



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES

MANUEL JOSÉ ROJAS RIVERA

**“Rendimiento hídrico en *Escallonia paniculata* y *Weinmannia tomentosa*. Caso de estudio
Reserva Biológica Encenillo, Fundación Natura”**

AÑO 2022

"Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo"

Jacques Y. Cousteau

Resumen

Los rasgos funcionales de plantas pueden utilizarse para examinar estrategias en el uso de recursos, además de proporcionar información sobre respuestas de las especies a condiciones ambientales y su efecto en el funcionamiento del ecosistema. Uno, de los rasgos funcionales, es la capacidad de tener un rendimiento hídrico óptimo. Debido a la gran diversidad de plantas, los datos de rasgos de rendimiento hídrico óptimo aún son inexistentes para muchas especies. El objetivo de esta investigación fue determinar las diferencias en el rendimiento eco hidrológico entre individuos de las especies *Weinmannia tomentosa* (Encenillo) y *Escallonia paniculata* (Tíbar). Para ello se realizó la comparación entre tres individuos, de cada especie en diferentes etapas de crecimiento. Se colectaron datos de escurrimiento fustal, precipitación por interceptación de dosel y tasa de evapotranspiración utilizando el porómetro. Como resultado se evidenció mayor intercepción de dosel y escurrimiento fustal del Encenillo comparado con el Tíbar, valores que se ven afectados por área foliar. El estudio tuvo un análisis probabilístico-cuantitativo, en el cual llevo a cabo una prueba de T-student que permitió evidenciar la normalidad que existía en los valores y pudo demostrar que existen diferencias en los valores de área foliar. La ecología funcional es útil para avanzar en el conocimiento de las funciones que tienen las diferentes especies en los procesos eco hidrológicos. Es de gran importancia incluir una mayor diversidad funcional de plantas nativas en proyectos de restauración con el fin de asegurar diferentes afectaciones en los procesos eco hidrológicos, y así garantizar la recuperación y funcionamiento de los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Abstract

Plant functional traits can be used to examine resource use strategies and provide information on species responses to environmental conditions and their impact on ecosystem functioning. One of them is the ability to have optimal water performance. Due to the great variety of plants, trait databases still have information gaps. The main objective of the research was to determine, through the analysis of different functional traits, the differences that exist at the level of eco-hydrological performance between individuals of the species *Weinmannia tomentosa* and *Escallonia paniculata*. The analysis consists of evaluate three individuals, in different stages of growth, of each species in which data were collected such as stem runoff, precipitation by canopy interception and evapotranspiration rate using the porometer. As a result, there is evidence of a superiority in values of canopy interception and stem runoff of Encenillo over Tíbar, values that are affected by a canopy area, size of the leaves, among others. A T-student test was carried out that allowed to show the normality that existed in the values and was able to demonstrate that there are differences in the leaf area values, which was influential when carrying out the data collection. Functional ecology is useful to advance in the knowledge of the functions that different species have in eco-hydrological processes. It is of great importance to include a greater functional diversity of native plants in restoration projects to ensure different impacts on eco-hydrological processes, and thus guarantee the recovery and functioning of ecosystems over time.

Introducción y problema de investigación

Durante los últimos años, los bosques altoandinos y páramos han venido presentando una degradación intensiva como resultado de la pérdida total o parcial de la vegetación (Acuña, 1996), lo que ha provocado alteración en la regulación hídrica. Dicha transformación es consecuencia de procesos asociados al cambio climático, agricultura, ganadería y minería (Garavito, 2015). Con el auge de la industrialización y el incremento constante de la población, se ha vuelto excesivamente demandante el requerimiento de los servicios del agua y la puja por alcanzar una óptima calidad de esta (Chapman, 1996). Para el humano, el agua es un componente fundamental para el desarrollo de su vida y con ello las fuentes que proveen este servicio ecosistémico. Los principales requerimientos que han emergido a través del tiempo son para consumo, higiene personal, piscicultura, agricultura, navegación y generación de energía (Chapman, 1996).

El bosque altoandino es un área boscosa, con árboles de bajo porte, que se presentan normalmente en laderas abrigadas y húmedas. Se ubican entre los 2.700 y 3.500 metros de altitud, caracterizándose por presentar temperatura media entre 6°C a 15°C, escasa densidad del aire, baja presión atmosférica y la presencia de nubosidad. La nubosidad es debida a que el aire caliente y saturado de las zonas bajas asciende y se condensa en estos bosques, lo que les impone un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico por propician la esorrentía y el aporte de aguaas familias de plantas más representativas de estos bosques son la *Lauraceae*, *Melastomataceae*, *Rubiaceae* y *Asteraceae* (Cuatrecasas, 1989, Barbosa et al., 2018 & Velasco & Vargas, 2008).

Rangel, (2000) hace énfasis en la franja de alta montaña categorizando al bosque Alto andino en una franja de 3000-3200 m; este tipo de ecosistemas es estratégico ya que presta gran variedad de servicios ecosistémicos, principalmente la regulación hídrica, almacenamiento de carbono y fertilidad de los suelos, además que por sus condiciones alberga endemismos y posee altos niveles de biodiversidad.

La vegetación es un parámetro fundamental en el estudio del balance hídrico de las coberturas, debido a que, a través de los procesos fisiológicos de las plantas, se absorbe y se transpira el agua que llega al suelo. Las relaciones entre la estructura y composición de la vegetación y los flujos hidrológicos en un paisaje tienen un efecto directo sobre la provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos (Braman et al., 2007).

Fundación Natura, es una fundación de la sociedad civil, sin ánimo de lucro, que tiene como objetivo contribuir a la preservación del patrimonio natural colombiano, sus funciones ecológicas, y el bienestar de las comunidades locales que dependen de ellas. La Reserva Biológica Encenillo (RBE), se constituye en el 2007 por medio de la donación de los predios, propiedad de los hermanos Hendrik y Marianne Hoeck, a la Fundación Natura en el 2007. La extensión inicial de la reserva fue de 195 hectáreas, pero gracias a donaciones adicionales de los hermanos Hoeck y de la Unión Internacional para la Conservación para la Naturaleza (UICN), actualmente cuenta con 206 hectáreas, con el propósito de conservar la perpetuidad de los bosques de encenillo y la fauna y flora presente en ellos. En parte de lo que hoy es la Reserva Encenillo funcionó, hasta 1992, una mina explotadora y transformadora de roca caliza (Natura,2015). En el vivero del Convenio EPM – Fundación Natura, ubicado en la Reserva Biológica Encenillo, municipio de Guasca (Cundinamarca), se implementan acciones de propagación para las Compensaciones ambientales de la línea de transmisión de energía eléctrica Nueva Esperanza, lo que lo ha convertido en un centro de investigación y fomento en propagación y viverismo de plantas nativas de alta montaña. Su operación inició en 2017 con el fin de propagar más de 100.000 individuos de cerca de 70 especies nativas para la restauración ecológica del bosque altoandino y páramo (Natura,2015).

Para favorecer la toma de decisiones para la restauración ecológica se ha detectado la necesidad de analizar el rendimiento hídrico de las especies, como elemento importante para mantener servicio de aprovisionamiento. A través de los procesos de restauración ecológica, se busca que los bosques degradados recuperen su cobertura, su diversidad y su función ecológica (Montoya et al., 2012; Knoke et al., 2016; Meli et al., 2017; Bonnesoeur et al., 2019). Los proyectos de restauración ecológica han prestado más atención a la restauración de la composición y estructura, dejando de lado la restauración funcional del ecosistema, a la vez que se asume que es una propiedad emergente de la combinación entre la estructura y la composición (Aronson et al., 2007; Murcia and Guariguata, 2014; Locatelli et al., 2015; Bonnesoeur et al., 2019). Tal y como lo exponen Groot y colaboradores (2002), la regulación hidrológica, como función de los ecosistemas, se puede definir como la atenuación de los extremos; es decir la baja variabilidad alrededor de los valores medios en los extremos hidrológicos (Bruijnzeel, 2004; Brauman et al., 2007; Asbjornsen et al., 2011; Salazar et al., 2018). La regulación resulta de las interacciones que existen entre el ecosistema y el ciclo hidrológico, lo cual se relaciona con la redistribución de la precipitación en interceptación y precipitación neta, que reduciendo la pérdida de agua de por escorrentía superficial

directa y por consiguiente aumentando la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo (León, 2001; Levia y Frost, 2003; Bruijnzeel, 2004; Rodríguez-Iturbe and Porporato, 2004). En consecuencia, el tipo de vegetación y la estructura del ecosistema es considerado como un indicador de primer orden de la capacidad de regulación hidrológica de un ecosistema.

La restauración de funcionales hidrológicas es altamente dependiente en la selección de especies, teniendo en cuenta su función en el ecosistema (Laughlin, 2014). Un ejemplo son las especies que pueden crecer más rápido y recuperar la función hidrológica del suelo con costos adicionales por su alta demanda de agua; sin embargo, un efecto contrario a ello es la afectación directa al almacenamiento de agua en el suelo y por consiguiente, en algunos casos, que esto se llegue a escalar a nivel ecosistémico (Bruijnzeel, 2004; Bonnesoeur et al., 2019; Lozano-Baez et al., 2019).

La conversión de bosques en otros usos del suelo puede dar origen, por ejemplo, a un aumento de la escorrentía superficial en la estación lluviosa (lo que conlleva a desastres naturales) y menor caudal bases y humedad del suelo durante las estaciones más secas, (Roa-García et al., 2011; García-Leoz et al., 2017), lo cual tiene efectos en la pérdida de la capacidad regulatoria, comprometiendo la disponibilidad de agua para los ecosistemas y la sociedad. De tal forma será requerido un programa de restauración para recuperar la función hidrológica en los ecosistemas degradados, como un mecanismo tanto para proteger los ecosistemas, como para mantener la provisión de los diferentes servicios que estos proveen.

En este estudio se evaluaron diferentes variables, tales como la interceptación de lluvia por el dosel, escurrimiento fustal, e índice de área foliar que inciden en el rendimiento hídrico de cada una de las especies (cita). Dicha investigación es importante ya que permite entender el potencial del rendimiento hídrico de las especies, dando elementos para tomar decisiones en procesos de restauración, teniendo en cuenta los servicios ecosistémicos. De tal forma, se planteó la siguiente pregunta problema ¿Cuál es el rendimiento hídrico en especies nativas de bosque altoandino *Escallonia paniculata* y *Weinmannia tomentosa* en la Reserva Biológica Encenillo? la cual se resolvió a través de los siguientes objetivos.

Objetivo General

- Comprender, basado en el rendimiento hídrico, el rol de las dos especies dentro del ecosistema de bosque altoandino.

Objetivos específicos:

- Determinar el rendimiento hídrico de cada una de las especies.
- Analizar la relación entre los diferentes rasgos funcionales con procesos hidrológicos.
- Exponer la importancia de las especies de interés para la recuperación de los servicios ecosistémicos.

Marco referencial

Ecosistema de bosque altoandino

Los ecosistemas altoandinos son reconocidos como centros de diversidad y especialización a nivel mundial; sin embargo, estos han sido sometidos a disturbios debido al pastoreo de ganado vacuno y ovino, a los cultivos de papa, a las quemas 52 periódicas y la invasión de especies exóticas, entre otros (Cortés et al., 1999; Cortés, 2003). Los bosques Andinos cumplen un rol clave en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, regulan el clima y el suministro de agua, atenúan las inundaciones y las sequías, mitigan las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI) y mantienen los hábitats que permiten la permanencia a largo plazo de la biodiversidad. Sin embargo, presentan vacíos de información importantes en comparación con otros ecosistemas forestales (p.ej. bosques de tierras bajas). Estos vacíos se deben, en parte a la complejidad de estos ecosistemas, y a los diferentes disturbios tanto naturales (p.ej. deslizamientos) como antrópicos (p.ej. deforestación y degradación) (Cuesta et al., 2012) que presentan.

***Escallonia paniculata* (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.**

- **Reino:** Plantae
- **Filo:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Escalloniales
- **Familia:** Escalloniaceae

- **Género** *Escallonia*

Es una especie de planta arbórea nativa que se encuentra distribuida entre los 1500-3800 metros de altitud. Este árbol alcanza 15 m de altura. Su tronco alcanza 20 cm de diámetro. Su corteza es fisurada. Sus ramas y hojas nuevas son de color rojizo. Sus hojas son simples, alternas, son de forma oblonga a lanceolada, están agrupadas al final de las ramas, miden de 4 a 8.5 cm de largo por 1 a 2.5 cm de ancho, presentan ápice y base agudas y borde finamente aserrado. Las hojas viejas se tornan de color rojizo antes de caer. Sus inflorescencias se disponen en panículas terminales de hasta 10 cm de largo, presentan ejes rojizos con pubescencia diminuta. Sus flores son pequeñas, tienen pétalos blancos de forma oblonga. Sus frutos son cápsulas pequeñas en forma de copa, de color café oscuro al madurar. Sus semillas son numerosas y diminutas (Toro, et al 2002). Esta especie es usada comúnmente en procesos de restauración ecológica como especie pionera; sin embargo, en algunos casos cumple la función de protección de fuentes de agua, uso ornamental, cerca viva e incluso de rompevientos. Adicionalmente, sirve como fuente de combustible o incluso de material para la construcción de viviendas o utensilios. Se encuentra distribuida a lo largo de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Weinmannia tomentosa

- **Reino:** Plantae
- **Filo:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Rosales
- **Familia:** Cunoniaceae
- **Género:** *Weinmannia*

Especie arbórea nativa, que puede ser encontrada en los andes de Colombia y Venezuela. Se encuentra entre los 2.400 y los 3.700 m.s.n.m. Esta especie alcanza una altura máxima de 25 m y un diámetro máximo de tronco de 70cm. (CAR 2004). Las hojas miden 3,8 cm de largo, son compuestas-opuestas; están distribuidas en cuatro; las (tetrásicas), su eje central (raquis) es alado, poseen entre cinco y ocho pares de folíolos y terminan en uno (imparipinadas), miden 1 cm de largo, son asimétricos, de color verde opaco por su frente. Su borde es curvado hacia su revés (revoluto), poseen vellosidades suaves (pubescentes), terminan en una punta roma y su base es oblicua; presentan estípulas connadas de color verde rojizo que albergan, antes de abrirse, insectos

que depositan allí sus huevos (CAR. 2004). Las inflorescencias son espigas pequeñas (4-6 cm) blanco-crema, al pasar a fruto se tornan rojizas y al madurar se tornan color caramelo con apariencia seca (DAMA. 2000). Los frutos del encenillo son dispersados por la acción del viento. Estos se deben al tamaño muy pequeño (1 mm) con una cubierta pilosa que le permite flotar por más tiempo en el aire; estas maduran en pequeñas cápsulas que se abren al madurar. La floración ocurre de agosto a noviembre y los frutos aparecen de octubre a enero (DAMA, 2000).

Sus usos más comunes son la leña y la obtención de carbón. De igual manera es una madera de gran importancia en la construcción debido a su alta resistencia, empleada para hacer vigas, tablas, postes para cercas. Asimismo, el tanino contenido en su corteza sirve como tinte para curtir pieles de un color rojizo.

Rasgos funcionales

Los rasgos funcionales son características ecológicas, morfológicas o fisiológicas que influyen en el desempeño de la especie dentro del ecosistema (Pulido 2014). Estas características permiten explicar distintas estrategias que tienen las especies para responder o enfrentar diferentes condiciones ambientales. Cabe recalcar que el consumo y eficiencia hídrica de las especies vegetales viene dado por sus rasgos funcionales (Pulido 2014).

Índice de área foliar (IAF)

El Índice de Área Foliar (IAF) proporciona información acerca de la cantidad de superficie fotosintética presente con relación a la superficie total del ecosistema o área de estudio (Aguirre-Salado et al.,2011). El IAF tiene una relación directa con procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración, y la productividad, ya que son las estructuras foliares las que interceptan y por tanto regulan la cantidad de luz que va penetrando a niveles más bajos del dosel, misma que a su vez controla los procesos eco fisiológicos foto dependientes de la vegetación (Aguirre-Salado et al.,2011). Es importante mencionar, que para dicho calculo es necesario realizar cálculos del área de una elipse para que la aproximación en el valor del área foliar sea más certera.

Interceptación de lluvia por densidad de dosel

La interceptación de precipitación por el dosel del bosque tiene un impacto significativo sobre el ciclo hidrológico, considerando que el 31% de la superficie terrestre tiene cobertura forestal (FAO

2015) y que aproximadamente entre 10 - 50% de la precipitación que cae sobre los bosques es interceptada por el dosel y evaporada de regreso a la atmósfera, excluyéndola de formar parte del ciclo hidrológico terrestre. La interceptación de la lluvia es el proceso por el cual las copas de árboles y arbustos interceptan las gotas de lluvia a través de sus hojas y tallos (Cárdenas et al. 2017). Esto implica que una parte del agua de lluvia no cae directamente sobre la superficie del suelo y, por lo tanto, no llega a formar parte de la escorrentía superficial o de la infiltración del suelo. Cuanto mayor es la densidad de dosel, mayor espacio es ocupado por las copas de los árboles y arbustos, convirtiéndose en un factor determinante de la cantidad de agua efectiva que llega a al suelo (Cárdenas et al. 2017).

De igual manera es importante tener presente la siguiente ecuación con el fin de determinar la interceptación de dosel sobre la disponibilidad hídrica que tendrá el individuo (Schnabel, Susanna & Rodríguez, Ana 1998).

$$I = P - (T + E)$$

Donde:

I= Agua interceptada por el arbolado.

P= Agua de precipitación incidente o bruta.

T= Agua de trascolación.

E= Agua de escorrentía cortical.

Precipitación incidente (P): Representa la cantidad total de agua que cae sobre la cubierta de los árboles.

Agua interceptada (I): Es la parte de la precipitación que queda retenida por el árbol y pasa de nuevo a la atmósfera por evaporación.

Agua de trascolación (T): Corresponde a la precipitación que llega directamente al suelo entre las hojas de los árboles o cae, después de ser interceptada, por goteo.

Agua de escorrentía cortical (E): Es el agua que una vez captada por el árbol escurre a lo largo del tronco.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos (SE) corresponden a los bienes y servicios que los ecosistemas proveen a la sociedad. Estos beneficios se encuentran directa o indirectamente ligados a las funciones que los ecosistemas realizan y se agrupan en cuatro categorías: i) servicios de provisión (alimentación, fibra, combustible), ii) servicios de regulación (regulación climática, calidad del agua y del aire), iii) servicios culturales (diversidad, cultura, religión) y iv) servicios de soporte (formación de suelo, fotosíntesis) (Zúñiga, et al., 2018).

Los procesos eco hidrológicos que ocurren mientras el agua transita por la vegetación de los ecosistemas modifican la cantidad, calidad, localidad y temporalidad del flujo hídrico, y, por lo tanto, mejoran o degradan la provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos (Brauman et al., 2007). Todos los ecosistemas terrestres tienen un efecto sobre el ciclo hidrológico y, por lo tanto, los procesos hidrológicos de un paisaje, como la interceptación de la precipitación, son afectados por el cambio de uso del suelo y los distintos tipos de coberturas (Crockford y Richardson, 2000)

En la investigación realizada por Cano y colaboradores (2021) se evaluaron los efectos de diez diferentes especies nativas del bosque y su incidencia en el flujo de precipitación y precipitación de tallo. Dicho procedimiento fue realizado a través del poder determinar las diferencias entre los flujos de caída de precipitación y flujo de tallo o escurrimiento fustal y su relación con los rasgos funcionales entre las especies. Del mismo modo, evaluaron la asociación entre los rasgos funcionales estructuras y morfológicos con los procesos eco hidrológicos. Se realizaron mediciones en diferentes conjuntos de rasgos funcionales a nivel de hoja, dosel y tronco y junto con ello la precipitación que estaba dividida en caída directa y escurrimiento fustal.

Continuando con dicho proceso, se realizaron procesos asociativos para establecer relaciones entre los procesos eco hidrológicos y rasgos funcionales que evidenciaban como las especies pueden contribuir de manera diferencial y complementaria a los procesos del ecosistema a través de estos rasgos funcionales trabajados. Dicha investigación permite y contribuye a mejorar la toma de decisiones sobre la selección de especies para procesos de restauración enfocados en la recuperación en procesos de regulación hídrica.

Área de estudio

La Reserva Biológica Encenillo (RBE), propiedad de la Fundación Natura, se encuentra ubicada en la vereda el Salitre perteneciente al municipio de Guasca-Cundinamarca. Cuenta con un área de 206 ha la cual se encuentra en un rango altitudinal entre los 2.800 a 3.200 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 12°C y una precipitación media anual de 1.300 mm al año. La importancia de la RBE radica en que se encuentran relictos naturales de bosques altoandinos de encenillo, los cuales son ecosistemas característicos de la cordillera oriental colombiana, y se convierte en refugio para numerosas especies de aves migrantes residentes y migratorias al igual que sirve como refugio para diferentes mamíferos como zorro de paramo, armadillos, coatíes, entre otros.

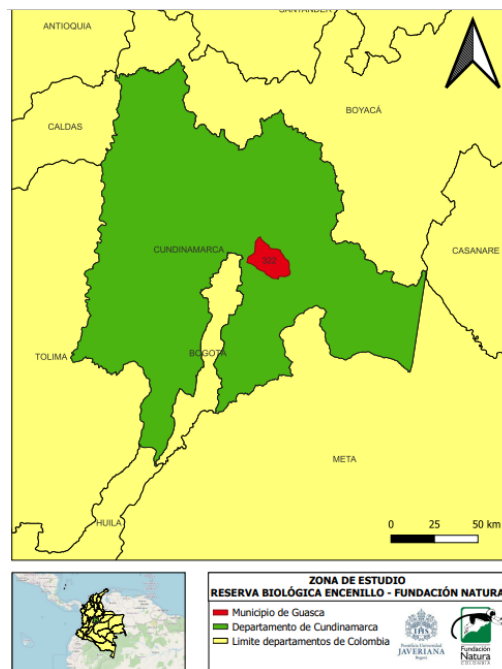


Figura 1. Ubicación área de estudio. Municipio de Guasca en el departamento de Cundinamarca en los andes centrales colombianos.

Aproximación metodológica

El estudio es de tipo descriptivo-comparativo, que permitirá contrastar los diferentes cálculos realizados y por determinar el rendimiento hídrico de las dos especies a estudiar. De igual manera se usan variables cuantitativas continuas como lo son la precipitación, temperatura y humedad

relativa. En la Tabla 1 se enlistan los materiales facilitados, en su mayoría, por el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana.

Tabla 1.

Materiales y equipos necesarios para la ejecución del análisis del rendimiento hídrico.

Material / Equipo	Cantidad
Pluviómetro	6
Porómetro (Leaf porometer-Decagon devices)	1
Manguera (mts)	6
Formato de consignación de información	4
Cinta amarilla marcadora	1
Cinta enmascarar (rollo)	1
Marcador	1

Nota: Materiales otorgados en su mayoría por el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana

Para el desarrollo del proyecto investigativo se realizó la toma y análisis de datos en la zona de estudio Reserva Biológica Encenillo, entre el mes de Julio y septiembre del 2022. Se desarrolló en esta reserva ya que el investigador realizó su práctica social y es donde allí surge la inquietud.

La unidad de muestreo fueron tres individuos (3), por cada especie que se investigaron (*Escallonia paniculata*, *Weinmannia tomentosa*). Para cada uno de los individuos se le realizó un cuadrante de protección y aislamiento de 2m x 2 m con el fin de aislar cualquier tipo de intervención externa. En la Figura 2 se muestra de forma esquemática la toma de datos realizada. Se instalaron 3 pluviómetros por individuo por especie. Un pluviómetro fuera de su área de dosel (A), uno justo debajo de su dosel (B) y otro que su captación de agua proviene de la manguera que rodea el tronco del árbol (C). Esto se repite por individuo de cada especie.

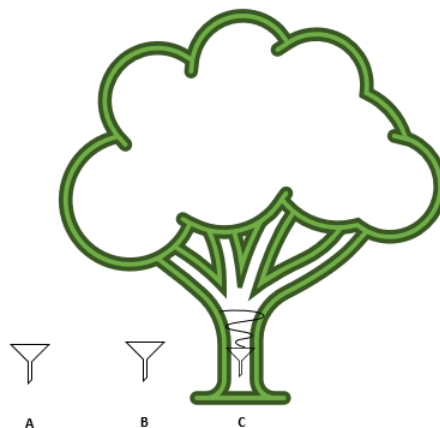


Figura 2. Ilustración de la instalación de equipos

Nota: Tener en cuenta que el árbol también capta lluvia horizontal (neblina) captura que no es registrada por los pluviómetros y requiere de metodologías específicas para su registro. De igual manera tener en cuenta que hay que calcular el área de la copa del árbol (calculado como una elipse).

Calculo Índice de Área Foliar (IAF)

Para realizar el cálculo del IAF se usó la herramienta ImageJ con el fin de poder hacer uso de fotos 180° de cobertura de dosel para así poder obtener el índice. Las fotos fueron tomadas con un lente tipo ojo de pez o gran angular, que permitiera una mayor cobertura a la hora de tomar la foto. Para la toma de la foto fue importante situarse bajo la copa junto al tronco para así obtener la mayor cobertura en la fotografía. Es ideal tomar las fotos entre las 11 am y 1 pm con el fin de tener una mayor exposición de luz y que el contraste en la foto sea más fuerte. Adicionalmente, se determinó el área foliar (AF) a través de la recolección de 10 muestras de hojas por cada individuo. Es importante recalcar que la toma de estas muestras fue en zonas de dosel y en zonas bajas de dosel con el fin de tener un amplio espectro de área foliar de cada una de las hojas. Un aspecto para resaltar es a la hora de realizar la toma de fotos para poder hacer su respectivo análisis en el software Image J. En primera parte, es ideal tener muestras de las hojas sin raquis, ya que estos no forman parte del área foliar. Seguido a ello es muy importante una superficie de contraste para evitar errores en la determinación de área foliar usando el software. Continuando con dicho análisis, se ubicarán las 10 hojas de manera que no exista contacto entre las hojas y a la hora de tomar las fotos evitar que existan sombras, esto de nuevo, con el fin de evitar aspectos que alteren el valor a calcular. Se procede a tomar la foto usando el fondo blanco y en uno de sus lados (de la hoja blanca) poner una regla o tener un sistema de referencia de unidades para que así el software pueda determinar el área foliar.

Estimación de la evapotranspiración de los árboles

Para determinar la tasa de evapotranspiración en cada uno de los individuos, se utilizaron valores de conductancia estomática que se midieron usando un porómetro (SC-1 Leaf Porometer Systems, Decágon Revises, Pullman, Wa) (Tarin, et al., 2014). Los valores obtenidos con el porómetro se

encontraban en valores $\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, de tal forma, se realizó la conversión de estos datos a tener valores de $\text{gr}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ya que se desea obtener la tasa de evapotranspiración del árbol por día.

$$\frac{\text{mmol}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{gr}}{\text{m}^2 \text{h}}$$

Para el calculo, se incluyeron los valores de las siguientes constantes:

Peso atómico Hidrogeno = 2

- Oxigeno = 16
- Peso de H₂O por mol = 18
- 1 hora = 3600 segundos

$$\frac{\text{mmol}}{\text{m}^2 \text{s}} \times \frac{1 \text{ mol}}{1000 \text{ ml mol}} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}}$$

$$\frac{1 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ gr H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ L H}_2\text{O}}{1000 \text{ ml H}_2\text{O}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ H}}$$

$$\frac{24 \text{ H}}{1 \text{ dia}} \times \frac{\text{L H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

Para la recolección de datos de precipitación (H₂O) es importante considerar que se manejan valores en litros por metro cuadrado por cada día de estudio. Para ello se realizó la siguiente conversión.

$$\text{mm} \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

Resultados:

Durante los meses de Julio a Septiembre, se encontraron valores medios de precipitación de 5.45 mm. Este valor perteneciente a una temporada de lluvia marcada con picos en los primeros y últimos días de Julio, al igual que se encuentran valores altos en inicios y mediados de Agosto. Septiembre fue caracterizado por un mes con una tendencia a la baja en precipitación. Sin embargo, el mes que registro una mayor precipitación fue Agosto con 6.31 mm de lluvia.

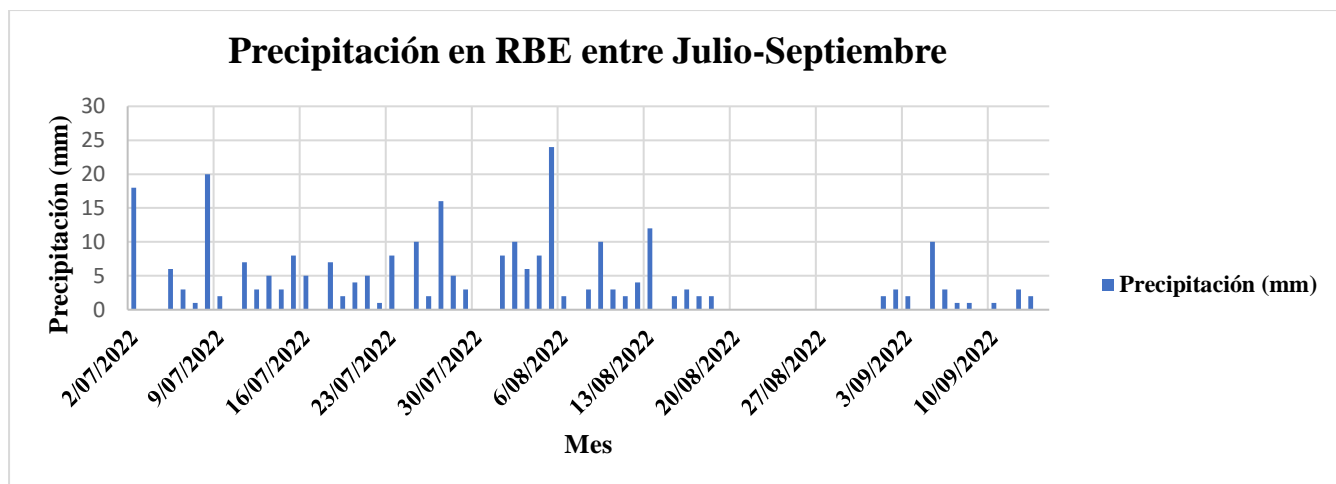


Figura 3. Precipitación entre Julio y septiembre en la Reserva Biológica Encenillo.

La recolección de datos se realizó de manera diaria a las 5:30 pm con el fin de, a la hora de realizar la medición, no hubiera una tendencia a que factores ambientales la evaporación afectaran los datos.

En la Tabla 2 se muestra los resultados del área foliar, luego de realizar los diferentes cálculos en el software Image J.

Tabla 2.

Valor bruto y promedio de área foliar por especie

HOJA	Área Encenillo (cm ² -)	Área Tíbar (cm ²)
1	3.121	13.834
2	6.398	13.349
3	6.558	12.215
4	4.282	14.567
5	5.971	12.785
6	4.527	13.456
7	4.737	14.745
8	5.257	13.721
9	3.29	12.215
10	5.001	13.756
Promedio	3.121	13.4643

Nota: Valores en cms²

Basado en los valores anteriores, a través del software R, se realizaron pruebas de desviación estandar y una prueba T-Student con el fin de determinar si existe o no igualdad en los valores de la media al igual que demostrar la normalidad de los datos.

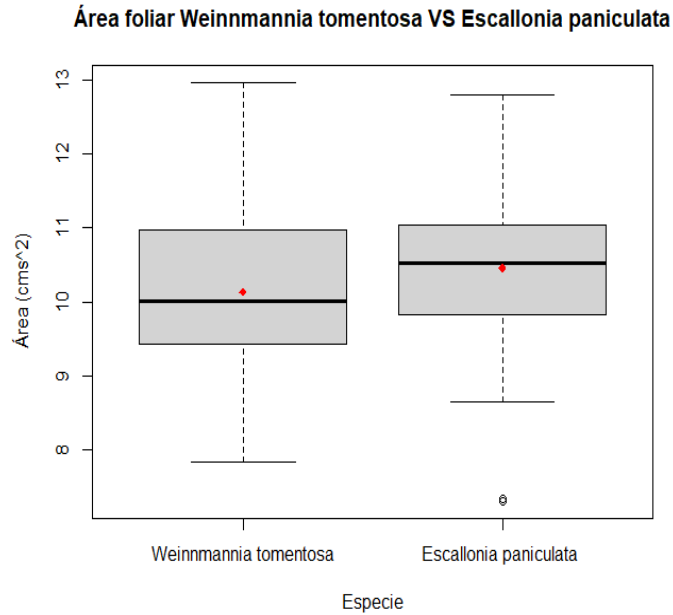


Figura 4. Comparación área foliar entre *Weinmannia tomentosa* y *Escallonia paniculata*.

Tabla 3

Área de dosel por especie

Zona: RBE	<i>Escallonia paniculata</i>	<i>Weinmannia tomentosa</i>
Área	123.53	58.76

Nota: Área en cms²

Teniendo en cuenta los valores reflejados en la Tabla 2 y dando continuidad al procedimiento de cálculo de área foliar, el resultado adjunto en la Tabla 3, muestra el área de dosel por especie luego de haber hecho uso de la ecuación para el cálculo de área de una elipse.

Tabla 4.

Promedio de evapotranspiración por especie

Zona: RBE	<i>Escallonia paniculata</i>	<i>Weinmannia tomentosa</i>
Evapotranspiración	364.96	309.08

Nota: Valor presentado en $\frac{g}{m^2h}$

Como se muestra en la Tabla 4, esos fueron los valores de promedio de la tasa de evapotranspiración por especie. Fueron el promedio de 100 datos que fueron recolectados a lo largo de 20 días, con 5 tomas diarias en el mismo rango horario.

A continuación, se presentan las gráficas resultado de comparaciones entre especies, diferentes estadios y rasgos funcional, lo cual fue de gran importancia para dar respuesta a los diferentes objetivos planteados a lo largo de la investigación.

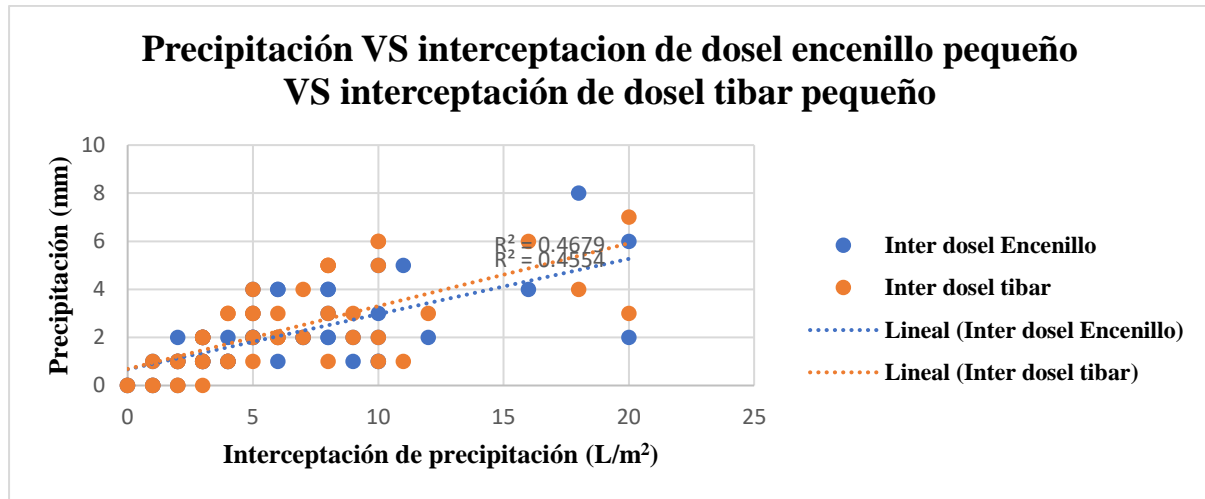


Figura 5. Porcentaje de interceptación frente a la precipitación encontrada para *Weinmmania tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos pequeños)

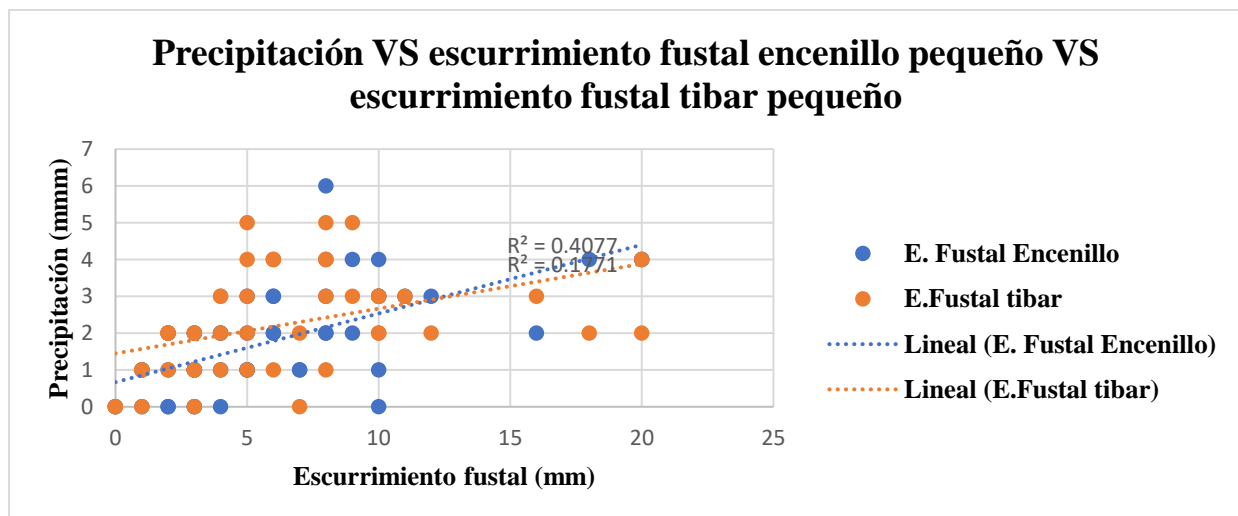


Figura 6. Porcentaje de escurrimiento fustal frente a la precipitación encontrada para *Weinmmania tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos pequeños)

Las siguientes graficas son los resultados que hacen especial énfasis en la comparación que se dio entre individuos jóvenes.

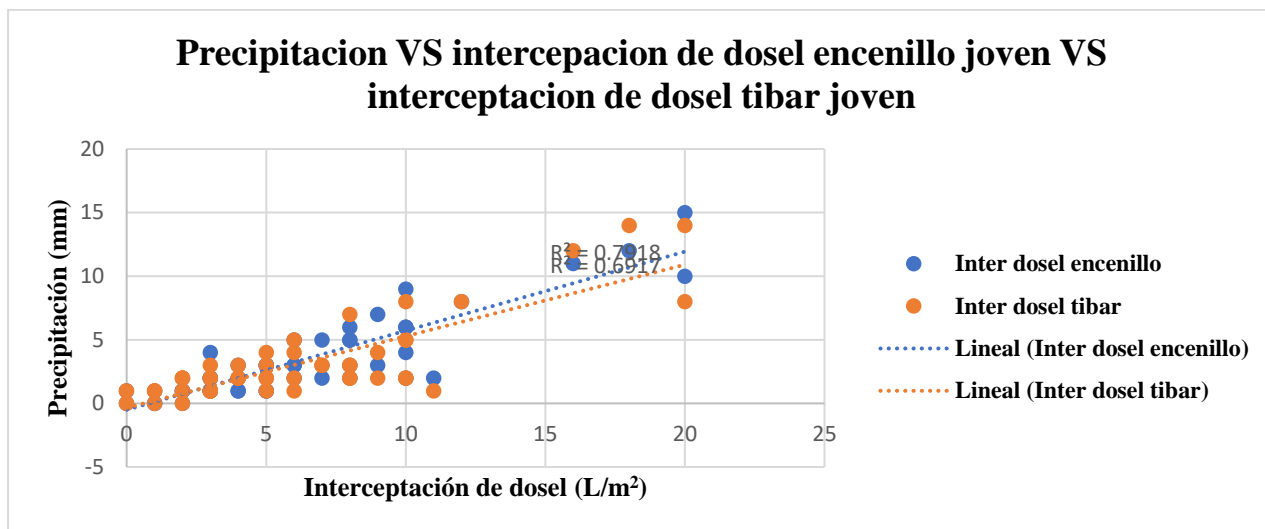


Figura 7. Porcentaje de intercepción frente a la precipitación encontrada para *Weinmannia tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos jóvenes)

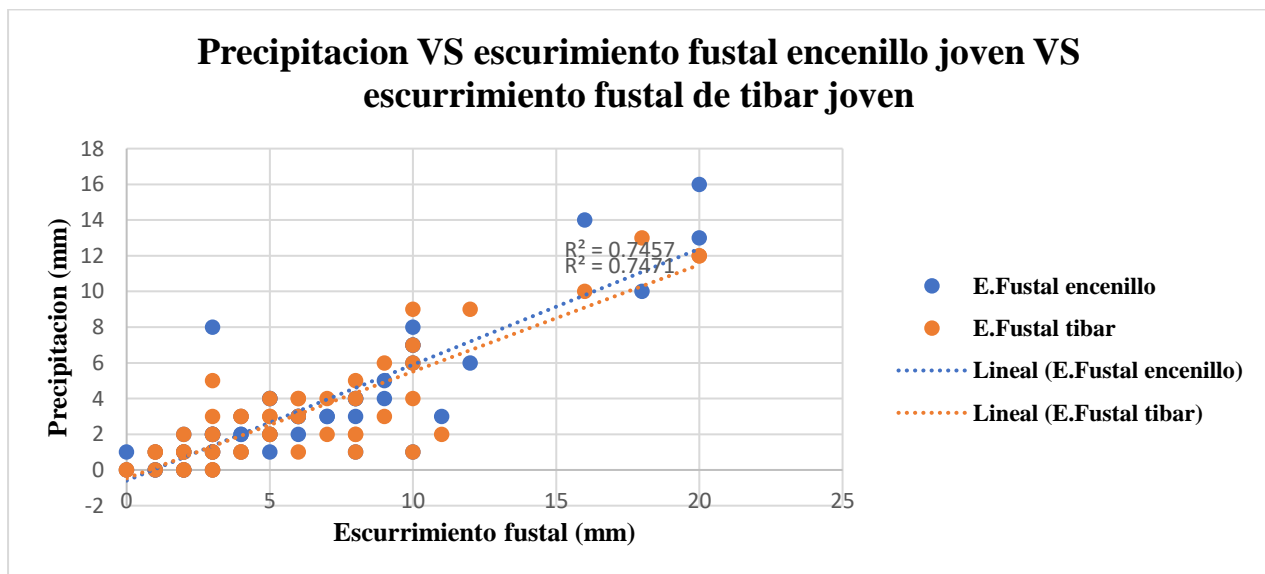


Figura 8. Porcentaje de escurrimiento fustal frente a la precipitación encontrada para *Weinmannia tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos jóvenes).

Dando continuidad al análisis hídrico, se muestran los resultados en individuos maduros, aquellos que se encontraban en el bosque.

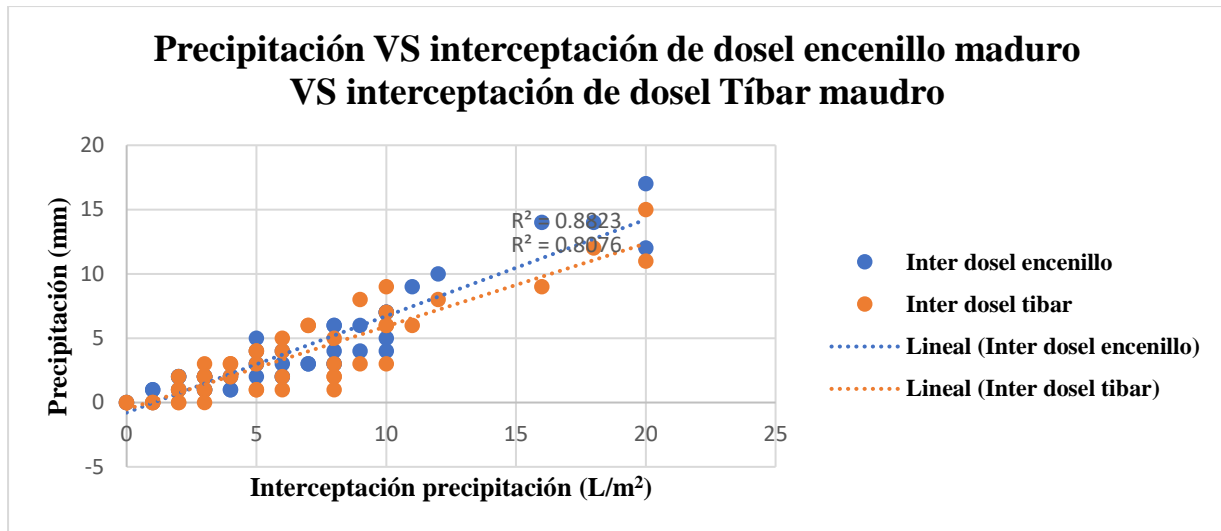


Figura 9. Porcentaje de interceptación frente a la precipitación encontrada para *Weinmannia tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos maduros)

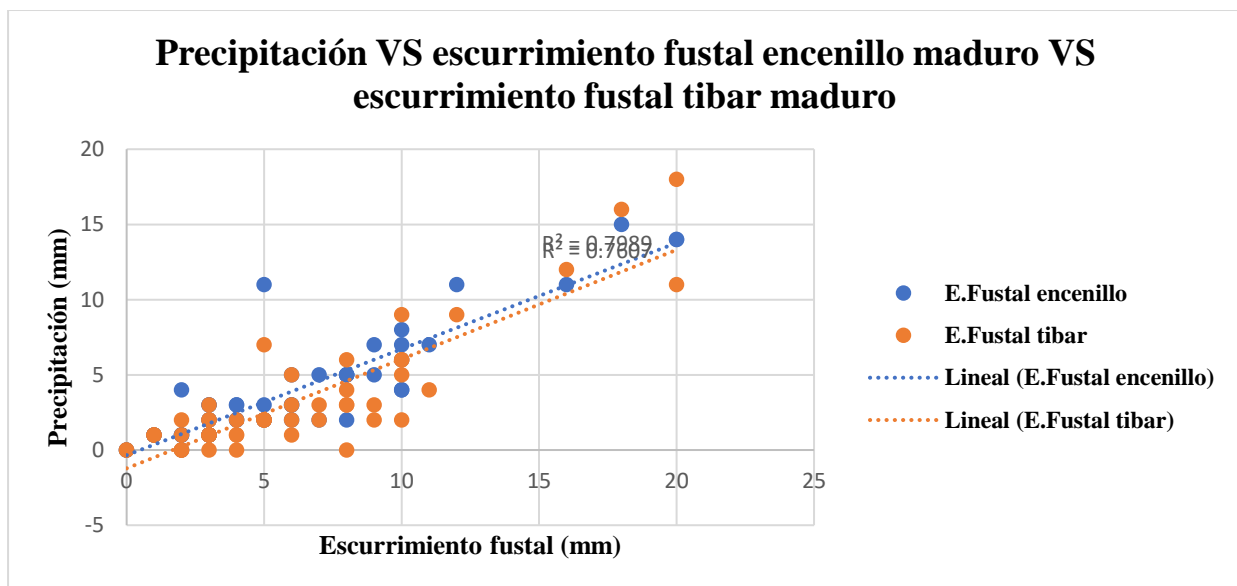


Figura 10. Porcentaje de escurrimiento fustal frente a la precipitación encontrada para *Weinmannia tomentosa* VS *Escallonia paniculata*. (individuos maduros)

Con el objetivo de dar respuesta al rendimiento hídrico, fue de gran importancia entender el rol del área foliar frente a la precipitación que se encontraba por medio del escurrimiento fustal.

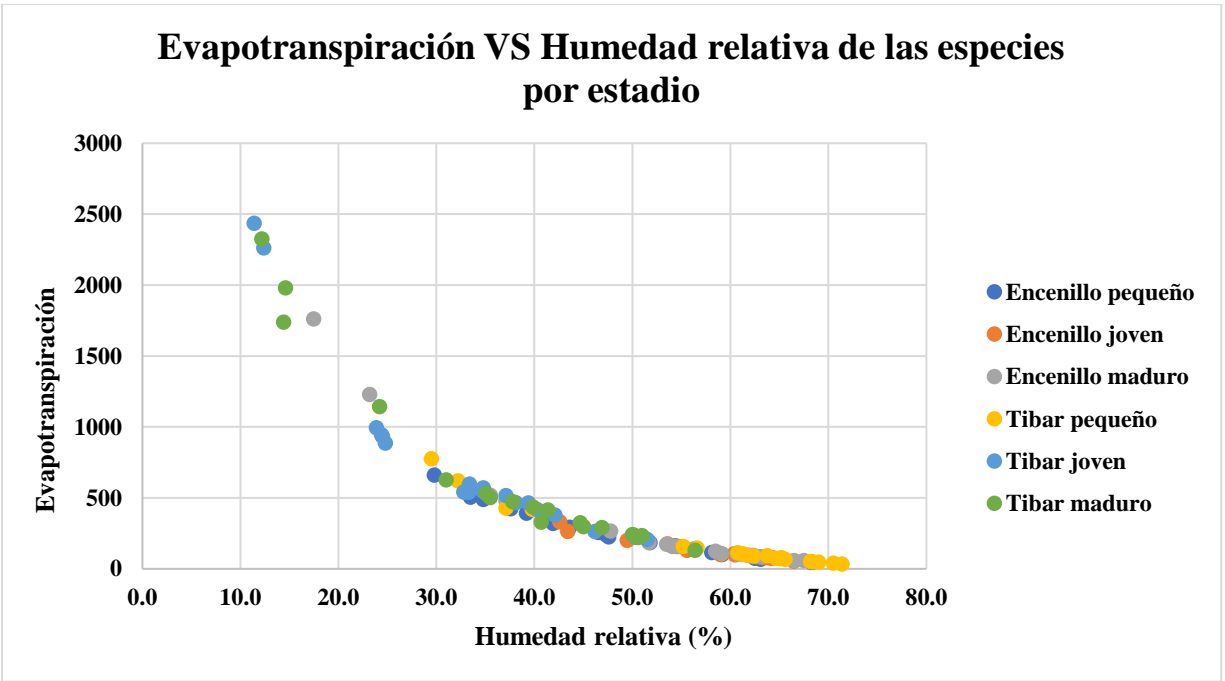


Figura 11. Evapotranspiración VS Humedad relativa para cada especie por estadio.

Análisis y discusión de resultados

Los resultados son una clara evidencia de como los procesos eco hidrológicos que están relacionados con la dinámica de precipitación a corto plazo están estrechamente relacionado con rasgos funcionales de la vegetación. Cabe recalcar que estos efectos pueden llegar a diferenciarse de una manera interespecífica, al igual que son complementarios a la hora de tener un impacto sobre los procesos de restauración ecológica.

Con base en la información suministrada en la Figura 3, se observó que a lo largo del periodo de investigación se presentaron varios días de fuertes precipitaciones, sin embargo, estas fueron más concentradas a durante el mes de agosto. Esto permite comparar a los diferentes individuos de las dos especies en aspectos como la interceptación de dosel y escurrimiento fustal al igual que la tasa de evapotranspiración a lo largo de esos 3 meses. No obstante, cabe resaltar que hay fechas en las que no se presentan valores de precipitación, esto se debe a que dichos días no se registraron valores en campo de precipitación.

El índice de área foliar permite generar una estimación muy cercana al valor real sobre el área foliar de cada individuo. Como se observa en la Tabla 2, se muestran los valores de las 10 hojas analizadas en el software Image J y se evidencia un valor promedio del área foliar de cada una de las especies. Para el tibar se encuentra un valor de 13.46 cms^2 mientras que para el encenillo arroja un resultado 3.121 cms^2 . Sin embargo, es importante tener presente que dichos valores arrojados son el cálculo realizado para solamente 10 hojas los cuales no representan el área de dosel que se requiere. Para ello, se realizó el cálculo de área de dosel manejando la misma herramienta de software. En este caso fue importante tener presente la ecuación de área de una elipse, que debido a su similitud con la forma de la copa del árbol dará una aproximación al área de dosel. Ahora bien, es importante mencionar que existen rasgos funcionales que se encuentran relacionados con procesos eco hidrológicos descrito en otros estudios tal y como lo exponen (Xiao et al., 2000; Park and Cameron, 2008), los cuales indican que la arquitectura foliar, área de las hojas, área del fuste, índice de área foliar (Park and Cameron, 2008) , tamaño de la hoja ,orientación, área foliar n (Crockford and Richardson, 2000)y eso se ve reflejado en los diferentes valores y resultados encontrados en la investigación.

Basado en los resultados que muestra la tabla 3 es evidente un tamaño más grande para el Tíbar sobre el Encenillo, valor que se verá reflejado a la hora de analizar efectos del tamaño sobre la intercepción de precipitación por dosel.

La Tabla 4 muestra los valores de evapotranspiración promedio y es allí donde sigue existiendo una correlación positiva, se evidencia que el tamaño foliar del tibar es mayor que el encenillo y por ende se ve relacionado con la tasa de evapotranspiración. Al tener una mayor área foliar, existe una mayor retención de agua en las hojas y por ende un valor mayor en la tasa de evapotranspiración (Xiao y McPherson,2011), sin embargo, en valores como la precipitación que es interceptada por dosel va a ser un valor menor, esto se debe a la forma de la copa de dosel y por el tamaño de las hojas. De igual manera, es importante tener en cuenta que la tasa a la cual la precipitación que ha sido interceptada por el dosel es evaporada, depende directamente de múltiples factores como temperatura, humedad relativa, radiación neta y velocidad del viento (Xiao y McPherson,2011),

Como resultado de las pruebas de T de student se obtiene un $p\text{-value} = 0.02172$, con un valor de significancia del 0.05, que indica que, si existen diferencias significativas a la hora de realizar la comparación entre los datos de las dos especies, y que por lo tanto existen discrepancias en el área

foliar que influirán en aspectos como la intercepción de dosel y escurrimiento fustal de cada una de ellas. Así mismo, se reconoce la importancia de los rasgos funcionales como axiomas a la hora de explicar la importancia de las diferentes especies y sus efectos en los múltiples procesos y funcionamientos del ecosistema s (de Bello et al., 2010; Funk et al., 2017; Cadotte, 2017; Hao et al., 2020). Un importante resultado dentro de la investigación es que las dos especies tienen diferentes efectos en los procesos eco hidrológicos ya que estos muestran una combinación diferenciada en los rasgos funcionales.

Así mismo, teniendo en cuenta la Figura 4, es evidente una tendencia en *Weinmania tomentosa* existe una asimetría positiva, lo que significa que los datos se concentran en la parte inferior de la distribución y por lo tanto el valor de la media tiene a ser mayor que la mediana. Es importante mencionar que, si bien es evidente un lado más largo de la caja en el diagrama, esto no significa que contenga más datos si no que los datos están más dispersos dentro de un rango más amplio; caso contrario a lo que sucede con *Escallonia paniculata*, que tiene una asimetría negativa, el lado inferior de la caja más largo pero su parte superior más pequeña lo que evidencia que los datos están más próximos y tiende a haber valores de media menores que la mediana. Al realizar dichas operaciones en R, se obtiene una media de 13.4643 para el Tíbar, mientras que para el Encenillo de 4.9142 y valores de desviación estándar de 0.865391 y 1.182286 respectivamente.

Para la figura 5, en la comparación de precipitación por los efectos de intercepción de dosel en los individuos pequeños, se ve una tendencia lineal y directamente proporcional, lo que indica claramente que al existir un aumento en la lluvia va a ser mayor la cantidad que será interceptada. Si bien ambas especies tienden a tener un patrón muy parejo, el Tíbar tiene una tendencia levemente mayor al Encenillo, esto se puede deber a factores como su crecimiento, forma de la copa, forma de la hoja, competencia por recursos y demás variables ambientales que tienden a afectar más a individuos pequeños que a aquellos que tienen un estadio maduro. Esto significa que de alguna manera entre individuos de la misma especie no sean significativos, con respecto a la comparación entre el tíbar y el encenillo que permite entender que durante esta edad sea mayor la intercepción de dosel por parte del Tíbar sobre el encenillo.

No obstante, es importante realizar la comparación a nivel de escurrimiento fustal. Tal y como se muestra en la figura 6, es contrario a lo que pasa en el gráfico anterior. El Tíbar, al principio, tiene una tendencia mayor al encenillo frente a la cantidad de precipitación que escurre a través de su

tronco. Sin embargo, un aspecto para recalcar en este caso es que la diferencia es mínima y que el punto de intersección de sus tendencias deja en clara evidencia que la variación durante la etapa de crecimiento entre especies es mínimo, puesto a que son individuos cuyo tronco generalmente es recto y no se encuentran variaciones significativas que puedan afectar en gran magnitud a la cantidad de agua que escurre a través del fuste. Es de gran importancia recalcar que las especies tienden a mostrar efectos inversos en la variación de precipitación interceptada y escurrimiento fustal; lo que indica que las especies se complementan entre ellas en los efectos que tienen sobre los diferentes procesos eco hidrológicos. La presencia de especies que tienen rasgos funcionales complementarios (expresado en diversidad de especies), ha sido anteriormente estudiado por y (Díaz and Cabido, 2001; de Bello et al., 2010), como un beneficio para la función del ecosistema.

A la hora de realizar una comparación en individuos jóvenes, como está representado en la figura 7, se sigue manteniendo la tendencia, sin embargo, empieza a ser notorio como el Encenillo empieza a marcarse de una manera superior al Tíbar. En esta grafica se mantiene la tendencia de como el porcentaje de interceptación de dosel aumenta a medida que aumenta la precipitación. Es decir, al encontrar un mayor valor de precipitación, el área de interceptación de esta será mayor; esto se debe a que, al caer una mayor masa o cantidad de agua, será muy baja la probabilidad de que todo ello pase a través de los espacios de dosel y ello va estrechamente relacionado al porcentaje de interceptación de este. La interceptación de precipitación va a depender específicamente de la forma de copa de cada especie.

Al realizar la comparación a nivel de escurrimiento fustal para individuos jóvenes, figura 8, la tendencia sigue siendo lineal y ambas especies tienen un comportamiento parejo frente a la edad que se encuentran. Como bien se evidencio en gráficos anteriores la tendencia en tener un mayor escurrimiento fustal e interceptación de dosel es liderada por el Encenillo sin embargo el Tíbar no presenta una gran diferencia. Un aspecto para resaltar es la forma del tallo y la altura de este.

Ya entrando en un análisis para individuos maduros, representados en grafica 9 para interceptación de dosel y grafica 10 para escurrimiento fustal respectivamente, se evidencia que la tendencia es casi que la misma y las diferencias entre los valores no son significativos. Cabe recalcar que, para el caso del Encenillo, el individuo se encontraba en borde de bosque y no tenía grandes árboles a su alrededor que pudieran influir en estos valores. Para el caso del Tíbar, se encontraba en una zona donde existen más individuos de la misma especie, y un aspecto particular era la forma de

crecimiento del tronco. Si bien los árboles tienden a crecer en función de sus necesidades lumínica, el tronco de Tíbar tiene un diámetro más ancho y presentaba curvaturas o formas en “S” que influían en los valores de escurrimiento fustal; la arquitectura de dosel, escalonada, permitiría un mayor ingreso de precipitación a través de su dosel. No obstante, el Encenillo alcanza mayores alturas y puede llegar a formar parte del dosel del bosque lo que permite que haya una mayor intercepción de precipitación por dosel y dejando así una menor disponibilidad de agua para que escurra fustalmente. Así mismo su copa aparasolada permite abarcar una mayor área, por ende, la masa de precipitación que caiga sobre su dosel será fácilmente retenida por el Encenillo que por el Tíbar.

Ahora bien, al realizar un análisis de evapotranspiración VS humedad relativa, se pretende comprender como ha sido el cambio y comportamiento de cada una de las especies en sus diferentes estadios, al igual que identificar si han existido cambios significativos que influyeran en dichos valores. Tal y como se ve en los anexos (1.1 y 1.2) se encuentran grandes diferencias en la tendencia de las curvas, lo que permite evidenciar que los individuos del encenillo en estadios pequeños y jóvenes han cambiado y esto genera un impacto en valores de evapotranspiración. Del mismo modo, en el anexo 1.3, es claramente evidente que, en un estadio maduro, el encenillo aumenta en su tasa de evapotranspiración sin verse altamente influenciada por el valor de la humedad relativa, valores que se arrojan a la hora de realizar la toma de los datos.

Por otra parte, en las figuras 1.4 a 1.6, realizando una comparación entre los diferentes estadios de crecimiento del tibar no se ven diferencias significativas en la tendencia de la curva. Esto significa que no ha habido cambios marcados a lo largo de su crecimiento, no obstante, sus valores en estadio joven y maduro son levemente diferentes, lo que puede ser evidencia de que, si existe un cambio a nivel de crecimiento, sin embargo, este no es tan evidente a la hora de realizar la recolección de datos.

En las figuras 1.7 y 1.8 se muestra una tendencia similar en el comportamiento de cada una de las especies, Encenillo y Tíbar, a lo largo de sus diferentes estadios. Cabe recalcar que el tibar tiene una tendencia pareja a lo largo de los diferentes estadios y que su crecimiento, cambio en el tamaño de hojas o arquitectura de dosel no es tan marcado como lo es en el encenillo y esto es determinante a la hora de tomar valores de evapotranspiración; esto se debe a que dependiendo de

la cantidad de agua que caiga sobre las hojas será la tasa de evapotranspiración y, por ende evidenciará que a través del dosel existirá una menor tasa de interceptación de la precipitación.

La figura 11, permite evidenciar un comportamiento de la evapotranspiración por cada especie, en cada estadio, frente a la humedad relativa. Esto muestra una tendencia que a medida que aumenta la humedad relativa aumenta la tasa de evapotranspiración de los individuos, lo que se traduce en que las especies, a lo largo de su crecimiento presentan grandes cambios que afecten de manera significativa los diferentes valores, esto no quiere decir que sea un aspecto negativo, permite entender que mantienen una tendencia en procesos eco hidrológicos.

De igual manera, aspectos importantes a recalcar durante el proyecto a la hora de realizar la medición de valores para el análisis de área foliar es importante tener presente que las muestras sean a lo largo del individuo, entre mayor variación permitirá una mayor aproximación al valor real de área foliar en todo el individuo. Del mismo modo, tener la certeza que para la toma de fotos y luego procesamiento en el software Image J, no existan dobleces, sombras que puedan de alguna u otra manera afectar la recolección de datos. Así mismo, es

Los resultados anteriormente mostrados son una muestra de la importancia, no solo a nivel ecosistémica y de función y composición de las especies dentro del sistema, si no de la importancia dentro del ciclo hídrico que tienen ambas especies. Es importante destacar que no se quiere dar una prioridad de cuál de las dos especies se debe escoger a la hora de realizar procesos de restauración, pero si tener muy presente que son especies claves para recuperar y mantener el recurso hídrico y que deben ser constantemente estudiadas para que futuros proyectos, enfocados a que procesos como la conservación y restauración del recurso hídrico se den de manera satisfactoria.

Conclusiones

- Es importante tener presente que el definir el rol de una especie debe ser visto desde múltiples perspectivas y no solo desde la parte de restauración a nivel de paisaje y de aspectos como nicho, corredor biológico, a nivel socioeconómico etc., si no también es de vital importancia tener en cuenta aspectos de hidrología, lo que permitirá que el proceso de restauración sea más completo.
- En conclusión, se puede evidenciar que el encenillo tiene un mayor escurrimiento fustal y mayor intercepción de dosel debido a factores como lo son el crecimiento, altura a, DAP, y factores como la selección de los individuos en la misma ubicación permiten que el estudio pueda dar mejores resultados y de una manera más equitativa. Es decir, que la edad, entre más parecida entre individuos permite tener una mayor certeza a lo largo de la investigación y los resultados que se esperan.
- Los valores que fueron arrojados por el tamaño en el área de dosel de cada una de las especies, y como se había evidenciado que el Tíbar tenía una mayor área, es donde la arquitectura foliar, disposición y tamaño de las hojas influyen en valores como lo son la intercepción de dosel y escurrimiento fustal, aspectos que se deben tener muy presentes a la hora de realizar investigaciones de rendimiento hídrico.
- Los rasgos funcionales relacionados con proceso eco hidrológicos son de gran importancia para poder medir y comparar entre individuos de la misma especie o en estudios con otras especies para futuros proyectos de restauración.
- Cabe destacar que una especie no se encuentra por encima de la otra en una priorización y que deben realizarse trabajos de restauración de manera conjunta; lo que si permite es identificar en que momentos deben ser escogidas estas especies con el fin de tener procesos de conservación y restauración del recurso hídrico.
- Es evidente que dicho estudio, a través de rasgos funcionales que están estrechamente relaciona a proceso eco hidrológicos, son de gran importancia puesto a que dan respuesta a investigaciones enfocadas en un recurso como lo es el agua y los diferentes servicios ecosistémicos.
- La ecología funcional es útil para avanzar en el conocimiento de las funciones que tienen las diferentes especies en los procesos eco hidrológicos. Es de gran importancia incluir una mayor diversidad funcional de plantas nativas en proyectos de restauración con el fin de

asegurar diferentes afectaciones en los procesos eco hidrológicos, y así garantizar la recuperación y funcionamiento de los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Agradecimientos:

En primera parte un profundo agradecimiento a Dios por darme la posibilidad de tener a grandes maestros, compañeros, mentores y ante todo grandiosos seres humanos a lo largo de este proceso de aprendizaje y vivencias, a mis padres y hermanas, quienes fueron apoyo en todos los aspectos de este proyecto y de todo el aprendizaje durante la carrera. Especial agradecimiento a el profesor y tutor Juan Carlos Benavides, por creer en mis capacidades, su acompañamiento, consejos, y conocimiento aportado para culminar este proceso; a mis compañeras Paola Alarcón y Ana María Rozo, por haberme brindando una mano compañera a la hora de necesitar herramientas y materiales de laboratorio además de su disposición y ayuda para todo lo relacionado con el proyecto. Agradecimiento a la Fundación Natura, Oriana Serrano, Jessica Cañón, desde la parte ecológica y administrativa, por su acompañamiento, dirección y constante apoyo y en campo un especial agradecimiento a Don Oscar Silva, Estevan Romero y Johana por toda su ayuda, disposición, consejos, paciencia, sus conocimientos y sus prácticas tradicionales que aportaron al desarrollo de este proyecto, sin su ayuda no hubiera sido posible culminar esta etapa.

¡A todos los partícipes de mi formación como profesional y como persona, infinitas gracias!

Literatura citada:

- Acuña, I. T. (1996). Una visión integral de la biodiversidad en Colombia. *Revista Luna Azul (On Line)*, vol. 2. Universidad de Caldas.
- Aguirre-Salado, C, A., J.R. Valdéz-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H.M. de los Santos-Posadas, y A.I. Aguirre-Salado (2011). Mapeo del Índice de Área Foliar y Cobertura Arbórea Mediante Fotografía Hemisférica y Datos SPOT5 HRG: Regresión y K-NN. *Agro ciencia*. 45:105-119.
- Asbjornsen, H., Goldsmith, G.R., Alvarado-Barrientos, M.S., Rebel, K., Van Osch, F.P., Rietkerk, M., Dawson, T.E., 2011. Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review. *J. Plant Ecol.* 4 (1–3), 3–22. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtr026>.
- Aronson, J., Milton, S.J., Blignaut, J.N. 2007. Restoring natural capital: science, business, and practice. Society for Ecological Restoration. Island Press, Washington DC.
- Barbosa Castillo, C., Cruz Argüello, S., Ramírez Aguilera, D. P., Salazar Holguín, F., Ville Triana, J., Villa Lopera, A., & Alarcón Hincapié, J. C. (2018). Transformación y cambio en el uso del suelo en los páramos de Colombia en las últimas décadas.
- Brauman, KA; Daily, GC; Duarte, TKe; Mooney, HA. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources* 2007 (32):67-98.
- Bruijnzeel, L.A., 2004. Hydrological functions of tropical forests: ¿Not seeing the soil for the trees? *Agric. Ecosyst. Environ.* 104 (1), 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>.
- Cadotte, M.W., 2017. Functional traits explain ecosystem function through opposing mechanisms. *Ecol. Lett.* 20 (8), 989–996.
- Cárdenas, M. F., C. Tobón, and W. Buytaert. 2017. Contribution of occult precipitation to the water balance of páramo ecosystems in the Colombian Andes. *Hydrological Processes* 31:4440-4449.
- Cuesta, F. , Muriel, P. , Beck, S. , Meneses, I. , Halloy, S. , Salgado, S. , Ortiz, E., y Becerra, M. (2012). Biodiversidad y Cambio Climático en lo Andes Tropicales- Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. *Red Gloria-Andes*. Lima-Quito. 180.

- Cortes-S S. P., T. Van der Hammen & J. O. Rangel-Ch. (1999). Comunidades vegetales y patrones de degradación y sucesión en la vegetación de los cerros occidentales de Chía-Cundinamarca-Colombia. *Rev. Académica Colombiana de Ciencias* 23(89): 529-554. ISSN 0370-3908.
- Cortes, S. (2008). La Vegetación boscosa y arbustiva de la cuenca alta del río Bogotá. *Studies on Tropical Andean Ecosystems* T. v. d. Hammen. Berlin, J.Cramer. 7. Cowles, H. C. (1901). The Physiographic colony of Chicago and vicinity. *Botanical Gazette* 31:73-108.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. 2004. Vegetación el territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá.
- Cuatrecasas, J. 1989. Aspectos de la vegetación Natural de Colombia. Pérez Arbelaezia Vol 2 (8): 155-292.
- Crockford, R; Richardson, D. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14 (16-17):2903-2920.
- Chapman, D. (1996). WATER QUALITY ASSESSMENTS. London , Great Britain : E & FN SPON An imprint of Routledge London and New York .
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA. 2000. Protocolo distrital de restauración ecológica. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá.
- Díaz, S., Cabido, M., 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 16 (11), 646–655.
- de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J.H.C., Bardgett, R.D., Berg, M.P., Cipriotti, P., Feld, C.K., Hering, D., Martins da Silva, P., Potts, S.G., Sandin, L., Sousa, J.P., Storkey, J., Wardle, D.A., Harrison, P.A., 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodivers. Conserv.* 19 (10), 2873–2893. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9850-9>.
- FAO. 2015. Global Forest resources assessment 2015: how are the world's forest changing? Roma, IT, 48 p.
- Funk, J.L., Larson, J.E., Ames, G.M., Butterfield, B.J., Cavender-Bares, J., Firn, J., Wright, J., 2017. Revisiting the Holy Grail: using plant functional traits to understand ecological processes. *Biol. Rev.* 92 (2), 1156–1173.

- García-Leoz, V., Villegas, J.C., Suescún, D., Florez, ´ C.P., Merino-Martín, L., Betancur, T., Leon, ´ J.D., 2017. Land cover effects on water balance partitioning in the Colombian Andes: improved water availability in early stages of natural vegetation recovery. *Reg Environ Change* 18 (4), 1117–1129.
- Garavito Rincón, r., 2015. *Vista de Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo / Ingeniare*. [online] *Revistas.unilibre.edu.co*. Available at: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/530/413>
- Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41 (3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7).
- Hao, M., Messier, C., Geng, Y., Zhang, C., Zhao, X., von Gadow, K., 2020. Functional traits influence biomass and productivity through multiple mechanisms in a temperate secondary forest. *Eur. J. Forest Res.* 139 (6), 959–968.
- Laughlin, D.C., 2014. Applying trait-based models to achieve functional targets for theory-driven ecological restoration. *Ecol. Lett.* 17 (7), 771–784.
- Leon ´ Pelaez, ´ J.D., 2001. Estudio y control de la erosión ´ hídrica. Departamento de Ciencias Forestales. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle /unal/20071>.
- Levia, D.F., Frost, E.E., 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *J. Hydrol.* 274 (1-4), 1–29. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2).
- Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD. (2002). *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición de HotSpot & Global Climatic Tensor*. Impresión IDEAM, Bogotá-Colombia.
- Montoya, D., Rogers, L., Memmott, J., 2012. Emerging perspectives in the restoration of biodiversity-based ecosystem services. *Trends Ecol. Evol.* 27 (12), 666–672. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.004>.
- NAFARRATE HECHT, A.N.A.C.R.I.S.T.I.N.A. (2017) *Estimación directa e Indirecta del índice de área foliar (IAF) y su y su modelación con lidar en un bosque tropical seco de Yucatán, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Posgrado en Ciencias Biológicas*. Available at:

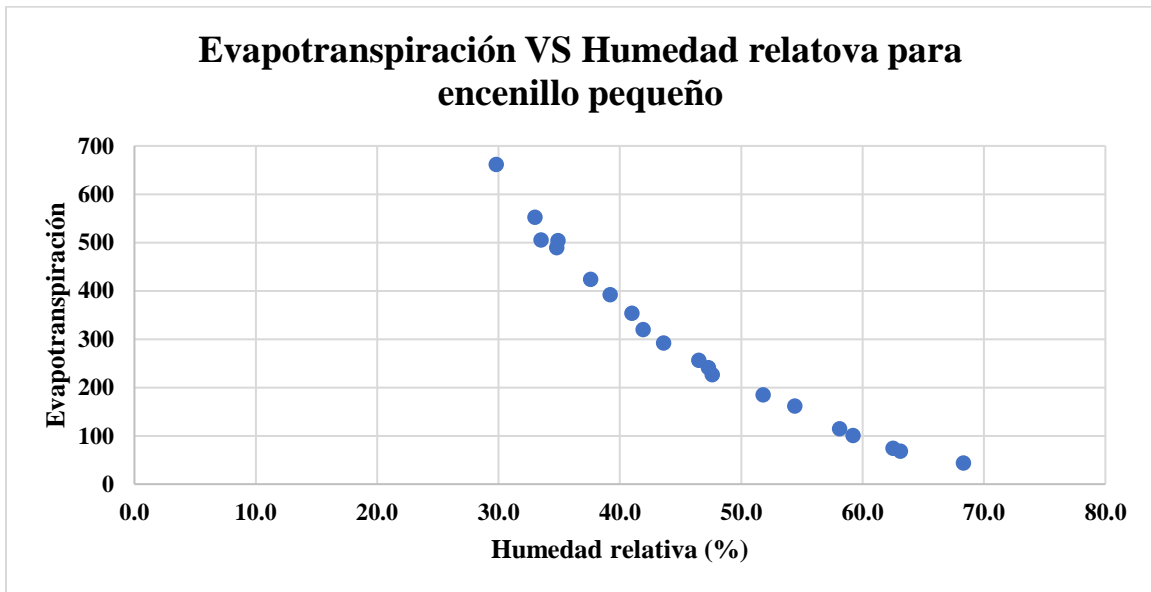
https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/438/1/PCB_RN_M_Tesis_2017_Nafarrate_Ana.pdf.

- Schnabel, Susanne & Rodríguez, Ana. (1998). Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia* lam): metodología e instrumentalización. *Norba. Revista de geografía*, ISSN 0213-3709, N° 10, 1998, pags. 95-112.
- Park, A., Cameron, J.L., 2008. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *For. Ecol. Manage.* 255 (5–6), 1915–1925. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.025>
- Pulido, C. R. M. 2014. Uso de rasgos funcionales de plantas como estimadores de carbono almacenado en biomasa aérea. *RIAA* 5:237-243
- Rangel, O. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En O. Rangel Ed. *Colombia diversidad Biótica III. La región de vida paramuna.* (1-23). Bogotá, Colombia. Instituto de ciencias naturales. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander Von Humboldt.
- Roa-García, M.C., Brown, S., Schreier, H., Lavkulich, L.M., 2011. The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes. *Water Resour. Res.* 47 (5) <https://doi.org/10.1029/2010WR009582>.
- Rodríguez-Iturbe, I., Porporato, A., 2004. *Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems. Soil Moisture and Plant Dynamics.* Cambridge University Press, New York.
- Salazar, J.F., Villegas, J.C., Rendon, A.M., Rodríguez, E., Hoyos, I., Mercado-Bettín, D., Poveda, G., 2018. Scaling properties reveal regulation of river flows in the Amazon through a “forest reservoir”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22 (3), 1735–1748. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1735-2018>.
- Tarin, Tonantzin, Yépez, Enrico A., Garatuza-Payan, Jaime, Watts, Christopher J., Rodríguez, Julio C., Vivoni, Enrique R., & Méndez-Barroso, Luis A. (2014). Partición de la evapotranspiración usando isótopos estables en estudios ecohidrológicos. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(3), 97-114. Recuperado en 30 de septiembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000300007&lng=es&tlng=es.

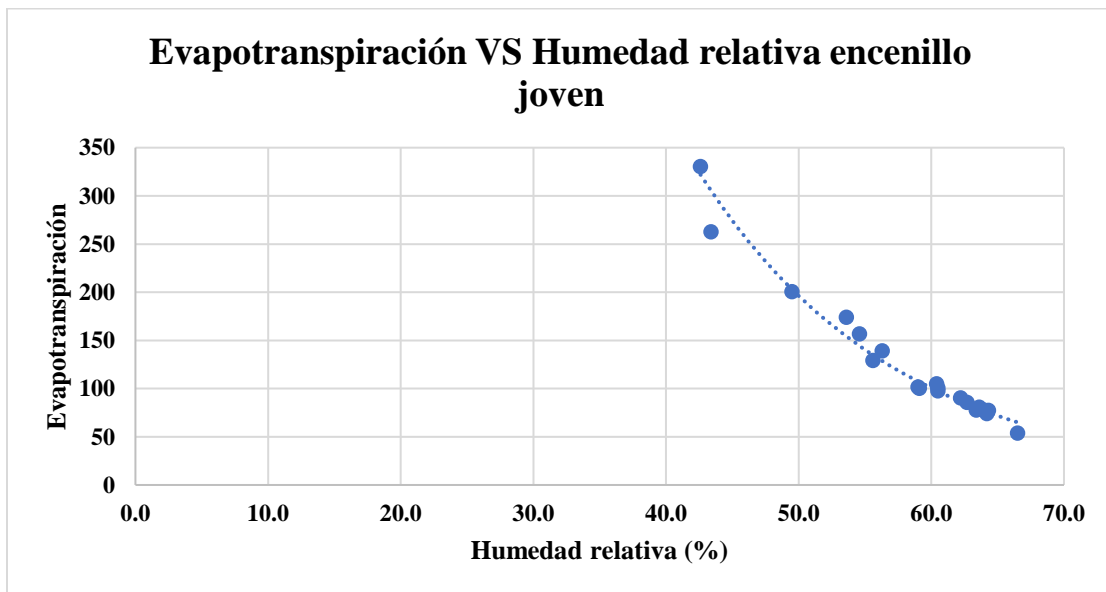
- Toro J.L., Vanegas G. L., Peláez (2002) Flora de los Páramos y Bosques Altoandinos del noroccidente medio de Antioquia. Colombia.
- Velasco-Linares, Patricia & Vargas, Orlando. (2008). Problemática de los bosques altoandinos. Universidad Nacional de Colombia
- Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E., 2000. A new approach to modeling tree rainfall interception. J. Geophys. Res. 105 (D23), 29173–29188. <https://doi.org/10.1029/2000JD900343>.
- Zúñiga, Felipe, Huertas, Jenny, Guerrero, Gabriela, Sarasty, Jairo, Dörner, José, & Burbano Orjuela, Hernán. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 183-196.

Anexos:

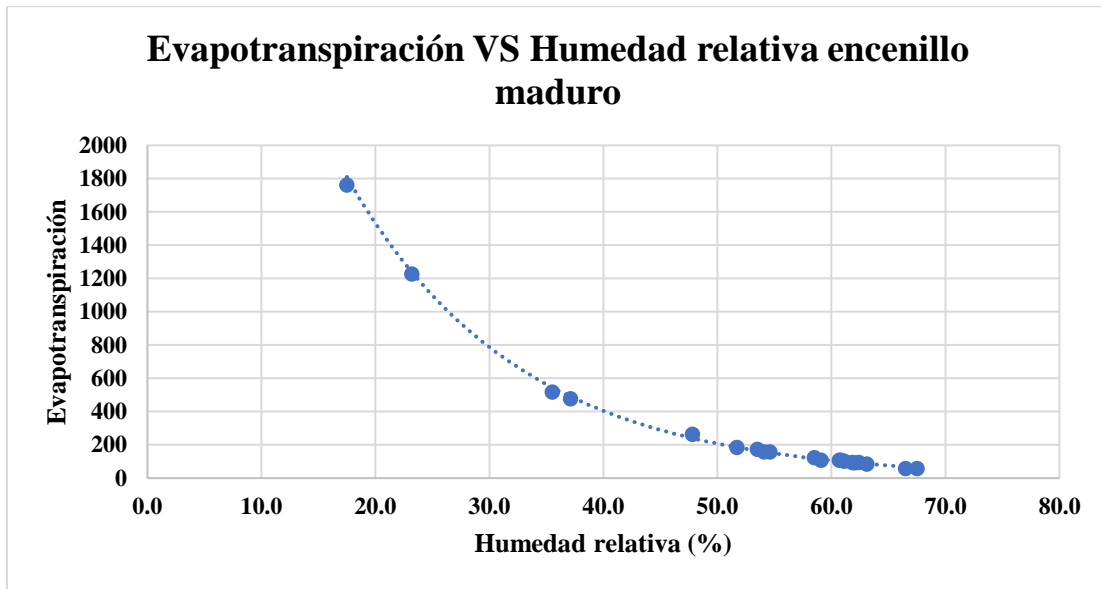
1.1



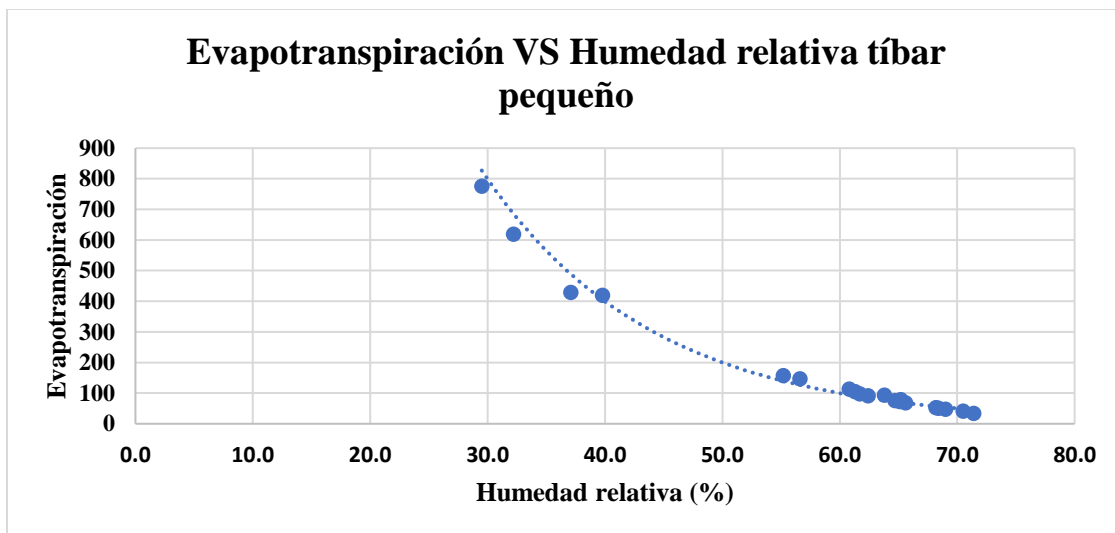
1.2



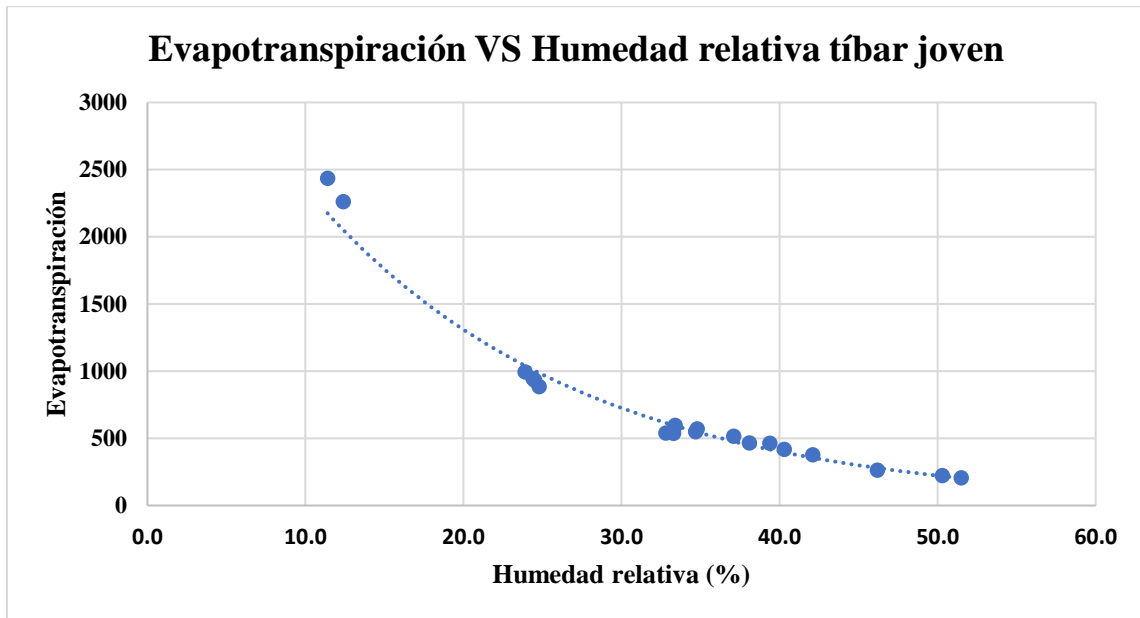
1.3



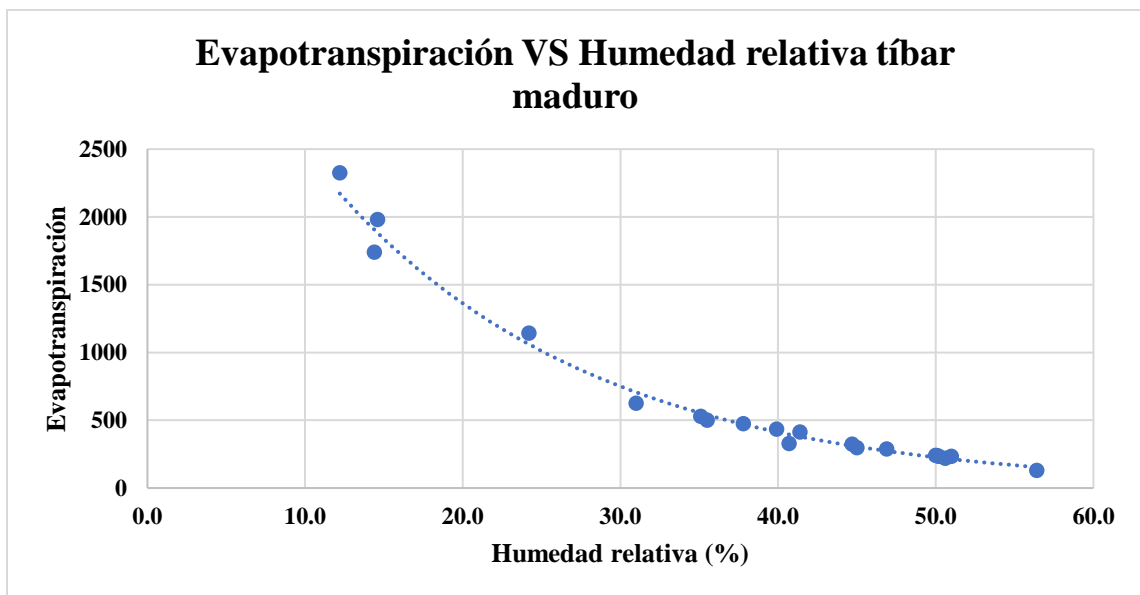
1.4



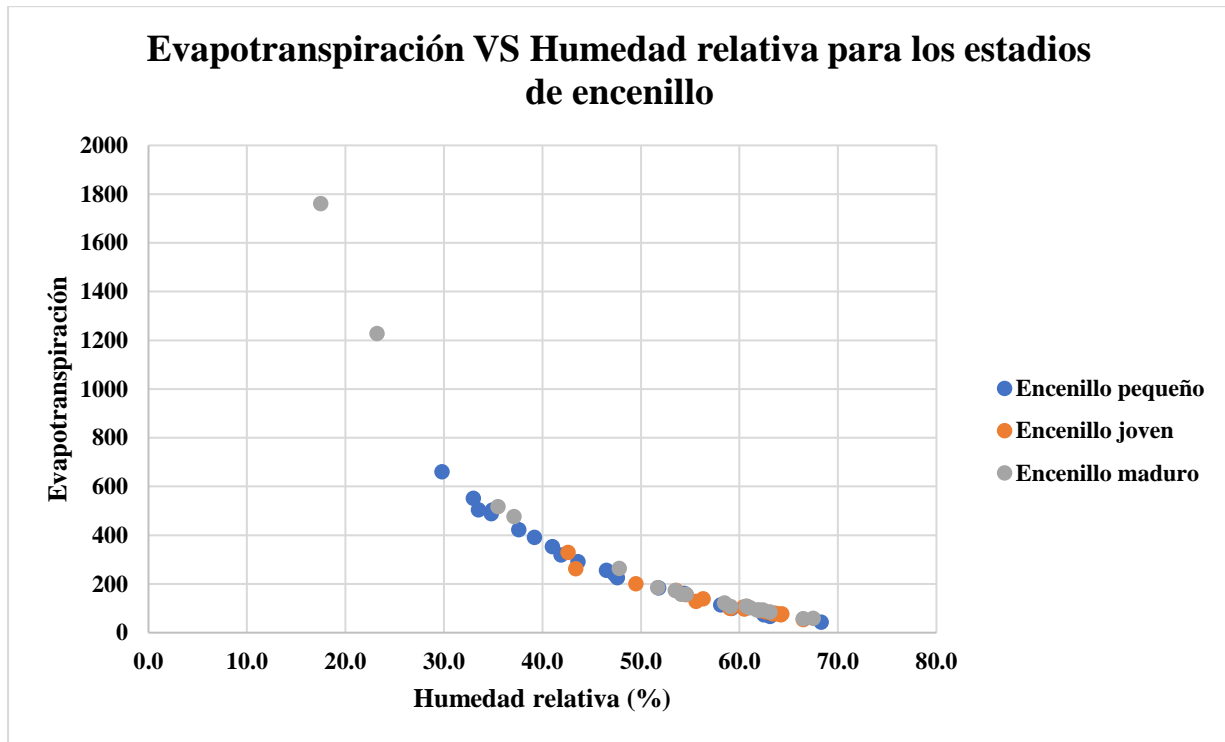
1.5



1.6



1.7



1.8

Evapotranspiración VS Humedad relativa para los estadios de tibar

