

Rasgos morfológicos, de crecimiento y calidad de las plantas juveniles de *Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso, con y sin irrigación suplementaria, a plena exposición solar

Paula Andrea Quiroga Chacón

Trabajo de Grado para Optar al Título de Bióloga

Director:

Nelson F. Rodríguez López

PhD Fisiología Vegetal

Codirectores:

Francisco José Martínez Pérez

PhD Ciencias Biológicas

Iván Darío Camargo Rodríguez

PhD Ciencias Biológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Biología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi madre, quien, con su gran corazón, ha sido un gran ejemplo de vida, además de un inmenso e incondicional apoyo en todo momento. A mis: tías, tíos, primas y primos, que, a pesar de ser una numerosa familia, nos hemos mantenidos unidos y me han apoyado mucho y de diversas maneras en mi proceso de formación profesional. A mi abuela, la persona más bondadosa y dulce que conocí y quien es la fuente de mi amor por el campo. A mis amigos, por las aventuras, lágrimas y carcajadas que hemos compartido, y por ser un refugio en las tormentas y compañía de alegría cuando sale el sol. Por último, pero no menos importante, a mi exnovio, por ser una gran compañía al descubrir el mundo cada día, por estar en las buenas y en las malas incondicionalmente y por ser una de mis grandes fuentes de inspiración.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander (UIS) por recibirme y formarme en múltiples áreas de mi vida para poder ser una persona y profesional integra. A la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y al Jardín Botánico Eloy Valenzuela, por abrirme sus puertas y acogerme como su pasante. A mi tutor y co-tutores, Nelson Rodríguez, Francisco Martínez e Iván Camargo, quienes me han dado enseñanzas invaluable para mi futuro como profesional y como persona. A mi compañera en este proyecto, Ludy Archila, por su apoyo, entusiasmo y amistad los cuales, enriquecieron muchísimo esta travesía académica. También quisiera agradecer a todas aquellas personas que nos apoyaron en este proyecto, para que la cooperación académica sea cada vez mayor entre todos.

Tabla de Contenido

	Pág.
1.Introducción	10
2.Objetivos	13
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3.Competencias	14
4.Materiales y Métodos.....	15
4.1 Área de estudio	15
4.2 Tratamiento del material vegetal	15
4.3 Rasgos morfológicos y de crecimiento	16
4.4 Índices	16
4.5 Análisis estadístico.....	17
5.Resultados y Discusión	18
5.1 Rasgos de crecimiento, acumulación y asignación de biomasa.....	18
5.1.1 Acumulación de biomasa.....	18
5.1.2 Fracción de biomasa	21
5.1.3 Rasgos morfológicos.....	24
5.2 Índices	26
5.3 Análisis estadístico.....	27
6.Conclusiones	31
7.Referencias Bibliográficas	32
8.Apéndices	36

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Biomasa seca en raíz (BSR), tallo (BST) y hojas (BSF), bajo irrigación suplementaria y bajo precipitación local, a pleno sol	20
Tabla 2. Rasgos en plantas juveniles de <i>C. chicamochae</i> , bajo irrigación suplementaria (IP) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol	24
Tabla 3. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de <i>C. chicamochae</i> , bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol	26

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Precipitación del área de estudio	18
Figura 2. Biomasa seca total en plantas juveniles de <i>C. chicamochae</i> en plantas juveniles de <i>C. chicamochae</i> , bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol	19
Figura 3. Fracción de biomasa asignada a raíz (FMR), tallo (FMT) y hojas (FMF) en plantas juveniles de <i>C. chicamochae</i> , bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol	22
Figura 4 Representación de los componentes PC1 y PC2 del análisis de componentes principales (PCA)	29

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Variables que aportan al componente principal 1 (PC1)	36

Resumen

Título: Rasgos morfológicos, de crecimiento y calidad de las plantas juveniles de *Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso, con y sin irrigación suplementaria, a plena exposición solar*

Autor: Paula Andrea Quiroga Chacón**

Palabras Clave: *Cavanillesia chicamochae*, Índice de Dickson, Calidad de planta,

Descripción:

La escasez de agua es uno de los principales factores que afectan el crecimiento y la supervivencia de las plantas, especialmente, en estados juveniles, en los ecosistemas secos y muy secos tropicales. En este trabajo se evaluaron los rasgos morfológicos, de crecimiento e índices de calidad en plantas juveniles de *Cavanillesia chicamochae* (Fern. Alonso), con y sin irrigación suplementaria, a plena exposición solar. *C. chicamochae*, es una especie arbórea en peligro de extinción que habita en zonas semiáridas del Cañón del Chicamocha y del río Sogamoso, cuya regeneración natural es limitada. A pesar de los esfuerzos de reforestación, la tasa de mortalidad de las plántulas trasplantadas desde los viveros a campo es alta, lo que motiva la investigación de estrategias que mejoren su desempeño en campo. El experimento se realizó con 14 plántulas divididas en dos grupos: un que solo recibió la precipitación local (PL) y otro en donde las plántulas recibieron una irrigación suplementaria (IS) de 24 litros de agua adicionales por planta durante un periodo de seis meses. Se midieron rasgos morfológicos como la altura, diámetro del tallo, área foliar y número de hojas, además de la biomasa seca de las raíces, tallo y hojas. También se evaluó la calidad de las plántulas mediante el Índice de Dickson y el Índice de Esbeltez. Los resultados indicaron que las plantas bajo IS presentaron un incremento significativo de 178% en su crecimiento, con una biomasa total mayor en comparación con las plantas bajo PL. Además, se observó un aumento en el área foliar y el número de hojas en las plantas bajo IS. No obstante, la asignación de biomasa entre los diferentes órganos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. El Índice de Dickson fue mayor en las plantas con IS, lo que indica una mejor calidad y potencial de supervivencia en campo. En conclusión, los resultados obtenidos indican que la irrigación suplementaria, a pleno sol, es una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento y supervivencia de las plantas juveniles de *C. chicamochae*, podría contribuir en el proceso de siembra y manejo en programas de reforestación de la especie con fines de conservación en su medio natural.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Nelson Facundo Rodríguez López. PhD Fisiología Vegetal. Codirectores: Francisco José Martínez Pérez. PhD Ciencias Biológicas. Iván Darío Camargo Rodríguez. PhD Ciencias Biológicas.

Abstract

Title: Morphological, growth and quality traits of juvenile plants of *Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso, with and without supplemental irrigation, in full sun exposure*

Author: Paula Andrea Quiroga Chacón **

Key Words: *Cavanillesia chicamochae*, Dickson index, Plant quality.

Description:

Water scarcity is one of the main factors affecting the growth and survival of plants, especially in juvenile stages, in tropical dry and very dry ecosystems. This study evaluated the morphological traits, growth, and quality indices of juvenile plants of *Cavanillesia chicamochae* (Fern. Alonso), with and without supplementary irrigation, under full sun exposure. *C. chicamochae* is an endangered tree species that inhabits the semi-arid areas of the Chicamocha Canyon and the Sogamoso River, with limited natural regeneration. Despite reforestation efforts, the mortality rate of seedlings transplanted from nurseries to the field is high, which motivates research into strategies to improve their field performance. The experiment was conducted with 14 seedlings divided into two groups: one that received only local precipitation (PL) and another where the seedlings received supplementary irrigation (IS) of 24 additional liters of water per plant over a six-month period. Morphological traits such as height, stem diameter, leaf area, and number of leaves were measured, in addition to the dry biomass of roots, stems, and leaves. The quality of the seedlings was also evaluated using the Dickson Index and the Slenderness Index. The results indicated that IS plants showed a significant 178% increase in growth, with a higher total biomass compared to PL plants. Additionally, an increase in leaf area and the number of leaves was observed in IS plants. However, biomass allocation among the different organs did not show significant differences between treatments. The Dickson Index was higher in IS plants, indicating better quality and a higher potential for field survival. In conclusion, the results indicate that supplementary irrigation under full sun is an effective strategy to improve the growth and survival of juvenile *C. chicamochae* plants and could contribute to planting and management processes in reforestation programs aimed at conserving the species in its natural habitat.

*Bachelor Thesis

** Science Faculty. Biology School. Biology. Director: Nelson Facundo Rodríguez López. PhD Plant Physiology. Codirectors: Francisco José Martínez Pérez. PhD Biological Sciences. Iván Darío Camargo Rodríguez. PhD Biological Sciences.

1. Introducción

Las plantas enfrentan una variedad de desafíos ambientales que afectan su crecimiento y supervivencia, siendo la disponibilidad de agua uno de los factores más críticos. Para sortear la variabilidad en la disponibilidad de agua del suelo y la estacionalidad en la precipitación de las lluvias, las plantas tienen una serie de adaptaciones bioquímicas, fisiológicas y estructurales que les permite tener un mejor desempeño en el ecosistema donde se encuentran ubicadas (Chaves et al., 2002).

Los trabajos que evalúan la respuesta morfológica y fisiológica de plantas a diferentes regímenes de agua, son mayormente aquellos que se enfocan en la escasez de este recurso, recreando condiciones de sequía a los que se podrían ver expuestas, encontrando diferentes mecanismos de respuesta tales como acortar su ciclo de vida y su ciclo reproductivo, la optimización en el uso del agua o la activación de mecanismos osmóticos, enzimáticos y de acumulación de solutos (Seleiman et al., 2021). En contraste, estudios en donde se realice la irrigación suplementaria a las plantas nativas de ambientes semiáridos o áridos son poco frecuentes. Evidencias recientes demuestran que plantas juveniles de especies arbustivas y arbóreas desérticas del Centro-Oeste y Nor-Oeste de Argentina, presentaron una alta plasticidad en los rasgos de desempeño (crecimiento y supervivencia del tallo y la biomasa) y una moderada plasticidad en los rasgos funcionales en respuesta a la alta disponibilidad de agua (Biruk et al., 2022).

La ceiba barrigona (*Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso) es una especie arbórea de la familia Malvaceae, la cual se encuentra categorizada en peligro (EN) (Díaz-Pérez et al., 2011a). Su hábitat de distribución está limitada a zonas semiáridas y sub-xerofíticas, siendo estas el Cañón

del río Chicamocha, del río Sogamoso y del río Guaca (Pizano & García, 2014a), en donde la disponibilidad de recurso hídrico es limitada, y las variaciones en la precipitación pueden ser determinantes para supervivencia y su reproducción (Valencia-Duarte et al., 2012).

Varias acciones se han realizado en pro de la recuperación, manejo y conservación de las poblaciones de *C. chicamochae* (CDBM, 2015), en condiciones *In situ*, en el área de distribución de esta especie, con resultados poco exitosos. Evidencias empíricas indican que la tasa de mortalidad de los individuos luego de su siembra y establecimiento en campo, especialmente, de las plantas obtenidas en viveros bajo el sombrero de árboles o de mallas polisombras. La germinación de semillas es relativamente exitosa en viveros; sin embargo, en zonas en donde la disponibilidad y/o retención de humedad del suelo es baja la mortalidad de las plantas juveniles es alta (Rodríguez-López, 2021, com. personal). Una estrategia que podría contribuir a un mayor éxito en los procesos de siembra y sobrevivencia para el repoblamiento de las poblaciones de *C. chicamochae* en condiciones *in situ*, estaría relacionada con la propagación de las plantas a pleno sol y con irrigación suplementaria. Las plantas de *C. chicamochae*, enfrentan un estrés multidimensional en las áreas de su hábitat natural- poca disponibilidad de agua y nutrientes del suelo, radiación y temperaturas altas - especialmente, durante la época estacionalmente seca.

Según lo reportado por Sáenz Reyes et al. (2014), el Índice de Esbeltez indican si las plántulas que evalúa tienen alta resistencia a la desecación, además de tener un buen potencial de crecimiento en sitios secos, o no, esto mediante la relación que propone entre la altura de la plántula y el diámetro de la base de su tallo. Por otro lado, el Índice de Dickson (Dickson et al., 1960) se usa en plántulas que germinaron y se encuentran en condiciones de vivero, y propone una manera de conocer el posible desempeño de estas en su trasplante a campo.

En relación a lo expuesto anteriormente, este estudio, bajo la modalidad de pasantía de investigación, se llevó a cabo bajo el proyecto macro llamado “Evaluación de los rasgos ecofisiológicos en plantas juveniles de *Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso (Malvaceae) en respuesta a la disponibilidad de agua en el suelo”, y tuvo como objetivo evaluar la respuesta de los rasgos morfológicos, de crecimiento, asignación de biomasa y de la calidad de las plantas juveniles de *C. chicamochae* (Fern. Alonso) con y sin irrigación suplementaria a plena exposición solar.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar los rasgos morfológicos y la calidad de plántulas de *Cavanillesia chicamochae* (Fern. Alonso) con y sin irrigación suplementaria.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar las variaciones de los rasgos morfológicos en plántulas de *C. chicamochae* con y sin irrigación suplementaria.

Determinar las variaciones en los rasgos del crecimiento y de la asignación biomasa en plántulas de *C. chicamochae* con y sin irrigación suplementaria.

Verificar la calidad de las plántulas de *C. chicamochae* con y sin irrigación suplementaria.

3. Competencias

Maneja la metodología para evaluar los rasgos morfológicos, de crecimiento y de asignación de biomasa para plantas.

Maneja software con herramientas estadísticas para generar el análisis de los datos de los rasgos morfológicos, de crecimiento y de asignación de biomasa.

Analiza la información y la literatura científica para la realización de un trabajo experimental.

Redacta un documento técnico-científico con los resultados obtenidos para el trabajo experimental.

4. Materiales y Métodos

4.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en la vereda Chocóa, municipio de San Juan de Girón, departamento de Santander, Colombia, en las coordenadas 6.895992972 latitud y -73.181819 longitud. Esta zona se encuentra dentro del ecosistema de vegetación de bosque seco con clima semiárido (Pizano & García, 2014b) característico del cañón del río Chicamocha y parte del río Sogamoso, área de distribución de la Ceiba Barrigona; la elevación oscila entre los 230 y 1100 msnm, la temperatura media anual es de 25.4°C, y la precipitación anual es de 731 mm (Díaz-Pérez et al., 2011b).

4.2 Tratamiento del material vegetal

Se obtuvieron semillas de una población silvestre de *C. chicamochae* ubicada en el área de estudio descrita anteriormente. Se germinaron en el Jardín Botánico Eloy Valenzuela, ubicado en el municipio de Floridablanca (Santander), siguiendo los protocolos de propagación de la (CDMB, 2015), Las plántulas fueron trasplantadas a 15 kg de sustrato obtenido en la zona de estudio, junto a 200 g de materia orgánica (gallinaza compostada) por cada bolsa.

Para la implementación de los tratamientos evaluados en este trabajo, se utilizaron 14 plántulas que se distribuyeron aleatoriamente en dos grupos de 7 individuos cada uno. El tratamiento control correspondió a aquellas que sólo recibieron el agua de la precipitación local (PL); mientras, en el segundo tratamiento las plantas que recibieron también el agua de la precipitación local, y adicionalmente irrigación suplementaria (IS), que se suministró a cada individuo por medio de un sistema de riego por goteo. Este sistema proporcionó 2 litros de agua a cada planta, en un periodo de 2 horas; este riego adicional se realizó cada 15 días durante un

período de 6 meses, suministrando un total de 24 litros de agua a cada planta durante todo el experimento.

4.3 Rasgos de crecimiento, acumulación y asignación de biomasa

Al finalizar el periodo de 6 meses, durante los cuales las plantas se vieron expuestas a los dos tratamientos hídricos, se midieron los siguientes rasgos morfológicos: longitud del tallo (cm), número de hojas, área foliar (cm²), diámetro de base del tallo (mm). Con el fin de obtener los rasgos de crecimiento, cada uno de los órganos de las plantas (raíz, tallo, hojas) se sometieron a secado en un horno de ventilación forzada a 70 °C durante 72 h; así, se obtuvo la biomasa seca de raíz (BSR), biomasa seca de tallo (BST), biomasa seca foliar (BSF) y biomasa seca total (BT); con base a lo anterior, se calculó la fracción de biomasa seca de raíz (FBR), fracción de biomasa seca de tallo (FBT) y fracción de biomasa seca foliar (FBF) de acuerdo con lo planteado por Poorter et al. (2012).

4.4 Índices

Para estimar la calidad de las plántulas, y usando los datos anteriormente mencionados, se calculó el Índice de Esbeltez (IE) con base a lo planteado en el artículo de Sáenz Reyes et al. (2014) y el Índice de Dickson (ID) como fue propuesto en Dickson et al. (1960).

$$\text{Índice de Esbeltez (IE)} = \frac{\text{Altura total (cm)}}{\text{Diámetro de la base del tallo (mm)}}$$

$$\text{Índice de Dickson (ID)} = \frac{\text{Biomasa seca total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro de la base del tallo (mm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca raíz (g)}}$$

4.5 Análisis estadístico

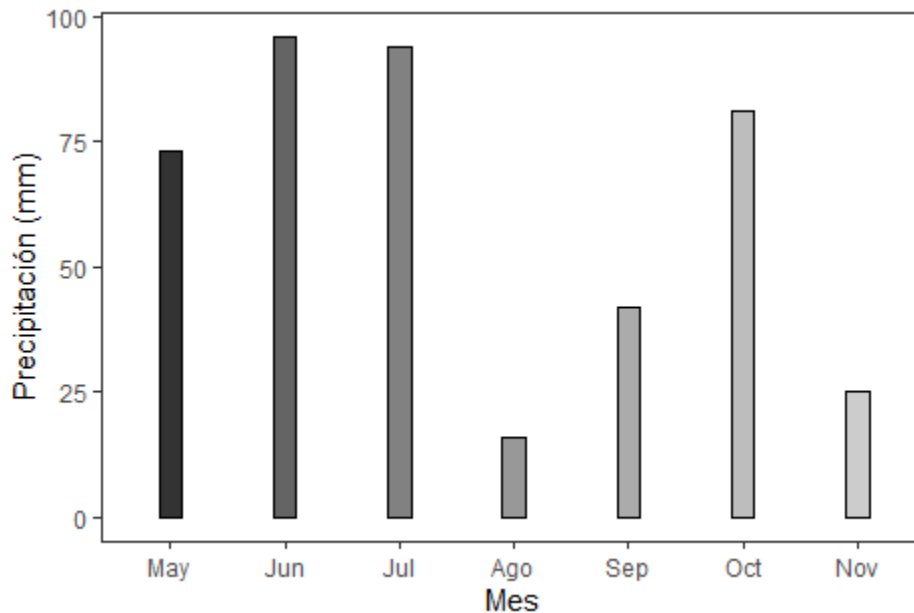
Se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov con corrección de Lilliefors para determinar la normalidad de los datos, la prueba de Levene para determinar la homocedasticidad, y la prueba T-Student, se llevó a cabo para comprobar si los rasgos e índices diferían significativamente entre los dos tratamientos. En los casos en los que fue necesaria la transformación de los datos, se hizo mediante el uso de raíz cuadrada o elevando al cuadrado. Para estas pruebas se tuvo un valor de significancia de $P < 0.05$. También, en el mismo software se realizó el Análisis de Componentes Principales (PCA) de los datos tomados en el presente proyecto; como también, su respectiva representación gráfica. Todo lo anterior se hizo mediante el uso del software estadístico R (Versión 4.3.3), y los paquetes “nortest”, “car”, “stats”, “ggbiplot”, “ggplot2”, “factoextra” y “factominer” (R Core Team, 2023).

5. Resultados y Discusión

5.1. Precipitación

La precipitación registrada durante la ejecución de este trabajo fue la siguiente:

Figura 1. *Precipitación del área de estudio.*



El promedio de la precipitación en los seis meses de duración del experimento, fue de 61mm. El mes que tuvo mayor precipitación fue junio con 96mm, mientras que el de menor precipitación fue agosto con 16mm. Es de resaltar que, en el mes de noviembre fue un mes de baja precipitación, debido a que en este mes inicia la época seca típica del ecosistema del Cañón del Chicamocha y del río Sogamoso (Martínez et al., 2021).

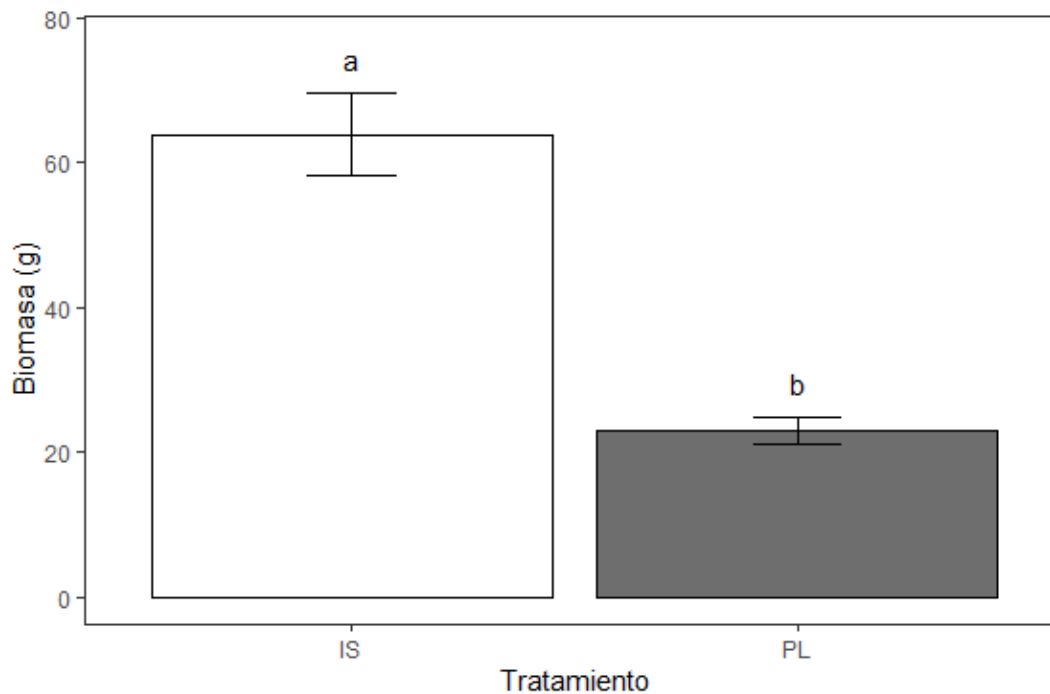
5.2 Rasgos de crecimiento, acumulación y asignación de biomasa

5.2.1 Acumulación de biomasa

En las plantas que se les suministro irrigación suplementaria (IS), la acumulación de biomasa seca total (BT), presentó un incremento altamente significativo ($p < 0.05$), que

corresponde a un 178%, al compararlas con sus contrapartes sin irrigación suplementaria (PPL) (Figura 2).

Figura 2. *Biomasa seca total en plantas juveniles de C. chicamochae en plantas juveniles de C. chicamochae, bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol.*



Nota. Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). $n = 7 \pm ES$.

El aumento en el recurso hídrico condujo a que la biomasa del grupo de plantas con IS fue significativamente mayor que las de su contraparte con PL. Esa diferencia se explica en parte, debido a que el grupo de plantas bajo PL se vio más expuesto al déficit hídrico que aquellas con IS, que podrían afectar negativamente el proceso de asimilación de CO_2 , vía fotosíntesis, y la eficiencia en el uso del agua de las plantas, con efectos sobre el crecimiento y acumulación de la biomasa. Similares resultados se han reportado en otras especies arbóreas de áreas áridas que, al

ser sometidas a regímenes de agua diferentes, el déficit hídrico ralentiza el crecimiento (Butz et al., 2018; Cella Pizarro & Bisigato, 2010; Coyle et al., 2016). De ese modo, los resultados indican que, la irrigación suplementaria realizada en la etapa de vivero a las plantas juveniles de *C. chicamocha*, en su área de endemismo, el bosque seco de los caños de los ríos Chicamocha y Sogamoso, genera una respuesta positiva en cuanto a su crecimiento y acumulación de biomasa, que puede ser significativamente valiosa para su establecimiento en campo.

En relación a los rasgos relacionados con la acumulación de BSR, en BST y en BSF, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos grupos de plantas IS y PL. En el grupo de plantas con IS se obtuvo una diferencia de 211% para la BSF, seguido de 174% para la BSR; y, por último, 162% para la BST, al compararlos con los individuos del tratamiento bajo PL (Tabla 2).

Tabla 1. *Biomasa seca en raíz (BSR), tallo (BST) y hojas (BSF), bajo irrigación suplementaria y bajo precipitación local, a pleno sol.*

Tratamiento	Biomasa de la raíz - BSR- (g)	Biomasa seca del Tallo-BST- (g)	Biomasa seca foliar - BSF- (g)
Irrigación Suplementaria (IS)	27,52±2,65 a	20,94±1,79 a	15,47±2,02 a
Precipitación Local (PL)	10,04±1,02 b	7,98±0,64 b	4,97±0,45 b

Nota. Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). $n=7 \pm ES$.

La biomasa seca acumulada en los órganos de las plantas sometidas a IS y a PL, siguió el mismo patrón; a pesar de las diferencias observadas en la BT. El porcentaje de cambio en la BSR, BST y BSF en las plantas del tratamiento IS, osciló en un porcentaje cercano al de la BT. Ese

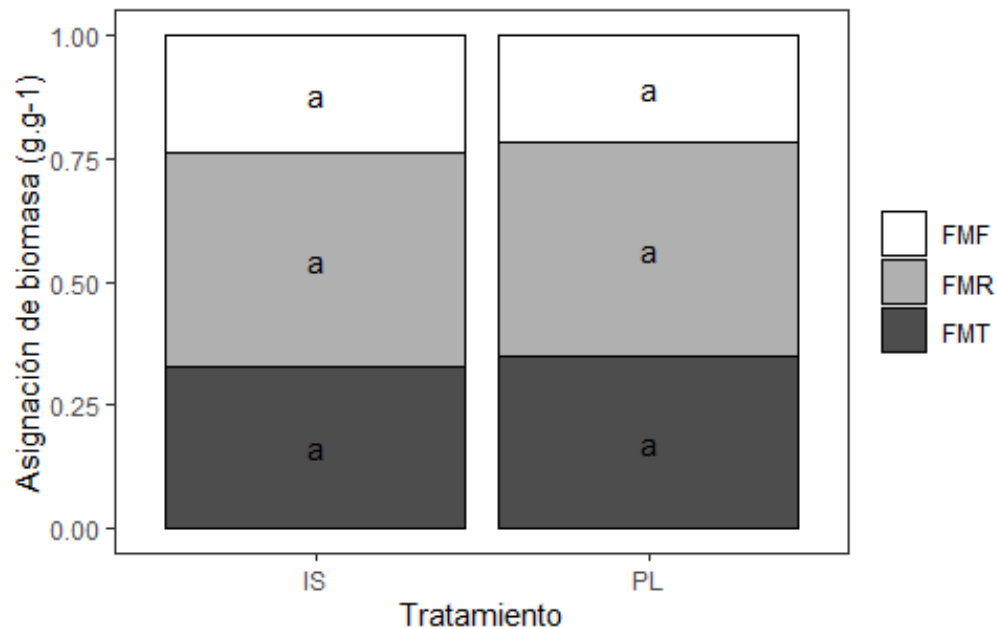
patrón de acumulación de la biomasa indica que, la IS indujo a una mayor acumulación en los diferentes órganos, especialmente, en la BSR. La diferencia de la biomasa de hojas entre los tratamientos es similar al reportado en plantas de *Ceiba pentandra*, que al someterlas a déficit hídrico presentaron menor BSF (Silveira et al., 2023). Esa respuesta se explica, en parte, debido a que la división celular, la expansión de las hojas y la síntesis de proteínas se ven gravemente afectadas por el estrés hídrico (Silveira et al., 2023).

Resultados similares a los obtenidos en este trabajo, Erkin et al. (2023) evaluando plántulas de *Tamarix* sp., una especie de zonas desérticas en China, encontró que la biomasa de la raíz aumentó cuando el porcentaje de agua en el suelo incrementó y, además, lo relacionaron con un mayor diámetro del tallo, rasgo que también se observó en las plántulas de *C. chicamochae* (Ver Sección 5.1.3). Erkin et al. (2023), reportaron una relación fuerte entre la biomasa de la raíz y el aumento del diámetro del tallo (Sección 5.1.3) y, además, con una mayor distribución de la raíz en el suelo, cuando hay mayor disponibilidad de agua. La relación entre la BSR y el diámetro del tallo, aumentó en las plantas sometidas a IS; sin embargo, la distribución de raíces de *C. chicamochae* no fue realizada, un rasgo que puede ser crucial para la sobrevivencia de la especie en futuros escenarios de cambio climático, i.e. sequías extremas.

5.2.2 Fracción de biomasa

Los rasgos morfológicos y de acumulación de biomasa presentaron grandes diferencias entre los dos grupos de plantas sometidas a IS y a PL; no obstante, las fracciones de biomasa de los órganos (FMR, FMT y FMF) fue similar ($P > 0.05$) (Figura 3).

Figura 1. Fracción de biomasa asignada a raíz (FMR), tallo (FMT) y hojas (FMF) en plantas juveniles de *C. chicamochae*, bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol.



Nota. Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). $n=7$.

Independientemente del tratamiento hídrico impuesto sobre las plantas de *C. chicamochae*, la asignación de biomasa hacia la raíz, i.e. FBR, fue del 43%, hacia el tallo, i.e. FBT fue de aproximadamente 34% y hacia las hojas, i.e. FBF, de 23%, del total de la biomasa producida por las plantas. En contraste, Biruk et al. (2022) reportaron que, las fracciones de la biomasa presentaron una variación significativa entre los tratamientos de alta y baja disponibilidad de agua, especialmente, en la FMT en algunas especies arbóreas y arbustivas de zonas áridas del norte de Argentina. Poorter & Nagel (2000) sugieren que los cambios en la asignación de biomasa, en el

caso de la limitación de agua, son modestos y que las diferencias en la fracción de masa foliar (LMF) son menores en plantas leñosas que en plantas herbáceas. Adicionalmente, indican que, si las plantas se someten a un único evento de sequía, el crecimiento puede detenerse antes de que la planta ajuste completamente su asignación. En conclusión, existe un consenso entre la dirección de la respuesta predicha por el modelo de equilibrio funcional y las diferencias observadas en la asignación de biomasa para plantas cultivadas, sin embargo, los cambios en la asignación son menores en el caso de una oferta limitada de agua y, en promedio, están ausentes cuando las plantas se cultivan con niveles elevados de CO₂, por ejemplo.

Los resultados de la asignación de la biomasa en las plantas juveniles de *C. chicamochae* obtenidos bajo las condiciones experimentales de este trabajo, no sigue la predicción del “equilibrio funcional” propuesto por Brouwer (1962, 1983). En nuestro experimento, las plantas bajo PL, no incrementaron significativamente la asignación de biomasa hacia las raíces como era esperado. De ese modo, las plantas bajo IS y aquellas bajo PL, su asignación de biomasa hacia la raíz fue igual en ambos tratamientos. Los resultados obtenidos indican que, las plantas juveniles de *C. chicamochae* poseen una estrategia de asignación de biomasa conservativa, posiblemente, asociada a la ontogenia de las plantas, independiente, de la irrigación suplementaria suministradas. Esa estrategia, se puede interpretar como un atributo adaptativo de *C. chicamochae* para responder a la sequía de su hábitat natural; sin embargo, la poca variación en las magnitudes de las fracciones de biomasa, siguen un patrón que le puede conferir a las plantas una mayor capacidad de alterar los caracteres morfológicos que la fracción de biomasa (Poorter et al., 2012).

5.2.3 Rasgos morfológicos

En los cuatro rasgos morfológicos evaluados, las plantas bajo IS, presentaron un aumento significativo ($p < 0.05$) con respecto al grupo de plantas bajo PL (Tabla 1). El área foliar fue el rasgo que tuvo el mayor incremento, siendo de un 110%, seguido del número de hojas con un 72%, después la altura total con un 50%, y por último el diámetro de la base del tallo con 45%.

Tabla 2. Rasgos en plantas juveniles de *C. chicamochae*, bajo irrigación suplementaria (IP) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol.

Tratamiento	Área foliar (cm ²)	Número de hojas	Altura (cm)	Diámetro de base tallo (mm)
Irrigación Suplementaria (IS)	2255±398 a	20,0±1,0 a	41,99±1,16 a	0,42±0,01 a
Precipitación Local (PL)	1072±190 b	11,5±1,0 b	27,91±0,21 b	0,28±0,00 b

Nota. Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) $n=7 \pm ES$

La diferencia que se observó en el grupo de plantas con IS frente a sus contrapartes, en los cuatro rasgos morfológicos evaluados, reflejan la capacidad de plasticidad que posee la especie para responder a una mayor disponibilidad de agua en el suelo, alejándose de características que favorecen la resistencia a la sequía en la que normalmente está expuesta, y aprovechando el recurso hídrico para incrementar crecimiento mientras está disponible; lo anterior, probablemente en respuesta a un ambiente de marcadas estaciones de sequía y lluvias. Estos resultados son similares a los resultados reportados por Biruk et al. (2022), un trabajo que tiene similitudes importantes con el presente, en términos de tipo de ecosistema y tratamiento experimental. Entre los rasgos

morfológicos evaluados, el área foliar presentó una mayor plasticidad en función de la disponibilidad de agua del hábitat en donde crecen las plantas; a su vez, una menor área foliar está estrechamente relacionada con una mayor resistencia a la falla hidráulica en la planta (Lemaire et al., 2021). La menor área foliar del grupo de plantas bajo condiciones de PL, indica que una de las principales estrategias morfológica en *C. chicamochae*, es la reducción del área foliar en pro de compensar el escaso recurso hídrico disponible del ecosistema muy seco en donde se encuentran sus poblaciones naturales.

El aumento significativo de la altura en las plantas sometidas a IS, es similar a los con los resultados reportados por otros autores con cinco especies de bosque seco tropical de Venezuela (Fajardo et al., 2013), y otro con ocho especies de desierto en Pakistán (Sheikh et al., 1984). En el primero de esos trabajos, la altura de las plantas aumentó significativamente, cuando se irrigaban y se les aplicaba hidrogel o fertilizante, sin embargo, se recalca que esto aumentaba los costos de propagación de las especies, haciéndolo menos viable. En el segundo trabajo, encontraron que la altura también era aún mayor cuando se hacía alrededor de la planta “cuencas inclinadas, zanjas y pozos” para retener mayor cantidad de agua de lluvia.

El diámetro de la base del tallo aumentó de manera similar según lo reportado por Gupta (1995) en las tres especies tratadas, con ciertas variaciones en los diferentes sistemas de suplementación de agua que evaluaron, pero siempre significativamente mayor que el control, como en nuestro caso.

5.3 Índices de calidad de la planta

El Índice de Esbeltez no tuvieron diferencias significativas entre los dos grupos ($p > 0.05$), mientras que, por el contrario, el valor del Índice de Dickson para cada tratamiento, si presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo mayor el del tratamiento IS (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de *C. chicamochae*, bajo irrigación suplementaria (IS) y bajo precipitación local (PL), a pleno sol.

	Índice de Esbeltez	Índice de Dickson
Irrigación Suplementaria (IS)	1.13±0,03 a	57,35±4,10 a
Precipitación Local (PL)	1,11±0,05 a	22,43±2,18 b

Nota. Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,005$). $n=7 \pm ES$

Los resultados del Índice de Esbeltez, indican que, *C. chicamochae* presenta una resistencia a la desecación y un potencial crecimiento en sitios secos (Rodríguez-Trejo, 2008; Sáenz Reyes et al., 2014). Por lo tanto, las plantas de *C. chicamochae* con IS y sus contrapartes bajo PL, poseen rasgos adaptativos inherentes a la especie que le permiten sobrevivir en las condiciones climáticas locales del cañón del río Sogamoso. Además, el agua suministrada a las plantas del tratamiento IS, no provocó una diferencia significativa al compararlas con sus contrapartes bajo PL; sin embargo, la cantidad de agua si produjo cambio en sus rasgos morfológicos, del crecimiento y la acumulación de biomasa en las plántulas, como se indicó en las secciones anteriores.

El IE refleja la proporción entre la altura de la planta y el diámetro del tallo. Una característica muy distintiva de la especie *C. chicamochae*, que incluso le da origen a su nombre común “Ceiba Barrigona”, ya que presentan un diámetro en la base del tallo de hasta 1 metro de diámetro en estado adulto (Díaz-Pérez et al., 2011a). En este trabajo, se corrobora esta característica, aún en estados juveniles de esta especie, puede ser mucho más clave y crucial para la supervivencia, independientemente de que sea una planta cuyo fenotipo sea construido bajo IS o PL.

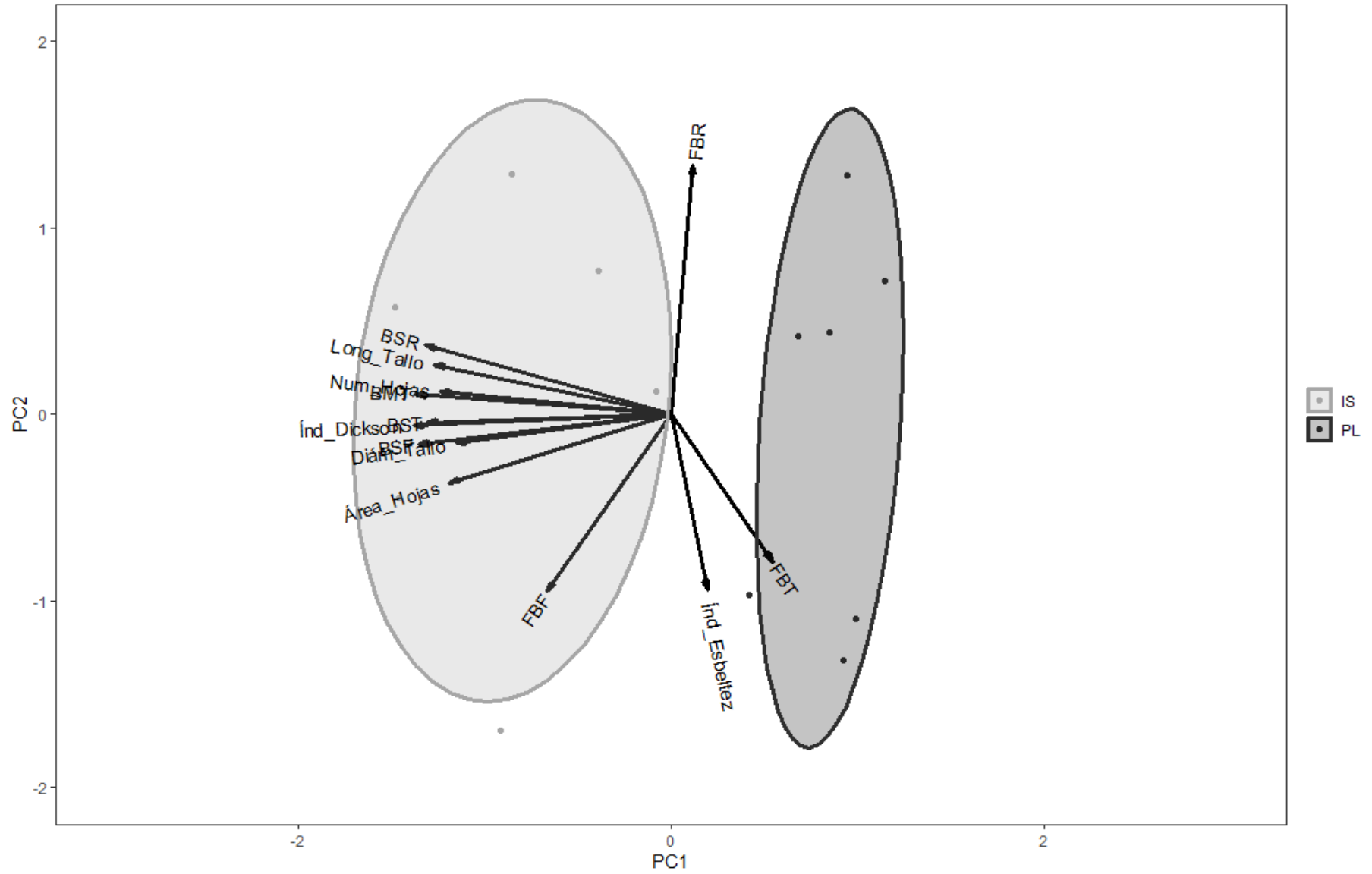
El Índice de Dickson, es una herramienta que integra el IE y otros rasgos morfológicos y del crecimiento de las plantas (Dickson et al., 1960). El ID indica que hubo diferencias significativas en la calidad de las plantas obtenidas bajo condiciones de IS en contraste a las de su contraparte bajo PL. Se espera entonces que, el grupo de plantas con el fenotipo bajo condiciones de IS tendrían un mejor desempeño en campo que las plantas del fenotipo obtenido bajo PL. De ese modo, la irrigación suplementaria realizada en condiciones de vivero a pleno sol con IS, durante la fase de propagación, es una estrategia que se podría implementar en los esfuerzos de propagación de la especie que puede aumentar el éxito de su siembra y establecimiento en campo.

5.4 Análisis de Componentes Principales

Al realizar el Análisis de Componentes Principales (PCA), se puede observar que los tratamientos hídricos, provocaron claras diferencias entre los individuos de cada grupo, visualizando como una nube de puntos color gris oscuro (grupo PL) y otra de puntos gris claro (grupo IS) ubicadas en lados opuestos (Figura 4). Los resultados arrojan que el primer componente

representa el 61,6% de la varianza de los datos (ver Anexo 1), y el segundo componente refleja el 18,1% de la varianza, juntos siendo el 79,7% de la varianza total de los datos .

En la Figura 4, se observa que la contribución del Índice de Dickson, que integra varios rasgos morfológicos y del crecimiento, como los son BT, Altura, Diámetro del tallo, BSF, BST y BSR, fue del 61,6%. Esos resultados confirman que el suministro de agua favoreció al grupo de las plantas bajo IS, puede presentar un mejor desempeño en condiciones de campo al momento de su establecimiento definitivo en campo, independientemente, de que las plantas exhiban similar patrón de asignación de biomasa al de las plantas bajo PL.

Figura 2 Representación de los componentes PC1 y PC2 del análisis de componentes principales (PCA)

De otro lado, se corrobora la relación existente entre el patrón de asignación de la biomasa hacia sus órganos (Fracciones de Biomasa) y la capacidad de la especie para resistir la desecación (Índices de Esbeltez). En otras especies, la asignación de biomasa cambia al aumentar la disponibilidad hídrica, y resulta mayor hacia el tallo (Biruk et al., 2022). En el caso, de *C. chicamochae*, el patrón de asignación de biomasa que se observó es conservativo para responder a la disponibilidad hídrica y, probablemente, se puede considerar que ese patrón de asignación de biomasa es un carácter adaptativo de la especie, independiente del tratamiento hídrico, puede ser crucial y determinante, para que las plantas juveniles puedan sobrevivir al clima extremo luego de su siembra y establecimiento en campo, y enfrentar las condiciones edafo-climáticas predominantes de los ecosistemas semiárido de los cañones del río Sogamoso y del río Chicamocha, en el departamento de Santander.

6. Conclusiones

Bajo las condiciones experimentales de este trabajo se comprobó que:

La irrigación suplementaria aumentó la BT en plantas juveniles de *C. chicamochae* debido a una mayor área foliar y número de hojas, e incrementan su altura y diámetro de la base del tallo, sin afectar el patrón de asignación de biomasa.

La irrigación suplementaria incrementa significativamente el desempeño de las plantas juveniles de *C. chicamochae*, propagadas a pleno sol, y se corroboró que puede ser una práctica útil, para que, al momento de ser trasplantadas a campo en posibles programas de reforestación de la especie, la tasa de mortalidad disminuya y posean mayor capacidad de sobrevivencia.

Las plantas juveniles de *C. chicamochae* posee una plasticidad que pueden contribuir a tolerancia relativa a la desecación y a su potencial de crecimiento en sitios secos, independiente, de la irrigación suplementaria o no.

7. Referencias Bibliográficas

- Biruk, L. N., Fernández, M. E., González, C. V., Guevara, A., Rovida-Kojima, E., & Giordano, C. V. (2022). High and diverse plastic responses to water availability in four desert woody species of South America. *Trees - Structure and Function*, 36(6), 1881 – 1894. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02335-8>
- Brouwer, R. (1962). Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, 10, 361–376.
- Brouwer, R. (1983). Functional equilibrium: sense or nonsense? *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, 31, 335–348.
- Butz, P., Hölscher, D., Cueva, E., & Graefe, S. (2018). Tree water use patterns as influenced by phenology in a dry forest of southern ecuador. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00945>
- CDMB. (2015). *Producción de plántulas de Cavanillesia chicamochae, especie en peligro de extinción*.
- Cella Pizarro, L., & Bisigato, A. J. (2010). Allocation of biomass and photoassimilates in juvenile plants of six Patagonian species in response to five water supply regimes. *Annals of Botany*, 106(2), 297–307. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq109>
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Carvalho, I., Faria, T., & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(SPEC. ISS.), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>

- Coyle, D. R., Aubrey, D. P., & Coleman, M. D. (2016). Growth responses of narrow or broad site adapted tree species to a range of resource availability treatments after a full harvest rotation. *Forest Ecology and Management*, 362, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.047>
- Díaz-Pérez, C. N., Puerto-Hurtado, M. A., & Fernández-Alonso, J. L. (2011a). Evaluación del hábitat, las poblaciones y el estatus de conservación del barrigón (*Cavanillesia chicamochae*, Malvaceae - Bombacoideae). *Caldasia*, 33(1), 105–119.
- Díaz-Pérez, C. N., Puerto-Hurtado, M. A., & Fernández-Alonso, J. L. (2011b). Habitat evaluation, population and conservation status of the “barrigón” (*Cavanillesia chicamochae*, Malvaceae-Bombacoideae). *Caldasia*, 33(1), 105–119.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Erkin, F., Yue, D., Abdureyim, A., Huang, W., & Tayir, M. (2023). Link between the aboveground and belowground biomass allocation with growing of *Tamarix* sp. seedlings in the hinterland of Taklimakan Desert, China. *PLoS ONE*, 18(8 August). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289670>
- Fajardo, L., Rodríguez, J. P., González, V., & Briceño-Linares, J. M. (2013). Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *Journal of Arid Environments*, 88, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.009>
- Gupta, G. N. (1995). *Rain-water management for tree planting in the Indian Desert*.
- Lemaire, C., Blackman, C. J., Cochard, H., Menezes-Silva, P. E., Torres-Ruiz, J. M., & Herbette, S. (2021). Acclimation of hydraulic and morphological traits to water deficit

- delays hydraulic failure during simulated drought in poplar. *Tree Physiology*, 41(11), 2008–2021. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab086>
- Martínez, A. M., Ayala, Y. A., Botero, J. M., Celis, E. M., & Suescún, D. (2021). Evaluación de tratamientos para la propagación de ceiba barrigona (*Cavanillesia chicamochae*), morfología y fenología de la semilla. *Actualidades Biológicas*, 43(115), 1–12. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v43n115a07>
- Pizano, C., & García, H. (2014a). El Bosque Seco Tropical en Colombia. In *Investigación de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH)* (Issue September). <https://www.humboldt.org.co/>
- Pizano, C., & García, H. (2014b). El Bosque Seco Tropical en Colombia. In *Investigación de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH)* (Vol. 1822, Issue September).
- Poorter, H., & Nagel, O. (2000). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27, 595–607.
- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. In *New Phytologist* (Vol. 193, Issue 1, pp. 30–50). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Universidad Autónoma Chapingo - Mundi Prensa.

- Sáenz Reyes, J. T., Muñoz Flores, H. J., Pérez D., C. M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98–111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.293>
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Haleem Abdul-Wajid, H., & Leonardo Battaglia, M. (2021). Plants Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*, 10(259), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants>
- Sheikh, M. I., Shah, B. H., & Aleem, A. (1984). Effect of rainwater harvesting methods on the establishment of tree species. *Forest Ecology and Management*, 8, 257–263.
- Silveira, A. M. F., Coelho-Netto, R. A., & Marenco, R. A. (2023). Biomass allocation in *Ceiba pentandra* (Malvaceae) under water stress and high CO₂ concentration. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 51. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.10>
- Valencia-Duarte, J., Trujillo-Ortiz, L. N., & Vargas-Ríos, O. (2012). Dinámica de la vegetación de un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(2), 40–65.