bosques altoandinos en Colombia

Son frecuentes la nubosidad y nieblas en su extensión del 2,9% en el territorio Colombiano (Gutiérrez, 2002).; El bosque húmedo montano (bh-M) se halla entre 2.500 a 3.300 m.s.n.m., presenta una temperatura media anual entre 6 a 12 °C y una precipitación de 500 a 1000 mm de promedio anual (Holdridge, 1967; Alvear *et al.*, 2010). En la cordillera oriental ocupa 238.381 hectáreas, lo que corresponde al 0,83% de los Andes colombianos (Rodríguez *et al.*, 2006).

De acuerdo a Hofstede *et al.*, (1998) y Alvear *et al.*, (2010), la vegetación de este tipo de bosque se caracteriza por mostrar árboles de más de 10 metros, además de una diversidad de lauráceas, melastomatáceas y rubiáceas, que disminuye alrededor de los 3000 m.s.n.m. y familias dominantes en número de especies como las ericáceas. En el sotobosque se encuentran especies tolerantes a la sombra como los helechos arbóreos *Dicksonia* y *Cyathea*, también se desarrolla una gran masa de epífitas como orquídeas y bromelias (Sarmiento & León, 2015).

La vegetación de los bosques altoandinos se ve afectada por las grandes transformaciones debido a la tala, para el establecimiento de pastos para ganadería o para otro uso de la tierra como el cultivo de papa y el uso de vivienda (Cristal, 2002). Henderson *et al.*, (1991), Carrizosa (1990) y Cavelier *et al.*, (2001) concluyeron que en Colombia perduran menos del 5% de los bosques altoandinos.

### **2.1.2. Servicios Ecosistémicos**

Los bosques andinos son ecosistemas importantes por su elevada biodiversidad y por los servicios ecosistémicos que proveen, tienen un papel clave en el ciclo global del agua, entre otros favorecen la infiltración, incrementando la humedad del suelo, la recarga de acuíferos, contribuyendo a la liberación gradual de agua en los ecosistemas (Calder *et al.*, 2006); Se ha identificado que los bosques de niebla pueden ser claves para los servicios de aprovisionamiento ya que el 31% de la población en el país se abastece del agua proveniente de Parques Nacionales que incluyen bosques de niebla dentro de sus áreas (Armenteras *et al.*, 2007); Su importancia se debe a que, adicional al servicio de provisión de agua y estabilización del régimen hídrico que ofrecen, los bosques de niebla captan agua de nubes y neblina, lo que representa entre el 15 y el 20% de lo interceptado por precipitación directa (Bubb *et al.*, 2004).

El ciclo del agua está muy relacionado con la vegetación, puesto que el balance del agua es determinante en la distribución y productividad de la vegetación, y a su vez, la composición y distribución de comunidades de especies fundamentales para la evapotranspiración, interceptación y la escorrentía (Gerten *et al.*, 2004); La interceptación por su parte es un factor de gran importancia para comprender los servicios ecosistémicos relacionados con el agua en zonas boscosas (Ramos *et al.*, 2019); Tres biomas fundamentales por los servicios ecosistémicos, diversidad y endemismo son: el bosque andino, el bosque altoandino y el páramo (Montagnini & Jordan 2005): En la cordillera oriental, la selva andina está extendida en un rango entre 2.000 a los 3500 de altura; su temperatura está entre 15°C a 6°C y con precipitaciones de 900 a 1000 mm anuales (Cuatrecasas, 2001); Donde, la humedad es constante gracias a la nubosidad y niebla.

Los servicios hidrológicos podrían ser afectados a raíz de cambios en las funciones hidrológicas de los bosques, tales como la intercepción de lluvias o la infiltración en el suelo (Locatelli, 2006); Estos cambios también interferirán en la regulación de la calidad del agua, especialmente en lo que concierne con la concentración de elementos químicos o biológicos y el transporte de partículas sólidas (Townsend *et al.*, 2004); Los regímenes hidrológicos serán potencialmente afectados por el cambio climático debido a una combinación de impactos sobre la distribución y funciones de los ecosistemas, cambios en los patrones y la variabilidad de la temperatura y precipitación (González *et al.*, 2008). Estos cambios, van a modificar la provisión de servicios hidrológicos; El suministro de agua es un servicio ecosistémico de aprovisionamiento, tanto en sus atributos de cantidad y calidad como en el de temporalidad. Estos surgen a partir de los procesos ecológicos específicos de cada lugar que representan más

que la suma de sus partes; a partir de dichos procesos, emergen atributos hidrológicos que caracterizarán al servicio que brinda el ecosistema (Brauman *et al.*, 2007).

Kaimowitz (2005) y Vignola (2009) en su revisión de los mitos que existen relacionados a la provisión de ciertos servicios ecosistémicos en los bosques, sobre sus efectos en la cantidad de precipitación (incluyendo los bosques nubosos), incremento en la cantidad de agua, control de inundaciones, regulación del caudal base, deslizamientos y sedimentos. Explican como un ecosistema dado no puede proveer todos los servicios hidrológicos de manera óptima, analizando la compensación entre servicios ecosistémicos tomando en cuenta la capacidad de los ecosistemas de proveer diferentes servicios y el rol de estos para la sociedad.

## **2.2. Ecología Funcional**

Mediante diversos estudios enfocados en Ecología Funcional se han identificado algunos rasgos clave por su importancia para las plantas y como estos se relacionan con sus estrategias ecológicas (Westoby *et al.*, 2002); Entre esos rasgos se encuentran: Rasgos de madera, importantes por su relación con el transporte de agua y nutrientes y soporte de los individuos, su resistencia a la sequía y daño por enemigos naturales (Salgado, 2015).

Los rasgos anatómicos y fisiológicos de la madera tienen un papel dual aportando al almacenamiento y transporte de agua, y al soporte y resistencia mecánica de la planta (Salgado 2015); Por su parte la ecología funcional es entendida como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los rasgos funcionales de los organismos que constituyen un ecosistema (Díaz *et al.*, 2007; Fernández, 2007); Las rasgos de las plantas que surgen como respuesta a

ciertas condiciones ambientales se conocen como rasgos respuesta y aquellas características que modifican condiciones ambientales particulares se conocen como rasgos efecto (Eviner *et al.*, 2008); desde un punto de vista hidrológico, doseles individuales ejercen un control significativo sobre la evaporación y la distribución de la lluvia incidente (Sánchez, 1998).

El estudio de los ecosistemas de alta montaña, encierra las claves de multitud de procesos, que pueden abrir infinidad de posibilidades en el manejo, control y predicción de los cambios en muchos otros ecosistemas cuyo funcionamiento es alterado por la actividad humana (Morales *et al.*, 2001).

Díaz y colaboradores (2007) en su revisión evidencian la influencia de rasgos funcionales medidos en plantas con los servicios ecosistémicos de agua dulce, de manera indirecta. Plantean que existe una relación entre el servicio ecosistémico de regulación del clima, con procesos ecosistémicos de evapotranspiración, intercambio de calor, albedo y escabrosidad; con rasgos individuales. Además, de también encontrar relacionan en rasgos individuales como la profundidad y la arquitectura de la raíz con procesos ecosistémicos de evapotranspiración y exploración del suelo por el sistema radical, con servicios ecosistémicos de regulación del clima, escorrentía y estabilidad del suelo.

A su vez, Cano (2018) Evidencia en su investigación que las especies estudiadas presentan diferencias en sus rasgos funcionales, generando un gradiente de efectos sobre procesos eco-hidrológicos: desde copas amplias y menos densas a copas más pequeñas pero más densas, que influyen sobre la variabilidad temporal de la escorrentía cortical y precipitación interna, respectivamente. A partir de los resultados se proponen indicadores que permiten

evaluar los efectos de especies plantadas sobre procesos eco-hidrológicos en proyectos de restauración ecológica.

### **2.2.1. Rasgos funcionales y ecosistémicos**

Los rasgos funcionales son características de las especies que determinan sus estrategias ecológicas para adquirir y usar los recursos, lo cual determina su influencia sobre las propiedades de los ecosistemas y sus respuestas a las condiciones ambientales (de Bello *et al.*, 2010; Westoby *et al.*, 2002). Los tres factores principales que limitan y afectan a las plantas durante su ciclo de vida son la luz, el agua y los nutrientes (Lambers *et al.*, 2008); De modo que, en determinadas ocasiones extremas, las plantas tendrán que “elegir” entre crecer o sobrevivir (Sterck *et al.*, 2006), manteniendo siempre un balance de carbono positivo, unos órganos funcionales, y un reciclaje de nutrientes eficiente. Para ello, utilizan distintas estrategias y respuestas, de acuerdo a las características específicas con las que cuenta cada especie. Una de estas características son los *rasgos funcionales*, que se definen como atributos físicos y químicos de las plantas que sirven como indicadores o predictores de las respuestas de las plantas ante factores ambientales (Lavorel y Garnier 2002; Cornelissen *et al.*, 2003); Los rasgos funcionales son características de las especies que determinan sus estrategias ecológicas para adquirir y usar los recursos, lo cual determina su influencia sobre las propiedades de los ecosistemas y sus respuestas a las condiciones ambientales (Bello *et al.*, 2010; Westoby *et al.*, 2002).

Durante un evento de lluvia, una parte importante de la precipitación es interceptada en la superficie de la vegetación. La parte de precipitación que se captura por la vegetación no contribuye a la escorrentía y posteriormente, se evapora de nuevo a la atmósfera. La precipitación se reparte por la cubierta vegetal de tres formas: (i) una parte que queda sobre la

vegetación y se evapora durante o después de un evento de lluvia (Interceptación); (ii) una parte que fluye hacia el suelo a través de las ramas y tallos (escurrimiento por el tronco); y (iii) una parte que, en contacto o sin contacto manera cae al suelo a través del dosel (escurrimiento). (Dohnal *et al.*, 20014).

### **2.3. Generalidades familia Araliaceae**

Araliaceae A. L. de Jussieu, está compuesta por 50 géneros y más de 1.150 especies, la familia es de hábito arbóreo (Frodin 2004). En Colombia se encuentra distribuida en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Casanare, Cundinamarca, Huila, Santander, Norte de Santander y Caldas. Crece entre los 1.600 y 3.000m s.n.m. Se caracteriza por presentar hojas simples o compuestas, alternas, digitadas palmatilobuladas, su forma se asemeja a una mano de oso; las hojas nuevas presentan indumento café en el haz. Presenta estipulas basales en cada hoja. Las ramas tienen cicatrices anilladas (Pereira, 2020).

#### **2.3.1. Genero *Schefflera***

El género *Schefflera*, se constituye, dentro de la familia Araliaceae, en el más numeroso y más ampliamente distribuido en América tropical y subtropical con aproximadamente 300 especies que predominan en áreas montañosas, principalmente entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m., llegando a ser comunes en bordes y claros de bosque o hasta en rastrojos bajos (Frodin 1995).

Hábitos de Crecimiento: *Schefflera* comprende árboles, arbustos, lianas y en ocasiones hemiepipítas. Tallos: Pueden ser glabros o pubescentes, con cicatrices anilladas resultado de las estípulas liguladas en la base del pecíolo. Suelen ser delgados y volubles, algunos postrados o hasta rastreros, con frecuentes reiteraciones cerca a la base.

Hojas: Las hojas de *Schefflera* son digitado-compuestas, con folíolos radiados, de diversas formas y tamaños dentro de una misma hoja o individuo, pubescentes o glabros y de margen entera, sinuada, levemente ondulada o ciliada. La venación es reticulada, con las venas secundarias, en ocasiones, juntándose cerca al margen. Una de las características peculiares de este grupo de plantas es la presencia de una estípula que al fusionarse con la base del pecíolo forma una lígula envainadora (Cuatrecasas, J. 1951).

### **2.3.1.1. *Schefflera cuatrecasiana***

Es un árbol de tamaño mediano, alcanzando los 30 m de altura, con un fuste de hasta 1 m de diámetro. La copa tiene forma de sombrilla, ramificándose poco y sólo cerca de la cima. Las hojas son compuestas, digitadas y alternas, al cabo de largos pecíolos con estípulas bien marcadas, que se insertan diagonalmente en el tallo, con el haz verde y el envés brillante, rojizo e intensamente pubescentes (Robles *et al.*, 2005). En Norte de Santander solo están presentes 7 especies todas de origen nativos y algunas endémicas en rangos desde 100 a 3950 m *Schefflera bogotensis* Cuatrec, *Schefflera ciliata* Cuatrec, *Schefflera cuatrecasiana* Steyerm, *Schefflera pachycephala* (Harms) Frodin, *Schefflera quinduensis* (Kunth) Harms, *Schefflera samariana* Cuatrec, *Schefflera sararensis* Cuatrec. (Bernal *et al.*, 2019).

### **2.3.2. Familia Cyatheaceae**

Plantas terrestres o raramente epífitas, generalmente arborescentes, las hojas alcanzan entre 1 y 5 m, lámina 1-4 pinnada, es más frecuente la condición 2 pinnada pinnatífida, sin yemas (excepto en *Cyathea parvula*), el ápice pinnatífido o similar en su forma a las pinnas laterales, pecíolo con escamas, nervaduras libres o el par basal unido para formar aréolas cerca de la costa (nervadura), ejes de las láminas generalmente pilosos y escamosos en el envés, soros

superficiales, con o sin indusio (cubierta). Las especies de la familia son típicamente arbóreas con amplias coronas de hojas, los pecíolos o base de las hojas poseen escamas de formas y colores diversos, carácter que confieren un aspecto distintivo al ápice de los tallos en algunas especies. La familia Cyatheaceae posee cerca de 500 especies en los trópicos del nuevo y el viejo mundo, 200 se encuentran en América, y entre 100-120 especies se estima para Colombia (Giraldo *et al.*, 2002).

### **2.3.2.1. Genero *Cyathea***

Es un género de helechos que forman parte del grupo de las Pteridofitas o plantas vasculares sin semilla, este numeroso grupo contribuye significativamente a la biodiversidad de los trópicos, regiones donde se expresa la mayor diversidad de especies, fundamentalmente en ecosistemas de niebla y bosques lluviosos de montaña (Giraldo *et al.*, 2002); Cumplen funciones ecológicas importantes en la dinámica y ecorestauración de ecosistemas estratégicos, actuando como pioneras en la sucesión vegetal y colonizando ambientes como derrumbes y terrenos escarpados donde la formación de suelo es incipiente (Corantioquia, 2001). Los helechos arborescentes se localizan en un amplio rango de hábitats, desde bosques de alta montaña hasta bosques lluviosos tropicales. Algunas especies se comportan como colonizadoras de áreas perturbadas y actúan como pioneras en el inicio de la sucesión vegetal (Tryon, 1970). El tronco o rizoma rastreo, carece de crecimiento secundario o en grosor, generado por crecimiento celular a partir de un cambium vascular, sus folios se unen al tallo por medio del pecíolo y el eje central o prolongación del pecíolo en la parte laminar de la hoja, se denomina raquis. En Norte de Santander se registran 19 especies nativas presentes en gradientes desde 0 a 4200 m (Bernal *et al.*, 2019).

### 2.3.2.2. *Cyathea andina*

Se presenta en bosques húmedos de tierras bajas y premontanos, puede encontrarse en el interior del bosque o en bordes de fragmentos, ocasionalmente en sitios abiertos expuestos a alta radiación entre 400-2.500 m de altitud. En Colombia se ha colectado en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Putumayo y Santander.

Su tallo hasta de 8 m y 5-7 cm de diámetro; hojas de 2,5-3,5 m, el ápice gradualmente reducido, regularmente atenuado, pinnatífido; pecíolo con espinas cortocircinadas, vinotinto, escamoso, las escamas casi café claras a amarillas, disconformes, anchas basalmente, de 2,5 x 2,0 cm, lámina 2 pinnada pinnatífida, pinnas pecioladas, pínulas corto pecioladas; raquis acanalado por la haz; escamas laminares, buladas, pardas, asociadas a la costa; nervaduras de las pínulas con tricomas blanquecinos, bifurcadas, soros submarginales, indusio escuámiforme, hemitaloide y al madurar persiste en dos partes adheridas al pie (Giraldo *et al.*, 2002).

## 2.4. El agua en los ecosistemas boscosos

En el ciclo hidrológico clima, suelo y vegetación interactúan (Rodríguez-Iturbe & Porporato, 2004). Dicha interacción deriva en la función eco-hidrológica de la vegetación en un sitio (Bruijnzeel, 2004). La función eco-hidrológica se divide en diversos procesos o vías de distribución de la precipitación incidente en un lugar determinado. Dichos procesos son interceptación, precipitación interna, escorrentía cortical, precipitación horizontal, escorrentía superficial, infiltración, evaporación y transpiración (Brauman *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2013).

El ciclo hidrológico se presenta consecutivamente, de acuerdo con el orden de los procesos en la dirección del flujo del agua en los ecosistemas boscosos; es decir, entradas por

precipitación en todas sus formas (vertical y horizontal: lluvia que es transportada por el viento y la niebla), dicho de esta modo se puede asegurar que la vegetación contribuye al ciclo hidrológico influyendo directamente en la entrada de agua al suelo a través de la distribución de la precipitación en interceptación, precipitación interna y escorrentía cortical (Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2013).

Los bosques alto-andinos se ubican normalmente en una franja altitudinal donde el ambiente se caracteriza por una cobertura de nubes persistente o estacional. De acuerdo con esto la precipitación se describe como la principal entrada de agua en los ecosistemas terrestres; sin embargo, los bosques andinos reciben regularmente entradas adicionales de agua por la interceptación de la niebla y de la lluvia transportada por el viento (Tobón *et al.*, 2008; Rollenbeck *et al.*, 2008; González, 2000). Con relación a esto, es bien conocido que el contacto entre la niebla y la vegetación hace que esta última atrape parte del agua (Frumau *et al.*, 2009; Villegas *et al.*, 2008); de tal manera que entre mayor densidad de niebla, mayor la superficie de contacto (presencia de vegetación exuberante), y mientras mayor tiempo de contacto de la niebla con la vegetación, mayor el agua depositada. Y de igual manera la influencia de otros factores, como la velocidad del viento, que hacen que la cantidad de agua interceptada varíe. (Villegas *et al.*, 2008); Pero la precipitación que llega a la superficie del suelo se le denomina precipitación neta (Tobón, 2009); compuesta por las gotas de agua que caen o drenan al suelo desde el follaje y las ramas o que se escurren a través de los troncos. Puesto que durante los eventos de precipitación o de niebla cierta cantidad del agua de lluvia retenida por la vegetación se evapora en el dosel, haciendo que la cantidad de precipitación neta siempre sea menor a la de la precipitación total; esta diferencia es conocida como interceptación de la precipitación (Cavelier y Goldstein, 1989).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Determinar la interceptación de lluvia por *Cyathea cf. andina* (H.Karst.) Domin y *Schefflera cuatrecasiana* Steyerm en un relicto de Bosque Alto-andino, Vereda Fontibón, municipio de Pamplona, Norte de Santander-Colombia.

#### 3.2 Objetivos específicos

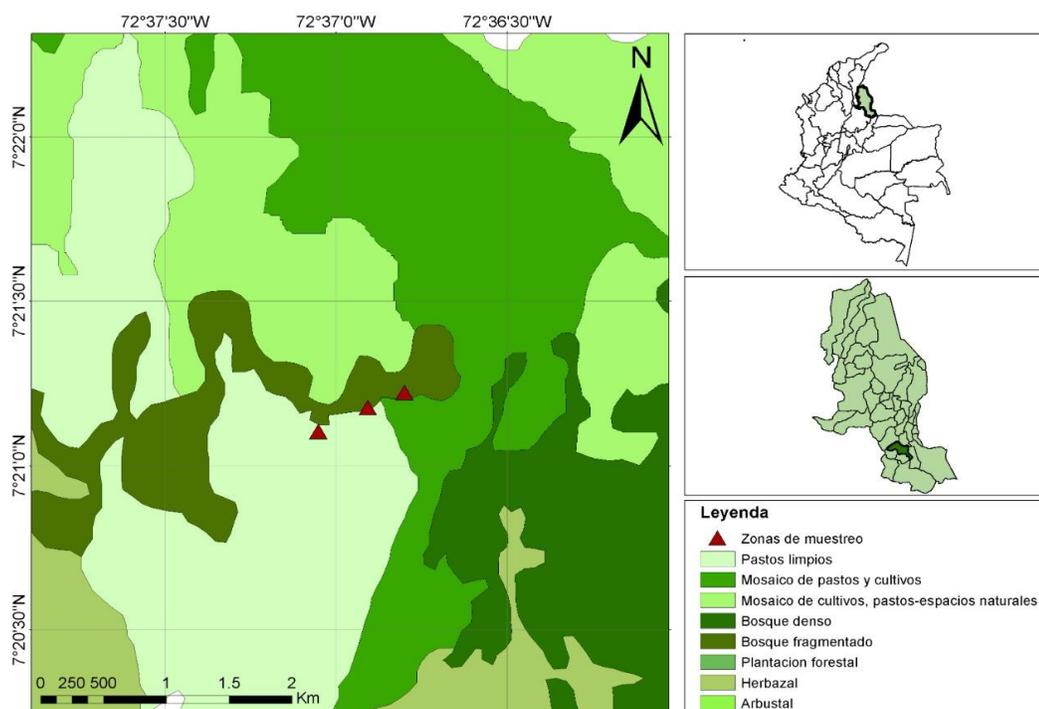
Relacionar rasgos funcionales con la cantidad de lluvias interceptada por las especies *Schefflera cuatrecasiana* *Cyathea cf. andina* y del bosque alto-andino, Sector la Lejía, Vereda Fontibón, municipio de Pamplona, Norte de Santander-Colombia.

Relacionar las variables meteorológicas propias es la zona con la cantidad de lluvias interceptada por las especies *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina* del bosque alto-andino, Sector la Lejía, Vereda Fontibón, municipio de Pamplona, Norte de Santander-Colombia

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Marco contextual

Este estudio se llevó a cabo en un relicto de bosque altoandino ubicado entre la vereda Fontibón-La Lejía y la vereda Negavita pertenecientes al Municipio de Pamplona (Figura 1), Norte de Santander. Las coordenadas del sitio son: bosque altoandino (3.000 m.s.n.m.)  $7^{\circ}21'05.63''\text{N}$ -  $72^{\circ}36'56.17''\text{O}$ . Forma parte del flanco este de la Cordillera Oriental. Se denominó así porque se encuentra justo en el paso de la quebrada que lleva este nombre, la cual nace en el alto El Escorial, perteneciente al Municipio de Pamplona, Norte de Santander.



**Figura 1.** Ubicación área de estudio, Bosque altoandino. Vereda Fontibón, La Lejía, Norte de Santander.

Fuente: Florez, J., 2021.

#### 4.1.1. Área de Estudio

La corriente de agua más importante de la zona corresponde al río Pamplonita, cuyo curso va en dirección norte. La subcuenca Zipacha ubicada entre las veredas Fontibón, Chichira y el Naranjo que cuenta con un área aproximada de 3,34 km<sup>2</sup>, y 11,8245 km de perímetro y desemboca en el río Pamplonita a 3.65 km de distancia desde su nacimiento, cuyos límites son: por el norte con el municipio de Pamplonita, por el sur con la vereda Fontibón, por el oeste con el municipio de Pamplona y por el este con el municipio de Labateca (Carrillo, 2018). Se resalta que a la microcuenca Zipacha se puede acceder por las dos vías principales, una ubicada en la zona sur este de la microcuenca que comunica las veredas Chichira y Fontibón, y la otra ubicada en la zona noreste que comunica las veredas el Naranjo y Chichira.

El sector está ubicado dentro del complejo Jurisdicciones-Santubán departamentos Norte de Santander y Santander (IavH, 2007), cuenta con rangos altitudinales de 2.600 m. en el sector de La Lejía donde se encuentra un ecosistema de páramo en el valle de un antiguo lago. De ahí se asciende por laderas de pendiente pronunciada sobre suelos rocosos donde se establece un ecosistema de selva alto-andina con húmeda hasta los 3.000 m. (Sánchez *et al.*, 2006). La precipitación en el municipio oscila desde los 650 mm hasta los 1.200 mm pero en la parte alta de la subcuenca del río Cacota y Lejía la precipitaciones comprende desde los 750 mm hasta los 1200 mm (Hernández & Sánchez, 1992; IAvH, 2014; Carillo, 2018).

En el área de estudio la precipitación presenta un comportamiento bimodal, con mayor precipitación durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre (estaciones lluviosas) alternada con periodos de sequía durante los meses enero a marzo y junio a agosto (estaciones secas) (IDEMA, 2014).

La flora que conforma los tipos de vegetación dominantes pertenecen a las familias Rubiaceae, Melastomataceae, Asteraceae y Orchidaceae, las demás que equivalen al 61.25%, están representadas por un solo género. En cuanto al número de especies, las más importantes son Rubiaceae, Melastomataceae y Ericaceae, también se destacan Orchidaceae, Asteraceae y Lauraceae, mientras que el 47.5% de las familias restantes contienen una sola especie (IAvH, 2002).

Durante las semanas de monitoreo (Agosto de 2020 a Noviembre de 2020), la temperatura máxima fue de 16,02°C, mínima 6,78°C y promedio 12,86°C, la humedad mínima 73,99%, máxima 100% y promedio 94,39%.

#### **4.2. Selección de individuos**

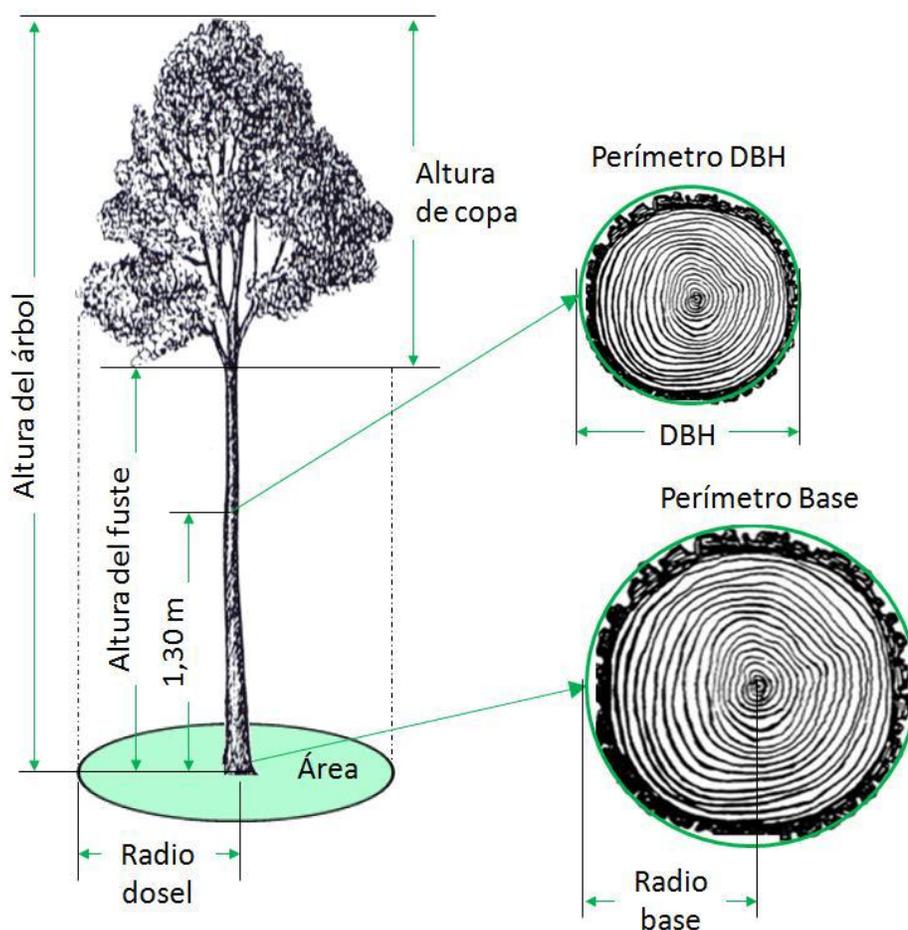
El muestreo se realizó en dos relictos de bosque que se encuentran divididos por una carretera, los cuales cubren un área aproximadamente de: Para la zona 1= 7,9 Ha y para la zona 2= 13,4 Ha de bosque altoandino, cuyo rango altitudinal se encuentra entre 2900 a 3300 m.s.n.m. Para la selección de las especies más abundantes se realizó un censo en un transecto de 50x2 m en dichos relictos en dos salidas de campo en febrero 2020. Para cada una de las ZONAS de muestreo se siguió la metodología propuesta por (Crockford y Richardson, 2000) en la cual se escogieron 10 individuos adultos para cada especie que cumplan con características como: aspecto saludable, ubicados en ambientes bien iluminados y separados a una distancia aproximada de 8 metros para evitar interrupciones por interceptación de otras ramas de árboles que se encuentren muy próximos al que se medirá, las especies más abundantes arrojadas por el censo para las zonas de muestreo son *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina*.

### 4.3. Medición de los Rasgos Funcionales

Los rasgos seleccionados fueron aquellos que se encuentran asociados directamente con el efecto de las plantas sobre procesos hidrológicos (Gerten *et al.*, 2004; de Bello *et al.*, 2010; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). La selección de los rasgos funcionales se basa en que estos pueden intervenir sobre el flujo de agua en la superficie externa de la planta por las vías de escorrentía cortical y precipitación interna, que son las dos variables hidrológicas monitoreadas en la presente investigación. Se midieron 13 rasgos funcionales (área de la copa, altura del individuo, altura de la copa, altura del fuste, volumen de la copa, densidad de la copa, transparencia de la copa, peso seco, peso fresco, área foliar, área foliar específica, contenido de humedad, % contenido de humedad).

Los rasgos funcionales se midieron en 10 individuos por especie, en dos muestreos, el primero en febrero del 2021 y el segundo en marzo del 2021. La medición de rasgos funcionales se realizó a partir de protocolos estandarizados (Cornelissen *et al.*, 2003). En algunos casos estos protocolos fueron complementados o modificados (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

A continuación se detallan los protocolos para la medición de rasgos funcionales en campo y laboratorio que se emplearon en esta investigación.



**Figura 2.** Medidas dasométricas realizadas en los individuos elegidos para los rasgos funcionales. Fuente: Molina, 2010.

#### 4.3.1. Área de la copa

Medida de la superficie ocupada por la proyección vertical de la copa de la planta en el suelo. Las copas de los árboles tienen formas muy variables, pudiendo asimilarse a distintas geometrías, como es el caso de los árboles de especies como *Schefflera cuatrecasiana* o *Cyathea cf. andina.*, cuya copa presenta una forma ovoide o elipsoide (Diéguez Aranda *et al.*,

2003, Martínez-Zurimendi *et al.*, 2009), algo que se constata en campo y en las fotos de los ejemplares de estudio. Para las dos especies se calculó a partir de los diámetros del dosel y el radio total del tronco considerando una copa elipsoidal, por tanto, se tomaron los datos de dos diámetros cruzados de la copa, en dirección Norte-Sur y Oeste-Este (Figura 2).

A partir de estos datos, se puede calcular el área de la copa aplicando las ecuaciones (1.1), (1.2) y (1.3)

$$r_1 = \frac{D_{o-e}}{2} \quad (1.1)$$

$$r_2 = \frac{D_{n-s}}{2} \quad (1.2)$$

$$A_{copa} = \pi \cdot r_1 \cdot r_2 \quad (1.3)$$

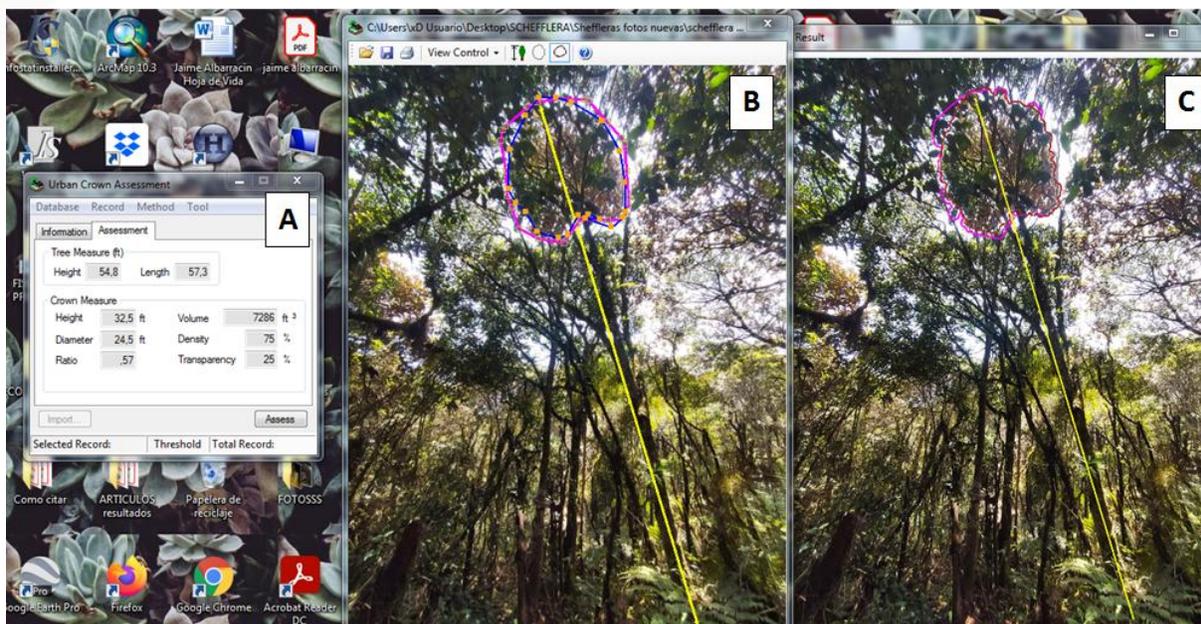
#### 4.3.2. Altura del Individuo

Es la distancia vertical desde la base del tallo del árbol hasta el punto más alto de la copa del árbol. Para su medición se usó el software libre *UrbanCrown*, herramienta de análisis de coronas para ayudar en la cuantificación de los beneficios de los árboles.

Para la obtención de datos precisos de la altura de los individuos se realizaron una serie de mediciones en campo. Además de fotografiar el árbol, también se recolectaron varias medidas para escalar la fotografía dentro del programa *UrbanCrowns*. Primero, los ángulos hacia la parte superior y la base del árbol se midieron usando un clinómetro u otro dispositivo de medición de ángulos verticales desde la misma ubicación y altura donde se tomó la fotografía (Winn, 2019).

El primer paso para analizar los rasgos del árbol que arroja el programa es cargar la foto deseada. Una vez se ha cargado la foto, los datos de campo y otros parámetros de entrada se ingresan en el programa (Figura 3 (A)). La entrada consta de: ID de árbol, especie de árbol,

ubicación de la foto, fecha de la foto, acimut al árbol, distancia horizontal, ángulo a la parte superior del árbol, ángulo a la base del árbol y comentarios del usuario (Winn, 2019).



**Figura 3.** (A) Datos de entrada de la muestra, (B) Líneas de referencia dibujadas en la foto para escalar la imagen y delinear las regiones de transparencia y corona, (C) Resultado generado por el programa informático UrbanCrowns.

El siguiente paso es dibujar una línea de referencia y un conjunto de polígonos en la foto (Figura 3 (B)). La línea de referencia (que se muestra en amarillo) se extiende desde la base del tallo del árbol hasta la parte superior de la copa del árbol, siguiendo la inclinación del árbol. Esta línea, combinada con las mediciones de ángulo y distancia horizontal ingresadas anteriormente, se usa para escalar la fotografía (determinar el área real representada por cada píxel). El primer polígono (que se muestra en rosa) se dibuja alrededor de la parte de la copa del árbol que está libre de vegetación de fondo u otras obstrucciones. Esta es el área que será utilizada por el programa para determinar la transparencia y densidad de la corona. El polígono final (mostrado

en azul) se dibuja alrededor de toda la copa del árbol y se usa para estimar el volumen de la copa. Una vez que se han introducido los datos de entrada y se han dibujado las líneas de referencia, se puede procesar la imagen. Los resultados generados por el programa son: altura del árbol, longitud del árbol, altura de la copa, diámetro de la copa, proporción de la copa, volumen de la copa, densidad de la copa y transparencia del follaje (Winn, 2019).

#### **4.3.3. Altura de la copa**

Es la altura vertical entre el plano que pasa por la primera rama viva y el que pasa por el ápice, rasgo tomado del software libre *UrbanCrow*.

#### **4.3.4. Altura del fuste**

Es la altura vertical entre el plano del suelo y el plano que pasa por la inserción de la primera rama viva. Siendo, por tanto, el fuste la parte del tronco desprovisto de ramas, rasgo tomado del software libre *UrbanCrow*

#### **4.3.5. Volumen de la copa**

Medida de la extensión ocupada en tres dimensiones por el dosel arbóreo (Pérez *et al.*, 2016). Se calculó a partir de los datos de altura de copa y área de copa, considerando una copa con forma elipsoide y se comparó con el dato arrojado por el software libre *UrbanCrow*.

Se aplicó la fórmula de la ecuación (1.4)

$$V_{copa} = A_{copa} \cdot h_{copa} \quad (1.4)$$

#### 4.3.6. Transparencia de la copa

La cantidad de claraboya visible a través de la copa expresada como porcentaje del área total de la copa del árbol y se calculó con el software libre *UrbanCrow*.

#### 4.3.7. Densidad de la copa

La inversa de la transparencia o la cantidad de estructuras de la corona que bloquean la luz y se calculó el con software libre *UrbanCrow*.

#### 4.3.8. Área foliar

Se tomaron 5 hojas compuestas para *Schefflera cuatrecasiana* de diferentes partes de la copa de 10 individuos, mientras que para *Cyathea cf. andina*, solo se midieron 3 frondas en 6 individuos, haciendo uso de un corta ramas. Se seleccionaron hojas totalmente expandidas y sin daños por herbívoros o patógenos. Las hojas colectadas se almacenaron temporalmente en bolsas plásticas resellables a las que se les retiró todo el aire para evitar que las hojas se desecaran rápidamente (Figura 5). El mismo día del muestreo se escanearon y fotografiaron y se analizaron posteriormente en el programa *Image J* (Schneider *et al.*, 2012), en el cuál se calculó el área por hoja. Luego se calculó el valor promedio de área foliar por individuo. Para hojas compuestas se determinó el área de foliolos por hoja compuesta y se sumaron para obtener el área foliar total de la hoja.



**Figura 3.** (A) Recolección de las muestras en campo, (B) Área foliar en ImageJ para *Schefflera cuatrecasiana*, (C) Área foliar en ImageJ para *Cyathea cf. andina*. Fuente: Fotos tomadas por: Florez J., 2020)

#### 4.3.9. Área Foliar Específica

Se calculó dividiendo el área de una hoja fresca por su masa seca en el horno. El AFE fue estimado para cada hoja, y para hojas compuestas se calculó por cada foliolo y para toda la hoja. Es un rasgo clave del espectro de la economía foliar e indica el costo de construir un mm<sup>2</sup> de área foliar. Especies con bajo AFE tienen alta inversión en defensas estructurales y alta longevidad foliar, mientras que especies con alta AFE tienen altos contenidos de nitrógeno en las hojas y altas tasas fotosintéticas (Reich *et al.*, 1999, Wright *et al.*, 2010).

#### 4.3.10. Peso Fresco

Las hojas que se colectaron por individuo se pesaron inmediatamente después de haber sido colectadas en una balanza de 0,01 g de precisión.

#### 4.3.11. Peso Seco

Luego de pesadas las hojas en fresco, fueron secadas al horno a 60 °C durante 72 horas. Las hojas se pesaron nuevamente inmediatamente después de ser sacadas del horno y verificar que estuvieran secas completamente.

#### 4.3.12. Contenido de Humedad

Se obtuvo mediante la ecuación (1.5), (Salgado *et al.*, 2015):

$$CH = P_f - P_s \quad (1.5)$$

#### 4.3.13. % Contenido de Humedad

Se obtuvo mediante esta fórmula (Salgado *et al.*, 2015):

$$\%CH = \frac{P_f - P_s}{P_f} * 100 \quad (1.6)$$

### 4.4. Monitoreo de Precipitación y Clima

El muestreo se realizó durante cuatro meses respectivamente, abarcando las temporadas de máximas (Octubre y Noviembre) y bajas (Agosto y Septiembre) precipitaciones de la zona de estudio. Los parámetros meteorológicos locales se midieron a partir de la ubicación de 3 data

logger HOBO® en cada lugar de muestreo entre el 5 de Agosto y 28 de Noviembre de 2020 (117 días, 18 semanas, 4 meses), con distancias entre los dispositivos de 20 metros, siguiendo las recomendaciones de Dohnal y colaboradores en 2014 (Figura 4(C)) Los cuales registraron datos horarios de humedad relativa (HR%), intensidad lumínica ( $\text{lum}/\text{ft}^2$ ) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); por lo que para la aplicación de los modelos de interceptación son necesarios datos horarios de parámetros climáticos. Para obtener los datos de intensidad de precipitación se instalaran pluviómetros para medir el agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie durante 72 horas y expresando esa cantidad en mm por metro cuadrado por zonas experimentales dentro y fuera del área de estudio.



**Figura 4.** (A) Instalación de collarines y pluviómetros para la medición de las variables escorrentía cortical y precipitación en interna en *Schefflera cuatrecasiana*, (B) Resellado de los collarines en *Cyathea cf. andina*., (C) Instalación de multiparametro. Fuente: Fotos tomadas por: Andrés F., 2020

Para los datos horarios de velocidad del viento (m/s) y precipitación (mm) se utilizaron las bases de datos del satélite de NASA Giovanni. La categorización de las semanas en promedio, secas y húmedas se usó para comparar las relaciones y diferencias entre rasgos funcionales y procesos eco-hidrológicos.

#### 4.5. Monitoreo Hidrológico

El monitoreo hidrológico de las variables escorrentía cortical y precipitación interna se midieron en 10 individuos por especie, para un total de 20 individuos, esto debido a la complejidad de la logística para la instalación y monitoreo semanal de los individuos. El monitoreo se realizó durante 18 semanas entre agosto de 2020 y noviembre de 2020. La instrumentación de cada individuo incluyó la instalación de collarines para el monitoreo de la escorrentía cortical y de pluviómetros para el monitoreo de la precipitación interna (Figura 4 (B)).

La metodología seguida para la medida de la escorrentía cortical en *Schefflera cuatrecasasiana* y *Cyathea cf. andina*, fue la misma en todos los individuos. Aunque ninguna literatura explica detalladamente cual es la mejor manera de recoger la escorrentía, en el presente estudio se siguió y modificó la metodología de Llorens et al. (2007), consistió en realizar una inserción o canaleta al árbol para posteriormente fabricar un anillo de espuma de poliuretano la cual se caracteriza por sellar todos los orificios del tronco por los que se pueda escapar el agua, después de numerosas pruebas se eligieron collarines de aluminio resellados con silicona, espuma y cebo en torno al tronco a una altura de 1,30 m. Previo al montaje, se realizó una instalación que constaba de una manguera de 1.30 m a cada collarín, la cual fue pegada y acondicionada con masilla epoxica, la manguera se colocó de forma inclinada haciendo que el agua precipite hacia un punto de desagüe dirigiéndose hacia una pimpina de 19 litros de capacidad.

La recogida de datos se realizó cada 3 días respectivamente de manera que se minimizara las pérdidas por evaporación desde los colectores, las mediciones se hicieron con un vaso de precipitado de 1000ml y una probeta de 50 ml para el aforo. Cabe comentar que tras un análisis

detallado del funcionamiento de los colectores de escorrentía cortical durante periodos de lluvia en el mes de octubre, se observó que muchos de ellos presentaban fallos mínimos, dando lugar a errores.

Para la medición de la precipitación interna o interceptada se ubicaron pluviómetros artesanales sostenidos por un soporte de madera de 1,20 m de altura del suelo y un recipiente de plástico cilíndrico de 11 cm de diámetro, los pluviómetros se ubicaron debajo de la copa a un tercio del eje N - S de la copa y del eje E - W, ya que semanalmente se rotaron de dirección (Figura 4 (A)).

## 4.6. Análisis Estadístico

### 4.6.1. Análisis estadístico multivariado

Una vez obtenidos los resultados de las mediciones de los rasgos funcionales, las variables hidrológicas y las variables meteorológicas, se realizó un análisis estadístico multivariado para calcular las medias de los rasgos funcionales de las especies *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina* mediante el programa SPSS v 26 a través de un MANOVA: los niveles del tratamiento fueron las especies estudiadas; mientras que, las variables fueron los rasgos medidos; AC-Área de la copa ( $m^2$ ), hI-Altura del Individuo (m), hC-Altura de la copa (cm), hF-Altura del Fuste (m), VC-Volumen de la copa ( $ft^3$ ), DC-Densidad de la copa (%), TC-Transparencia de la copa (%), PS-Peso Seco (gr), PF-Peso Fresco (gr), CH-Contenido de Humedad (%), %CH-%Contenido de Humedad, AF-Área Foliar ( $cm^2$ ), AFE-Área Foliar Especifica ( $cm^2/g$ ) (Tabla 1).

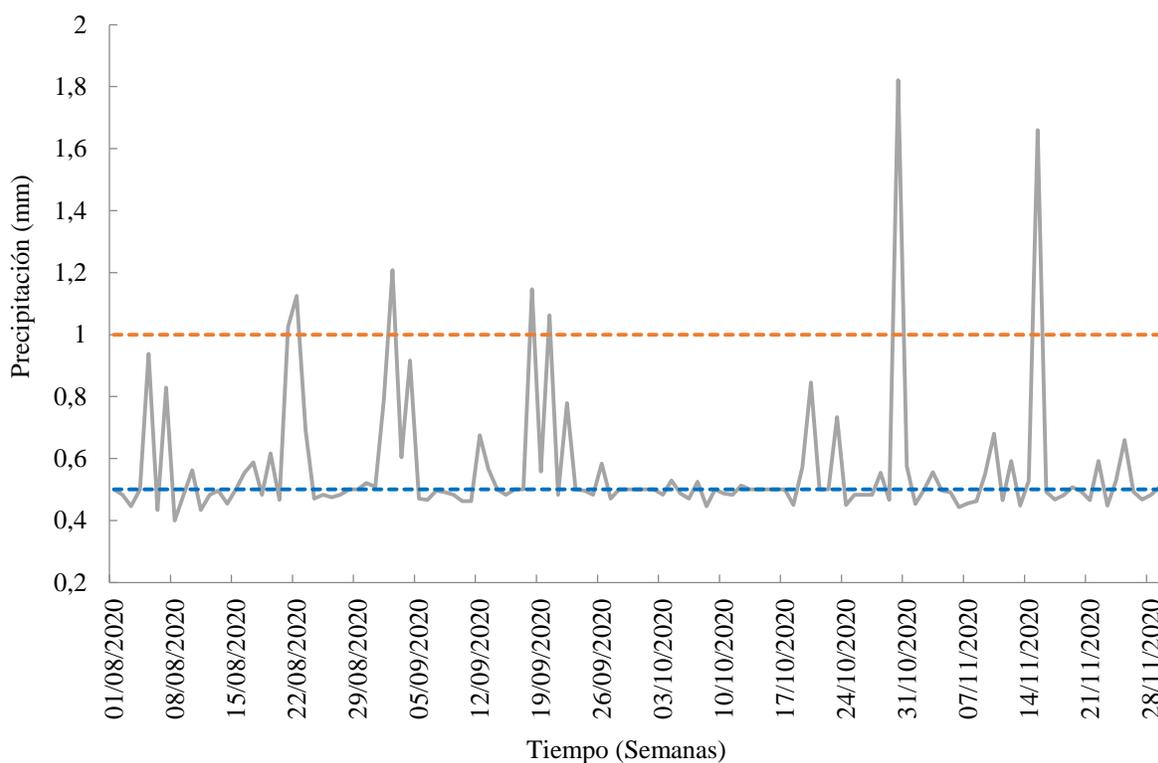
Se aplicó un MANOVA para establecer si existían diferencias significativas entre las medias de las variables meteorológicas (Precipitación, temperatura, velocidad del viento,

humedad relativa y luminosidad) y las variables hidrológicas (Escorrentía cortical y Precipitación interna), de igual manera se hizo con los rasgos funcionales y las variables hidrológicas asociadas a cada especie para la generación de un modelo lineal general multivalente. Posteriormente se realizó un modelo de regresión lineal simple a través de un análisis de varianza en RStudio (2020), al igual que para el PCA para cada especie.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Dinámica del clima y la precipitación

En la Figura 6 se observa la dinámica de la precipitación incidente, en la zona de estudio, durante las 17 semanas de monitoreo. La precipitación del bosque disminuyó significativamente en el mes de Octubre, lo que corresponde a una de las épocas secas del régimen bimodal propio de la zona.



**Figura 5.** Series de tiempo de la precipitación incidente en los días de monitoreo en la zona de estudio.

Durante el periodo de estudio la precipitación incidente semanal promedio fue de 0,5697 mm, fluctuando desde un valor mínimo de 0,4 mm a un máximo de 1,8208 mm. Durante el

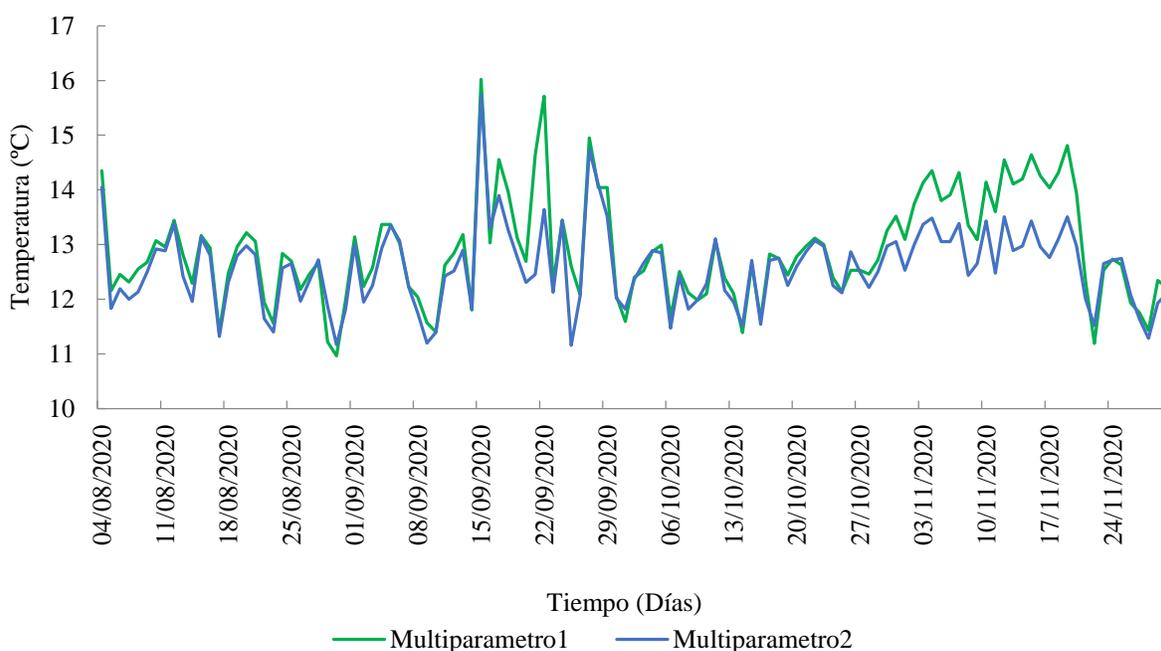
tiempo de monitoreo se identificaron 6 semanas húmedas (línea naranja), 5 semanas secas (línea azul) y 6 semanas promedio distribuidas a lo largo de los meses de monitoreo.

Según Carrillo, 2018, de acuerdo con los valores medios de precipitación el régimen pluviométrico de esta zonas es de carácter bimodal, es decir se presentan dos periodos de mayor pluviosidad que van de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre los meses de poca pluviosidad enero, febrero, julio, agosto y diciembre. Es de destacar que en este estudio los meses de agosto y noviembre fueron los que presentaron los valores más altos de precipitación, esto pudo verse influenciado por fenómenos de gran interés, uno de ellos es el impacto ENOS. De acuerdo con los estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuando se presenta un Niño, los volúmenes de precipitación tienden a ser deficitarios en relación con la época. En ese sentido, entre agosto y septiembre de 2020 se empezó a evidenciar un fortalecimiento de los vientos alisios, tomando un patrón típico y persistente de Niña que se ha mantenido por un poco más de seis meses.

Según la UNGRD, 2021, la mayor influencia del fenómeno de la niña pudo haberse evidenciado en noviembre de 2020 cuando se tuvieron cantidades excesivas de precipitación en amplios sectores del país, sin embargo, debe mencionarse la gran influencia del tránsito de ondas tropicales, así como la incidencia notoria de los ciclones tropicales ETA - IOTA, los cuales influyen las condiciones meteorológicas durante varios días de dicho mes, como se evidencia en la figura 6.

### 5.1.1. Temperatura

Para el monitoreo de la temperatura en la dos zonas de estudio se determinó que los rangos máximos y mínimos presentan un comportamiento similar, esto debido a que altitudinalmente el rango esta entre 2580 a 3680 m.s.n.m., y a que la zona de estudio tiene aproximadamente un área con cobertura de bosque alto andino de; para la zona 1= 7,9 Has y para la zona 2= 13,4 Has. En la Figura 7 se observa que la menor temperatura con respecto al tiempo en días fue de 10,967°C mientras que la mayor fue 16,023°C y en promedio de 12,893°C.



**Figura 6.** Comportamiento de la temperatura media del aire en función de los días monitoreados (Agosto de 2020-Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander.

De las semanas monitoreadas se observa que del día 4 agosto al 8 septiembre se presentaron comportamientos casi constantes en los que la variación fue mínima, sin embargo, del 15 de septiembre al 29 septiembre se observa que el incremento de las temperaturas presento

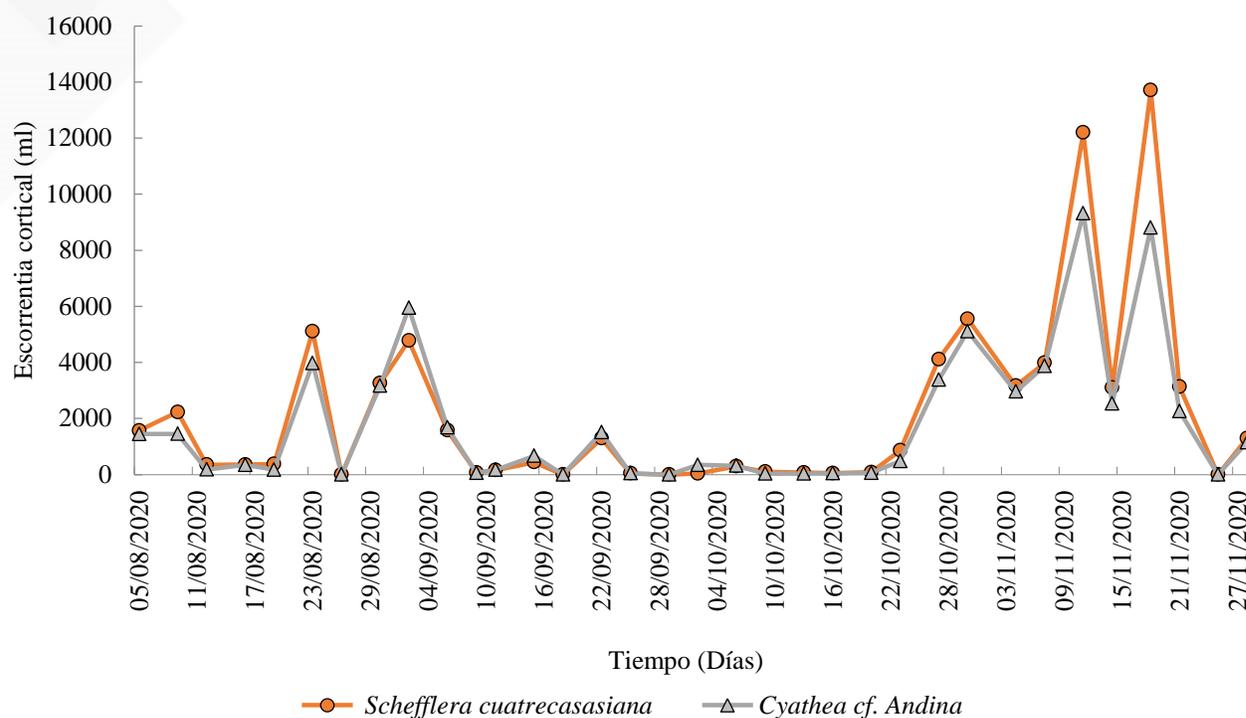
valores de 16,02 °C y 15,73 °C y finalmente en las semanas 12 a la 17 el incremento fue paulatinamente.

Según Pabón, 2005, de acuerdo con los valores medios de temperatura se presentan dos períodos, uno de mayor temperatura que se extienden de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre; y otro periodo de menor temperatura, que cubre los meses de Diciembre, enero y febrero. El valor más bajo de temperatura se reporta para enero con 12.4 grados centígrados y el máximo 16.9 grados centígrados para el mes de mayo.

## **5.2. Dinámica de los procesos hidrológicos en las especies**

### **5.2.1. Escorrentía cortical**

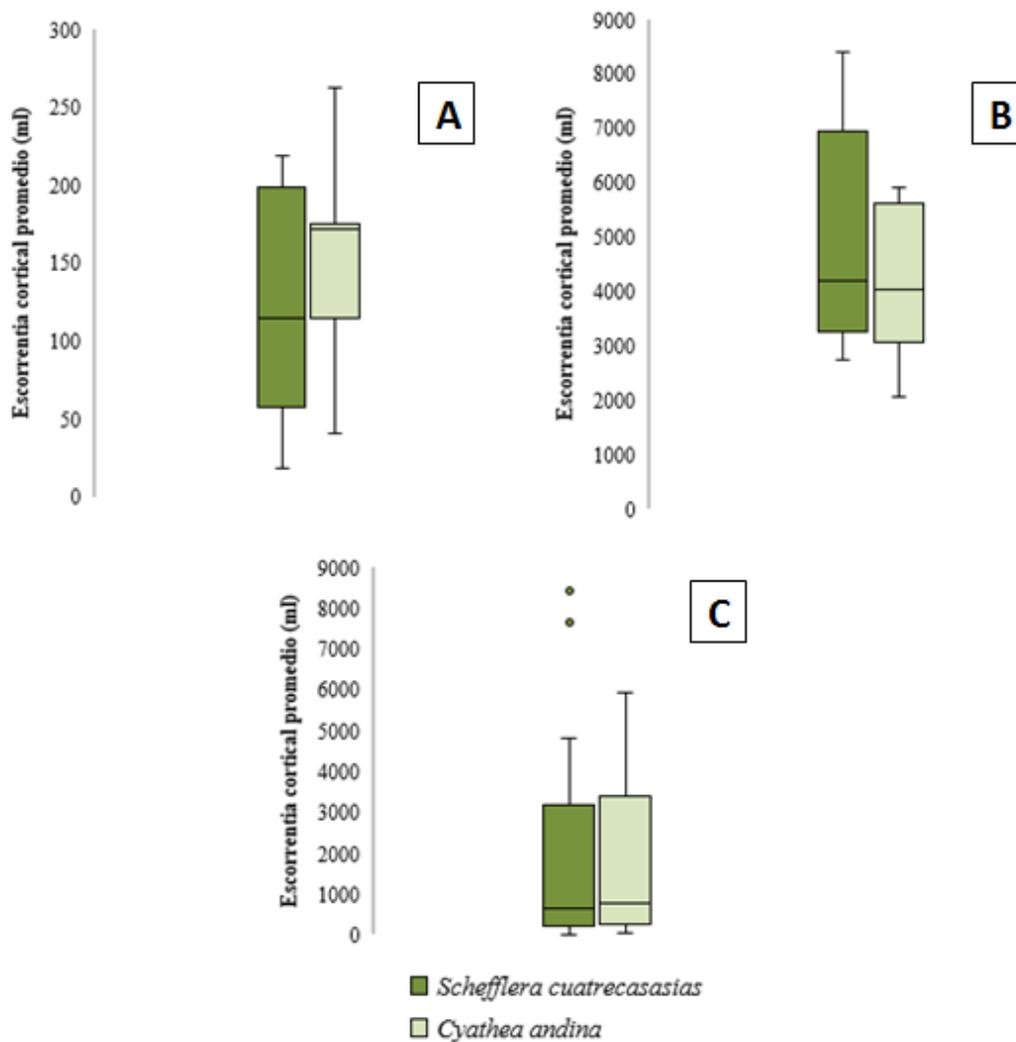
Al evaluar las diferencias que presentan las especies respecto al valor promedio y coeficiente de variación de escorrentía cortical, se observa que entre las especies y sus conjuntos de datos no dan diferencias significativas. Esta tendencia se observó tanto para las semanas totales como para las semanas secas y húmedas (Figura 8).



**Figura 7.** Comportamiento de la escorrentía cortical en *Schefflera cuatrecasiana* (línea naranja) y *Cyathea cf. andina* (línea gris) en función de los días monitoreados (Agosto de 2020- Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander.

Al analizar el total de semanas monitoreadas, las especies estudiadas producen valores similares de escorrentía cortical promedio. En *Schefflera cuatrecasiana* se observa que en semanas de máxima precipitación los individuos colectan en promedio 5.065 ml de agua con un valor máximo de 8.419 ml, mientras que *Cyathea cf. andina* los individuos colectan en promedio 4.167 ml de agua con un valor máximo de 5.928 ml (Figura 9 (B)). En semanas de mínima precipitación se encuentra que *Schefflera cuatrecasiana* en promedio colecta 121,78 ml de agua con valores máximos de 218,9 ml y mínimo 18,2 ml y para *Cyathea cf. andina* el promedio es de 153,1 y su valor máximo de 263,1 ml y mínimo de 40,85 ml (Figura 9 (A)). Para las semanas totales se observó poca variabilidad entre las dos especies y en promedio *Schefflera*

*cuatrecasiana* colecto 2.157 ml, mientras que *Cyathea* cf. *andina* en promedio colecta 1.808 ml (Figura 9 (C)).



**Figura 8.** Diferencias entre las especies respecto al promedio de escorrentía cortical en las semanas húmedas, secas y totales; (A) Semanas secas, (B) Semanas húmedas, (C) Semanas totales.

En estudios realizados en bosques andinos se revela que la vegetación arbustiva alcanza intensidades de escorrentía cortical entre 4.4% y 42.5%, y la vegetación arbórea entre 0.3% y 20.4% (Llorens y Domingo, 2007). Estos datos evidencian de nuevo la importancia de la estructura de las plantas en el balance hídrico, ya que este flujo está relacionado con la

arquitectura de las mismas, principalmente con el ángulo de inserción de las ramas (Moreno-Pérez et al., 2012).

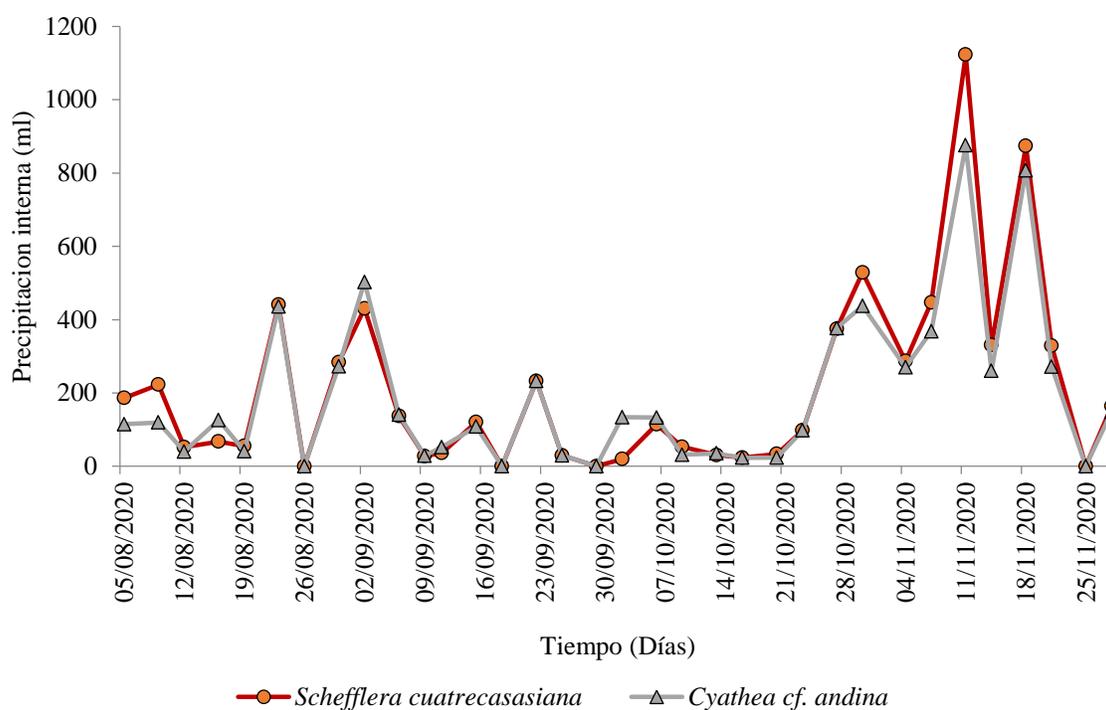
El estudio de la redistribución de las precipitaciones en las especies estudiadas permitió contrastar la importancia de las diferentes estructuras del dosel en la partición del agua de lluvia. Los valores del flujo cortical reportados en investigaciones de interceptación varían de 2 a 8%. Este valor depende de múltiples factores, donde se destaca, la cantidad y la intensidad de la lluvia, la rugosidad del tallo, la morfología del árbol, diámetro del tallo, y la posición de la especie dentro de la totalidad de las coberturas vegetales (Giraldo, 2002).

### **5.2.2. Interceptación (Precipitación Interna)**

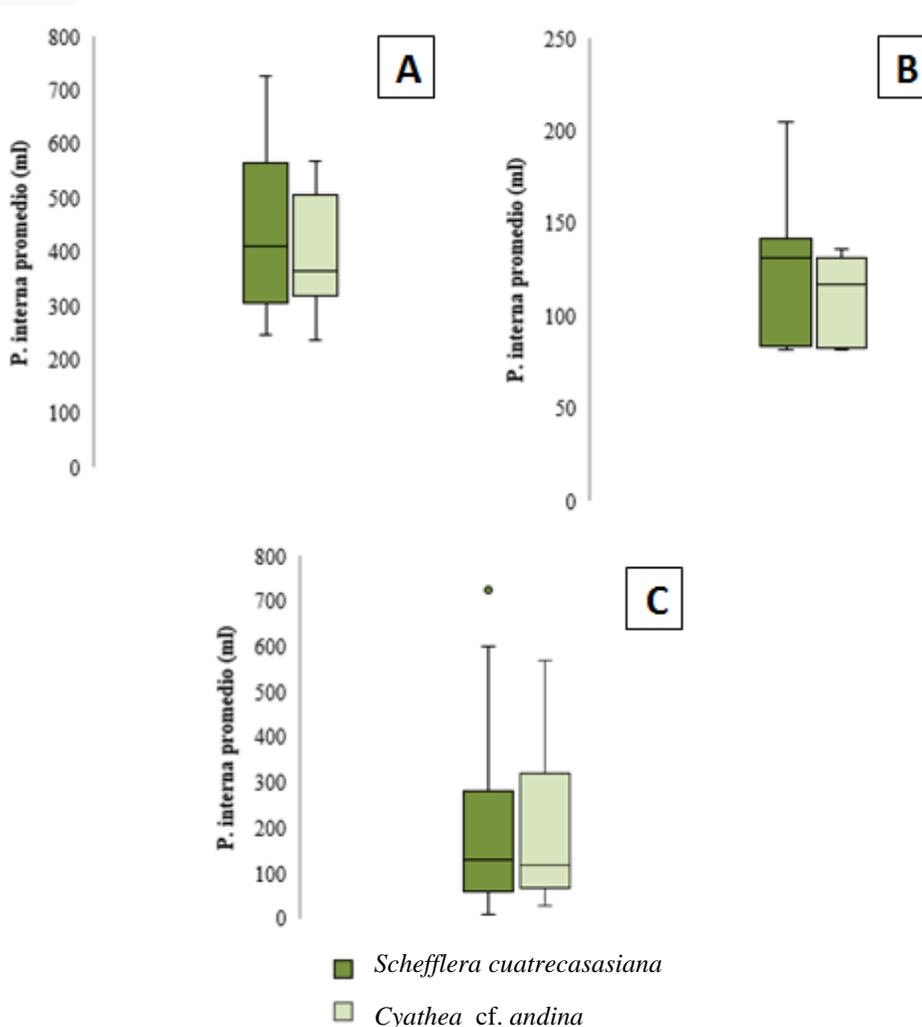
La precipitación interna en ambas especies se comportó similar a la escorrentía cortical, no hubo diferencias significativas en la precipitación interna entre las especies (Figura 10). Sin embargo, se diferencian entre sí aunque no estadísticamente. Durante el total de semanas el valor máximo de precipitación interna para *Schefflera cuatrecasiana* fue de 1122,9 ml, mientras que para *Cyathea cf. andina* fue de 875,4 ml.

Variables tales como intensidad, duración y distribución temporal de la precipitación tienen efectos en la interceptación de la lluvia por las copas y por lo tanto en la escorrentía cortical y la precipitación interna, explicando así parte de la variabilidad no explicada por los rasgos funcionales (Cano, 2018). Además, parte de la lluvia interceptada por las copas se evapora y la tasa a la cual esto ocurre depende de factores como temperatura, humedad relativa, radiación neta y velocidad del viento (Xiao & McPherson, 2011)

Durante el total de semanas, *Schefflera cuatrecasasiana* es la especie que mayor precipitación interna promedio presentó y *Cyathea cf. andina* la de menor. Durante las semanas húmedas hubo diferencias significativas entre las especies (Figura 11 (A)). Durante las semanas de menor precipitación, la precipitación interna promedio en *Schefflera cuatrecasasiana* fue de 128,6 mm y para *Cyathea cf. andina* de 110,0 mm (Figura 11 (B)).



**Figura 9.** Comportamiento de la precipitación interna en *Schefflera cuatrecasasiana* (línea naranja) y *Cyathea cf. andina* (línea gris) en función de los días monitoreados (Agosto de 2020-Noviembre de 2020) en la Vereda Fontibón-Pamplona, Norte de Santander



**Figura 10.** Diferencias entre las especies respecto al promedio de precipitación interna en las semanas húmedas, secas y totales; (A) Semanas secas, (B) Semanas húmedas, (C) Semanas totales.

De todas maneras *Schefflera cuatrecasiana* es más efectiva en la recolección de agua ya que por cada  $m^2$  de copa recolecta en promedio semanal 150, 17 ml de agua mientras que *Cyathea cf. andina* solo recolecta 88,688 ml de agua por  $m^2$  de copa, esto se puede deber a que la copa de los árboles que están encima del helecho retienen una parte y la desvían a los troncos,

pero también a que las hojas son más finas y no retienen tanta agua como ocurre en *Schefflera* y además que la densidad de la copa es muy diferente aunque al relacionar el volumen si es mucho más efectiva *Cyathea* ya que por unidad de volumen de copa ( $\text{ft}^3$ ) captura 1,576 ml de agua mientras que para *Schefflera* es solo de 0,23 ml, pudiéndose explicar por la mayor densidad de copa en *Cyathea*.

### **5.3. Características funcionales en relación a la forma y copa de las especies estudiadas**

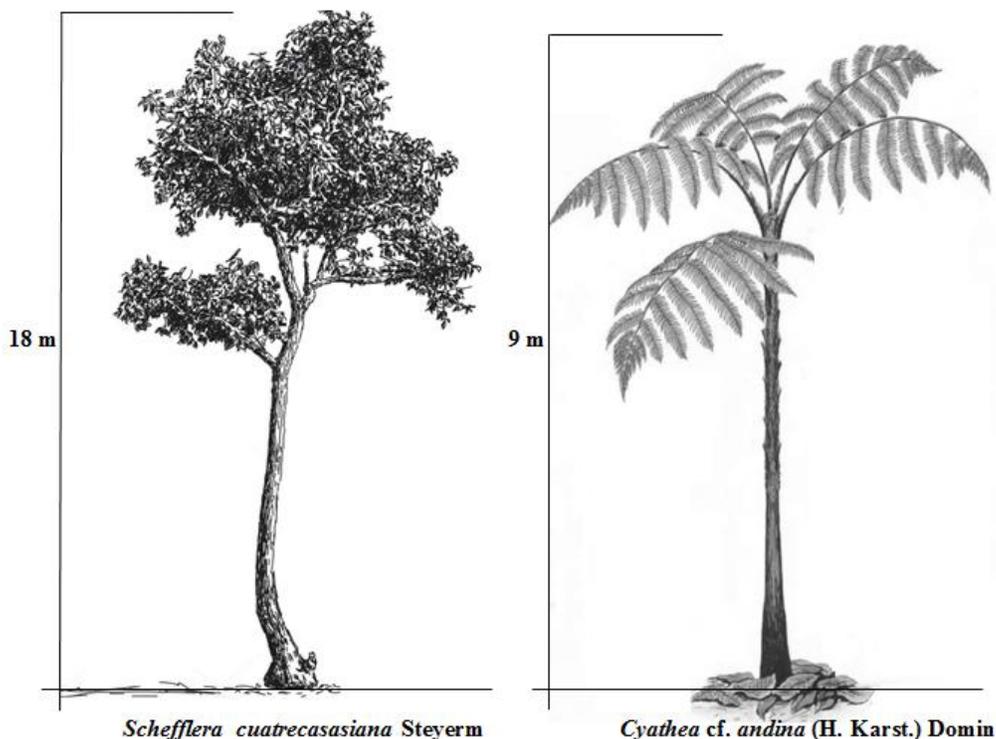
Las especies estudiadas presentan diferentes características en relación a la forma y estructura de la copa, área foliar, altura, densidad y transparencia de la copa. En la tabla 1 se presentan los valores promedio de rasgos funcionales que describen las copas de cada especie. A partir de la tabla se observa que las especies son diferentes respecto al área foliar, área de copa, densidad y transparencia de la copa.

Tabla 1. Parámetros descriptivos de los rasgos funcionales de *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina*.

Espece	Rasgos	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
<i>Schefflera cuatrecasiana</i> Steyerm.	AC (m <sup>2</sup> )	14,363	7,32440373	6,24	30,38
	hI (m)	13,888	2,73061572	10,02	18,07
	hC (cm)	591,5	146,163721	463	934
	hF (m)	7,973	2,45953044	4,45	11,95
	VC (ft <sup>3</sup> )	9241,9	7429,38292	3374	28374
	DC%	51,28	12,7551994	37,4	71,9
	TC%	48,72	12,7551994	28,1	62,6
	PF (g)	29,008	7,99074901	12,037	40,619
	PS (g)	15,57	4,86595017	9,1446	24,010
	AF(cm <sup>2</sup> )	477,78	82,2070822	358,95	632,89
	AFE(cm <sup>2</sup> /g)	32,954	9,15179253	23,327	51,551
	%CH	0,453	0,10148175	0,2384	0,5468
	CH (g)	13,43	4,40874055	2,8924	17,613
<i>Cyathea cf. andina</i>	AC (m <sup>2</sup> )	20,386	2,80982878	14,79	24,8
	hI (m)	7,769	2,01998047	5	11,2
	hC (cm)	56,22	3,31957159	50,5	60,6
	hF (m)	7,203	2,02869444	4,41	10,62
	VC (ft <sup>3</sup> )	1147,2	186,545079	799	1502
	DC%	79,3	3,04302481	74,8	83,6
	TC%	20,7	3,04302481	16,4	25,2
	PF (g)	619,83	270,98608	374	1144,3
	PS (g)	191,11	157,889507	85,33	508
	AF(cm <sup>2</sup> )	10032,44	1548,34515	7888,33	11861
	AFE(cm <sup>2</sup> /g)	72,893	33,547415	19,4255	108,135
	%CH	0,7202	0,08442406	0,5527	0,7709
	CH (g)	428,718	117,762084	288,66	636,33

**Nota:** AC-Área de la copa ( m<sup>2</sup>),hI-Altura del Individuo (m), hC-Altura de la copa (cm), hF-Altura del Fuste (m), VC-Volumen de la copa (ft<sup>3</sup>), DC-Densidad de la copa (%), TC-Transparencia de la copa (%), PS-Peso Seco (gr), PF-Peso Fresco (gr), CH-Contenido de Humedad (%), %CH-%Contenido de Humedad, AF-Área Foliar (cm<sup>2</sup>), AFE-Área Foliar Especifica (cm<sup>2</sup>/g).

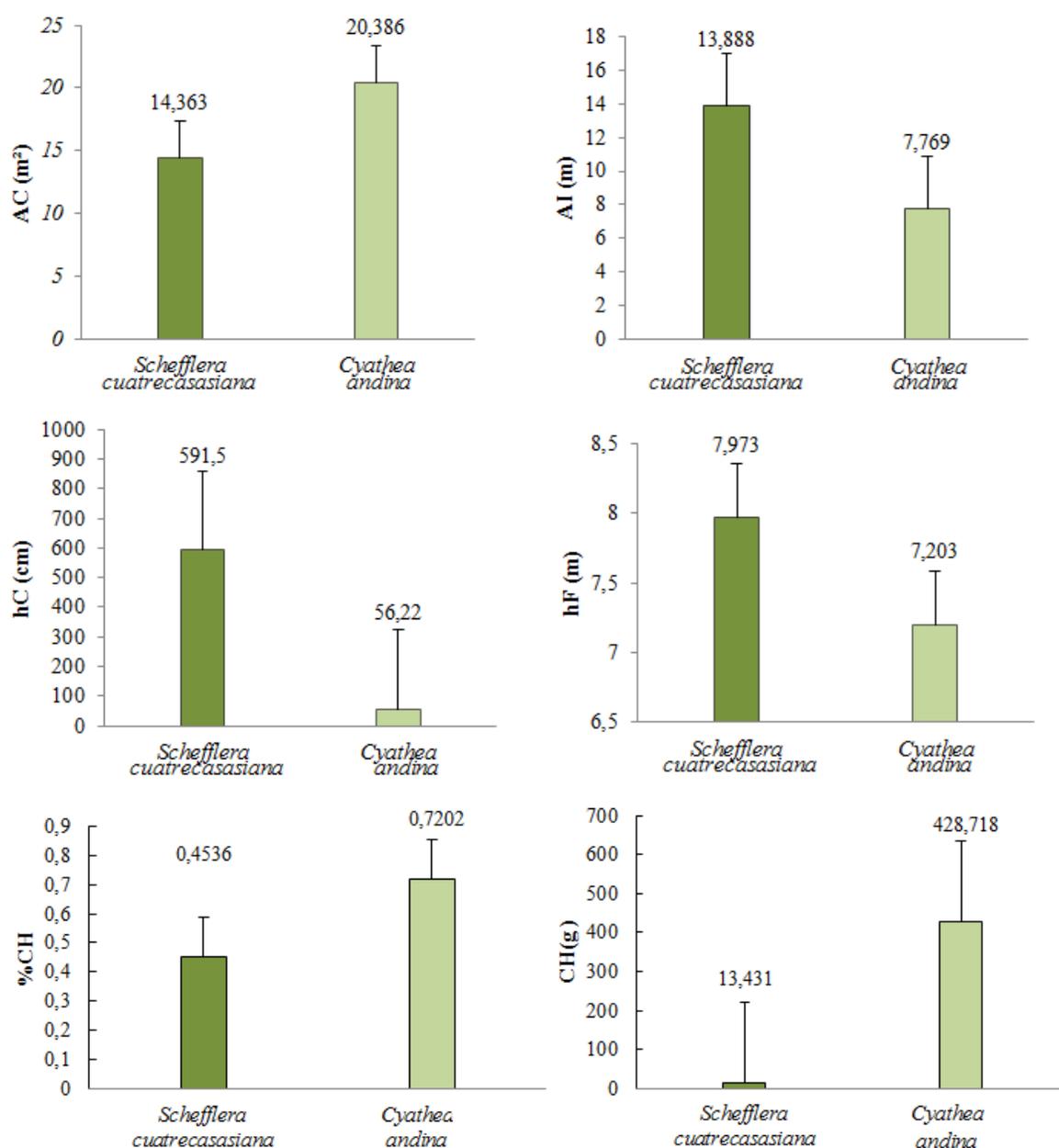
En la figura 12 se muestran las características de las especies objeto de estudio, determinando que existen diferencias respecto a la forma y estructura de la copa, altura, área foliar, etc.

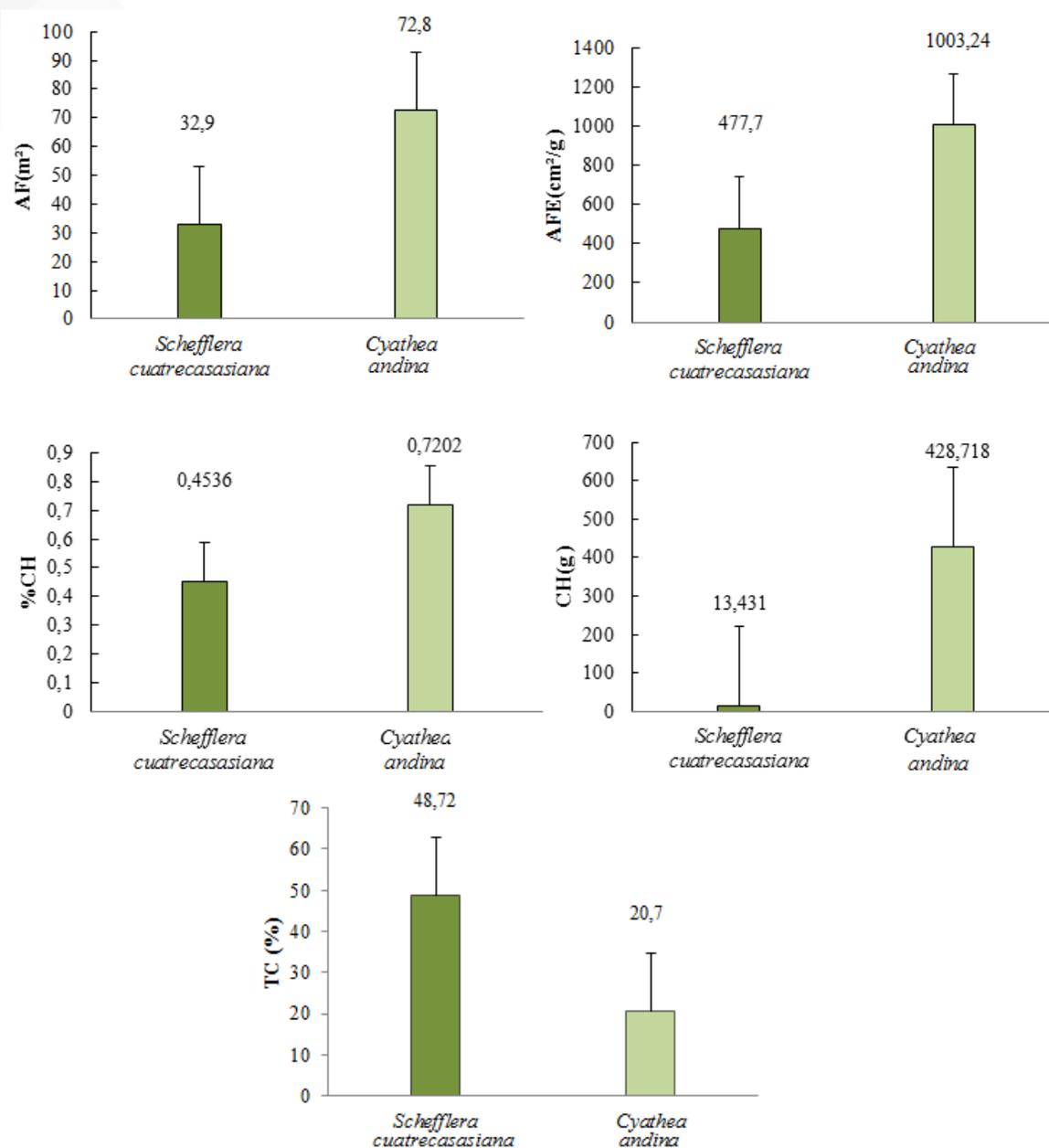


**Figura 11.** Caracterización de las especies de plantas objeto de estudio. Fuente. Elaboración propia, programa UrbanCrow.

En la figura 13 se observan las diferencias que existen entre las dos especies objeto de estudio con respecto a sus rasgos funcionales *AC*-Área de la copa ( $m^2$ ), *hI*-Altura del Individuo (*m*), *hC*-Altura de la copa (*cm*), *hF*-Altura del Fuste (*m*), *VC*-Volumen de la copa ( $ft^3$ ), *DC*-Densidad de la copa (%), *TC*-Transparencia de la copa (%), *PS*-Peso Seco (*gr*), *PF*-Peso Fresco (*gr*), *CH*-Contenido de Humedad (%), *%CH*-%Contenido de Humedad, *AF*-Área Foliar ( $cm^2$ ), *AFE*-Área Foliar Específica ( $cm^2/g$ ). de *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina*. Las

medias exhiben diferencias significativas a un nivel de significancia de ( $P < 0,05$ ), el cual se estableció mediante una estadística de análisis multivariante de la varianza o **MANOVA** para verificar la diferencia estadística entre las especies.





**Figura 12.** Medias de los rasgos funcionales medidos en *Schefflera cuatrecasiana* y *Cyathea cf. andina*. Las medias exhiben diferencias significativas: Manova ( $P < 0,05$ ).

#### **5.4. Relación entre los rasgos funcionales y las variables hidrológicas.**

Existen relaciones significativas entre las variables hidrológicas y los rasgos funcionales de las especies evaluadas en el presente trabajo, se determinó que en general los rasgos de la copa como el área, densidad, transparencia y volumen tienen un efecto sobre el comportamiento de la escorrentía cortical promedio tanto en el total de semanas monitoreadas como en los máximos y mínimos de precipitación (semanas húmedas y secas).

Asimismo, los rasgos de altura del individuo, altura del fuste, área foliar y área foliar específica se relacionan con la variabilidad temporal de la precipitación interna. Estos rasgos son claves para la regulación temporal y de la cantidad de agua que ingresa al suelo vía precipitación interna. Durante las semanas húmedas cambian estas relaciones, siendo más importante el efecto de la densidad de la copa, la transparencia de la copa y el área foliar sobre el coeficiente de variación de la precipitación interna. En semanas secas el rasgo que se relaciona con la variabilidad temporal de la precipitación interna es el área foliar y el volumen de la copa.

Los rasgos funcionales relacionados con la configuración morfológica y estructural de la copa, son algunos de los mecanismos por los cuales los árboles influyen sobre procesos eco-hidrológicos. Esto se soporta en el hecho de que dichos rasgos funcionales tienen efecto sobre el valor promedio y la dinámica temporal de dos procesos hidrológicos relacionados con la entrada de agua al suelo, y que hacen parte del ciclo hidrológico: escorrentía cortical y precipitación interna.

A continuación se detallan las relaciones entre rasgos funcionales de cada especie y las variables hidrológicas según el tipo de semana: total, húmedas y secas.

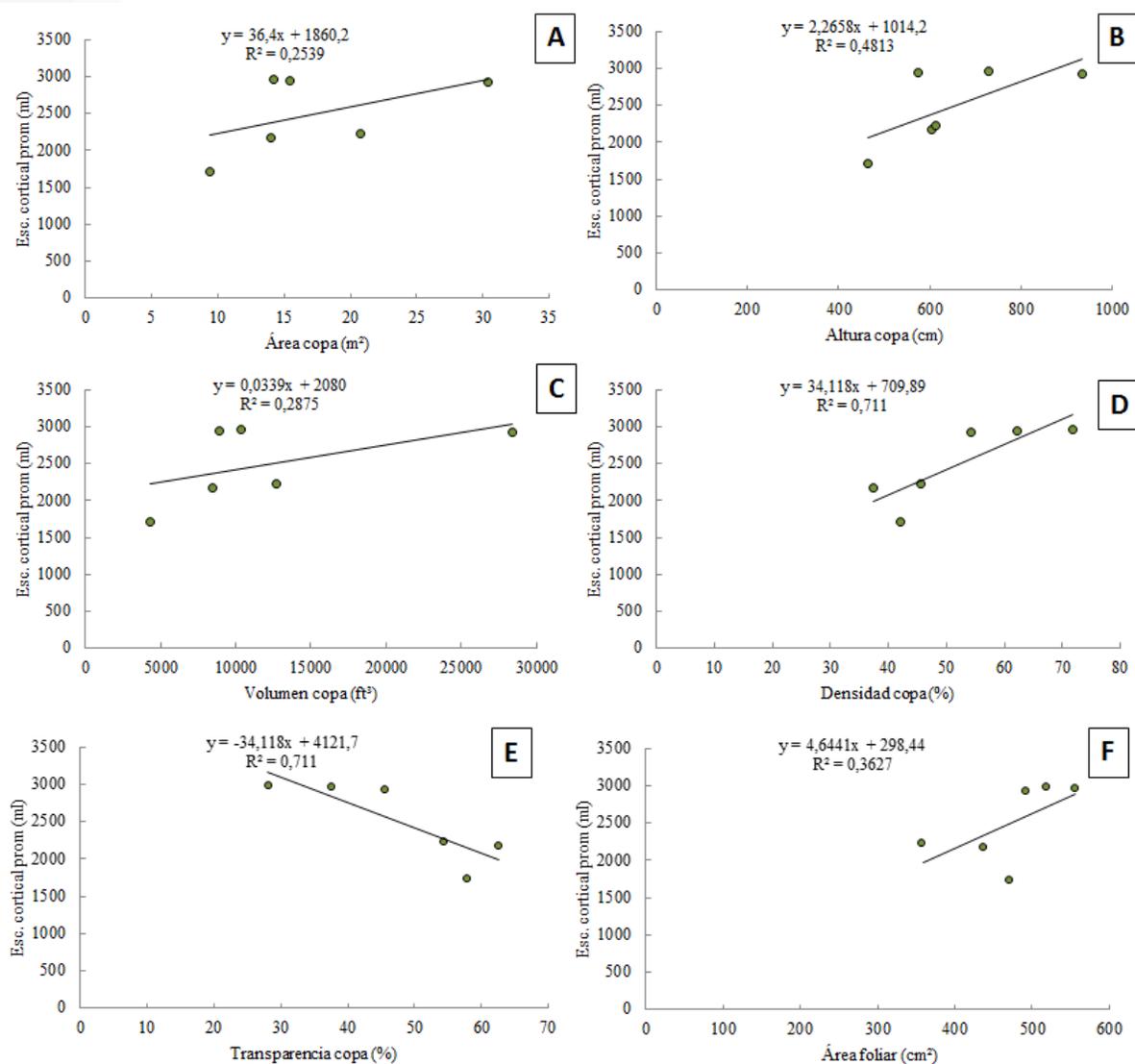
## **5.5. *Schefflera cuatrecasiana***

### **5.5.1. Total Semanas monitoreadas**

#### **Relación con la escorrentía cortical**

El área de la copa, la altura de la copa, la densidad de la copa, el volumen de la copa y el área foliar tienen un efecto significativo sobre el valor promedio de la escorrentía cortical.

La densidad de la copa explica un 71 % del comportamiento del valor promedio de la escorrentía cortical (Figura 14 (D)), al igual que la transparencia de la copa, que explica el 71% del comportamiento del valor promedio de la escorrentía cortical presentando una relación negativa de tipo potencial (Figura 14 (E)). Es decir, a mayor transparencia de la copa la escorrentía cortical disminuye levemente. Por tanto, individuos con transparencia entre el 20% y 40% pueden presentar valores de escorrentía cortical bajos, altos o medios. La altura de copa explica un 48 % del valor promedio de la escorrentía cortical y presenta una relación positiva (Figura 14 (B)). El área de la copa explica el 25% del valor promedio de la escorrentía cortical y presenta una relación positiva (Figura 14 (A)). El volumen de la copa explica un 28 % del valor promedio de la escorrentía cortical y presenta una relación positiva (Figura 14 (C)). El área foliar explica un 36 % del valor promedio de la escorrentía cortical y presenta una relación positiva (Figura 14 (F)).



**Figura 13.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical durante el total de semanas de monitoreo.

Los resultados sugieren que a mayor área de copa, altura del individuo, volumen de la copa, densidad de la copa, área foliar, los árboles conducen una mayor cantidad promedio de escorrentía cortical.

En resumen, durante el total de semanas monitoreadas, la escorrentía cortical promedio se relaciona positivamente con la densidad de la copa y negativamente con la transparencia de la

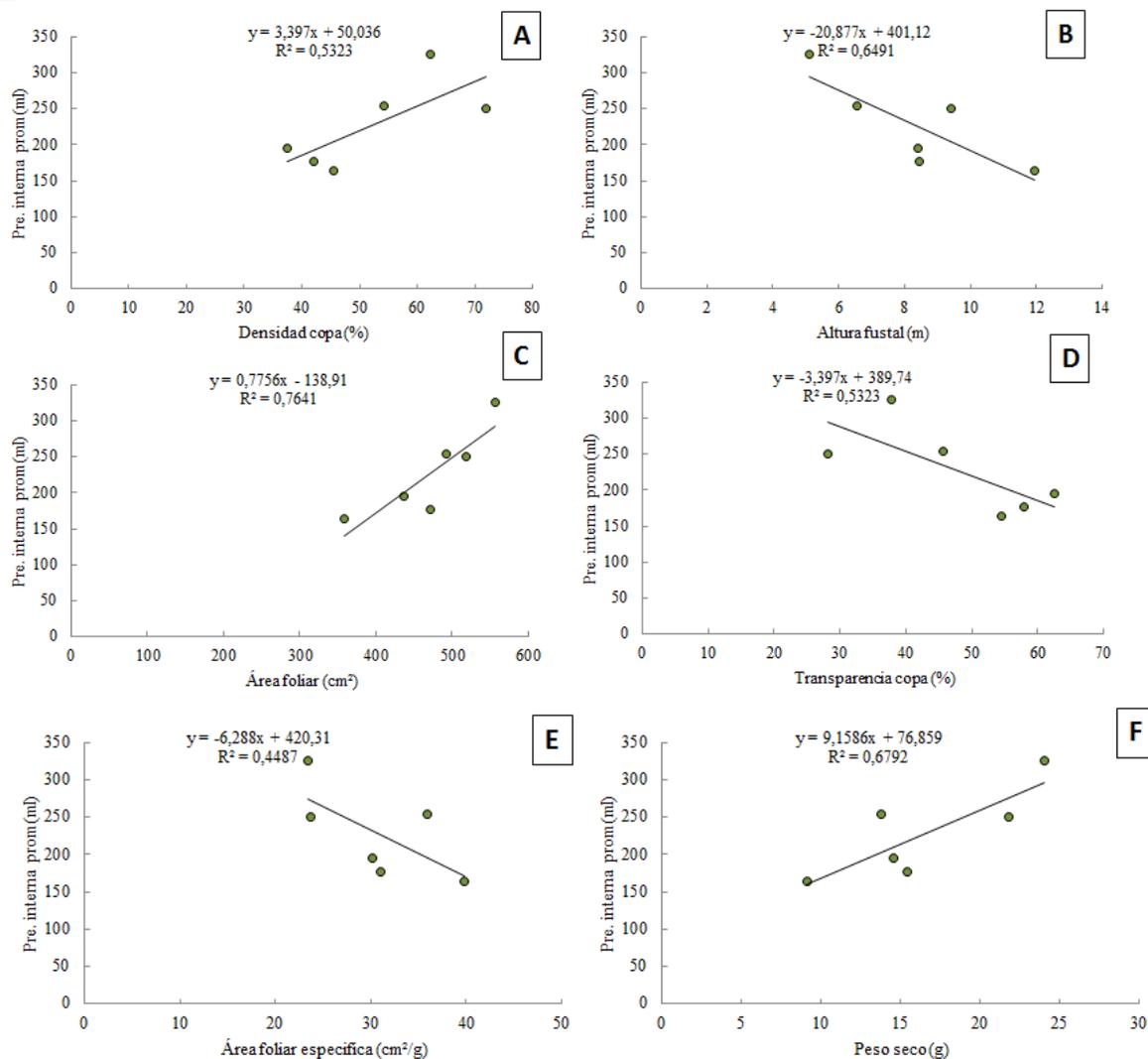
copa. La altura del individuo, la altura del fuste y el peso fresco no tienen efectos sobre la escorrentía cortical promedio.

La copa de un árbol puede actuar como un contenedor que intercepta, almacena y conduce la precipitación hacia el suelo. Según, Xiao *et al.*, 2000 las características de la copa determinan la cantidad y variabilidad temporal de flujos superficiales de agua como la escorrentía cortical mediante la arquitectura de la copa, áreas superficiales de hojas y troncos, fenología foliar de especies de bosques tropicales de China. La altura y densidad de la copa de cuatro especies nativas y una exótica en un bosque tropical de Panamá (Park & Cameron, 2008), diámetro y densidad de la copa de especies de bosques deciduos de Alemania (Kramer & Holscher, 2009).

### **Relación con la precipitación interna**

El área foliar, el peso seco, la densidad de la copa, la transparencia de la copa y la altura del fuste son los rasgos que tienen un efecto significativo sobre la variabilidad temporal de la precipitación interna sobre su valor promedio. A mayor área foliar, mayor flujo de precipitación interna, guardando una relación de tipo lineal y positiva, explicando un 76 % del promedio de precipitación interna (Figura 15 (C)). El peso seco explica el 67 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 15 (F)). La densidad de la copa explica el 53 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 15 (A)). Por otro lado, la altura del fuste explica 64% de la variabilidad de la precipitación interna, manteniendo una relación de tipo lineal negativa (Figura 15 (B)) Es decir, a mayor altura del fuste, menor será la variabilidad de la precipitación interna promedio. La transparencia de la copa explica el 53 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación

es de tipo lineal negativa (Figura 15 (F)). El área foliar específica explica el 44 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal negativa (Figura 15 (E)).



**Figura 14.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y precipitación interna durante el total de semanas de monitoreo.

El índice de área foliar (Park & Cameron, 2008), el área foliar específico (Crockford & Richardson, 2000), representan un poder de predicción respecto a la precipitación interna similar al de los rasgos funcionales evaluados en esta investigación, al considerar toda la copa como

contenedor de la precipitación incidente. El Índice de Área Foliar (IAF) es un factor importante en la interceptación de las precipitaciones, ayuda a mitigar la erosión por el golpeo de la lluvia, disminuir la energía cinética de las gotas de lluvia la cual esta es redirigida hacia el suelo por distintos procesos, cuando es interceptada y una parte es evaporada (Ramos *et al.*, 2013).

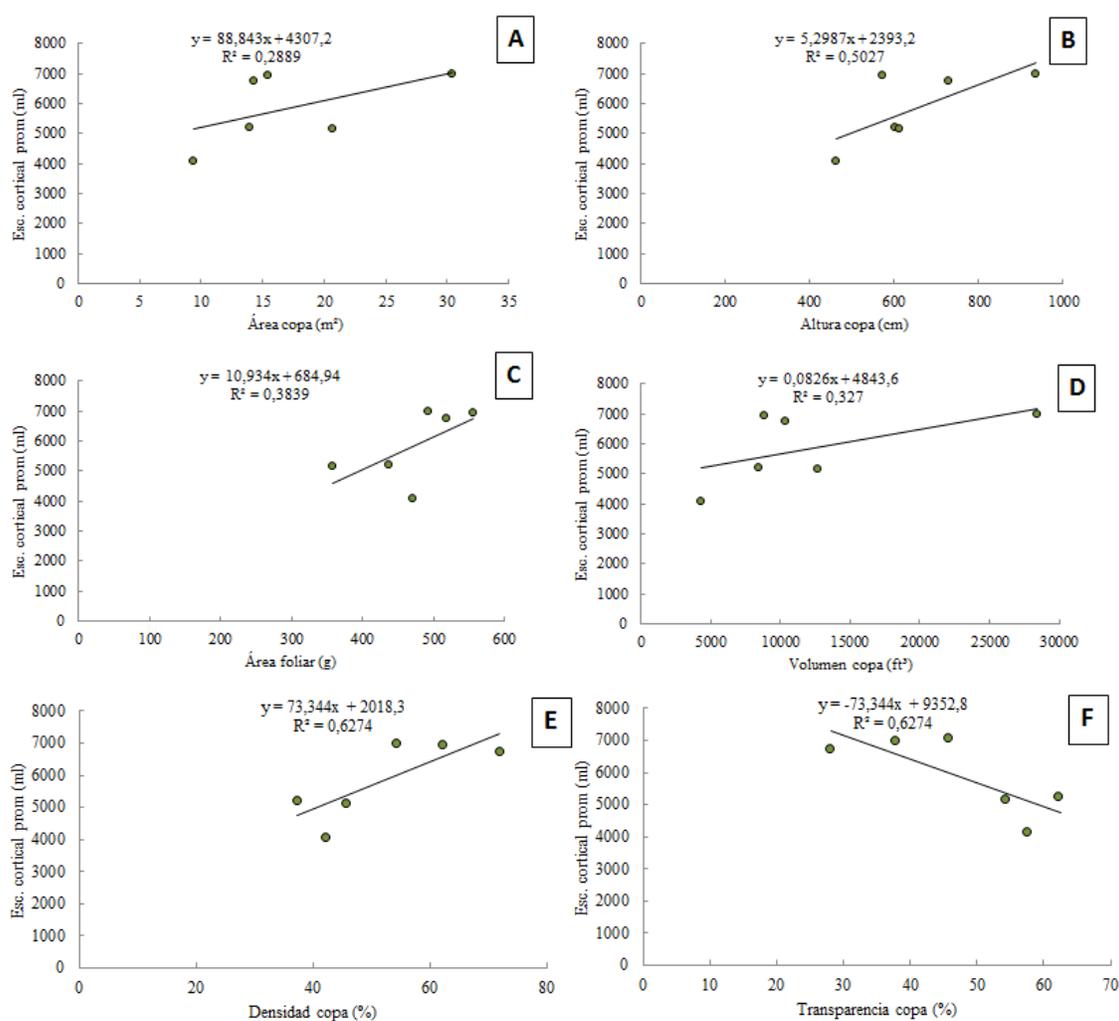
### **5.5.2. Periodos húmedos**

#### **Relación con la escorrentía cortical**

Tomando el total de semanas húmedas, se encontró que el área de la copa, la densidad de la copa, la altura de la copa, el área foliar, la altura del fuste tienen un efecto sobre el valor promedio de la escorrentía cortical.

El tipo de relación entre el área de la copa, la altura de la copa, la densidad de la copa y la escorrentía cortical durante las semanas húmedas es de tipo lineal positiva y estos dos rasgos explican el 28 %, 50 % y 62 % del comportamiento del valor promedio de escorrentía cortical. De esta manera, la escorrentía cortical promedio que puede conducir un árbol durante semanas de precipitación máxima puede disminuir significativamente si alguna medida de estos rasgos disminuye. (Figura 16 (A), Figura 16 (B) y Figura 16 (E)). Similar a lo observado durante el total de semanas monitoreadas, entre mayor densidad y altura tenga una copa, mayor cantidad de agua podrá conducir a través de escorrentía cortical.

La transparencia de la copa presenta una relación de tipo lineal negativa que explica el 62 % del comportamiento del valor promedio de escorrentía cortical. Esto quiere decir que a mayor transparencia de la copa, menor escorrentía cortical promedio puede conducir el árbol (Figura 16 (F)). El área foliar explica el 38 % de la variabilidad de la escorrentía cortical promedio y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 16(C)). El volumen de la copa explica el 32 % de la variabilidad de la escorrentía cortical promedio y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 16(D)).



**Figura 15.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas húmedas del monitoreo.

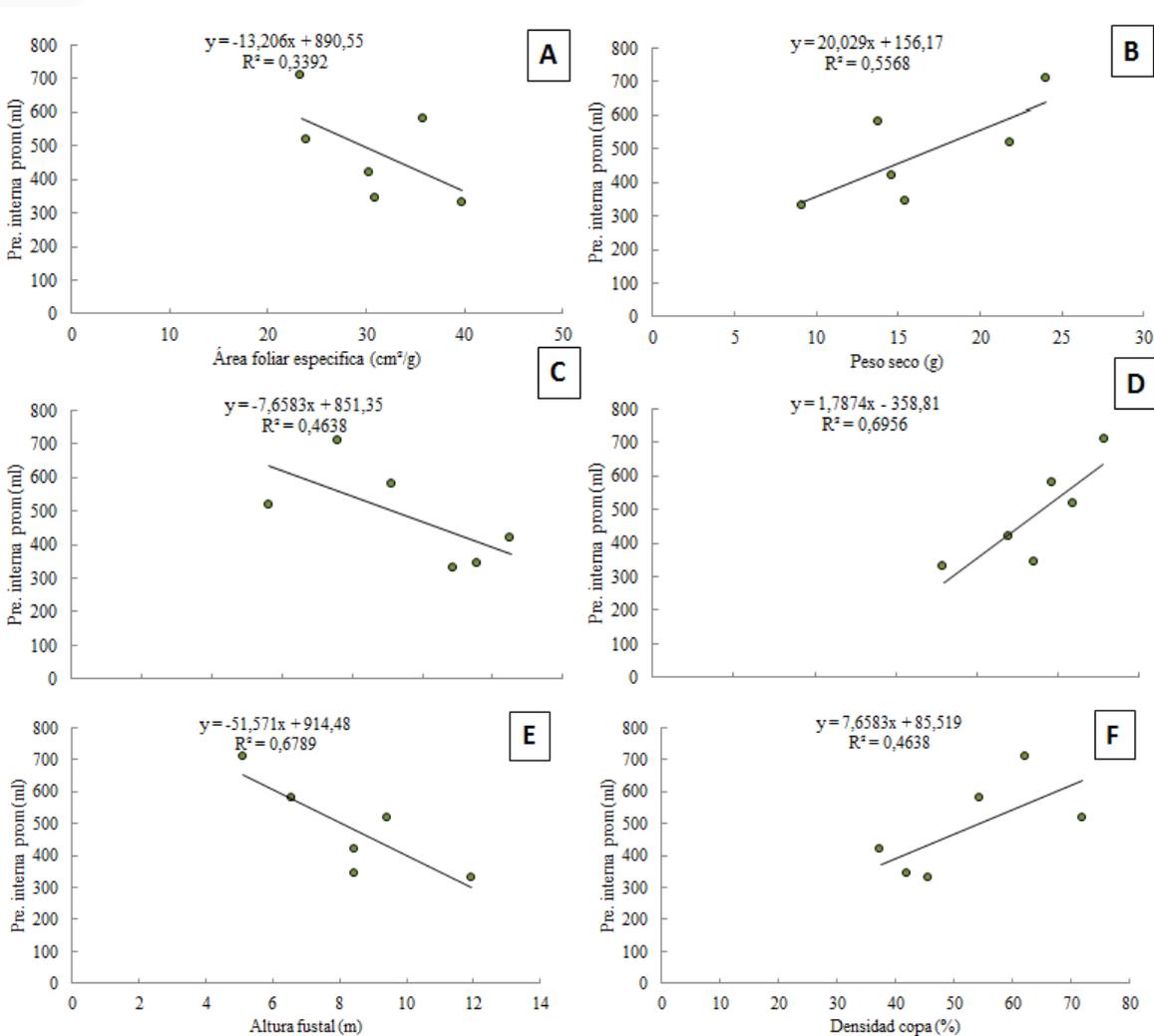
Al analizar específicamente el flujo de escorrentía se encontró que a mayor área de copa o mayor densidad x volumen, menor valor promedio y mayor variabilidad temporal de la escorrentía cortical, pues entre más grande sea una copa es más probable que las ramas estén dispuestas horizontalmente a manera de soporte, y con este ángulo de inserción de las ramas, el flujo de agua hacia al tronco por gravedad se dificulta (Cano, 2018). Es posible que el agua que llega a estas ramas más horizontales caiga debajo de la copa sin llegar al tronco. Esto soporta lo hallado en otros estudios en los que se encuentra que el volumen de escorrentía cortical que produce una especie depende del tamaño de la copa, la forma y orientación de las hojas, el ángulo de inserción de las ramas y la rugosidad del tronco (Levia & Frost, 2003).

### **Relación con la precipitación interna**

Respecto a la precipitación interna, el área foliar, la altura del fuste y la densidad de la copa explican la variabilidad de la precipitación interna. Durante las semanas en las que se presentaron máximos de precipitación, el área foliar se relacionó con la variabilidad temporal de precipitación interna positivamente explicado el 69 % de la precipitación interna promedio (Figura 17 (D)). Como se observa en la Figura 17 (F), la relación entre la densidad de la copa y la variabilidad temporal de la precipitación interna es de tipo lineal y positiva, a mayor densidad de copa, mayor variabilidad temporal en la precipitación interna.

La transparencia de la copa explica el 62 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal negativa (Figura 17 (C)). El área foliar específica explica el 38 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 17 (A)). La altura del fuste explica el 67 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es

de tipo lineal negativa. Es decir, la precipitación interna promedio disminuye rápidamente con un aumento leve de la altura del fuste (Figura 17 (E)).



**Figura 16.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.

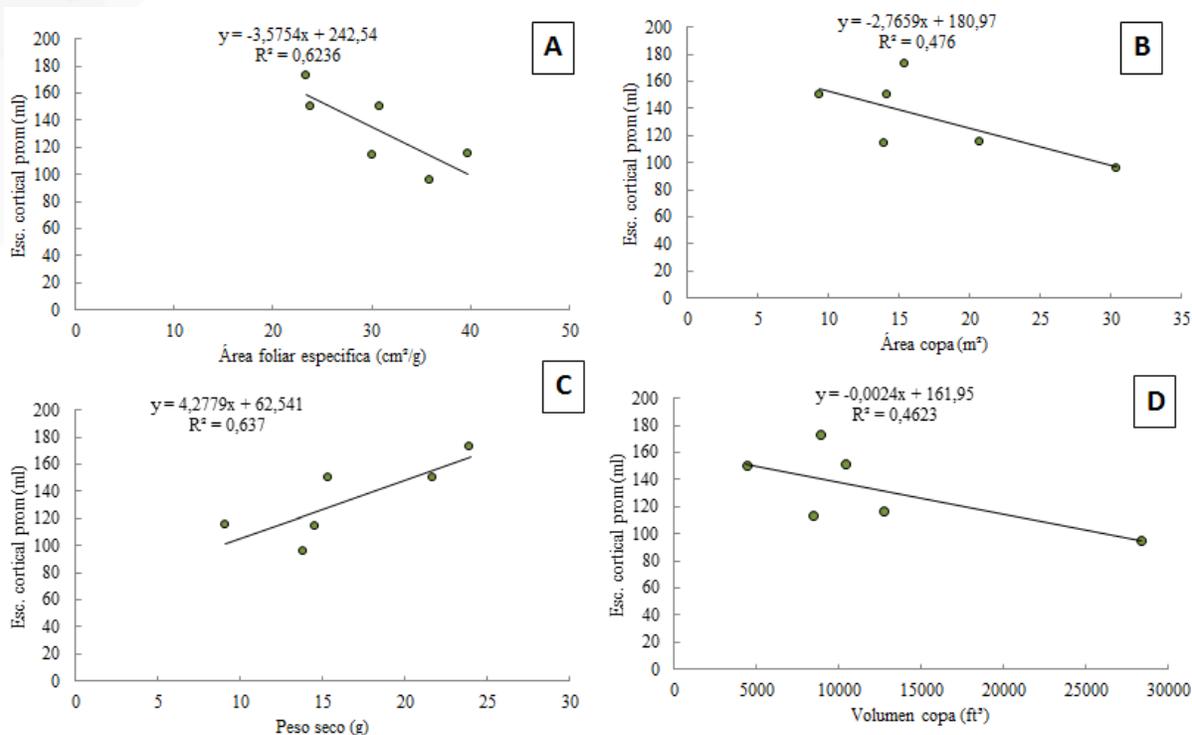
El área foliar y la densidad de la copa puede modificar la variabilidad espacial de la precipitación y la complejidad estructural puede modificar la velocidad de caída de la precipitación (Park & Cameron, 2008), ambos rasgos pueden modificar además la trayectoria

de la precipitación (Goebes et al., 2015), funcionando como conductores de precipitación hacia el suelo y por tanto regulando la velocidad de llegada del agua al suelo y, posteriormente, al cauce de la quebrada (Brauman et al., 2007; Gonzaga, 2002).

### **5.5.3. Periodo seco**

#### **Relación con la escorrentía cortical**

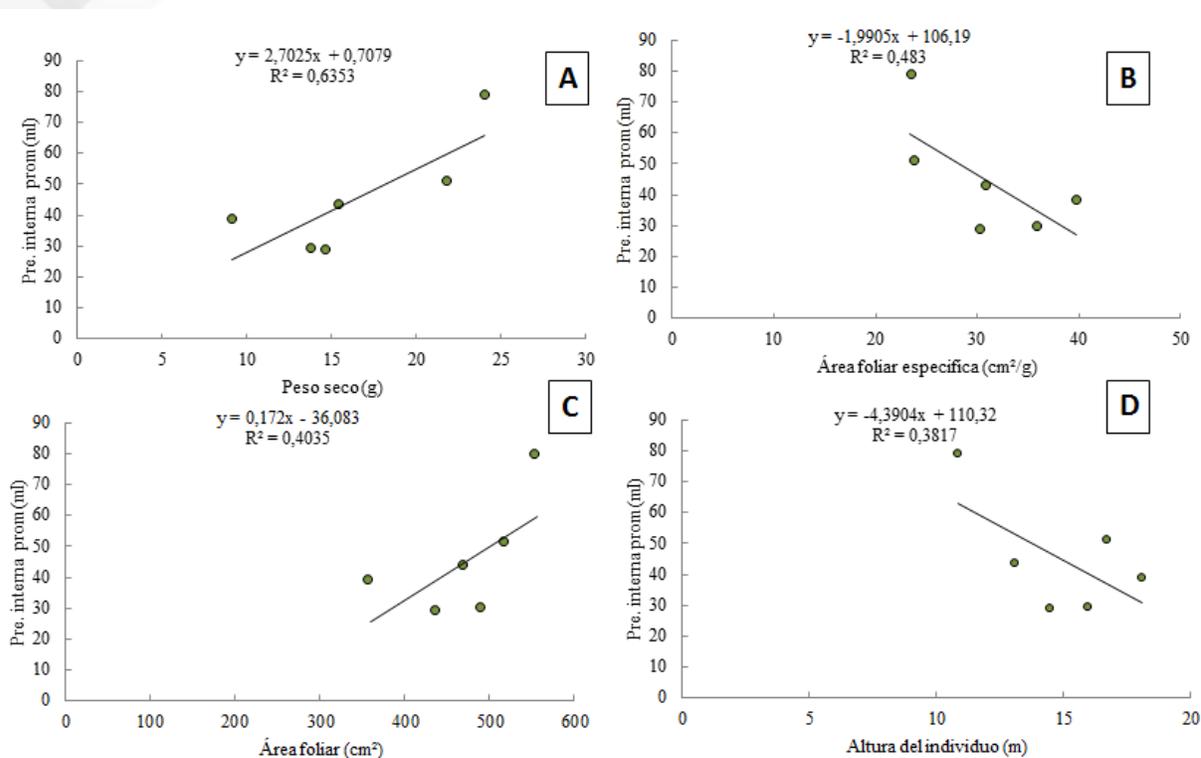
El área de la copa, el área foliar específico y el volumen de la copa tienen un efecto sobre el comportamiento del valor promedio de la escorrentía cortical en las semanas secas. La relación entre el peso seco y la escorrentía cortical durante las semanas secas es del tipo lineal negativa (Figura 18 (C)). Durante semanas de menor precipitación, el área foliar específica explica el 62 % de la escorrentía cortical promedio (Figura 18 (A)). La altura de la copa se relaciona de manera lineal negativa con la variabilidad de la escorrentía cortical, a mayor altura de la copa, menor variabilidad de la escorrentía cortical durante las semanas secas. (Figura 18 (B)). De igual manera para el volumen de la copa que explica el 46 % de la variabilidad promedio de la escorrentía cortical (Figura 18 (D)).



**Figura 17.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo.

### Relación con la precipitación interna

La precipitación interna promedio durante las semanas de mínimos de precipitación es influida por el peso seco de los árboles, esta relación es de tipo lineal positiva, a mayor peso seco, mayor precipitación interna promedio (Figura 19 (A)). El área foliar específica se relaciona de manera lineal negativa con la variabilidad de la escorrentía cortical, a mayor área foliar, menor precipitación interna durante las semanas secas. (Figura 19 (B)). El área foliar explica el 40 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 19 (C)). La altura del individuo explica el 38 % de la variabilidad de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal positiva (Figura 19 (D)).



**Figura 18.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y precipitación interna en las semanas secas del monitoreo.

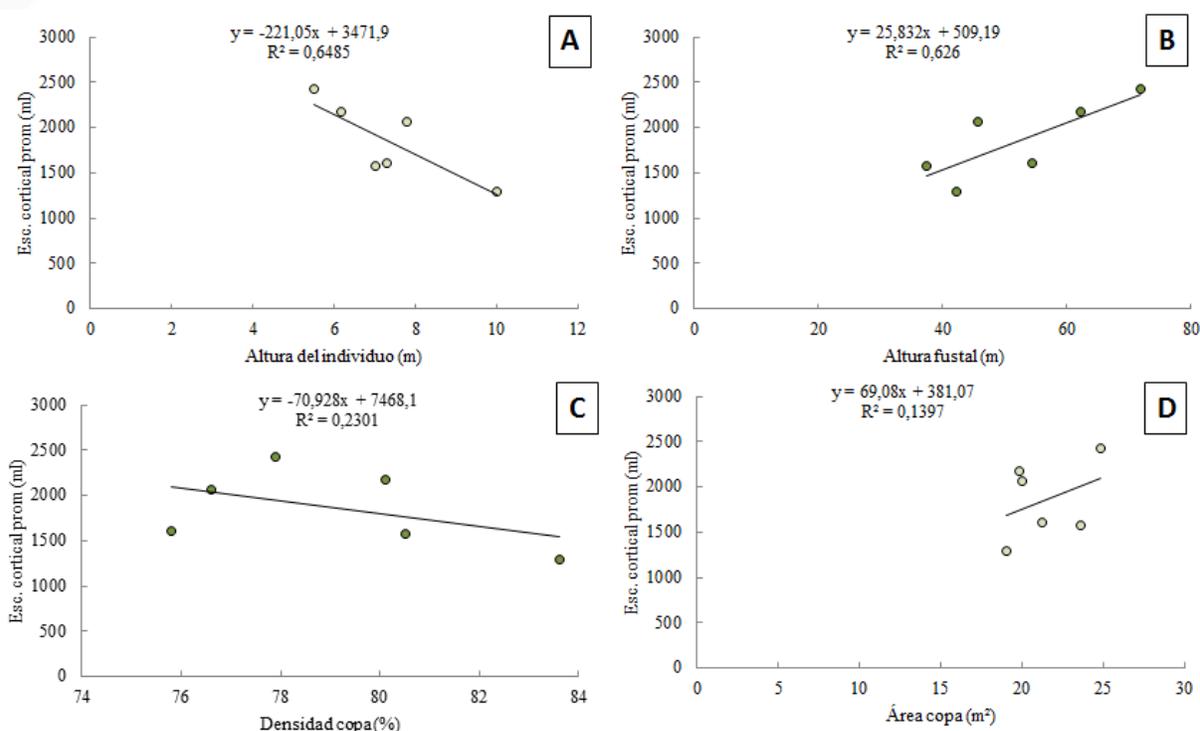
## 5.6. *Cyathea cf. andina*

### 5.6.1. Total Semanas monitoreadas

#### Relación con la escorrentía cortical

La altura del individuo, la altura del fuste, la densidad de la copa y el área de la copa tienen un efecto significativo sobre el valor promedio de la escorrentía cortical. La altura del individuo y la altura del fuste explican el 64 % del comportamiento del valor promedio de la escorrentía cortical, presentando una relación negativa de tipo lineal (Figura 20 (A), Figura 20 (B)). Es decir, la escorrentía cortical disminuye rápidamente con un aumento de la altura del individuo y del fuste. La densidad de copa explica un 32 % del valor promedio de la escorrentía

cortical y presenta una relación negativa lineal (Figura 20 (C)). El área de la copa mostró relaciones de tipo lineal positiva con la escorrentía promedio (Figura 20 (D)).



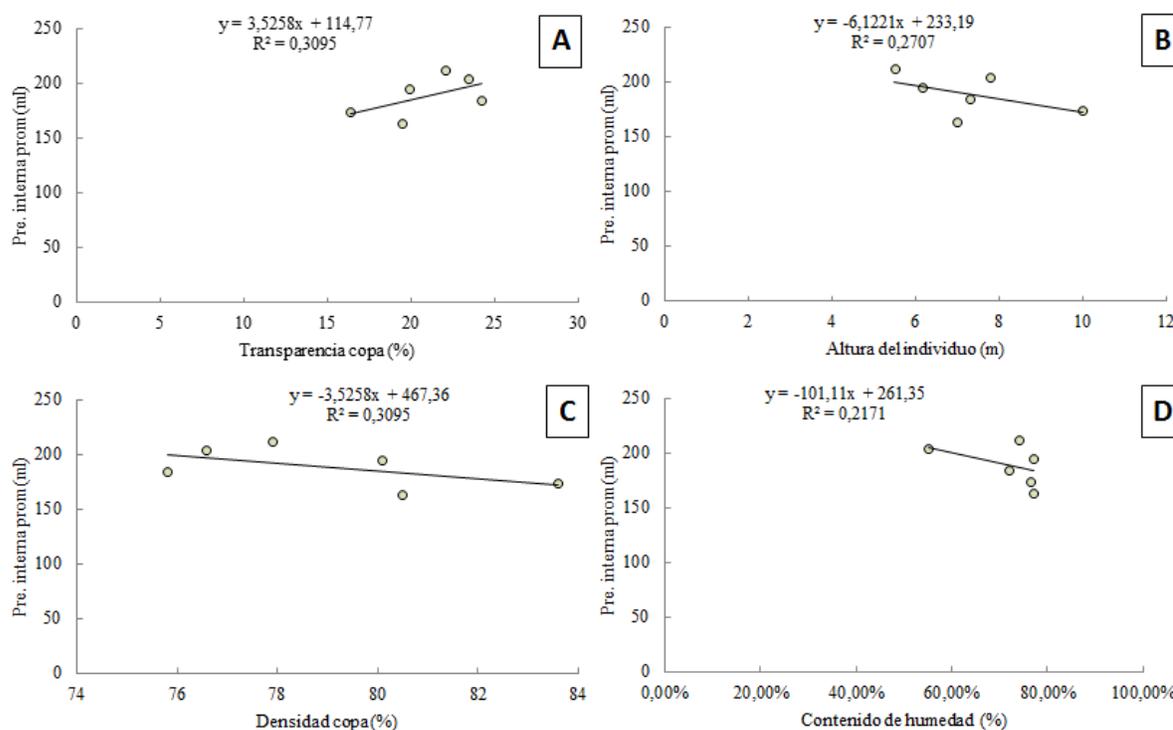
**Figura 19.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y escorrentía cortical en las semanas totales del monitoreo.

Este resultado pone de manifiesto de nuevo la influencia de la capacidad de saturación, de manera que los árboles con las copas más densas retienen más cantidad de agua y por tanto va a pasar a escorrentía cortical (Belmonte *et al.*, 1997)

### **Relación con la precipitación interna**

Por otro lado, la altura del individuo, la altura del fuste la densidad de la copa y el % de contenido de humedad tienen un efecto significativo sobre el promedio de la variabilidad de la precipitación interna. La altura del individuo y la altura del fuste se relacionan de manera lineal y negativa con la variabilidad de la precipitación interna (Figura 21 (A)), explicando el 27 % del

promedio de la precipitación interna. La densidad de la copa explica el 30 % de la precipitación interna y también es de tipo lineal y negativa interna (Figura 21 (C)). Es decir, entre más densa sea una copa, menor variabilidad producirá en el flujo de precipitación interna. La relación entre la transparencia de la copa y el promedio de la precipitación interna es de tipo lineal y positiva (Figura 21 (A)). El % del contenido de humedad explica el 19 % del promedio de la precipitación interna y la relación es de tipo lineal negativa (Figura 21 (D)).



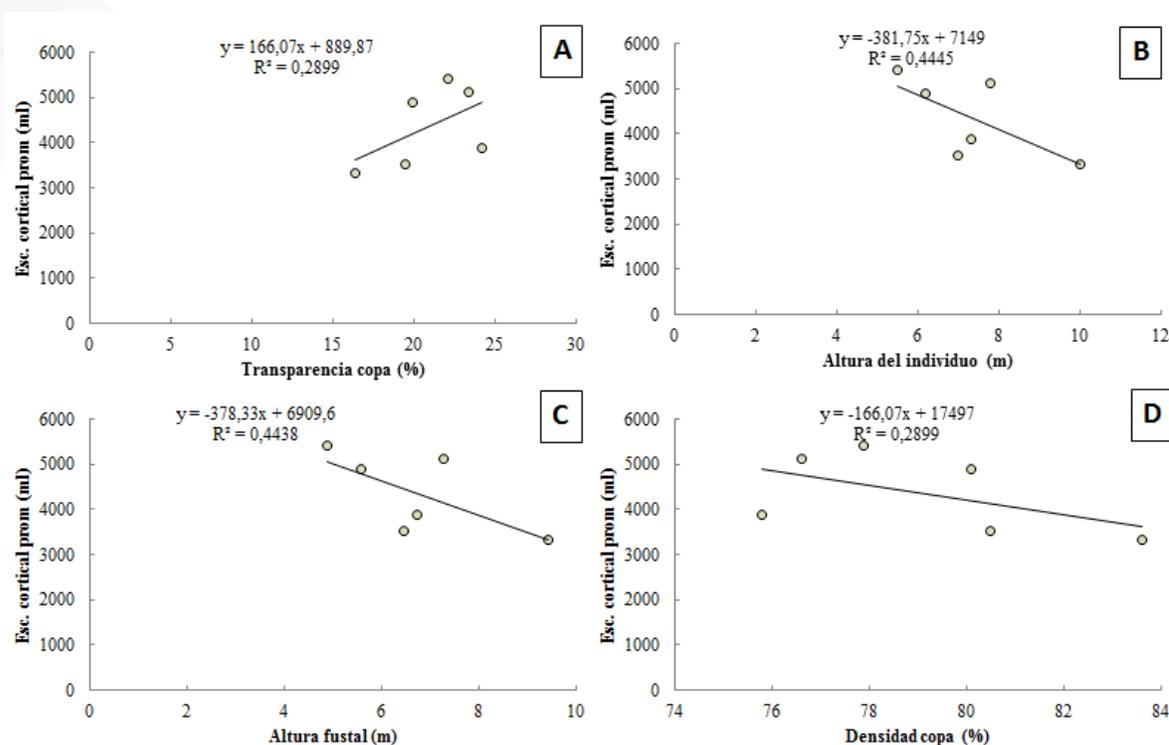
**Figura 20.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas totales del monitoreo.

## 5.6.2. Periodo húmedo

### **Relación con la escorrentía cortical**

Considerando solo las semanas húmedas, se encontró que la escorrentía se comporta similar al promedio de las semanas húmedas. La altura del individuo, la altura del fuste, la densidad de la copa y la transparencia tienen un efecto sobre el valor promedio de la escorrentía cortical.

El tipo de relación entre la altura del individuo y la altura del fuste con la escorrentía cortical durante las semanas húmedas es de tipo lineal negativa y estos dos rasgos explican el 44 % del comportamiento del valor promedio de escorrentía cortical. De esta manera, la escorrentía cortical promedio que puede conducir un árbol durante semanas de precipitación máxima puede disminuir significativamente a partir de ciertos valores de altura del individuo (Figura 22 (A) y Figura 22 (B)). La relación entre la densidad y el promedio de la escorrentía cortical también es de tipo lineal y negativa, es decir, a mayor densidad de la copa menor escorrentía cortical promedio (Figura 22 (C)). Similar a lo observado durante el total de semanas monitoreadas, a mayor densidad de copa, menor cantidad de agua podrá conducir a través de escorrentía cortical.



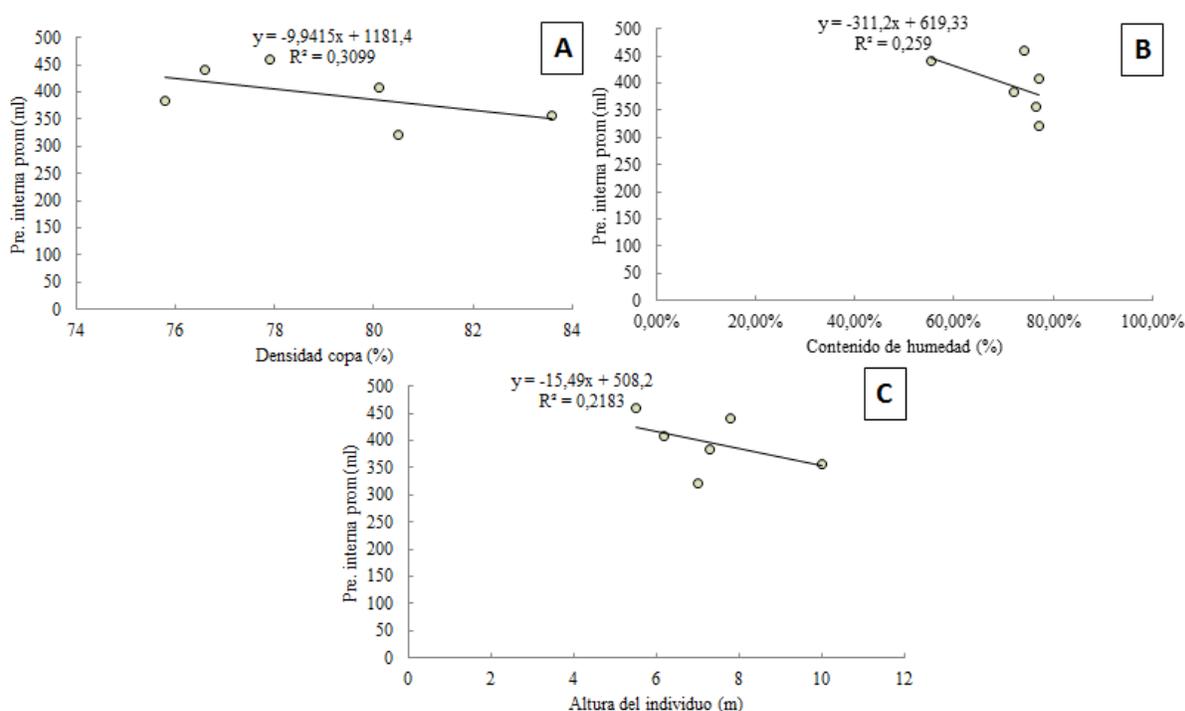
**Figura 21.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la escorrentía cortical en las semanas húmedas del monitoreo.

En todos los estudios se reconoce que las características particulares de las especies (rasgos funcionales) como área y densidad de copa, patrones de ramificación, orientación de las hojas e índice de área foliar, determinan sus efectos diferenciales sobre procesos ecohidrológicos. Además, ya es ampliamente reconocido que los rasgos funcionales son el mecanismo clave por el cual las especies influyen sobre procesos y funciones ecosistémicas (Lavorel & Garnier, 2002; Westoby et al., 2002; Díaz et al., 2004, 2007; Hooper et al., 2005; Luck et al., 2009; de Bello et al., 2010).

### **Relación con la precipitación interna**

Respecto a la precipitación interna, la densidad de la copa, la altura del individuo y el % de contenido de humedad explican la variabilidad de este proceso. Durante las semanas en las que se presentaron máximos de precipitación, la densidad de la copa se relacionó con la variabilidad de la precipitación interna. Como se observa en la Figura 23 (A), la relación entre la densidad de la copa y la variabilidad de la precipitación interna es de tipo lineal y negativa, a mayor densidad de copa, menor variabilidad de la precipitación interna. Contrario a la densidad, la transparencia se relaciona con la precipitación interna de forma lineal y positiva.

La altura del individuo explica un 21 % del valor promedio de la precipitación interna y presenta una relación de tipo lineal y negativa (Figura 23 (C)). El % de contenido de humedad explica un 25 % del valor promedio de la precipitación interna y presenta una relación de tipo lineal y negativa (Figura 23 (B)).

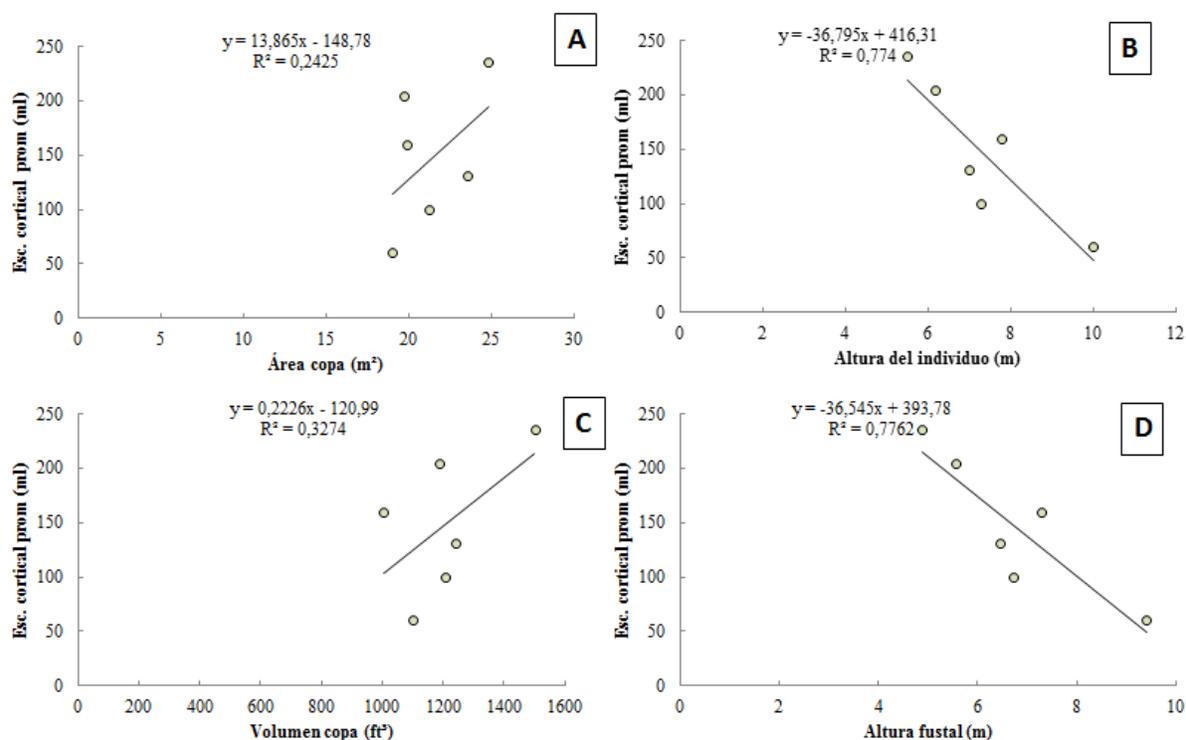


**Figura 22.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.

### 5.6.3. Periodo Seco

#### Relación con la escorrentía cortical

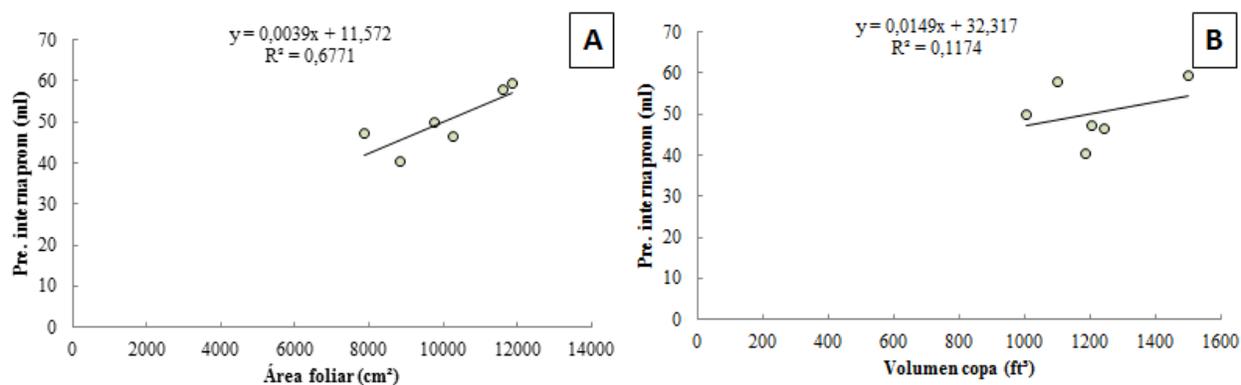
El área de la copa, el volumen de la copa, la altura del individuo, la altura del fuste tienen un efecto sobre el comportamiento del valor promedio de la escorrentía cortical en las semanas secas. La altura del individuo y la altura del fuste se relacionan de manera lineal y negativa con el valor promedio de la escorrentía cortical (Figura 24 (B) y Figura 24 (D)), explicando el 77 %. La relación entre el área de la copa y el volumen de la copa con la escorrentía cortical durante las semanas secas es del tipo lineal positivo (Figura 24 (A)).



**Figura 23.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo.

### Relación con la precipitación interna

El área foliar y el volumen de la copa se relaciona con el valor promedio de la precipitación interna. La precipitación interna promedio durante las semanas de mínimos de precipitación es influida por el área foliar de los árboles, esta relación es de tipo lineal positiva, a mayor área foliar, mayor precipitación interna promedio y explica el 67% del valor promedio de la precipitación interna (Figura 25 (A)). El volumen de la copa presenta una relación de tipo lineal positiva, a mayor volumen de la copa, mayor precipitación interna.



**Figura 24.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre rasgos funcionales y la precipitación interna en las semanas secas del monitoreo.

Como se observa, las especies presentan efectos inversos sobre la variabilidad temporal de la escorrentía cortical y la precipitación interna, esto da cuenta de que posiblemente las especies se complementan en los efectos sobre los procesos eco-hidrológicos; esta complementariedad de las especies se ha encontrado para otros procesos y funciones ecosistémicas como la producción primaria (Loreau & Hector, 2001; Morin et al., 2011) y se relaciona con la diversidad de especies y las interacciones interespecíficas en un ecosistema (Cardinale et al., 2002; Hooper et al., 2005). La diversidad de especies influye sobre los procesos ecosistémicos a partir de los rasgos funcionales particulares de cada especie (Diaz & Cabido, 2001; de Bello et al., 2010).

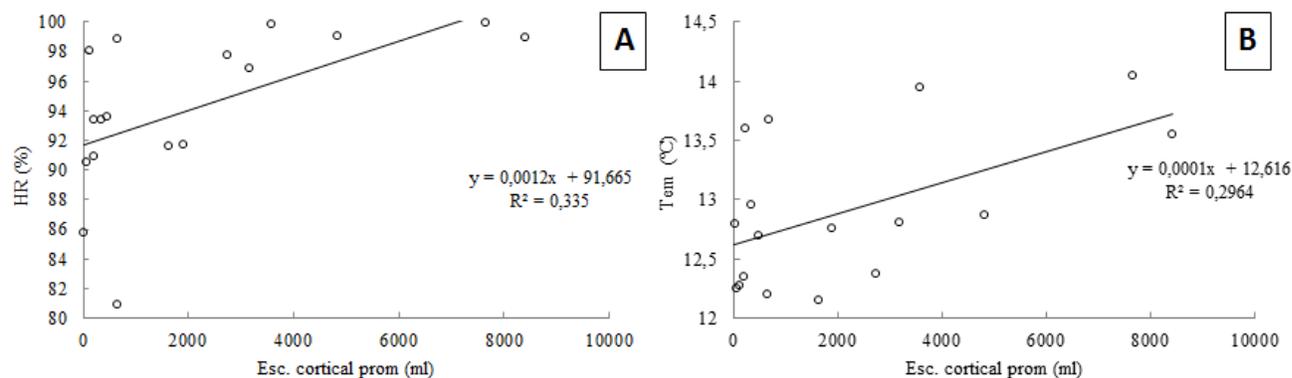
## 5.7. Relación entre las variables meteorológicas y las variables hidrológicas.

Los procesos hidrológicos de escorrentía cortical y precipitación interna, hacen parte de la función de regulación hídrica que es mediada por los árboles en los ecosistemas nativos y específicamente en bosques andinos (Brujinzeel, 2004), y que implica la regulación a largo plazo de los flujos máximos y mínimos en una cuenca, lo que garantiza la provisión continua de agua para el consumo humano. Esta capacidad regulatoria se ha comprobado en sitios que se encuentran en sucesión secundaria (García-Leoz *et al.*, 2017).

### 5.7.1. Total semanas de monitoreo

#### Relación con la escorrentía cortical en *Schefflera cuatrecasiana*

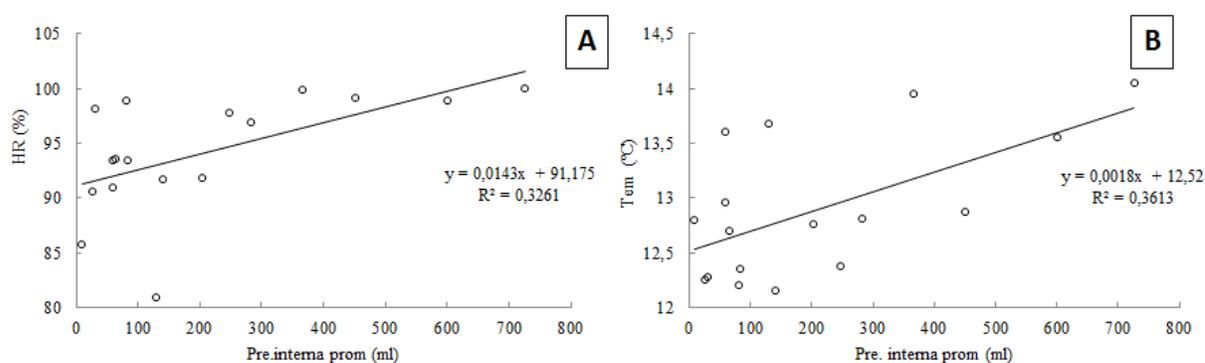
En la Figura 26 (A) y (B) se observa que las variables meteorológicas humedad relativa y temperatura explica el 33 % y el 29 % respectivamente del promedio de la escorrentía cortical en las semanas totales del monitoreo y su relación es de tipo lineal positiva, mientras que la variable velocidad del viento explican solo un 19 % del promedio de la escorrentía cortical en las semanas totales del monitoreo y su relación es de tipo lineal negativa.



**Figura 25.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en el total de semanas del monitoreo.

### Relación con la precipitación interna en *Schefflera cuatrecasiana*

Las variables meteorológicas humedad relativa y temperatura explica el 23 % y 29 % respectivamente del promedio de la precipitación interna en las semanas totales del monitoreo y su relación es de tipo lineal positiva, mientras que las variable velocidad del viento explica un 28% del promedio de la escorrentía cortical en las semanas totales del monitoreo y su relación es de tipo lineal negativa (Figura 27).

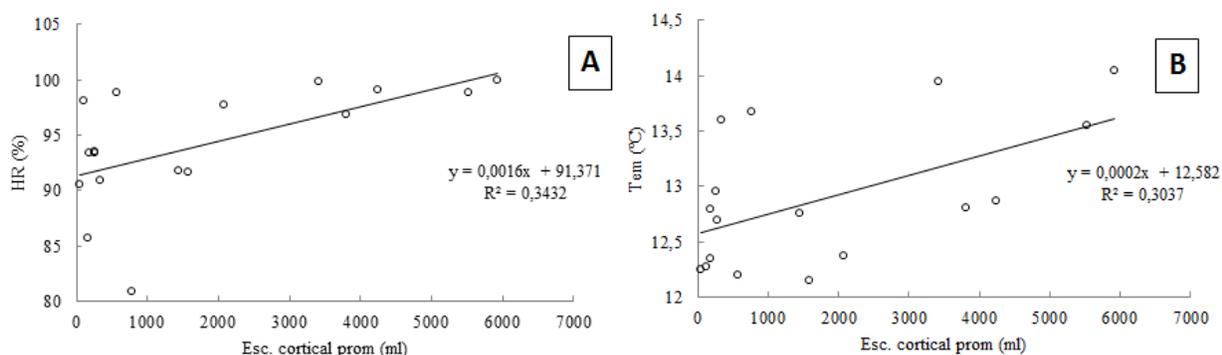


**Figura 26.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la precipitación interna en el total de semanas del monitoreo.

Los árboles no solo influyen sobre la dinámica de escorrentía cortical y precipitación interna sino que además pueden amortiguar la velocidad de caída de la lluvia (Goebes et al., 2015), generan sombra que evita la rápida evaporación del agua que llega al suelo, manteniendo regulados los niveles de humedad en el suelo (Villegas et al., 2010; Wang et al., 2013) y generan con sus raíces espacios por los que el agua se infiltra en el suelo y recarga por flujos subsuperficiales el cauce de la quebrada (Brauman et al., 2007; Legates et al., 2011).

### **Relación con la escorrentía cortical en *Cyathea cf. andina***

Similar a *Schefflera cuatrecasasiana* en el total de semanas de monitoreo en las que las variables meteorológicas humedad relativa y temperatura explica el 34 % y 30 % respectivamente del promedio de la escorrentía cortical conservando una relación de tipo lineal positiva (Figura 28).



**Figura 27.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en el total de semanas del monitoreo.

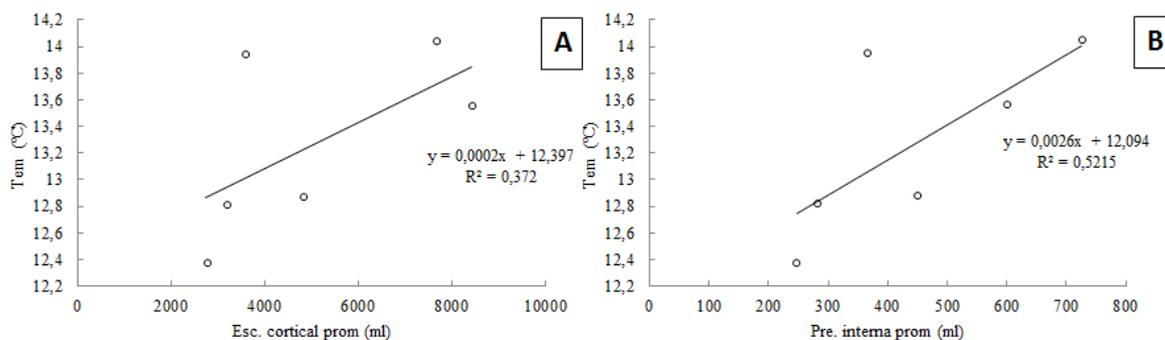
### **Relación con la precipitación interna en *Cyathea andina***

En el total de semanas de monitoreo las variables meteorológicas humedad relativa y temperatura explica el 31 % y 33 % respectivamente del promedio de la precipitación interna conservando una relación de tipo lineal positiva.

#### **5.7.2. Periodos húmedos**

### **Relación con la escorrentía cortical y la precipitación interna en *Schefflera cuatrecasasiana***

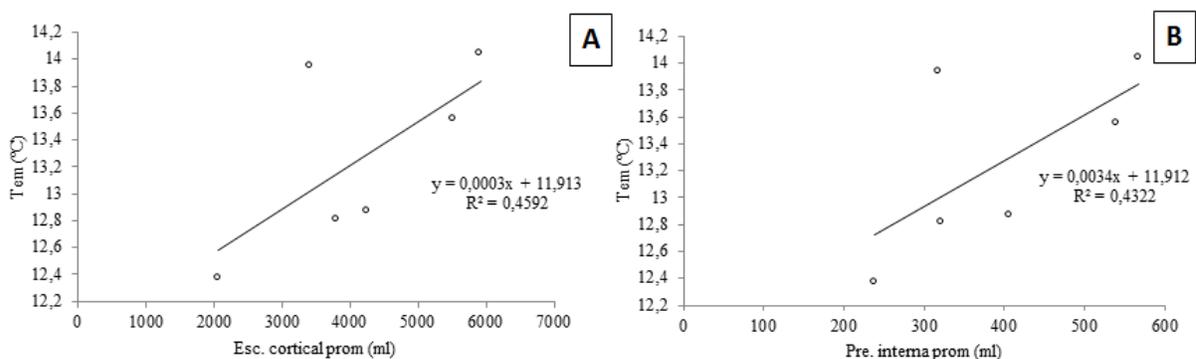
En la Figura 29 se observa que la variable meteorológica temperatura explica el 37 % del promedio de la escorrentía cortical y el 52 % del promedio de la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo y su relación es de tipo lineal positiva.



**Figura 28.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las (A) variables meteorológica y la escorrentía cortical (B) variables meteorológica y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.

### Relación con la escorrentía cortical y la precipitación interna en *Cyathea andina*

Al igual que en *Schefflera cuatrecasasiana* se observa que la variable meteorológica temperatura explica el 45 % del promedio de la escorrentía cortical y el 46 % del promedio de la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo y su relación es de tipo lineal positiva (Figura 30)



**Figura 29.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las (A) variables meteorológica y la escorrentía cortical (B) variables meteorológica y la precipitación interna en las semanas húmedas del monitoreo.

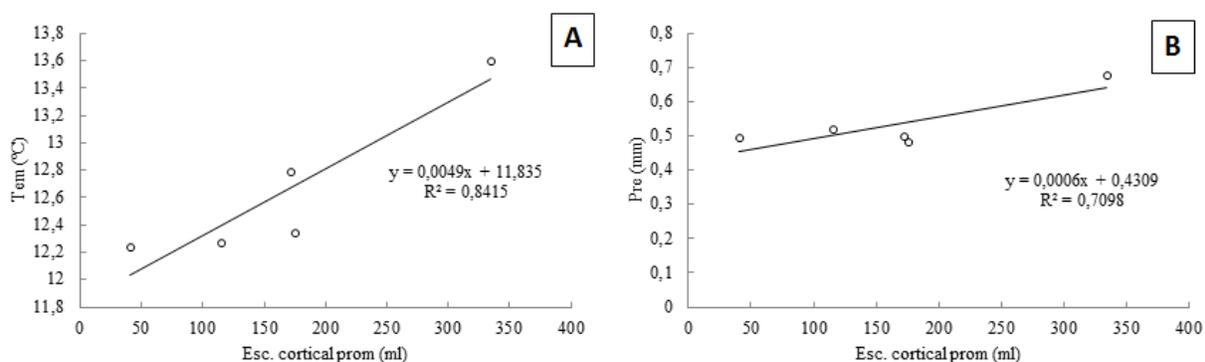
### 5.7.3. Periodos secos

#### Relación con la escorrentía cortical y la precipitación interna en *Schefflera cuatrecasiana*

La variable meteorológica velocidad del viento presenta una relación de tipo lineal negativa con respecto al promedio de la escorrentía cortical explicando el 46 %, mientras que para la variable precipitación interna explica un 19 % y también conserva una relación de tipo lineal negativa.

#### Relación con la escorrentía cortical en *Cyathea cf. andina*

Las variables meteorológicas temperatura y precipitación presenta una relación de tipo lineal positiva con respecto al promedio de la escorrentía cortical explicando el 84 % y 70 % respectivamente (Figura 31).



**Figura 30.** Gráficas de dispersión y líneas de ajuste de modelos de regresión entre las variables meteorológica y la escorrentía cortical en las semanas secas del monitoreo.

Las variables tales como intensidad, duración y distribución temporal de la precipitación tienen efectos en la interceptación de la lluvia por las copas y por lo tanto en la escorrentía cortical y la precipitación interna, explicando así parte de la variabilidad no explicada por los

rasgos funcionales. Además, parte de la lluvia interceptada por las copas se evapora y la tasa a la cual esto ocurre depende de factores como temperatura, humedad relativa, radiación neta y velocidad del viento (Xiao & McPherson, 2011).

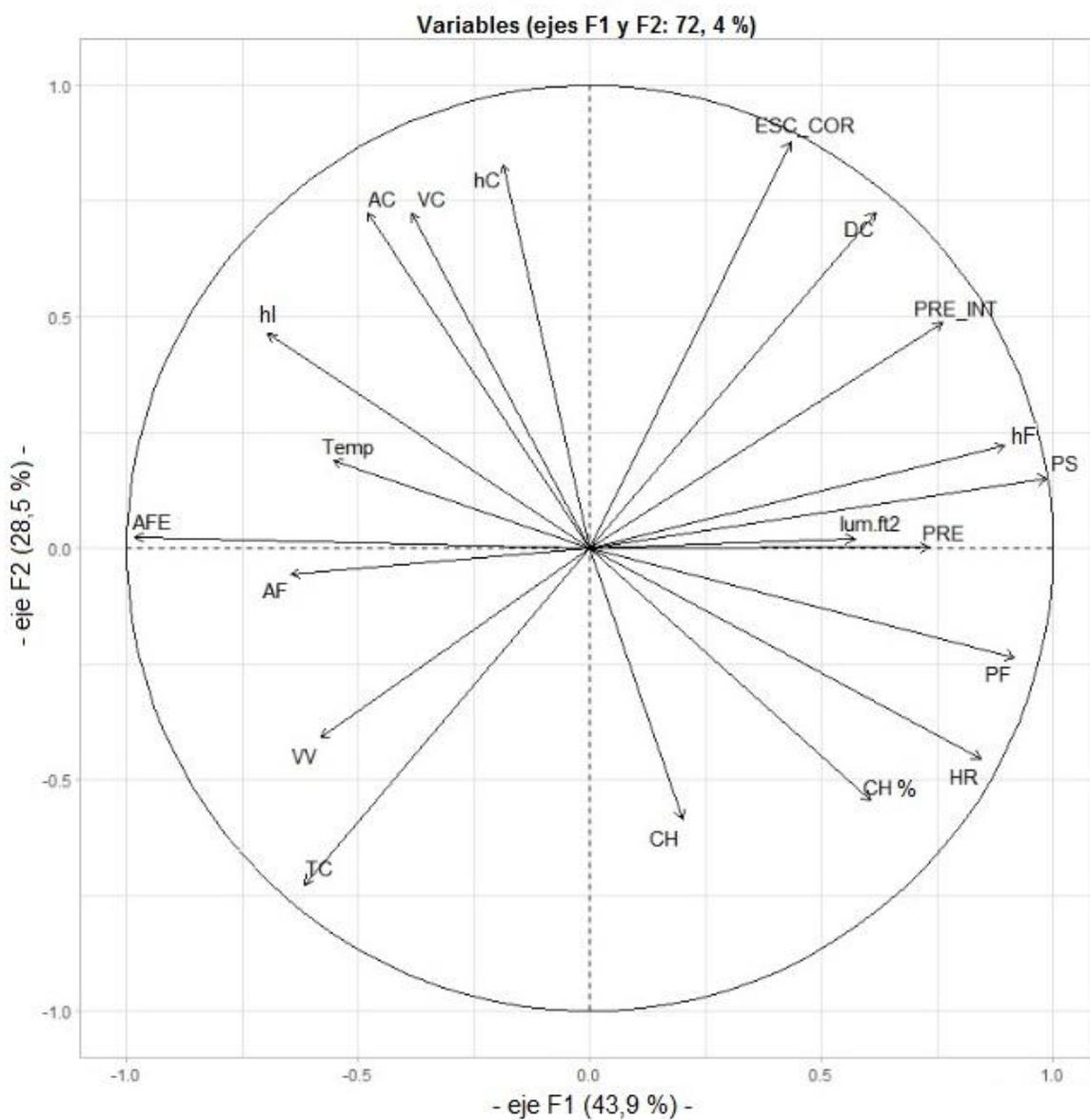
También puede estarse presentando un efecto debido a las altas temperaturas, que esté reduciendo su capacidad de conducir agua (Jaramillo, 2003). Esta alta correlación de la temperatura y las variables precipitación interna y escorrentía cortical puede estar relacionada también a otras variables (velocidad del viento, distribución diaria de lluvias), puesto que una vez que el follaje se satura de agua, su capacidad de intercepción disminuye drásticamente; Rapp y Romane (1968) estiman que las diferencias de porcentaje de pluviolado entre una especie y otra son principalmente función de la intensidad y duración de las lluvias incidentes.

## **5.8. Especies, sus rasgos funcionales y la influencia en procesos hidrológicos**

### **5.8.1. Análisis de componentes principales para *Schefflera cuatrecasiana***

A partir del análisis de componentes principales de los rasgos funcionales que mostraron relación significativa con los procesos eco-hidrológicos y las variables meteorológicas, se encuentra que los dos primeros componentes explican el 71,29 % de la variabilidad de los datos (Figura 32). El primer componente representa el 45,28 % de la varianza acumulada, las variables más importantes en este eje son el promedio de la escorrentía cortical, el promedio de la precipitación interna, la densidad de la copa, el área foliar, el peso seco. Este eje corresponde a la conformación de la copa como estructura que intercepta y conduce la precipitación y, por lo tanto, estos rasgos están relacionados con la variabilidad de la escorrentía cortical y la precipitación interna. El segundo componente representa el 26,01 % de la variabilidad; las

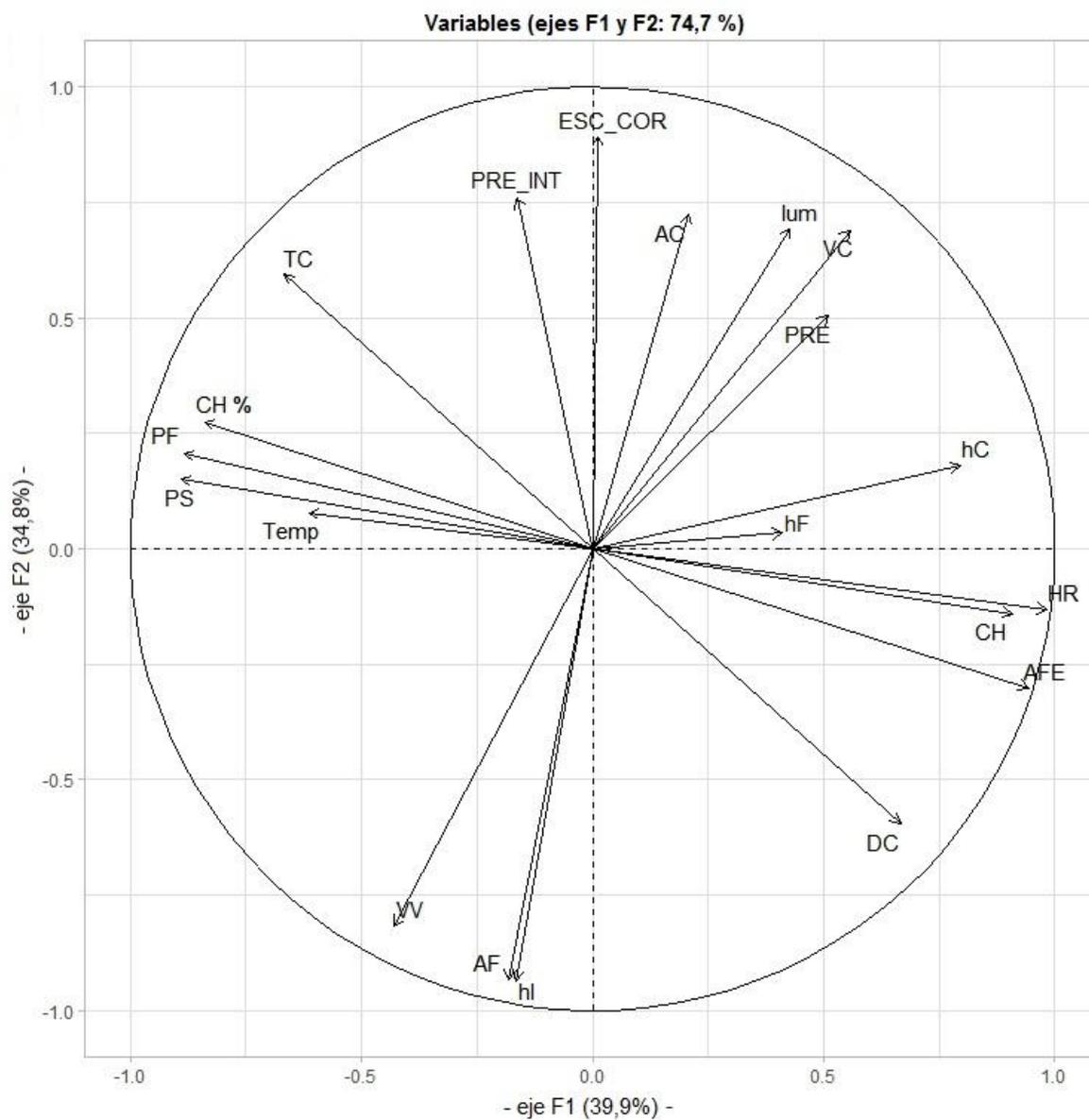
variables más importantes para este eje son el área de la copa, la transparencia de la copa y la altura del individuo.



**Figura 31.** Análisis de componentes principales para *Schefflera cuatrecasiana* especies seleccionadas, rasgos funcionales, variables hidrológicas y variables meteorológicas

### 5.8.2. Análisis de componentes principales para *Cyathea cf. andina*

A partir del análisis de componentes principales de los rasgos funcionales que mostraron relación significativa con los procesos eco-hidrológicos y las variables meteorológicas, se encuentra que los dos primeros componentes explican el 74,7 % de la variabilidad de los datos (Figura 33). El primer componente representa el 39,9 % de la varianza acumulada, las variables más importantes en este eje son el promedio de la escorrentía cortical, el área de la copa, la densidad de la copa, el área foliar específica, la altura de la copa, el volumen de la copa y la altura del fuste. Este eje corresponde a la conformación de la copa como estructura que intercepta y conduce la precipitación y, por lo tanto, estos rasgos están relacionados con la variabilidad de la escorrentía cortical y la precipitación interna. El segundo componente representa el 34,8 % de la variabilidad; las variables más importantes para este eje son la precipitación interna, la transparencia de la copa, el porcentaje de contenido de humedad y la altura del individuo.



**Figura 32.** Análisis de componentes principales para *Cyathea cf. andina* especies seleccionadas, rasgos funcionales, variables hidrológicas y variables meteorológicas.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que los rasgos funcionales de las especies más abundantes del bosque presentan relaciones estrechas con procesos de funcionalidad eco-hidrológica. Específicamente el área, densidad, volumen de la copa, área foliar, altura del individuo, altura del fuste y altura de la copa. Por otro lado, las variables hidrológicas medidas de las especies tienen diferentes efectos sobre la dinámica de los dos procesos eco-hidrológicos evaluados, pese a que no se presentaron diferencias significativas entre las medias de cada especie.

Se halló que *Schefflera cuatrecasiana* recolecta en promedio durante 5 semanas 2157 ml de agua proveniente de la lluvia y de la niebla con valores medios en época de máxima precipitación de 5065 ml y de mínima precipitación de 121,78 ml; mientras que *Cyathea cf. andina* recolecta en promedio 1808 ml con valores en semanas de máxima precipitación de 4167 ml y de mínima precipitación de 153,1 ml, para el bosque andino de neblina del sector de La Lejía, en Pamplona.

La densidad de la copa y el área foliar están incidiendo positiva y significativamente con la distribución del agua de escorrentía que se desplaza por el tallo tanto para *Cyathea cf. andina* como en *Schefflera cuatrecasiana*.

El efecto de las variables hidrológicas sobre procesos eco-hidrológicos también presenta diferencias significativas y relaciones estrechas, en especial las variables como precipitación y temperatura que explican en gran medida la dinámica del ecosistema. La velocidad del viento y

la humedad relativa explican de cierta manera la distribución de agua de escorrentía por el fuste del tallo tanto para *S. cuatrecasiana* como para *Cyathea* cf. *andina* con una relación negativa.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Alvear, M., Betancur, J. & Franco, P. (2010). Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Los Nevados, cordillera central colombiana. Caldasia.
- Armenteras D., Cadena C.E., Moreno R. (2007). Evaluación del estado de los bosques de niebla y de la meta 2010 en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- Bello, F., Lavorel, S., Diaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J. H. C., Bardgett, R. D., Harrison, P. A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*. <http://doi.org/10.1007/s10531-010-9850-9>
- Belmonte S. F., Romero D. A., López B. F., Hernández L. E., 2000, Balance hídrico y distribución espacial de la lluvia neta, Murcia: Universidad de Murcia, Tesis doctoral.
- Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (Eds.). (2019). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Bubb P., May I., Miles L., Sayer J. (2004) Cloud forest agenda. UNEP-WCMC, Cambridge, UK. Online at: [http://www.unepwcmc.org/resources/publications/UNEP\\_WCMC\\_bio\\_series/20.htm](http://www.unepwcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.htm).

Brauman K, Daily G, Duarte T, Mooney H. (2007) The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annu Rev Environ Resour.* Doi:10.1146/annurev.energy.32.031306.102758

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 104). <http://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>

Beiderwieden, E., T. Wrzesinsky y O. Klemm. (2005). Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.*

Bruijnzeel, L.A. (2001). «Hydrology of tropical montane cloud forests: A Reassessment». *Land Use and Water Resources Research.*

Ferwerda W., L. Hadeed, T. McShane y S. Rietbergen S., con la asistencia de S. Stolton y N. Dudley. (2000). *Bosques Nublados Tropicales Montanos.* WWF International/IUCN The World Conservation Union.

Carrillo, A. G., (2018). Evaluación hidromorfológica, fisicoquímica e hidrobiológica del agua de la quebrada Zipacha del municipio de Pamplona, Norte de Santander., Universidad de Pamplona-Colombia.

Cano, L. V., (2018). Evaluación de la funcionalidad eco-hidrológica de intervenciones de restauración ecológica en áreas estratégicas para la conservación del recurso hídrico en zonas rurales de Medellín., Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

- Cano, L. (2018). 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, Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Cuatrecasas, J.M. (2001). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exact. Fis. Nat.
- Cuatrecasas, J. (1951). Notas a la Flora de Colombia XI. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físico-químicas y Naturales.
- Chaparro, J., Duarte, W. (2013). Trabajo de grado: Análisis geológico y geomecánico del Depósito Cuaternario de La Lejía, asociado a la Falla Chitagá. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- 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*.  
<http://doi.org/10.1002/1099>
- Carrizosa-U, J. (1990). La selva andina. J. Carrizosa-U. & J.I. Hernández-Camacho (eds.), *Selva y Futuro*. El Sello Editorial, Bogotá.
- Cardinale, B.J. *et al.*, (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*.
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*,  
<http://doi.org/10.1071/BT02124>

- Calder I, Aylward B. (2006). Forest and floods: moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management.
- Cavelier, J. y G. Vargas. (2002). Procesos hidrológicos. pp. 145-165. En: Guariguata, M. y G. Kattan (eds.). Ecología y conservación de bosques tropicales. Libro Universitario Regional, Cartago, Costa Rica.
- Cavelier, J. (2001). El ciclo del agua en bosques montanos. 69-83 en: C. Uribe (ed.), Bosques de niebla de Colombia. Banco de Occidente, Cali.
- Cavelier, J. y D. Goldstein. (1989). Mist and fog interception in Elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*.
- Cristal, A. *et al.*, (2002). Congreso Mundial de Páramos. Memorias tomo II. Gente Nueva Editorial. Colombia.
- Diéguez Aranda, U., Barrio Anta, M., Castedo Dorado, F., Ruíz González, A.D., Álvarez Taboada, M.F., Álvarez González, J.G., Rojo Alboreca, A. (2003). Dendrometría. Fundación Conde del Valle de Salazar. Paraninfo.
- Dingman, S. (2002). *Physical Hydrology*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Diaz S, Lavorel S, Chapin S, Tecco P, Gurrich D, Grigulis K. (2007). Chapter 7: Functional Diversity – at the Crossroads between Ecosystem Functioning and Environmental Filters. En: Canadell J, Pataki D, Pitelka L (Eds). *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*.
- Dohnal, M., Černý, T., Votrubová, J., Tesar, M. (2014). Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand. *J. Hydrol. Hydromech.*

- Eviner V.T, Hawkes C.V. (2008) Embracing Variability in the Application of Plant–Soil Interactions to the Restoration of Communities and Ecosystems. *Restoration Ecology*.
- Fernández F., (2007). Diversidad funcional de bosques muy húmedos tropicales en el noreste de Costa Rica a partir de rasgos foliares y densidad de la madera. Tesis posgrado. Programa de Educación.
- Frodin, D. (2004). Araliaceae. En: *Flowering Plant of the Neotropics*. Editrs. Smith N., Mori S., Henderson A., Stevenson D., Helad S. New York Botanical Garden.
- Frumau A, Schmid S, Burkard R, Bruijnzeel S, Tobon, C, Calvo J. (2009). Fog gauge performance as a function of wind speed in northern Costa Rica». En: Bruijnzeel LA, Juvik J, Scatena FN, Hamilton LS, Bubb P., editors. *Forests in the mist: science for conservation and management of tropical montane cloud forests*. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii Press; in review.
- Frodin. L., (1975). Características Morfológicas de Schefflera.
- Gerten D, Schaphoff S, Haberlandt U, Lucht W, Sitch S. (2004) Terrestrial vegetation and water balance—hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*.
- Giraldo, G., Cogollo, A., (2002) Catálogo Ilustrado Helechos Arbóreos de Antioquia Contrato 3099. Corantioquia, Medellín.
- Giraldo, L. (2002). *Memorias: Hidrología Forestal (Influencia de los Bosques)*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Ciencias Forestales.

- González, J. (2000). Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud forest of the South western Colombian Andes. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*.
- Gerten D, Schaphoff S, Haberlandt U, Lucht W, Sitch S. (2004) Terrestrial vegetation and water balance—hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*.
- González, C., Locatelli, B., Imbach, P., Vignola, R., Pérez, C., Vaast, P. (2008). Identificación de bosques y sistemas agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente*.
- Hernández, L. C. Patiño, J. F., León Peláez, J. D., Montes, L. A., & (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 Murciélagos, Antioquia. *Avances En Recursos Hidráulicos*.
- Henderson, A., Churchill, S. P. & Luteyn, J. L. (1991). Neotropical plant diversity. *Nature*.
- Holdridge, L. R. (1967). Life zone ecology, with photographic supplement prepared by Joseph, A. Tosi, Jr., revised ed. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Hofstede, R., Lips, J. & Jongsma, W. (1998). Geografía, ecología y forestación de la Sierra alta del Ecuador. Quito.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). (2002). Caracterización Biológica de la Región de Sisavita, Municipio de Cucutilla, Norte de Santander. Cúcuta, Colombia.

IAvH, U. de P. U. I. de I. en R. B. A. von H. (2014). Estudios técnicos, Económicos, sociales y ambientales complejo de páramos Tamá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2004). Análisis de la dinámica general de los ecosistemas boscosos del país por cunecas hidrográficas.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Posada, F, Barbosa, C y Gutiérrez, H, (1996). Mapa de coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio en Colombia.

Jaramillo, A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de Bosque y cafetal. Cenicafe.

Jaramillo, D. (2003). Efecto de la temperatura de secado del suelo sobre la repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de Pinus patula.

Koichiro, K., T. Yuri, T. Nobuaki and K. Isamu. (2001). Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. Hydrological Processes 15(19): 1967-1978.

Kaimowitz, D. (2005). Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America. In: Bonell, M., Bruijnzeel, L.A. (eds). Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management. International Hydrology Series, Cambridge University Press, United Kingdom. 944 p.

- Llorens, P., Domingo, F., (2007) Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*.
- Locatelli, B. (2006). Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático (Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático), CIRAD-CATIE.
- Lavorel S and Garnier E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Funct Ecol*.
- Lambers H, Chapin IFS, Chapin FS and Pons TL (2008). *Plant physiological ecology*. Springer, New York.
- Li, X., Xiao, Q., Niu, J., Dymond, S., van Doorn, N. S., Yu, X., ... Li, J. (2016). Process-based rainfall interception by small trees in Northern China: The effect of rainfall traits and crown structure characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 218–219, 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.017>
- Murcia C y Guariguata MR. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Méndez Monroy, E. (2013). Metodología para la medición de variables hidrometeorológicas que faciliten la implementación de modelos dinámicos de interceptación de lluvia en el contexto Colombiano. Ph.D. Thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Morales, R., Pérez, C., Reche, I. (2001). Ecosistemas de alta montaña, las atalayas de la troposfera. *Ecosistemas*.
- Montagnini, Florencia & F. Jordan, Carl. (2005). *Importance of Tropical Forests*.

- Niinemets, U. (2001). Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*.
- Ortiz, D., V., (2014). Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de: Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Bogotá, Colombia.
- Pabón G., Fidel y otros. (2005), Estado de la fertilidad de los suelos de la Provincia de Pamplona. Cuenca del Río Pamplonita. Tomo I Marco Conceptual y Metodológico. Convenio 00036 de 2011. CORPONOR.
- Pereira. M. M. (2020). Catalogo florístico, manual de árboles y arbustos representativos de la U.D.C.A. Primera edición: Bogotá, D.C.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*.
- Pérez-Harguindeguy N, *et al.*, (2013). *Australian Journal of Botany*, New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide, <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>.
- Pérez Arellano, R.; Moreno Pérez, M.F., Roldán Cañas, J. (2016). Modelación de la interceptación de lluvia en individuos aislados de *Pinus pinea* y *cistus ladanifer*: Efecto de diferentes parámetros Climáticos y de vegetación. *Ingeniería del agua*, doi: 10.4995/ia.2016.4713.

Pérez Arellano, R.; Moreno Pérez, M.F., Roldán Cañas, J. (2016). Comparación de modelos de interceptación de agua en individuos aislados de *Pinus pinea* y *Cistus ladanifer*. Ingeniería del Agua, doi: 10.4995/Ia.2016.4713.

Pérez Arellano, R.; Moreno Pérez, M.F., Roldán Cañas, J. (2016). Estimation of canopy drying time after rainfall using leaf wetness sensor in *Pinus pinea* in a Mediterranean forest in Córdoba, Spain. Acta del European Geosciences Union General Assembly 2016. Viena (Austria).

Pérez Arellano, R.; Moreno Pérez, M.F., Roldán Cañas, J. (2015). Interceptación de la lluvia en individuos aislados de *Pinus pinea* y *Cistus ladanifer*: efecto de diferentes parámetros climáticos. Actas de las IV Jornadas de Ingeniería del Agua. Córdoba.

Pteridophyta–I. (1968). En: Flora de Colombia / Instituto de Ciencias Naturales – Museo de Historia Natural, Facultad de Ciencias; Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Ramos, F., L., Armenteras Pascual D. (2019) Interceptación y escorrentía del bosque altoandino en la reserva forestal protectora "El Malmo". Acta biol. Colomb. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n1.67039>.

Rapp, M.; Romante, F. (1968). "Contribution a l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. I. Egouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis*", Mill. Oecol. Plant.

Reich, P. B., I. J. Wright, J. Cavender-Bares, M. Craine, J. Oleksyn, M. Westoby, y M. B. Walters. (2003). The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. International Journal of Plant Sciences.

- Reich, P. B., D. S. Ellsworth, M. B. Walters, J. Vose, C. Gresham, J. Volin, y W. Bowman. (1999). Generality of leaf traits relationships: a test across six biomes.
- Rodríguez, A, *et al.*, (1998). Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia lam*): metodología e instrumentalización, Norba. Revista de geografía.
- Rodríguez-Iturbe, I., & Porporato, A. (2004). Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems. Soil Moisture and Plant Dynamics. New York: Cambridge University Press.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M. & Romero, M. (2006). Ecosistemas de los Andes colombianos. Segunda edición. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Rollenbeck, R., J. Bendix y P. Fabian. (2008). «Spatial and temporal dynamics of atmospheric water- and nutrient inputs in tropical mountain forests of Southern Ecuador». Second international symposium mountains in the mist: science for conserving and managing tropical montane cloud forest. Hawaii Preparatory Academy (HPA).
- Robles, C., (2004) Estudio taxonómico y ecológico preliminar del género *Schefflera* (Araliaceae) en el área de jurisdicción de CORANTIOQUIA, como base para su conservación y aprovechamiento sostenible Contrato 5806 de 2004 Contratista, Bióloga Universidad de Antioquia Interventor Juan Lázaro Toro, Medellín.
- Sarmiento, C. & León, O. (eds.). (2015). Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Salgado-Negret, B., Paz, H. (2015). Escalando de los rasgos funcionales a procesos poblacionales, comunitarios y ecosistémicos. En: Salgado-Negret, B. (ed). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia.

Sánchez, G, Domingo, F., Moro, M.J., Brenner, A.J., Puigdefábregas, J. (1996). Modelización de la intercepción de lluvia en vegetación dispersa natural semiárida. IV Simposio sobre el agua en Andalucía, Instituto Tecnológico Geominero de España (Ed.), vol. I.

Sterck FJ, Poorter L and Schieving F (2006). Leaf traits determine the growth-survival trade-off across rain forest tree species.

Schneider,C.A. *et al.*, (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nat. Methods.

Schneider,C.A. *et al.*, (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nat. Methods.

Townsend S.A., Douglas M.M. (2004). The effect of a wildfire on stream water quality and catchment water yield in a tropical savanna excluded from fire for 10 years (Kakadu National Park, North Australia). Water Research.

Tobón, C., Gil, G., y Villegas, C. (2008). Aportes de la niebla al balance hídrico de los bosques alto-andinos. En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. J.D.

Tobón, C. (2009). Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN, Quito.

Tobón, C., y Arroyave, F. (2008). «Hidrología de los bosques alto-andinos». En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. J.D. León Ed. 213

- Tobón, C. y G. Gil. (2007). «Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación de los páramos andinos». *Avance en Recursos Hidráulicos*.
- Trujillo, W. F. (2014). *Rasgos Funcionales De Palmas y su Relación con Variables Ambientales Locales en La Amazonía Colombiana*. Bogota, Universidad Pontificia Javeriana. Trujillo.
- Tryon & Tryon, (1982). *Ferns and allied plants with special reference to tropical America*. Springer- Verlag. New York Heidelberg Berlin.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, (2021). *La presencia del fenómeno la niña (2020-2021) y su influencia en el clima reciente del país*.
- Valencia-Leguizamón, J., Tobón, C. (2017). Influence of vegetation on the hydrological functioning of tropical high mountain wetlands basins. *Ecosistemas*: doi: 10.7818/ECOS.2017.26-2.02.
- Villegas, J.C., Tobón, C., y Breshears, D.D. (2008). Fog Interception by non-vascular epiphytes in the tropical cloud forests: dependencies on gauge type and meteorological conditions». *Hydrological Processes*.
- Wang, M.C., C.P. Liu and C.H. Sheu. 2004. Characterization of organic matter in rainfall, throughfall, stemflow, and streamwater from three subtropical forest ecosystems. *Journal of Hydrology*.
- Wang, S., Fu, B., Gao, G., Liu, Y., & Zhou, J. (2013). Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment area of the Loess Plateau, China. *Catena*, <http://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.006>

Westoby, M., D. S. Falster, A. T. Moles, P. A. Vesk, y I. J. Wright. (2002). Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*.

Westoby, M., D. S. Falster, A. T. Moles, P. A. Vesk, y I. J. Wright. (2002). Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*.

Winn. M. F. (2019) . Urban Crowns: Crown Analysis Software to Assist in Quantifying Urban Tree Benefits. U.S. Forest Service, Southern Research Station , Sang-Mook Lee Bradley , Department of Electrical and Computer Engineering , Southern Research Station, file:///C:/Users/xD%20Usuario/Downloads/urbancrowns%20(1).zip., mwinn@fs.fed.us

Wright, S. J., K. Kitajima, N. J. B. Kraft, P. B. Reich, I. J. Wright. D. E. Bunker, R. Condit, J. W. Dalling, S. J. Davies, S. Diaz, *et al.*, 2010. Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees.

Zotz, G. (2016). *Plants on Plants – The Biology of Vascular Epiphytes*. Fascinating Life Sciences.



## 8. ANEXOS

**Tabla 1.** Parámetros de análisis de regresión entre rasgos funcionales y procesos eco-hidrológicos durante las semanas totales, húmedas y secas para cada una de las especies.

<i>Schefflera cuatrecasiana</i>														
Semanas	Variables	<i>AC</i>	<i>hI</i>	<i>hC</i>	<i>hF</i>	<i>VC</i>	<i>DC%</i>	<i>TC%</i>	<i>PF</i>	<i>PS</i>	<i>AF</i>	<i>AFE</i>	<i>%CH</i>	<i>CH</i>
Totales	<u>Esc_Cort</u>	0,5039	0,0331	0,6938	-0,4415	0,5362	0,8432	-0,8432	0,2330	0,5561	0,6023	-0,3926	-0,3393	-0,1400
	<u>Pre_int</u>	0,1692	-0,5340	0,3068	-0,8056	0,2126	0,7296	-0,7296	0,6580	0,8242	0,8741	-0,6699	0,0038	0,3231
Húmedas	<u>Esc_Cort</u>	0,5374	-0,0235	0,7090	-0,5150	0,5718	0,7921	-0,7921	0,2651	0,5452	0,6196	-0,3775	-0,2582	-0,0750
	<u>Pre_int</u>	0,2874	-0,4898	0,4045	-0,8239	0,3291	0,6810	-0,6810	0,6037	0,7462	0,8340	-0,5824	0,0349	0,3061
Secas	<u>Esc_Cort</u>	-0,689	-0,6305	-0,5814	-0,3006	-0,6799	0,4779	-0,4779	0,6476	0,7981	0,5964	-0,7897	-0,0951	0,3305
	<u>Pre_int</u>	-0,350	-0,6178	-0,3474	-0,4478	-0,3909	0,5955	-0,5955	0,5582	0,7970	0,6352	-0,6950	-0,2558	0,1798
<i>Cyathea cf. andina</i>														
Semanas	Variables	<i>AC</i>	<i>hI</i>	<i>hC</i>	<i>hF</i>	<i>VC</i>	<i>DC%</i>	<i>TC%</i>	<i>PF</i>	<i>PS</i>	<i>AF</i>	<i>AFE</i>	<i>%CH</i>	<i>CH</i>
Totales	<u>Esc_Cort</u>	0,3738	-0,8053	0,2715	-0,8062	0,4661	-0,4797	0,4797	0,2529	0,2588	0,0542	-0,2358	-0,2648	0,2350
	<u>Pre_int</u>	0,1327	-0,5203	0,2816	-0,5238	0,2932	-0,5563	0,5563	0,4025	0,4252	0,0693	-0,3895	-0,4659	0,3560
Húmedas	<u>Esc_Cort</u>	0,2268	-0,6667	0,1694	-0,6662	0,3036	-0,5385	0,5385	0,4209	0,4403	0,0405	-0,3772	-0,4557	0,3781
	<u>Pre_int</u>	0,0990	-0,4672	0,2469	-0,4702	0,2498	-0,5567	0,5567	0,4441	0,4678	0,0816	-0,4201	-0,5089	0,3948
Secas	<u>Esc_Cort</u>	0,4924	-0,8798	0,3119	-0,8810	0,5722	-0,3593	0,3593	0,1015	0,0936	0,1000	-0,0800	-0,0811	0,1082
	<u>Pre_int</u>	0,2629	0,2736	0,2070	0,2656	0,3427	0,1738	-0,1738	0,1340	0,0546	0,8228	0,0361	-0,0289	0,2352