

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

**Bioestimulación con Ácidos Húmicos y Fúlvicos en Plantas Juveniles de Árboles Nativos
con Potencial de Uso Para la Restauración Ecológica en Santander**

Autor:

Aura Juliana Bárcenas Méndez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Bióloga

Director:

Nelson Facundo Rodríguez López

PhD. Fisiología Vegetal

Codirector:

Miquel González-Méler

PhD. Ciencias Biológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Biología

Bucaramanga

2025

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi nona Rosaura y a mi madre, cuyo apoyo constante, enseñanzas y ejemplo han sido fundamentales en mi formación. Ustedes son mi inspiración y a ustedes debo cada paso que doy.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Industrial de Santander, no solo por brindarme una sólida formación académica, sino también por ofrecerme oportunidades de trabajo, intercambios académicos, alimentación y un invaluable crecimiento profesional y personal. Extiendo mi gratitud a mis compañeros Felipe Suárez, Paula Quiroga y David Atuesta por su apoyo en el desarrollo de este proyecto; al profesor Nelson Rodríguez y al técnico José Arango por su guía y enseñanza; y a todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido a mi formación, incluyendo a mis amigos, especialmente Nathalia Sánchez y Fabiana Flórez, y a mi familia. Finalmente, agradezco a Dios por acompañarme, protegerme y guiarme desde el inicio de mis días, y a mí misma por no rendirme.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Objetivos.....	16
1.1. Objetivo general.....	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. Metodología	17
2.1. Área de estudio y condiciones experimentales	17
2.2. Material vegetal	18
2.3. Diseño experimental y tratamientos.....	20
2.4. Rasgos evaluados en las plantas	24
2.4.1. Rasgos morfológicos.....	24
2.4.2. Rasgos de crecimiento y de asignación de biomasa	25
2.4.3. Índices de calidad.....	26
2.4.4. Análisis estadístico.....	26
3. Resultados	27
3.1. Variables microclimáticas	27
3.2. Rasgos morfológicos.....	28
3.3. Rasgos de crecimiento, acumulación y asignación de biomasa.....	30
3.3.1. Biomasa seca total.....	31

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

3.3.2. Acumulación de biomasa en los órganos de las plántulas	32
3.3.3. Fracciones de asignación de biomasa	34
3.4. Efecto general del tratamiento sobre la fisiología vegetal	35
3.4.1. Análisis de componentes principales	35
3.4.2. Correlación entre los rasgos evaluados.....	37
3.4.3. Prueba PERMANOVA.....	39
3.5. Índices de calidad en las plántulas	39
4. Discusión.....	40
4.1. Respuestas en rasgos morfológicos	40
4.2. Respuestas en rasgos de acumulación y asignación de biomasa	42
4.3. Estrategias de crecimiento en las especies evaluadas	43
4.4. Análisis de los Índices de calidad en las plántulas.....	44
5. Conclusiones.....	45
Referencias Bibliográficas	47
Apéndices.....	64
Anexos	69

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Lista de Tablas

Tabla 1. Aplicaciones realizadas durante el experimento en términos de días después de la siembra (DDS).....	22
Tabla 2. Rasgos morfológicos en plantas juveniles de <i>Pithecellobium dulce</i> B.	29
Tabla 3. Rasgos morfológicos en plantas juveniles de <i>Erythrina fusca</i> L.	29
Tabla 4. Biomasa seca y asignación de biomasa en <i>Pithecellobium dulce</i> B.	30
Tabla 5. Biomasa seca y asignación de biomasa en <i>Erythrina fusca</i> L.	31
Tabla 6. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de <i>Erythrina fusca</i> L....	40
Tabla 7. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de <i>Pithecellobium dulce</i> B.	40
Tabla 8. Composición y propiedades químicas de Fullfert (Cosmoagro, 2018).....	69
Tabla 9. Composición química de fertilizante Rafos (Yara Management System, 2022).	69

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación del Laboratorio de Biología Vegetal (Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal) de la Universidad Industrial de Santander, 2024.	17
Figura 2. Semillas en hidratación durante 24 horas, antes de la siembra.	18
Figura 3. <i>Erythrina fusca</i> L. y <i>Pithecellobium dulce</i> B. en los tubos de germinación.	18
Figura 4. Plántulas de <i>Erythrina fusca</i> L. y <i>Pithecellobium dulce</i> B. en la cuarta semana post-siembra.	19
Figura 5. Plántulas post-trasplante A) <i>Erythrina fusca</i> L. y B) <i>Pithecellobium dulce</i> B.	19
Figura 6. Diseño experimental.	21
Figura 7. Espacio de crecimiento de las plántulas en el Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal UIS.	23
Figura 8. Plántulas en el primer muestreo A) <i>Erythrina fusca</i> L. y B) <i>Pithecellobium dulce</i> B. .	23
Figura 9. Plantas juveniles del segundo muestreo.	24
Figura 10. Humedad relativa (%) y temperatura promedio diaria durante la experimentación. ..	28
Figura 11. Fluctuación de la radiación fotosintéticamente activa diaria ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$).	28
Figura 12. Biomasa seca total en plantas juveniles de <i>Erythrina fusca</i> L. (A) y en plantas juveniles de <i>Pithecellobium dulce</i> B.	32
Figura 13. Acumulación de biomasa seca por órgano en plantas juveniles de <i>Erythrina fusca</i> L.	33
Figura 14. Acumulación de biomasa seca por órgano en plantas juveniles de <i>Pithecellobium dulce</i> B.	33
Figura 15. Fracciones de asignación de biomasa en plantas juveniles de <i>Erythrina fusca</i> L. (A) y en plantas juveniles de <i>Pithecellobium dulce</i> B. (B)	34
Figura 16. Análisis de componentes principales de las especies evaluadas..	36
Figura 17. Análisis de componentes principales de la especie <i>Erythrina fusca</i> L.	36

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Figura 18. Análisis de componentes principales de la especie *Pithecellobium dulce* B. 37

Figura 19. Matriz de correlación de Pearson de la especie *Pithecellobium dulce* B. 38

Figura 20. Matriz de correlación de Pearson de la especie *Erythrina fusca* L. 39

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Lista de Apéndices

Apéndice A. Datos obtenidos en el primer muestreo sobre el estado base de las plantas.....	64
Apéndice B. Tabla de resultados con los valores de p obtenidos en la prueba estadística para comparar tratamientos en <i>Pithecellobium dulce</i> B.	66
Apéndice C. Tabla de resultados con los valores de p obtenidos en la prueba estadística para comparar tratamientos en <i>Erythrina fusca</i> L.	67
Apéndice D. Mapa de la pérdida de cobertura forestal en el departamento de Santander.	68

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Resumen

Título: Bioestimulación con Ácidos Húmicos y Fúlvicos en Plantas Juveniles de Árboles Nativos con Potencial de Uso Para la Restauración Ecológica en Santander*

Autor: Aura Juliana Bárcenas Méndez**

Palabras Clave: Bioestimulantes, ácidos orgánicos, calidad de planta, *Erythrina fusca L.*, *Pithecellobium dulce B.*, restauración ecológica.

Descripción: La restauración ecológica depende de la disponibilidad de plántulas de alta calidad que garanticen el éxito en campo y contribuyan a la recuperación de ecosistemas degradados. Este estudio evaluó el efecto de un bioestimulante comercial a base de ácidos húmicos y fúlvicos sobre plántulas juveniles de dos especies nativas *Erythrina fusca L.* y *Pithecellobium dulce B.*, con potencial para programas de restauración en Santander, Colombia. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones controladas en el Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal. Se evaluaron variables morfológicas, de crecimiento, asignación de biomasa y de calidad de la planta. Se evidenció que el tratamiento de los ácidos orgánicos provocó en las plántulas de *Erythrina fusca L.*, incrementos significativos en rasgos morfológicos tales como la longitud y el diámetro del tallo, área foliar, longitud de pecíolos, longitud de raíces secundarias y biomasa seca total. Además, un aumento en el Índice de Dickson, lo que refleja una mejor robustez y equilibrio funcional de las plantas. En el caso de *Pithecellobium dulce B.*, no se encontraron variaciones significativas sobre los rasgos evaluados. Estos hallazgos nos indican que los efectos benéficos de la bioestimulación con los ácidos orgánicos -fúlvicos y húmicos- sobre las plantas juveniles arbóreas utilizadas en este trabajo, fue especie-dependiente y, además, representa una herramienta prometedora para mejorar la calidad de plántulas nativas y su potencial de supervivencia, aunque su efectividad debe validarse para cada especie y contexto local.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Nelson Facundo Rodríguez López. PhD Fisiología Vegetal. Codirector: Miquel González-Méler. PhD. Ciencias Biológicas.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Abstract

Title: Biostimulation with Humic and Fulvic Acids in Juvenile Native Tree Plants with Potential for Use in Ecological Restoration in Santander*

Author: Aura Juliana Bárcenas Méndez**

Key Words: Biostimulants, ecological restoration, *Erythrina fusca L.*, fulvic acids, humic acids, *Pithecellobium dulce B.*, plant quality.

Description: Ecological restoration relies on the availability of high-quality seedlings that ensure field success and contribute to the recovery of degraded ecosystems. This study evaluated the effect of a commercial humic and fulvic acid-based biostimulant on juvenile seedlings of *Erythrina fusca L.* and *Pithecellobium dulce B.*, two native species with potential for restoration programs in Santander, Colombia. The experiment was conducted under greenhouse conditions, measuring morphological, physiological, biomass, and plant quality variables. Results demonstrated that *Erythrina fusca L.* showed positive responses to the treatment, with significant increases in stem length and basal diameter, petiole and secondary root length, leaf area, total and aerial dry biomass, and an improvement in the Dickson Quality Index, indicating greater robustness and structural balance. In contrast, *Pithecellobium dulce B.* did not exhibit significant differences in any of the evaluated variables, suggesting that the effectiveness of biostimulants is species-dependent. These findings emphasize the importance of considering species-specific responses when applying humic substances in nurseries and highlight their potential as a tool to enhance the vigor and quality of planting material. In conclusion, this study provides experimental evidence on the role of humic and fulvic acids in improving seedling performance, particularly for *Erythrina fusca L.*, and underscores their applicability in ecological restoration programs within tropical ecosystems.

* Degree Work

** Science Faculty. Biology School. Director: Nelson Facundo Rodríguez López. PhD Plant Physiology. Codirector: Miquel González-Méler. PhD Biological Sciences.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Introducción

La deforestación constituye una de las principales amenazas para los diferentes ecosistemas colombianos (Negret et al., 2021). Colombia es considerado un país megadiverso, y por ello, ocupa el cuarto lugar mundial en diversidad de plantas (Rodríguez-Zapata y Ruiz-Agudelo, 2021; CBD, 2024; SIB, 2025). No obstante, en el año 2024, 113.608 hectáreas de bosque fueron talados, un 35 % más que en el año 2023 (IDEAM, 2025). Entre las causas se destacan: la ampliación de la frontera agropecuaria para la ganadería extensiva no sostenible, la infraestructura vial sin planificación, los cultivos ilícitos, la minería y tala ilegal, y, en menor medida, fenómenos naturales (Hoffman et al., 2018; González-González et al., 2021).

A nivel regional, Santander se ubica en el quinto lugar entre los departamentos con mayor número de especies registradas (SIB, 2025), aunque su riqueza natural se ve amenazada por la transformación del territorio (Alarcón-López, 2024). A pesar de que en 2024 la Orinoquía reportó una reducción del 11 % en la deforestación, Santander perdió 5,74 mil hectáreas de bosque de los 1,78 millones que registraba en 2020 (IDEAM, 2025; Global Forest Watch, 2025). Entre los factores que explican esta pérdida se encuentran la minería, la agricultura permanente, la expansión de asentamientos e infraestructura, la explotación y los incendios forestales (Hoffman et al., 2018; Global Forest Watch, 2025).

La restauración ecológica busca apoyar la recuperación de ecosistemas degradados (Society for Ecological Restoration, 2004; Gann, 2019). En Colombia, se enmarca en la Estrategia Nacional de Restauración 2023–2026 y de normativas internacionales y nacionales, como las que exigen compensaciones por la pérdida de biodiversidad en proyectos de infraestructura, minería y

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

energía (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012, 2023; FABLE, 2023). No obstante, la falta de objetivos claros, gobernanza participativa y mecanismos de monitoreo limita la sostenibilidad de muchos proyectos (Aguilar-Garavito, 2025). Entre las estrategias más aplicadas destacan la regeneración natural, las plantaciones nativas y los sistemas silvopastoriles (Restrepo-Carvajal, 2025).

Santander es una región de gran valor ecológico que alberga ecosistemas tan diversos como los kársticos subterráneos, el bosque seco tropical, el subandino y el bosque húmedo del Magdalena medio (Giraldo & Link, 2010; Reina, 2010; Restrepo, et al., 2016; Casas-Pinilla, 2017; Zafra-Otero, 2019). Es por esto que la restauración ha cobrado importancia frente a la pérdida acelerada de ecosistemas importantes, como el presente en la región del Chicamocha, el cual es considerado de alta prioridad (Cortés Serrano, 2019; Etter et al., 2020).

De acuerdo con Ruiz et al. (2023), es importante priorizar las áreas para la restauración ecológica, según resiliencia y trayectoria sucesional. Con el fin de optimizar recursos y mejorar la conectividad ecológica en el departamento de Santander. En ese contexto, iniciativas de restauración como la del Parque Nacional Serranía de los Yariguíes muestran la necesidad de integrar conocimiento científico y local (Prado-Castillo et al., 2018). Sin embargo, persisten limitaciones por el escaso uso de especies nativas y su propagación masiva (Duarte & Avella, 2019).

En ese sentido, el uso de bioestimulantes pueden favorecer el crecimiento de las plantas al mejorar la asimilación de nutrientes, estimular el desarrollo y aumentar la tolerancia al estrés

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

abiótico, sin aportar grandes cantidades de nutrientes (Unión Europea, 2024). Los bioestimulantes pueden ser de origen orgánico o inorgánico e incluyen extractos de algas y plantas, sustancias húmicas, proteínas hidrolizadas, compuestos nitrogenados, microorganismos y elementos químicos (Franzoni et al., 2022).

Entre ellos destacan las sustancias orgánicas (ácidos húmicos y fúlvicos), derivadas de la descomposición de la materia orgánica, que regulan el metabolismo vegetal y del suelo (Trevisan et al., 2010). El ácido fúlvico, por su capacidad quelante y acondicionadora, mejora la retención de agua y la absorción de macro y micronutrientes (Fe, Ca, Zn, Mg) (Castellano-Hinojosa et al., 2021), mientras que el ácido húmico estimula enzimas antioxidantes y mecanismos de defensa que aumentan la tolerancia al estrés abiótico (Alghabari & Shah, 2025).

Una de las familias con especies de interés, por su función ecológica y potencial de uso, en programas de restauración ecológica en el bosque seco tropical, es la familia Fabaceae (Olascuaga-Vargas et al., 2016). Una de sus especies, *Erythrina fusca* Lour (Lourerio, 1790), árbol insignia de la ciudad de Bucaramanga (Alcaldía de Bucaramanga, 2022) resalta por su rápido crecimiento, tolerancia a suelos inundables y capacidad de fijar nitrógeno, lo que favorece la recuperación de ambientes degradados (Petrone et al., 2010; Gris et al., 2019). Además, aporta sombra, hábitat y mantiene interacciones ecológicas clave al ser polinizada por aves y otros organismos (Cotton, 2001; Benavides et al., 2023).

Otra especie de Fabaceae con potencial de uso en restauración ecológica es *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. (Bentham, 1844). Se caracteriza por su resistencia a sequía, suelos pobres y

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

salinos, así como por mejorar la fertilidad mediante alta producción de hojarasca y presentar gran capacidad de propagación en programas de restauración (Ceccon et al., 2014; Vargas-Figueroa et al., 2015). Además, se le confiere la propiedad para acumular metales pesados como Pb, Cu⁺² y Zn⁺², lo cual le aporta un valor relevante en fitorremediación y bioindicación (Hernández-Maravilla et al., 2025; Kumbhakar et al., 2022).

En el contexto de restauración ecológica los bioestimulantes a base de sustancias húmicas se proponen como una alternativa que pueden mejorar el establecimiento y crecimiento de especies vegetales nativas, desde coníferas hasta latifoliadas en suelos degradados (Nazarov, et al., 2024). Si bien la investigación sobre bioestimulantes en especies arbóreas de la familia Fabaceae utilizadas en programas de restauración ecológica es reducida (Dinler, et al., 2016), las evidencias disponibles, nos permiten hipotetizar que el uso de los ácidos orgánicos -fúlvicos y húmicos- pueden ser benéficos para estimular el crecimiento de las plantas nativas, contribuyendo a la propagación masiva y la calidad de las plantas, de *Erythrina fusca* Lour. (Fabaceae) y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. (Fabaceae).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar el papel bioestimulante de los ácidos húmicos y fúlvicos en plantas juveniles de árboles nativos con potencial de uso para la restauración ecológica en Santander.

1.2. Objetivos específicos

- 1.2.1. Determinar las variaciones de los rasgos morfológicos de las plantas
- 1.2.2. Determinar las variaciones en el crecimiento y la asignación de biomasa.
- 1.2.3. Comparar los índices de calidad de las plantas utilizadas en los diferentes tratamientos.

2. Metodología

2.1. Área de estudio y condiciones experimentales

El experimento se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal del de la Escuela de Biología (7° 8' 33,862" N; 73° 7' 15,66" O) en la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Los datos de las variables microclimáticas obtenidos y almacenados fueron registrados mediante el uso de una estación microclimática marca HOBO® a la que se instalaron sensores de radiación fotosintéticamente activa (RFA $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%HR), durante el período experimental.



Figura 1. Ubicación del Laboratorio de Biología Vegetal (Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal) de la Universidad Industrial de Santander, 2024.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

2.2. Material vegetal

Se emplearon semillas certificadas de *Erythrina fusca* L. y *Pithecellobium dulce* B., adquiridas en la empresa El Semillero (Colombia), con certificación de calidad y viabilidad superior al 65 %. Las semillas fueron hidratadas durante 24 horas antes de la siembra y su germinación ocurrió en tubos de germinación que contenían arena lavada según las sugerencias de la empresa El Semillero. Después de 30 días de la siembra, las plantas fueron trasplantadas (Cui, et al., 2023) en bolsas de polietileno (10 x 20) con 4kg de sustrato compuesto por suelo, arena y materia orgánica en proporción 2:1:1 (Restrepo-Laguna, 2010).



Figura 2. Semillas en hidratación durante 24 horas, antes de la siembra.



Figura 3. *Erythrina fusca* L. y *Pithecellobium dulce* B. en los tubos de germinación.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS



Figura 4. Plántulas de *Erythrina fusca* L. y *Pithecellobium dulce* B. en la cuarta semana post-siembra.

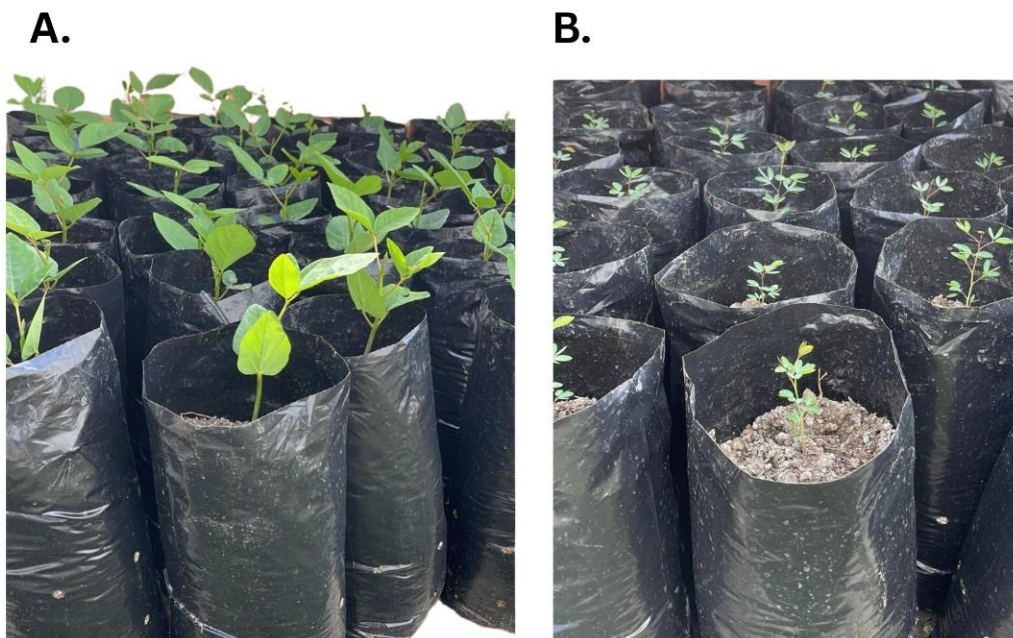


Figura 5. Plántulas post-trasplante A) *Erythrina fusca* L. y B) *Pithecellobium dulce* B.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

2.3. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue manipulativo de tipo 2 x 1, completamente al azar, donde el factor tratamiento tuvo dos niveles: CON (CAO) y SIN (SAO), ácidos húmicos y fúlvicos (Bioestimulante Fullfert), para cada especie por separado. Se establecieron 25 plántulas por tratamiento, sumando 50 plántulas para cada especie. Estas se organizaron sobre mesetas dentro del Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal UIS, en filas donde se dispusieron de forma intercalada los tratamientos (CAO y SAO) y las especies. La disposición de las áreas de establecimiento permitió el movimiento de las plántulas para reducir sesgos por gradientes de luz y temperatura: semanalmente las plantas fueron reubicadas en filas, columnas y mesetas distintas.

El experimento tuvo una duración de tres meses desde la fecha de siembra hasta la fecha de finalización. Se realizaron dos muestreos destructivos: un muestreo inicial: antes de la primera aplicación de bioestimulante, 35 días después de la siembra (condición base), en donde se emplearon 7 plántulas por especie para verificar su estado fitosanitario, y un muestreo final: al término del período experimental, 90 días después de la siembra, en el cual se emplearon 7 plántulas por tratamiento (CAO y SAO), dando un total de 14 plántulas por especie.

Se seleccionó el bioestimulante comercial Fullfert® (Ver Tabla 1 de Anexos) el cual es una fuente líquida de ácidos húmicos y fúlvicos elaborada por la empresa Cosmoagro. Adicionalmente, se aplicó fertilizante químico NPK y Rafos® (Ver Tabla 2 de Anexos) a todas las plantas juveniles como suplemento nutricional (Santacruz-García, et al., 2022; Maity, et al., 2024). También se aplicó insecticida Batrix y Cipermetrina, para el control de Lepidópteros.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

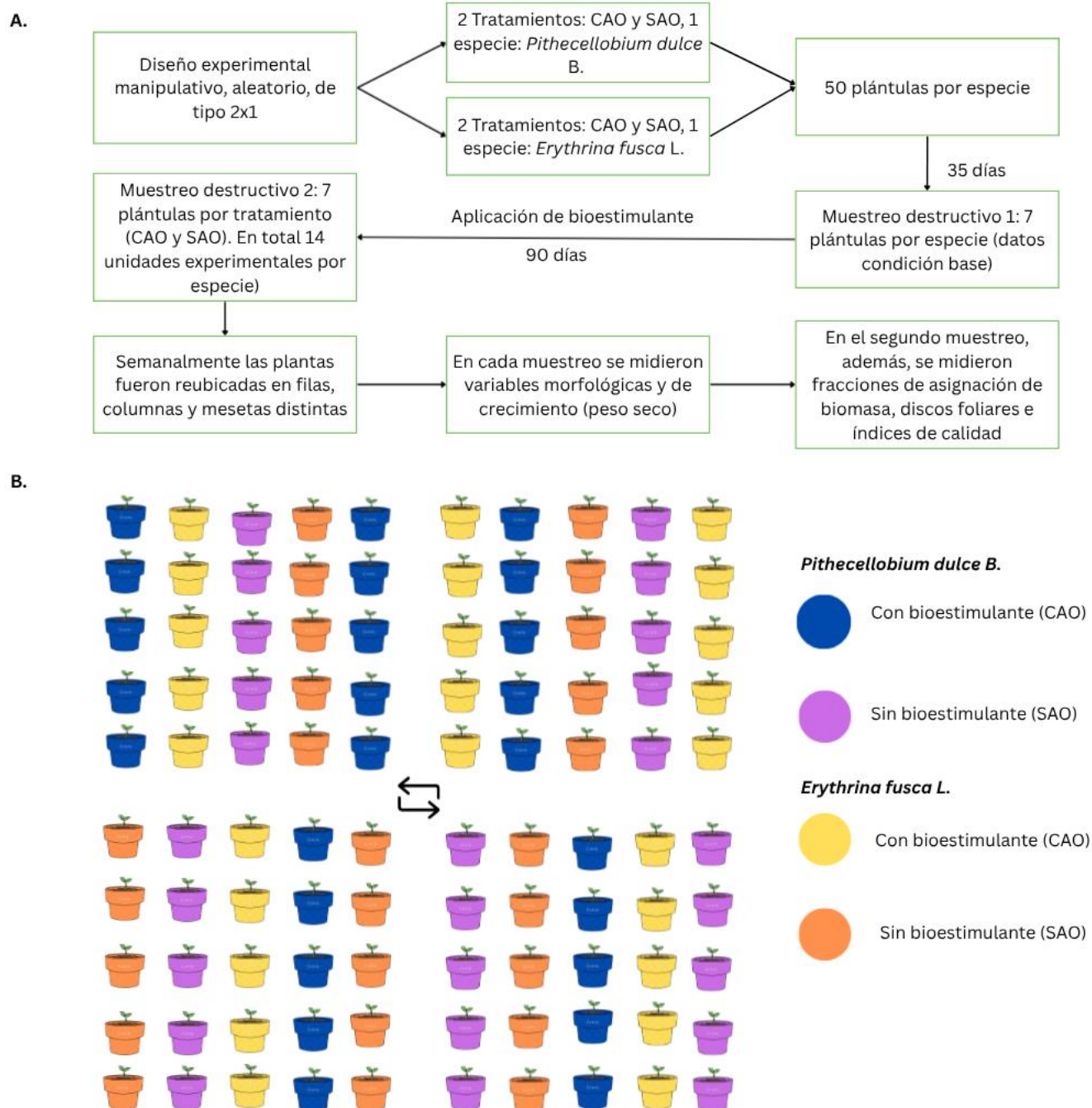


Figura 6. Diseño experimental. A) Diagrama de flujo del diseño experimental. B). Ilustración del montaje de las unidades experimentales.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

En la tabla 1, se presentan las dosis de bioestimulante, manejo nutricional y control de insectos plagas. La frecuencia de aplicación del bioestimulante que se utilizó en este experimento se hizo con base en criterio propio de los investigadores, teniendo en cuenta estudios previos (El-Baset & Kasem, 2022; Martins, et al., 2024).

Tabla 1. Aplicaciones realizadas durante el experimento en términos de días después de la siembra (DDS).

DDS	Producto	Disolución preparada	Aplicación por plántula	Vía de aplicación
26	NPK	120 g en 20 L agua	50 ml	Sustrato
31	NPK	120 g en 20 L agua	50 ml	Sustrato
41	Fullfert (Bioestimulante)	200 ml en 20 L agua	50 ml	Drench al sustrato
48	Fullfert (Bioestimulante)	250 ml en 20 L agua	100 ml	Drench al Sustrato
48	Nitrasam + Rafos	100 g de cada uno en 20 L agua	100 ml	Sustrato
48	Insecticida (Batrix + Cipermetrina)	2 g Batrix + 1,5 ml Cipermetrina en 1 L agua	3 spray	Foliar
53	Insecticida (Batrix + Cipermetrina)	2 g Batrix + 1,5 ml Cipermetrina en 1 L agua	3 spray	Foliar
61	Insecticida (Batrix + Cipermetrina)	2 g Batrix + 1,5 ml Cipermetrina en 1 L agua	3 spray	Foliar
66	Nitrasam + Rafos	50 g de cada uno en 20 L agua	50 ml	Sustrato
73	Insecticida (Batrix + Cipermetrina)	2 g Batrix + 1,5 ml Cipermetrina en 1 L agua	3 spray	Foliar

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS



Figura 7. Espacio de crecimiento de las plántulas en el Centro de Investigación en Ecofisiología Vegetal UIS.

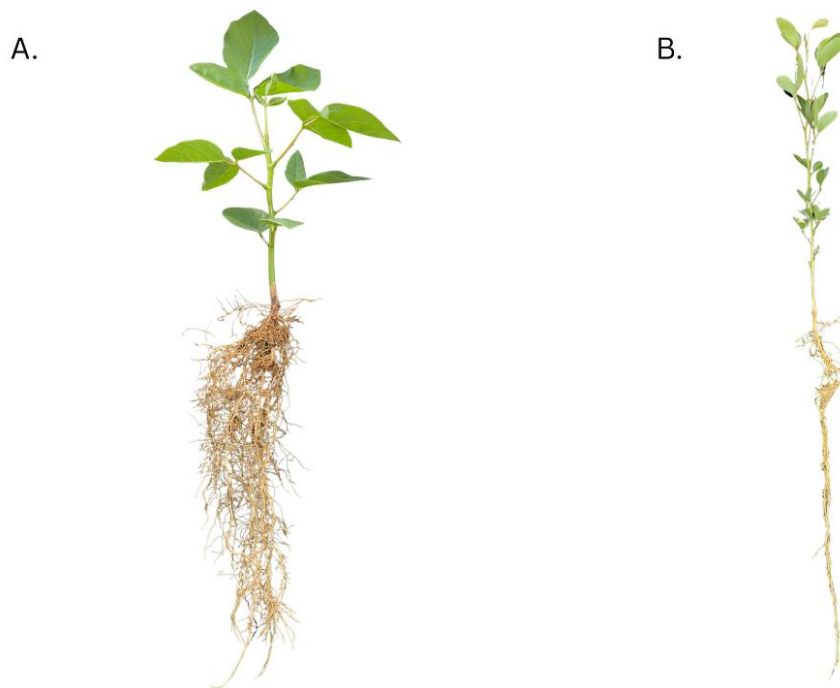


Figura 8. Plántulas en el primer muestreo A) *Erythrina fusca* L. y B) *Pithecellobium dulce* B.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

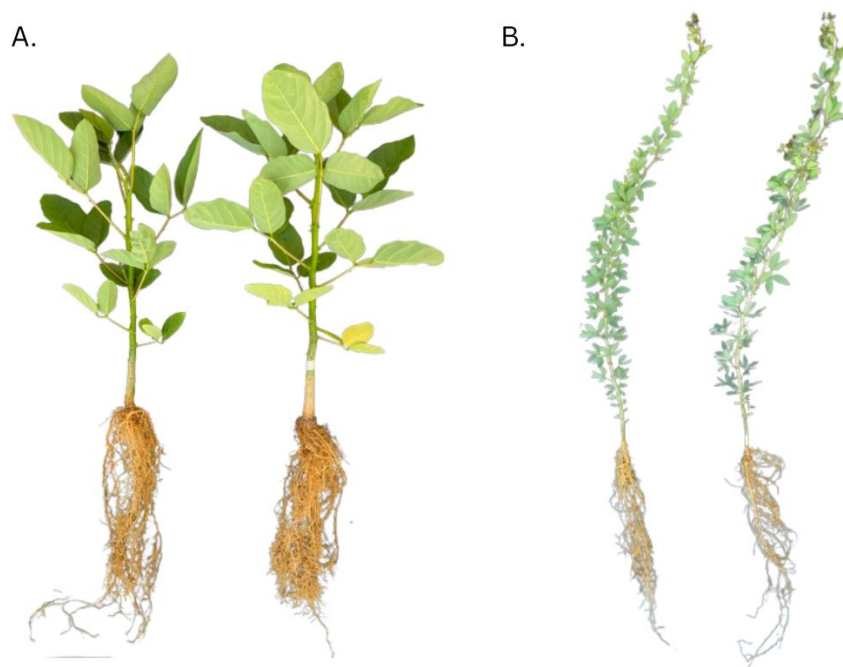


Figura 9. Plantas juveniles del segundo muestreo. Las plantas marcadas con cinta blanca en el tallo fueron tratadas con ácidos húmicos (plantas de la derecha), mientras que las plantas sin marca (lado izquierdo) no fueron tratadas A) *Erythrina fusca* L. y B) *Pithecellobium dulce* B.

2.4. Rasgos evaluados en las plantas

2.4.1. Rasgos morfológicos

Se evaluaron los siguientes rasgos morfológicos: longitud del tallo (cm), diámetro en la base del tallo (mm), longitud de la raíz primaria, secundaria y del sistema radicular total (cm), longitud de pecíolos promedio (cm), número de hojas (unidades), número de espinas (unidades), número de raíces secundarias (unidades) y número de nódulos; los cuales fueron determinados como la media del total por planta (registrados únicamente en el segundo muestreo) (Di Benedetto, 2016).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

También, se midió el área foliar (cm^2), para lo cual se escanearon todas las hojas de cada planta junto con una escala de 1 cm; posteriormente, el área total por planta fue calculada mediante el programa ImageJ (Rojas, 2011). Finalmente, se determinó el volumen radicular (cm^3) utilizando el método de desplazamiento de agua en probeta, que consiste en registrar el volumen de agua desplazado al sumergir el sistema radicular de cada plántula (Harrington, 1994).

Complementario a esto, se tomaron discos foliares en la especie *Erythrina fusca* L., de 1.4 cm de diámetro, con los cuales se calculó el área foliar específica (SLA) y la masa foliar aérea (LMA) (Wright et al., 2004). En las plantas de *Pithecellobium dulce* B. no fue posible debido al tamaño pequeños de sus hojas.

2.4.2. Rasgos de crecimiento y de asignación de biomasa

Se evaluaron los rasgos de crecimiento, mediante la acumulación de la biomasa de los diferentes órganos de las plantas y se obtuvo la masa seca de hojas (g), de tallos (g), de raíces (g) y de pecíolos (g). Luego de secado en un horno de ventilación forzada a 70 °C durante 72 horas.

Además, se calculó la biomasa seca total (g) por planta y se realizaron proporciones de peso entre los órganos: relación raíz-parte aérea o root-shoot (R:S), relación parte aérea-raíz o shoot-root (S:R), proporción de raíz o root mass fraction (RMF)(g^{-1}) y proporción de parte aérea o leaf mass fraction (LMF) (g^{-1}) (Poorter, 2012; Pérez, 2023; Di Benedetto, 2016).

$$\text{Root: Shoot (R: S)} = \frac{\text{Biomasa seca de raíces (g)}}{\text{Biomasa seca de tallo + hojas + pecíolo (g)}}$$

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

$$\text{Shoot: Root (S: R)} = \frac{\text{Biomasa seca de tallo + hojas + pecíolo (g)}}{\text{Biomasa seca de raíces (g)}}$$

$$\text{Leaf mass fraction (LMF):} = \frac{\text{Biomasa seca de hojas (g)}}{\text{Biomasa seca total (g)}}$$

$$\text{Root mass fraction (RMF):} = \frac{\text{Biomasa seca de raíces (g)}}{\text{Biomasa seca total (g)}}$$

2.4.3. Índices de calidad

Para estimar la calidad de las plántulas y predecir su posible éxito en campo (Villar-Salvador, 2003) se calculó el Índice de Esbeltez (IE) con base a la fórmula propuesta por Sáenz Reyes et al. (2014) y el Índice de Dickson (ID) (Dickson et al., 1960).

$$\text{Índice de esbeltez (IE)} = \frac{\text{Longitud del tallo (cm)}}{\text{Diámetro en la base del tallo (mm)}}$$

$$\text{Índice de Dickson (ID)} = \frac{\text{Biomasa seca total (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro en la base del tallo (mm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aerea (g)}}{\text{Biomasa seca raiz (g)}} \right)}$$

2.4.4. Análisis estadístico

Los datos de los rasgos evaluados se sometieron a un test de normalidad de Shapiro–Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). También la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (Levene, 1960). Según los resultados de la prueba de normalidad, se compararon los tratamientos en cada una de las variables mediante la prueba t de dos muestras (datos paramétricos) (Student, 1908) o su alternativa, la prueba de Mann & Whitney para los datos no paramétricos (Mann & Whitney, 1947), en cada especie por separado.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Por otro lado, se realizó una correlación de Pearson (Pearson, 1901) y un Análisis de Componentes Principales (PCA) (Hotelling, 1933), para identificar patrones multivariados que evidencien colinealidad entre las variables de respuesta. Igualmente, para evaluar el efecto general de los tratamientos sobre el fenotipo de las plantas, provocado por los tratamientos, se realizó una matriz de distancias euclidianas, previo a realizar una prueba PERMANOVA (Anderson y Ter Braak, 2003). Teniendo en cuenta que los datos tenían una distribución no paramétrica.

Para los análisis estadísticos se empleó el programa R versión 4.4.1 (R Core Team, 2025), utilizando los paquetes *car* (Fox & Weisberg, 2019), *ggplot2* (Hadley, 2016), *dplyr* (Hadley, et al., 2023), *gridExtra* (Baptiste, 2017), *vegan* (Okansen, et al., 2025), *psych* (Revelle, 2025) y *corrplot* (Wei & Simko, 2024).

3. Resultados

3.1. Variables microclimáticas

Los resultados de las variables microclimáticas registradas durante la ejecución del experimento evidenciaron que la temperatura promedio fue de $24,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,14$, la humedad relativa del aire $75\% \pm 0,99$ (Figura 9) y se registró un promedio de la RFA durante el periodo diurno de $787,14 \pm 22$ (Figura 10).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

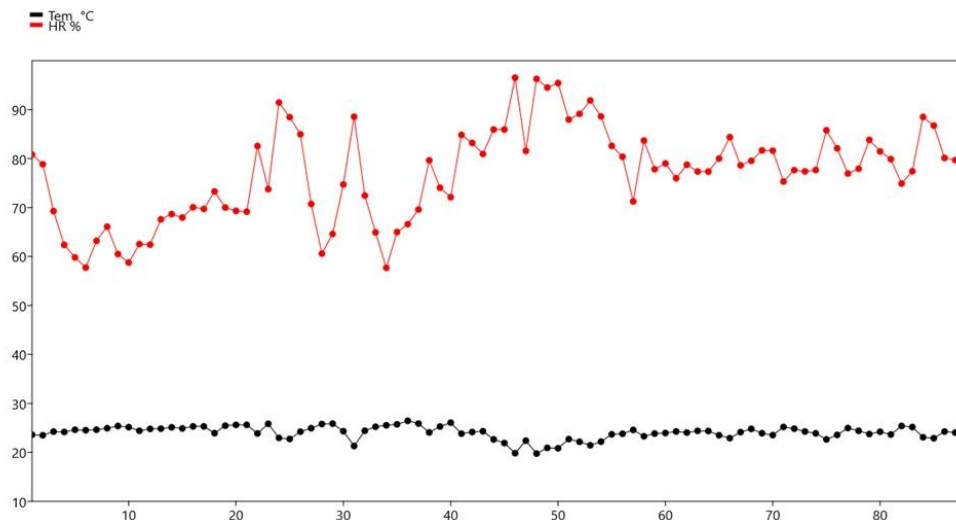


Figura 10. Humedad relativa (%) y temperatura promedio diaria durante la experimentación.

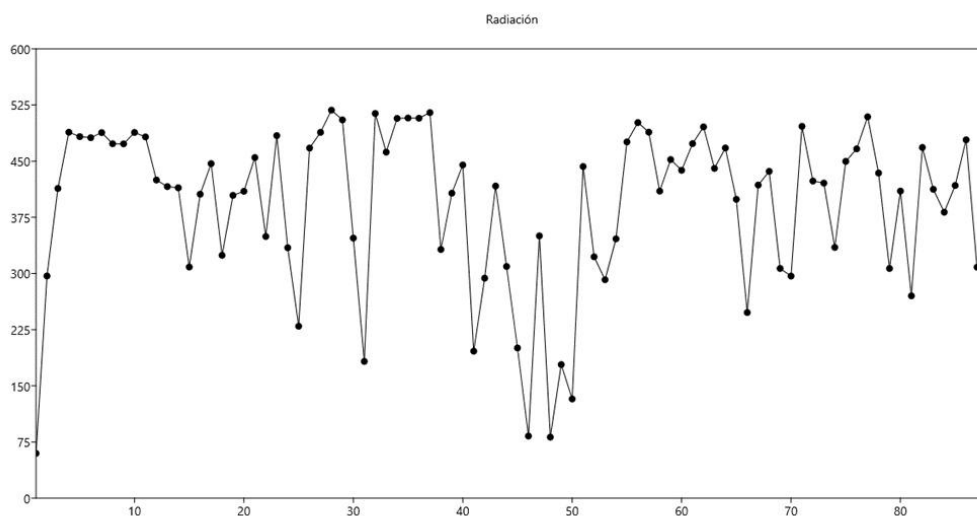


Figura 11. Fluctuación de la radiación fotosintéticamente activa diaria ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$).

3.2. Rasgos morfológicos

Al final del experimento, las plantas de la especie *Pithecellobium dulce* B. (Tabla 2) no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en ninguno de los rasgos morfológicos evaluados. Es decir, la aplicación de los ácidos orgánicos no provocó alteraciones significativas en los rasgos evaluados.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Tabla 2. Rasgos morfológicos en plantas juveniles de *Pithecellobium dulce* B.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Longitud del tallo (cm)	81.00 ± 12.05 a	76.90 ± 13.75 a
No. de espinas	105.7 ± 85 a	123.7 ± 84 a
Diámetro en la base del tallo (mm)	5.27 ± 1.1 a	5.18 ± 0.65 a
No. de hojas	80.43 ± 51 a	91.29 ± 41 a
Longitud del pecíolo (cm)	1.91 ± 0.19 a	1.76 ± 0.22 a
Longitud sistema radicular (cm)	38.99 ± 10.45 a	38.86 ± 3.6 a
Longitud raíz primaria (cm)	30.24 ± 10.6 a	34.96 ± 8.1 a
Longitud raíz secundaria (cm)	25.29 ± 7.98 a	24.63 ± 9.97 a
No. raíces secundarias	2 ± 2 a	3 ± 2 a
No. nódulos	5 ± 10 a	3 ± 5 a
Volumen radicular (cm ³)	8.42 ± 6.5 a	8.857 ± 4.5 a
Área foliar (cm ²)	580 ± 194,75 a	603 ± 197.35 a

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre los tratamientos ($p < 0.05$).

En el caso de las plantas de *Erythrina fusca* L. (Tabla 3) si se encontraron alteraciones significativas en algunos rasgos morfológicos tales como longitud del tallo, diámetro en la base del tallo, longitud del pecíolo, longitud de raíz secundaria y área foliar.

Tabla 3. Rasgos morfológicos en plantas juveniles de *Erythrina fusca* L.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Longitud del tallo (cm)	76.90 ± 13.75 a	38.73 ± 4.1 b
No. de espinas (unidad)	35.29 ± 7 a	32.86 ± 12.5 a
Diámetro en la base del tallo (mm)	12.29 ± 1.15 a	11.29 ± 1.2 b
No. de hojas	9.57 ± 1.5 a	9.00 ± 1.0 a
Longitud del pecíolo (cm)	7.32 ± 0.795 a	6.544 ± 0.47 b
Longitud sistema radicular (cm)	48.09 ± 7.2 a	52.11 ± 6.55 a

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Longitud raíz primaria (cm)	42.84 ± 10.7 a	49.23 ± 10 a
Longitud raíz secundaria (cm)	33.01 ± 9.01 a	36.69 ± 3.93 b
No. raíces secundarias	8.857 ± 3 a	7.286 ± 1.5 a
No. nódulos	7.143 ± 3 a	5.143 ± 3 a
Volumen radicular (cm ³)	38.71 ± 26.5 a	37.43 ± 12.5 a
Area foliar (cm ²)	1251 ± 201.5 a	1043 ± 164.5 b

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre los tratamientos ($p < 0.05$).

3.3. Rasgos de crecimiento, acumulación y asignación de biomasa

En cuanto a la acumulación de biomasa no se encontraron diferencias significativas en la especie *Pithecellobium dulce* B. (Tabla 5). Para la especie *Erythrina fusca* L. sí se encontraron diferencias en algunas variables como biomasa seca de tallo, pecíolos, hojas y biomasa total. También se encontraron diferencias significativas en las proporciones de asignación de biomasa Root:Shoot (R:S), Root Mass Fraction (RMF) y Leaf Mass Fraction (LMF).

Tabla 4. Biomasa seca y asignación de biomasa en *Pithecellobium dulce* B.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Biomasa seca tallo (g)	3.779 ± 1.81 a	3.873 ± 1.19 a
Biomasa seca pecíolo (g)	0.21 ± 0.08 a	0.21 ± 0.01 a
Biomasa seca raíz primaria (g)	1.53 ± 0.46 a	1.51 ± 0.68 a
Biomasa seca raíz secundaria (g)	0.28 ± 0.33 a	0.41 ± 0.365 a
Biomasa seca sistema radicular (g)	1.82 ± 0.71 a	1.933 ± 0.62 a
Biomasa seca hojas (g)	3.25 ± 0.81 a	3.19 ± 0.94 a
Biomasa seca total (g)	9.07 ± 3.33 a	9.20 ± 2.74 a
Fracción R:S (g)	0.25 ± 0.04 a	0.26 ± 0.06 a
Fracción S:R (g)	4.01 ± 0.78 a	3.790 ± 0.79 a
Fracción RMF (g ⁻¹)	0.20 ± 0.03 a	0.21 ± 0.03 a
Fracción LMF (g ⁻¹)	0.79 ± 0.03 a	0.78 ± 0.03 a

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre los tratamientos ($p < 0.05$).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Tabla 5. Biomasa seca y asignación de biomasa en *Erythrina fusca* L.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Biomasa seca tallo (g)	7.18 ± 0.83 a	6.13 ± 1.38 b
Biomasa seca pecíolo (g)	1.25 ± 0.26 a	0.97 ± 0.21 b
Biomasa seca raíz primaria (g)	4.43 ± 0.85 a	4.50 ± 1.79 a
Biomasa seca raíz secundaria (g)	2.44 ± 0.55 a	2.32 ± 0.80 a
Biomasa seca sistema radicular (g)	6.87 ± 0.94 a	6.83 ± 2.13 a
Biomasa seca hojas (g)	6.32 ± 0.82 a	5.22 ± 0.51 b
Biomasa seca total (g)	21.64 ± 2.51 a	19.16 ± 3.47 b
Fracción R:S (g)	0.46 ± 0.051 a	0.55 ± 0.11 b
Fracción S:R (g)	2.15 ± 0.24 a	1.86 ± 0.48 a
Fracción RMF (g ⁻¹)	0.31 ± 0.024 a	0.35 ± 0.052 b
Fracción LMF (g ⁻¹)	0.68 ± 0.024 a	0.64 ± 0.052 b

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre los tratamientos ($p < 0.05$).

3.3.1. Biomasa seca total en las plantas

En cuanto al crecimiento evaluado por la acumulación de biomasa total sí se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en *Erythrina fusca* L., pero no en *Pithecellobium dulce* B., tal como se indica en las tablas 4 y 5.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

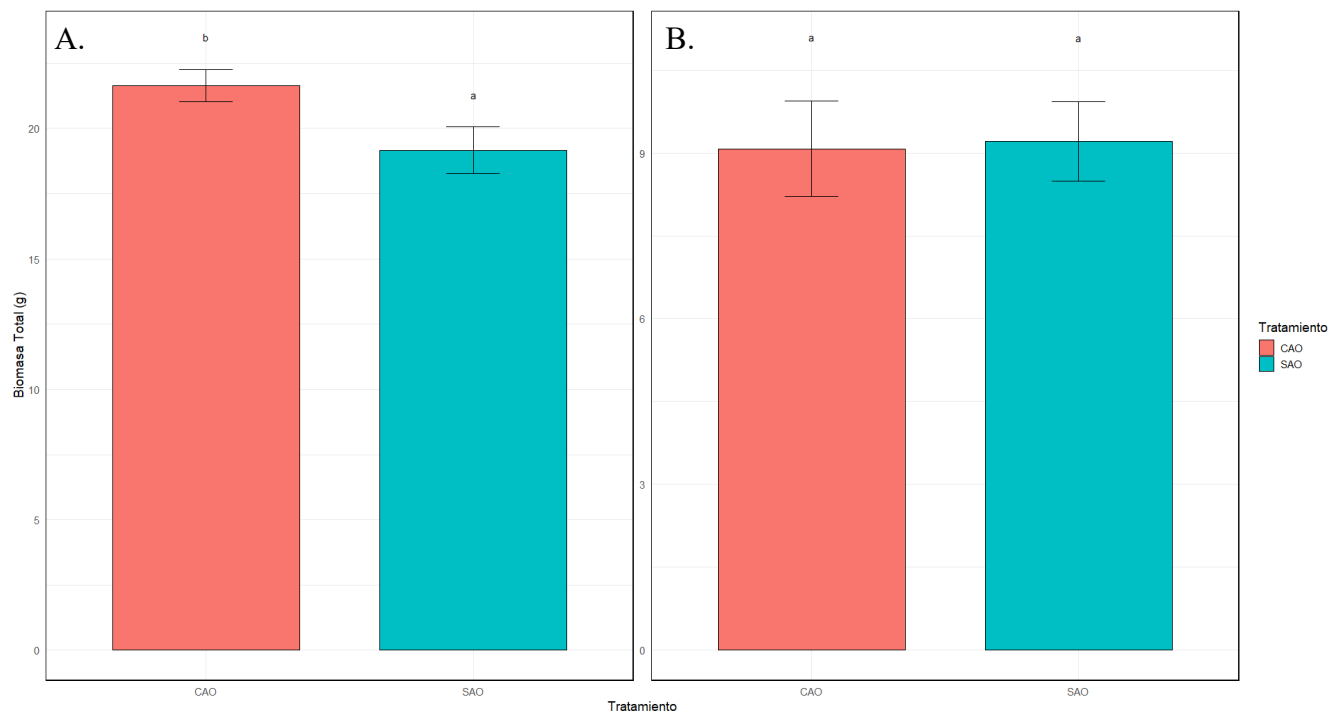


Figura 12. Biomasa seca total en plantas juveniles de *Erythrina fusca* L. (A) y en plantas juveniles de *Pithecellobium dulce* B. (B) tratadas con (CAO-cajas rojas) y sin (SAO- azules) sustancias húmicas.

3.3.2. Acumulación de biomasa en los órganos de las plantas

En la Figura 13, referente a la acumulación de biomasa de *Erythrina fusca* L. se observan las diferencias significativas encontradas en el peso seco los órganos como hojas y tallo. También, se observa la no variación en el peso seco de las raíces, tal como se evidencia en la tabla 5.

En la Figura 14, referente a la acumulación de biomasa de *Pithecellobium dulce* B. se observa que no hubo variación significativa en ninguno de los órganos evaluados, tal como se evidencia en la tabla 4.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

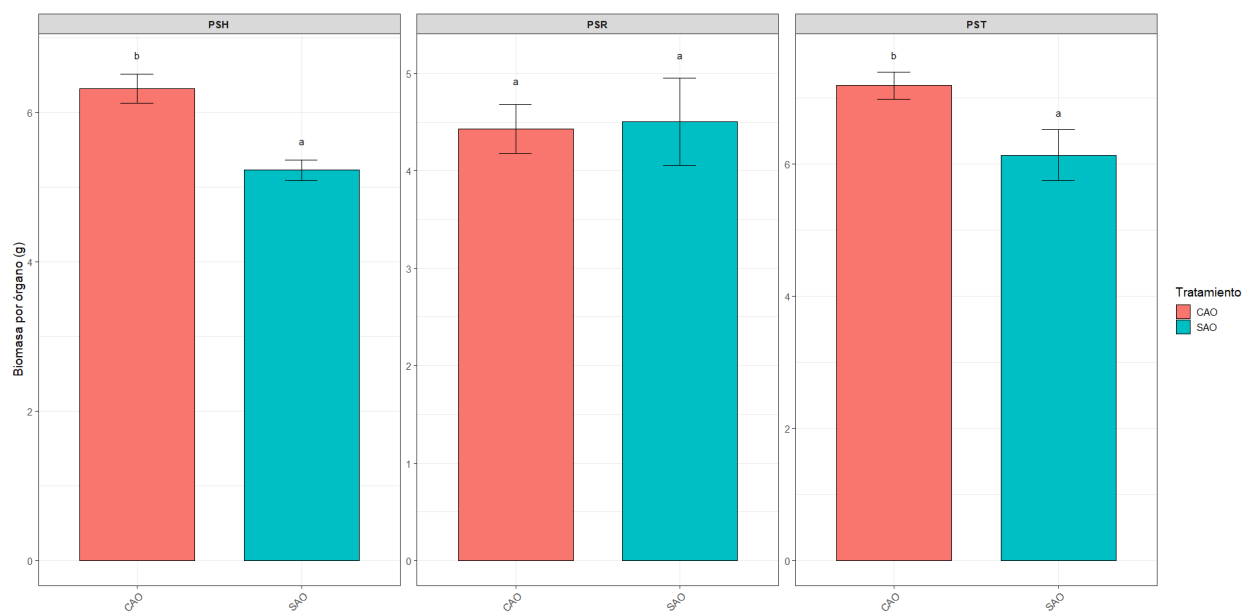


Figura 13. Acumulación de biomasa seca por órgano en plantas juveniles de *Erythrina fusca L.* Las cajas rojas representan el tratamiento CAO (plantas tratadas) y las cajas azules representan el tratamiento control SAO.

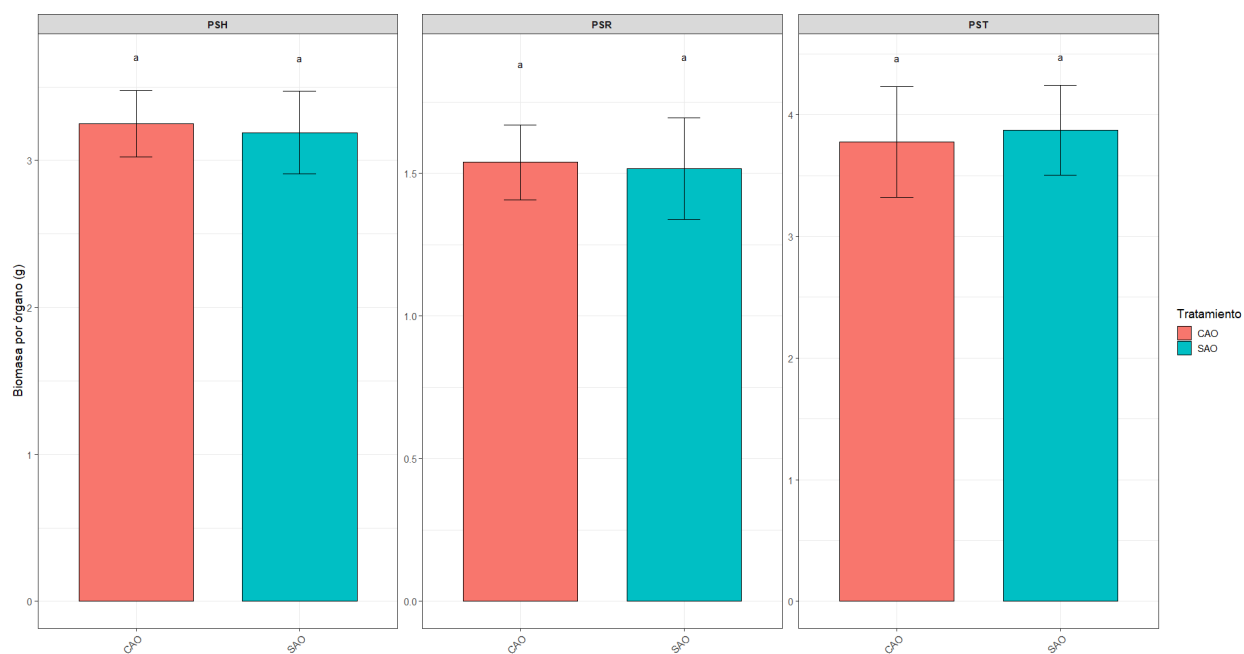


Figura 14. Acumulación de biomasa seca por órgano en plantas juveniles de *Pithecellobium dulce B.* Las cajas rojas representan el tratamiento CAO (plantas tratadas) y las cajas azules representan el tratamiento control SAO.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

3.3.3. Fracciones de asignación de biomasa

En las plantas de *Erythrina fusca L.*, tratadas con sustancias húmicas se observó una disminución significativa en las fracciones R:S y RMF al compararla con sus contrapartes (Figura 15 A). Contrario a esto, se obtuvo un aumento significativo en la fracción LMF. Mientras que la fracción S:R se mantuvo sin cambios.

Por otro lado, en las plantas de *Pithecellobium dulce B.*, las sustancias húmicas no provocaron alteraciones significativas al comparar las plantas CAO con sus contrapartes, SAO (Figura 15 B) en las fracciones de biomasa evaluadas.

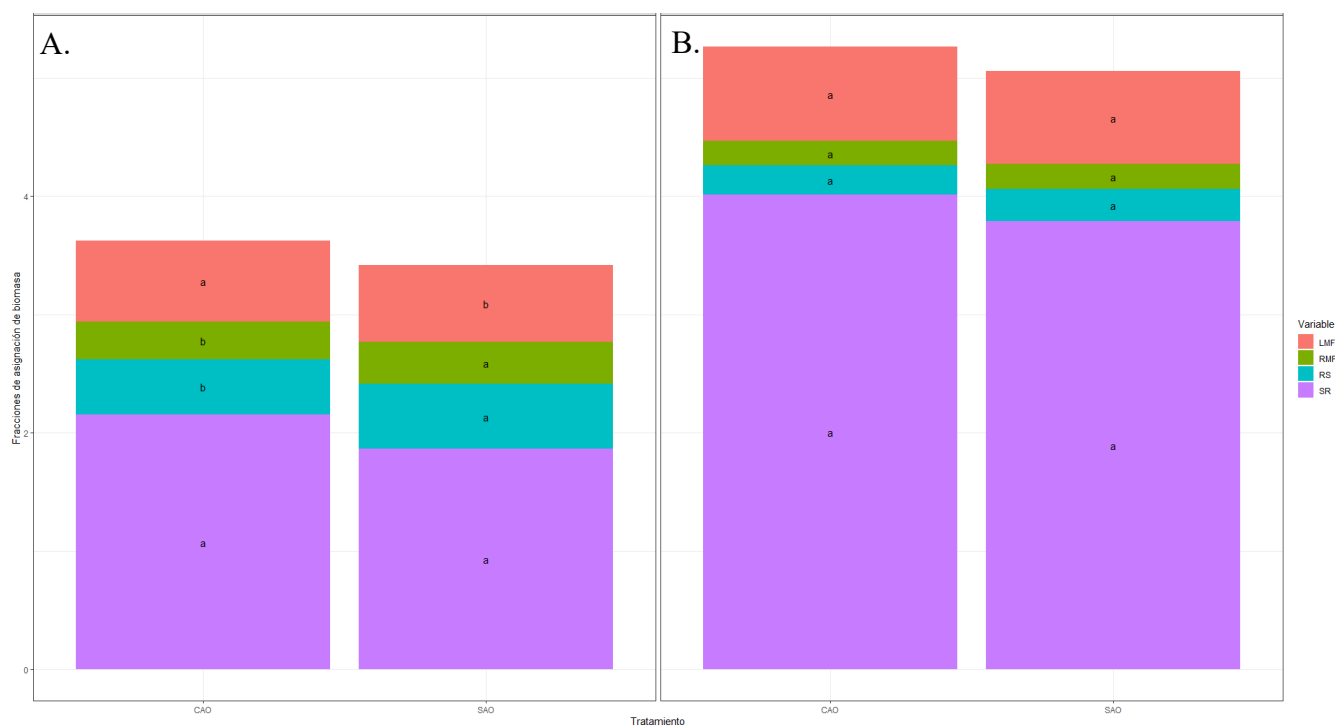


Figura 15. Fracciones de asignación de biomasa en plantas juveniles de *Erythrina fusca L.* (A) y en plantas juveniles de *Pithecellobium dulce B.* (B), tratadas con sustancias húmicas (CAO) y sin tratamiento (SAO).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

3.4. Efecto general del tratamiento sobre la fisiología vegetal

3.4.1. Análisis de componentes principales

En la figura 16, correspondiente al PCA por especies, se observó una clara separación entre *Pithecellobium dulce* B. y *Erythrina fusca* L. La primera se asoció principalmente con variables relacionadas con el número de estructuras iniciales (Hojas, Espinas, Ramas) y longitud del tallo (LT), mientras que la segunda se vinculó con variables de biomasa y crecimiento (Biomasa de Hojas, Área Foliar, Biomasa del Tallo, Biomasa de raíces, entre otras).

En la figura 17, correspondiente al PCA de la especie *Erythrina fusca* L., se observó la diferenciación entre tratamientos CAO y SAO. El tratamiento con ácidos orgánicos (CAO) agrupó variables principalmente asociadas a la biomasa (BT, BH, BP, entre otras), adicionalmente al área foliar (AF) y la longitud del tallo (LT), mientras que la elipse del control (SAO) se agrupó por variables asociadas a la longitud del sistema radicular.

En la figura 18, correspondiente al PCA de la especie *Pithecellobium dulce* B., se observó la diferenciación menos marcada entre tratamientos con una superposición considerable entre las agrupaciones. Algunas variables relacionadas con biomasa y área foliar se proyectaron hacia la izquierda del eje PC1, sugiriendo una ligera tendencia de asociación con el tratamiento CAO, mientras que otras como el número de espinas (ESP), hojas (H) y longitud del sistema radicular (LSR) se asociaron al control (SAO).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

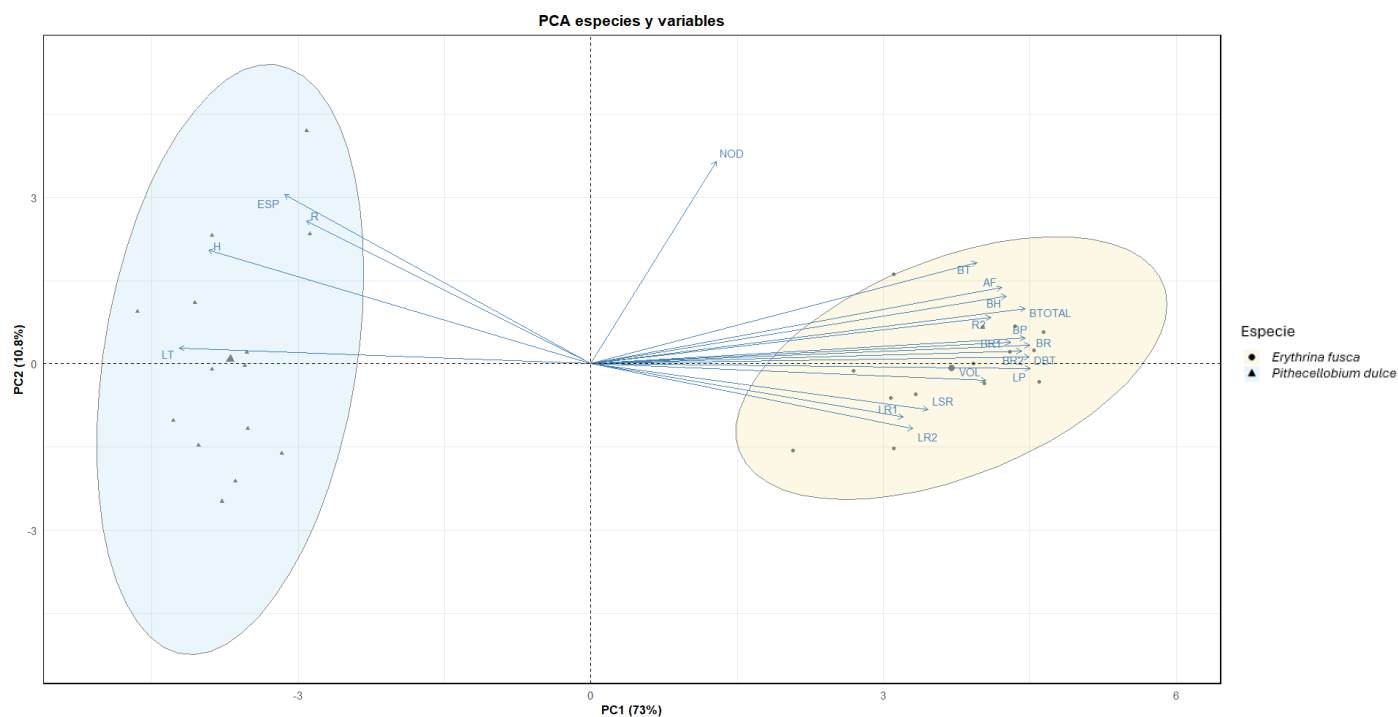


Figura 16. Análisis de componentes principales de las especies evaluadas. El agrupamiento en el círculo azul corresponde a *Pithecellobium dulce* B., mientras que el agrupamiento en color amarillo corresponde a *Erythrina fusca* L.

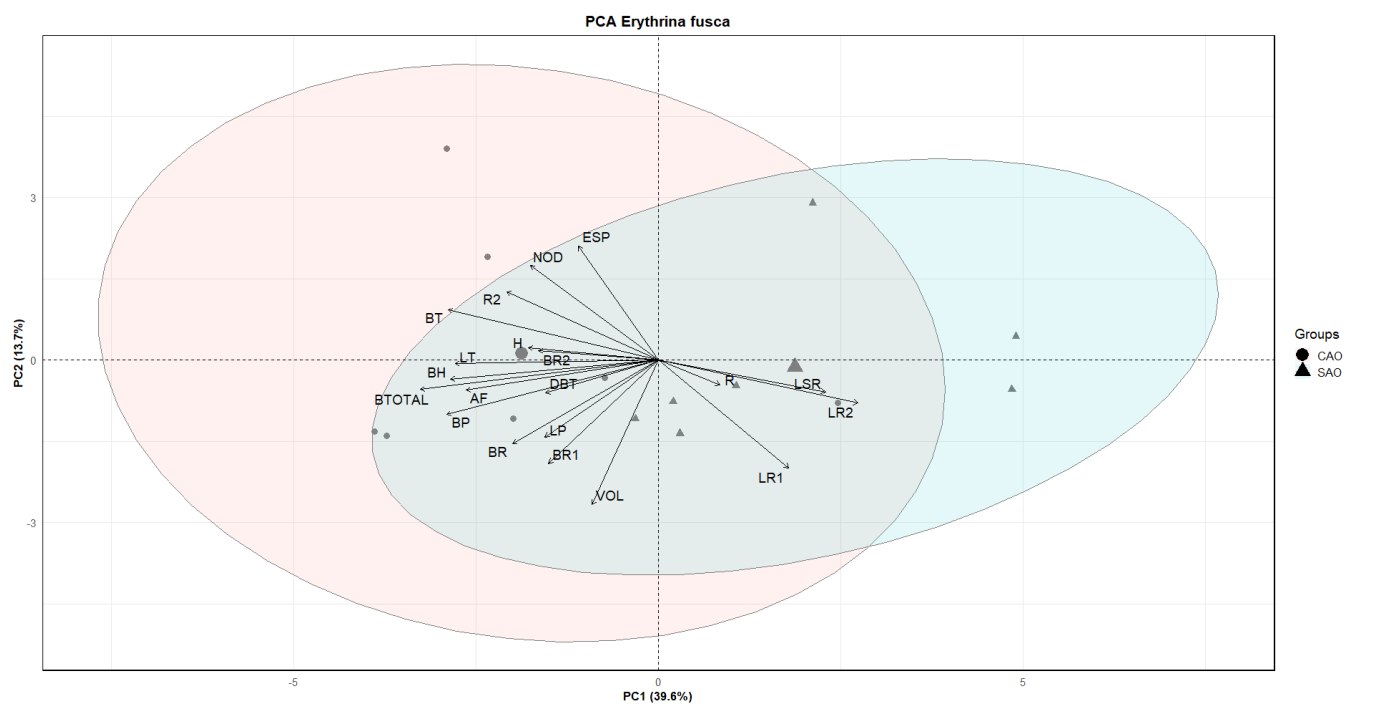


Figura 17. Análisis de componentes principales de la especie *Erythrina fusca* L., en donde se

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

observan los agrupamientos, rojo correspondiente al CAO (plantas tratadas), y azul correspondiente al SAO (plantas control).

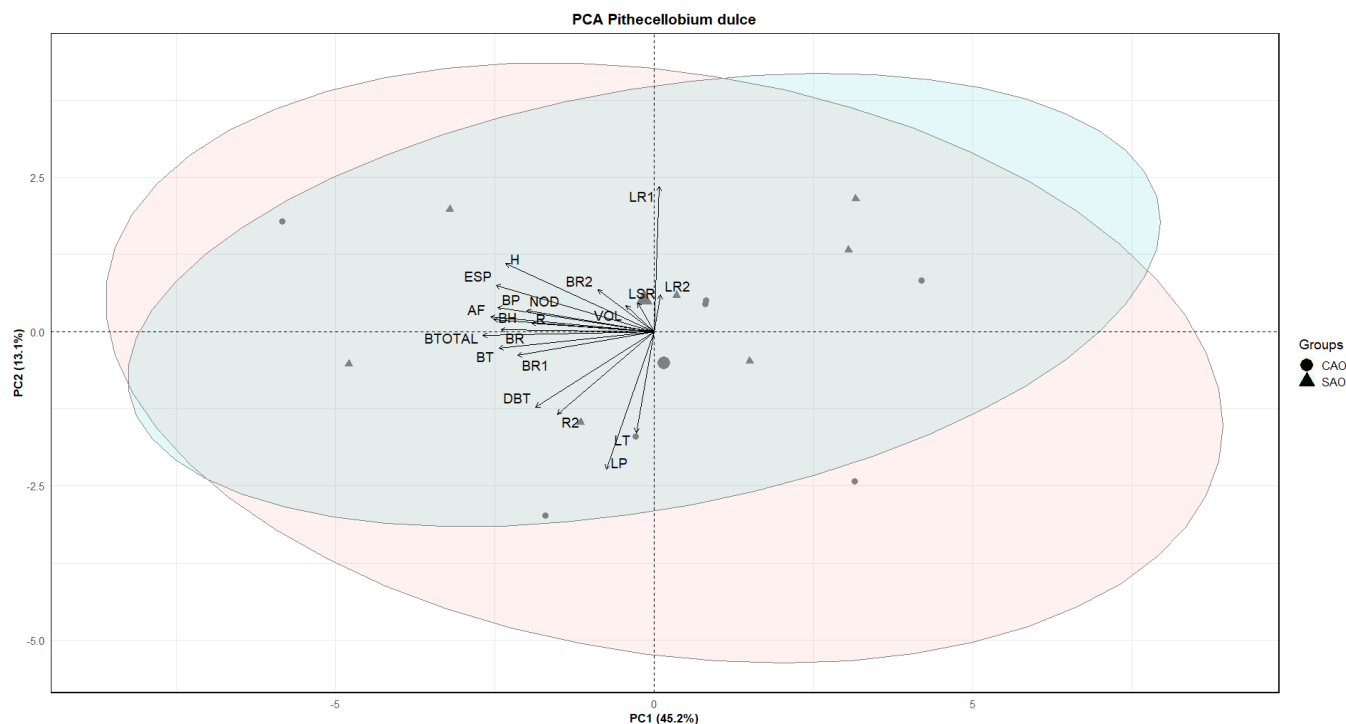


Figura 18. Análisis de componentes principales de la especie *Pithecellobium dulce* B., en donde se observan los agrupamientos, rojo correspondiente al CAO (plantas tratadas), y azul correspondiente al SAO (plantas control).

3.4.2. Correlación entre los rasgos evaluados

En la correlación de Pearson realizada para la especie *Pithecellobium dulce* B. se encontró que aquellas variables relacionadas con biomasa y área foliar (AF, BH, BP, BT, BR) presentaron correlaciones positivas fuertes ($r > 0,70$). Por otro lado, variables como el número de raíces secundarias (R2), y otros rasgos como longitud del pecíolo (LP), longitud de raíz primaria (LR1) y longitud de raíz secundaria (LR2), mostraron correlaciones bajas o incluso negativas. Adicionalmente, algunas variables como el volumen radicular (VOL), o la longitud del sistema radicular (LSR), presentaron correlaciones moderadas.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

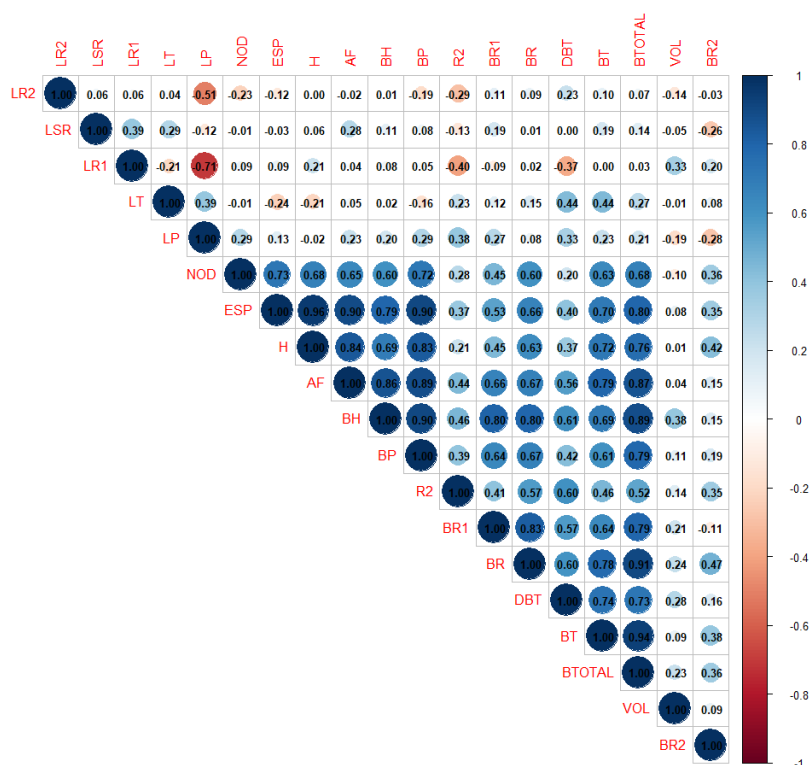


Figura 19. Correlación de Pearson de la especie *Pithecellobium dulce* B. Las correlaciones positivas son presentadas con círculos azules, mientras que las correlaciones negativas son presentadas con círculos rojizos.

En cuanto a la especie *Erythrina fusca* L. la correlación de Pearson mostro correlaciones positivas fuertes ($r > 0,70$) entre el diámetro basal del tallo (DBT), peso seco tallo (PST), biomasa total (BT) y biomasa aérea (BSA), lo cual refleja la estrecha relación entre el crecimiento del tallo y la acumulación de biomasa en la planta. De igual forma, variables como la longitud del tallo (LT), el área foliar (AF), el número de raíces secundarias (R2) y el peso seco de hojas (BH) también presentaron correlaciones altas entre sí. Por otro lado, algunas variables como el volumen radicular (VR) y ciertas longitudes radiculares específicas (LR1, LR2 y LSR) mostraron correlaciones bajas o incluso negativas con el resto de parámetros, sugiriendo un comportamiento más independiente.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

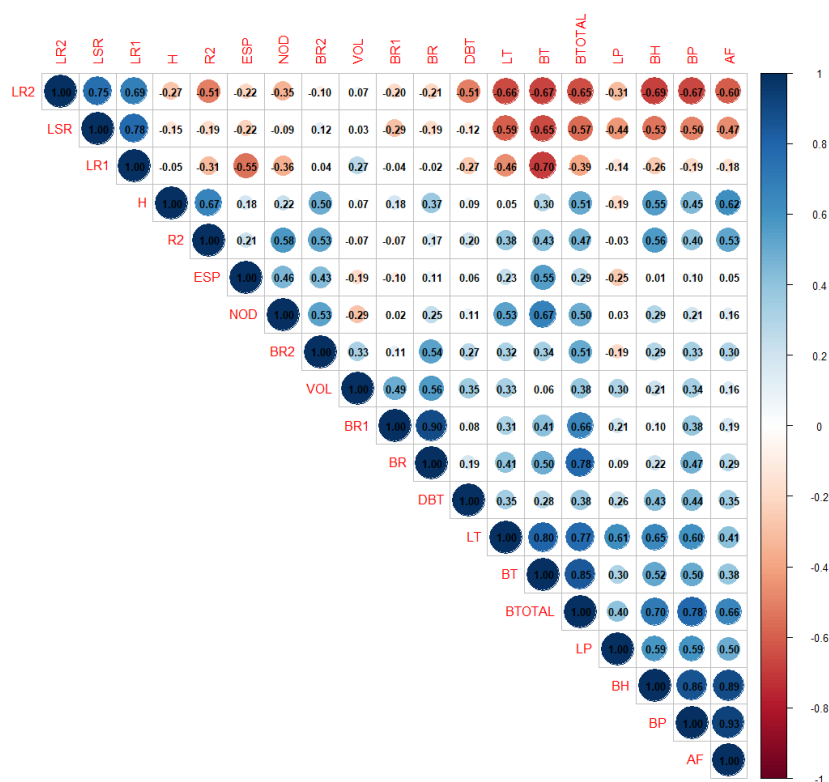


Figura 20. Correlación de Pearson de la especie *Erythrina fusca L.* Las correlaciones positivas son presentadas con círculos azules, mientras que las correlaciones negativas son presentadas con círculos rojos.

3.4.3. PERMANOVA

El análisis del efecto global del tratamiento CAO sobre las variables evaluadas mediante la prueba PERMANOVA evidenció diferencias significativas en *Erythrina fusca L.* ($p = 0.009$). En contraste, en *Pithecellobium dulce B.* no se observaron diferencias significativas ($p = 0.805$).

3.5. Índices de calidad en las plantas

En cuanto a los índices de calidad evaluados, se encontraron diferencias significativas en el índice de Dickson, pero no en el índice de esbeltez para el caso de la especie *Erythrina fusca L.* (Tabla 6).

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Tabla 6. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de *Erythrina fusca* L.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Índice de Esbeltez	3.42 ± 0.51 a	3.43 ± 0.32 a
Índice de Dickson	8.51 ± 0.78 a	7.45 ± 0.67 b

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Para el caso de la especie *Pithecellobium dulce* B., no se encontraron diferencias significativas en el índice de Dickson, ni en el índice de esbeltez (Tabla 7).

Tabla 7. Índice de Esbeltez e Índice de Dickson para plantas juveniles de *Pithecellobium dulce* B.

Rasgos morfológicos	Tratamiento	
	CAO	SAO
Índice de Esbeltez	15.51 ± 2.32 a	14.89 ± 2.765 a
Índice de Dickson	4.614 ± 0.845 a	4.423 ± 1.05 a

Nota: Los promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

4. Discusión

4.1. Respuestas en rasgos morfológicos

Erythrina fusca L. fue la única especie que respondió al tratamiento con ácidos húmicos y fúlvicos, mostrando tallos más largos y robustos, pecíolos extendidos, mayor área foliar y raíces secundarias más desarrolladas en comparación con las plantas control. Estos cambios reflejan un posible efecto positivo del bioestimulante en el crecimiento aéreo y radicular, fortaleciendo el vigor estructural y la capacidad fotosintética. Resultados similares se han descrito en *Beta vulgaris*,

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

con aumentos en altura y área foliar, traducidos en mayor captación de luz y CO₂, y potenciación en la producción de biomasa (Sorour et al., 2021).

La estimulación radicular promovida por los ácidos orgánicos puede explicarse, en parte, a la activación de la H⁺-ATPasa y la acumulación de auxinas en el periciclo, mecanismos que favorecen la formación de raíces laterales gracias a la acción de las sustancias húmicas (Nardi et al., 2021). En plantas de *Capsicum annuum*, la adición de sustancias húmicas aumentó significativamente la tasa fotosintética (en un 34%), la conductancia estomática y la eficiencia en el uso del agua, entre otros parámetros fisiológicos, adicional a variaciones morfológicas en las raíces secundarias (Silva et al., 2024), de la misma manera que en el presente estudio.

En contraste, en las plantas *Pithecellobium dulce* B. la estimulación esperada por parte de los ácidos orgánicos sobre los rasgos morfológicos evaluados no se evidenció. Ese resultado, se puede explicar debido a una respuesta especie-específica. Esta ausencia de efecto podría deberse a una estrategia de crecimiento más conservadora o a diferencias fisiológicas en la absorción y regulación de nutrientes, que limitan su sensibilidad al bioestimulante. Estudios previos señalan que la eficacia de las sustancias húmicas varía ampliamente según la especie y las condiciones de cultivo (Rose et al., 2014). Estos resultados resaltan la necesidad de profundizar en investigaciones que examinen con mayor detalle los mecanismos fisiológicos involucrados en la respuesta de especies nativas a los bioestimulantes.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

4.2. Respuestas en rasgos de acumulación y asignación de biomasa

En *Erythrina fusca L.*, la estimulación con ácidos húmicos se tradujo en un aumento significativo de la biomasa aérea acumulada. Las plantas tratadas presentaron mayor biomasa seca de tallos, pecíolos y hojas, así como una biomasa total superior, en comparación con las no tratadas. Este incremento confirma el efecto positivo del bioestimulante sobre el crecimiento acumulado de *Erythrina fusca L.* Resultados semejantes se han observado en otras especies vegetales; por ejemplo, en el estudio realizado por Nazarov et al., (2024), las aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos lograron incrementar tanto la biomasa foliar como la radical en plántulas de árboles forestales (pino, roble, castaño), mejorando su calidad para restauración, tal como se esperaría en el presente experimento.

En cuanto a la asignación de biomasa, *Erythrina fusca L.* respondió al tratamiento con un patrón caracterizado por menor inversión en raíces y mayor en hojas, pecíolos y tallos. Esto modificó los patrones de asignación, con menor proporción raíz: parte aérea (R:S) y fracción de masa radicular (RMF), pero mayor fracción de masa foliar (LMF) en plantas tratadas. Dichos cambios reflejan una redistribución de biomasa hacia el follaje, coherente con la teoría de asignación de recursos, según la cual una mayor disponibilidad de nutrientes reduce la inversión en raíces y favorece el crecimiento aéreo (GÖRAN, 2003; Eregno et al., 2017).

En contraste, *Pithecellobium dulce B.* no presentó diferencias significativas en la biomasa de ningún órgano ni en las proporciones de asignación (R:S, S:R, LMF, RMF) entre tratamientos. Tanto la biomasa aérea como la radicular fueron estadísticamente equivalentes con y sin la aplicación de sustancias húmicas. Esto refuerza la idea de una respuesta estable de *Pithecellobium*

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

dulce B. al bioestimulante en las condiciones del experimento. Es posible que, dada la menor plasticidad o distinta estrategia funcional de la especie en razón de la disponibilidad adicional de compuestos húmicos no alterara su patrón de asignación de recursos (Sanchez, et al., 2024). La ausencia de efecto en la acumulación de biomasa de *Pithecellobium dulce B.* concuerda con reportes de resultados inconsistentes al usar ácidos húmicos en distintas plantas. Estudios como el de De Santiago, et al. (2009) y Hartz & Bottoms (2010) atribuyen estas diferencias a la interacción de múltiples factores (tipo de humato, dosis, especie vegetal, condiciones de cultivo).

4.3. Estrategias de crecimiento en las especies evaluadas

De acuerdo a los resultados encontrados en el PCA y en la correlación de Pearson, se puede concluir que posiblemente las diferencias en la respuesta a los ácidos húmicos y fúlvicos entre *Erythrina fusca L.* y *Pithecellobium dulce B.* se deban a estrategias de crecimiento contrastantes. *Erythrina fusca L.* es una especie de rápido crecimiento, con alta plasticidad y capacidad de generar biomasa cuando los nutrientes son más disponibles (Muschler et al., 1993; Gris, et al., 2019), lo que explica su respuesta positiva al tratamiento. En cambio, *Pithecellobium dulce B.*, aunque también es una especie de crecimiento rápido (Ramírez, et al., 2012), presenta una estrategia más conservadora, con mayor inversión relativa en raíces y menor sensibilidad a incrementos súbitos de nutrientes, privilegiando resistencia y estabilidad en condiciones limitantes (Ceccon et al., 2014; Vargas-Figueroa et al., 2015). Esto permite entender por qué *Erythrina fusca L.* capitalizó el estímulo del bioestimulante mientras que *Pithecellobium dulce B.* mantuvo un crecimiento estable sin diferencias significativas.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

4.4. Índices de calidad en las plántulas

Los índices morfológicos de calidad, como el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson (IQD), son ampliamente utilizados para evaluar la robustez de las plántulas en vivero y predecir su desempeño en campo (Luna, et al., 2020; Bernaola, et al., 2017). Estudios en especies forestales han mostrado que el índice de Dickson es un excelente predictor del porcentaje de supervivencia en plantaciones de restauración; por ejemplo, resultó ser el mejor indicador de calidad para pronosticar la supervivencia en campo de *Pinus douglasiana* (Bernaola, et al., 2017). Por su parte, el índice de esbeltez refleja la relación entre la altura de la planta y el diámetro del cuello: valores bajos implican plántulas más robustas y menos propensas a doblarse o quebrarse, mientras que valores muy altos denotan plántulas esbeltas (tallos largos y delgados) que podrían ser menos estables frente a viento u otras tensiones mecánicas (Aguilar, et al., 2020; Massa, et al., 2023).

En *Erythrina fusca* L. el Índice de Dickson (IQD) fue significativamente mayor en las plantas tratadas con los ácidos orgánicos que en sus contrapartes. Los valores obtenidos en el IQD para este encuentran dentro del rango reportado para especies forestales (6–25) y considerados óptimos para evaluar la calidad de plántulas (Dickson et al., 1960; Gallegos et al., 2021), lo que indica que el tratamiento con los ácidos orgánicos mejoró el vigor de las plantas. En contraste, el índice de esbeltez no evidenció una diferencia significativa, aunque ambos valores reflejan plántulas robustas y más compactas que el rango esperado de 5–10 (Quiroz et al., 2009). En conjunto, los resultados sugieren que el beneficio de los ácidos orgánicos se manifestó principalmente en el IQD, al favorecer la acumulación de biomasa aérea sin comprometer el desarrollo radicular, lo que se traduce en plántulas de mejor calidad.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

En cuanto a *Pithecellobium dulce* B. no hubo variación significativa en ninguno de los índices bajo los dos tratamientos. Sus plántulas mostraron un índice de esbeltez alrededor de 15 en ambos casos. Este resultado implica que *Pithecellobium dulce* B. produce plántulas bastante esbeltas (tallos largos respecto a su diámetro) (Quiroz et al., 2009). Por otra parte, el índice de Dickson tuvo un valor alrededor 4.5, el cual, aunque es cercano al valor esperado para especies forestales, está por debajo del valor óptimo descrito en la literatura (Dickson et al., 1960; Gallegos et al., 2021). Por fortuna, estos valores no parecen comprometer su calidad al punto de generar diferencias entre tratamientos, y ambos grupos (CAO y SAO) de *Pithecellobium dulce* B. podrían considerarse de calidad comparable.

5. Conclusiones

La bioestimulación con ácidos húmicos y fúlvicos sobre plantas juveniles arbóreas nativas se corroboró en las plantas de *Erythrina fusca* L. y promovió un aumento en la acumulación de biomasa de las plantas y también, sobre otros rasgos morfológicos y de asignación de biomasa. Sin embargo, en este trabajo, no se confirmó el efecto benéfico sobre las plantas juveniles de *Pithecellobium dulce* B., evidencia que la respuesta a la bioestimulación puede ser especie-dependiente.

Además, los índices de calidad de las plantas, tales como el índice de esbeltez que reflejaron diferencias propias entre especies, sin verse alterado por el tratamiento. El Índice de Dickson permitió evidenciar mejoras en *Erythrina fusca* L., confirmando su valor como indicador integral de calidad en respuesta a los bioestimulantes. Estos hallazgos resaltan la necesidad de realizar una integración de rasgos fisiológicos, morfológicos e índices de calidad como

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

herramientas esenciales en la evaluación de plantas arbóreas nativas con potencial de uso en procesos de restauración ecológica.

Finalmente, éste trabajo abre la puerta a futuros estudios que profundicen en la variabilidad de respuestas entre especies, variaciones en las dosis y de las concentraciones de los ácidos orgánicos a ser utilizados como estrategia de manejo en la propagación de plantas nativas arbóreas, y también, en interacción con agentes abióticos y bióticos que pueden ocasionar eventos de estrés y validación de los resultados en campo, particularmente, en el contexto de los Bosques secos y Sub-andinos de Santander.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Garavito, M., Isaacs-Cubides, P., Peña-González, N., & Warren-Thomas, E. (2025). Challenges for policy and practice in meeting ambitious ecological restoration targets by 2030: A perspective from Colombia. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110973>.
- Aguilar-Luna, J. M. E., Cabrera-Barbecho, N., Barrios-Díaz, B., & Loeza-Corte, J. M. (2020). Efecto de onda y fenómeno de timidez en bosques homogéneos de *Alnus acuminata*. *Madera y Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611939>
- Alarcón-López, A., & Galpin, I. (2024). Data-Driven Insights into Deforestation: Predictive Modeling in Colombian Regions. 165-178. https://ceur-ws.org/Vol-3795/icaiw_wdea_3.pdf
- Alcaldía de Bucaramanga. (2022). Árbol Búcaro, especie insignia de la ciudad: Concejo de Bucaramanga. <https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/arbol-bucaro-especie-insignia-de-la-ciudad-concejo-de-bucaramanga/>
- Alghabari, F., & Shah, Z. H. (2025). Deciphering salt tolerance mechanisms in synthetic hexaploid and bread wheat under humic acid application: physiological and genetic perspectives. *Frontiers In Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545835>
- Anderson, M., & Ter Braak, C. (2003). Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. *Journal Of Statistical Computation And Simulation*, 73(2), 85-113. <https://doi.org/10.1080/00949650215733>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Baptiste A. (2017). *gridExtra*: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics. *R package version*

2.3. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.gridExtra>

Benavides-Tocarruncho, Juan & Díaz R., Jeniffer & Arias García, Manuela & Babativa-Melgarejo,

Lizeth & Hernández, Sabina & Peña, Alejandro & Ruiz-Marín, Esperanza & Parra, Daniel

& Espitia, Jonathan & Montoya, Viviana & Olaya Salinas, Juan & Puerta Buitrago, Camila

& Núñez, María. (2023). Cápsulas de Restauración Ecológica - Experiencias Locales en

Cundinamarca y Boyacá.

https://www.researchgate.net/publication/377845778_Capsulas_de_Restauracion_Ecologica_-_Experiencias_Locales_en_Cundinamarca_y_Boyaca

[ica_-_Experiencias_Locales_en_Cundinamarca_y_Boyaca](https://www.researchgate.net/publication/377845778_Capsulas_de_Restauracion_Ecologica_-_Experiencias_Locales_en_Cundinamarca_y_Boyaca)

Bentham, G. (1844). *Pithecellobium dulce*. *London Journal of Botany* 3, 199.

<http://www.botanicus.org/page/770723>

Bernaola Paucar, R. M., Zamora Natera, J. F., Vargas Radillo, J. de J., Cetina Alcalá V. M.,

Rodríguez Macías R., & Salcedo Pérez E. (2017). Calidad de planta en etapa de vivero de

dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista Mexicana De Ciencias*

Forestales, 7(33), 074–093. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.91>

Casas-Pinilla, L. C., Mahecha-J., O., Dumar-R., J. C., & Ríos-Málaver, I. C. (2017). Diversity of

butterflies in a dry tropical forest landscape in la Mesa de los Santos, Santander, Colombia

(Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista De lepidopterología*, 45(177), 83–108.

<https://doi.org/10.57065/shilap.974>

Castellano-Hinojosa, A., Meyering, B., Nuzzo, A., Strauss, S. L., & Albrecht, U. (2021). Effect of

plant biostimulants on root and plant health and the rhizosphere microbiome of citrus trees

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

- in huanglongbing-endemic conditions. *Trees*, 35(5), 1525-1539. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02133-8>
- CBD. (2024). Colombia - Country Profile. *Secretariat of the Convention on Biological Diversity*. <https://www.cbd.int/countries/profile?country=co>
- Cecon, E., Sánchez, I., & Powers, J. S. (2014). Biological potential of four indigenous tree species from seasonally dry tropical forest for soil restoration. *Agroforestry Systems*, 89(3), 455-467. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9782-6>
- Cortés Serrano, L. (2024). Porque proteger los Bosques de Santander, Colombia. *Seven publicações acadêmicas*. <https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2024/04/Porque-proteger-los-Bosques-de-Santander-Colombia.pdf>
- Cosmoagro. (2018). Hoja técnica de producto Fullfert: acondicionador orgánico, húmico líquido. <https://cosmoagro.com/wp-content/uploads/2020/11/Ficha-Tecnica-FULLFERT%C2%AE.pdf>
- Cotton, P. A. (2001). The Behavior and Interactions of Birds Visiting *Erythrina fusca* L. Flowers in the Colombian Amazon1. *Biotropica*, 33(4), 662-669. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00223.x>
- Cui, J., Li, X., Zeng, F. y Bai, H. (2023). Estudio sobre las características de distribución de la tensión de contacto y el daño en plántulas de cepellón basado en un sensor de presión flexible. *Sensors (Basilea, Suiza)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23198175>
- De Santiago, A., Expósito, A., Quintero, J. M., Carmona, E., & Delgado, A. (2009). ADVERSE EFFECTS OF HUMIC SUBSTANCES FROM DIFFERENT ORIGIN ON LUPIN AS

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

RELATED TO IRON SOURCES. *Journal of Plant Nutrition*, 33(2), 143–156.

<https://doi.org/10.1080/01904160903434220>

Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86449712008>

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>

Dinler, Burcu Seekin; Gunduzer, Esra; Tekinay, Turgay . (2016). Pre-treatment of Fulvic Acid Plays a Stimulant Role in Protection of Soybean (*Glycine max L.*) Leaves Against Heat and Salt Stress. *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*, 58(1). doi:10.1515/abcsb-2016-0002

Duarte-H, D. y Avella-M, A. (2019). Análisis socio-ecológico de una iniciativa de restauración liderada por autoridades ambientales en Santander (Colombia). *Colombia Forestal*, 22(1), 68-86. <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13101>

El-Baset, M. A., & Kasem, M. (2022). IMPROVING GROWTH CHARACTERISTICS AND VASE LIFE OF *DENDRANTHEMA GRANDIFLORUM* ‘FLYER’ USING HUMIC AND FULVIC ACIDS AS BIOSTIMULANTS SUBSTANCES. *Scientific Journal Of Flowers And Ornamental Plants /Scientific Journal Of Flowers And Ornamental Plants*, 9(2), 87-102. <https://doi.org/10.21608/sjfop.2022.248727>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

- Eregno, F. E., Moges, M. E., & Heistad, A. (2017). Treated Greywater Reuse for Hydroponic Lettuce Production in a Green Wall System: Quantitative Health Risk Assessment. *Water*, 9(7), 454. <https://doi.org/10.3390/w9070454>
- Etter, A., Andrade, A., Nelson, C. R., Cortés, J., & Saavedra, K. (2020). Assessing restoration priorities for high-risk ecosystems: An application of the IUCN Red List of Ecosystems. *Land Use Policy*, 99, 104874. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104874>
- FABLE. (2023). Ecological restoration and deforestation control: Implications for Colombia's agriculture and climate goals. FABLE Policy Brief. *The Food, Agriculture, Biodiversity, Land-Use, and Energy (FABLE) Consortium*. https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2023/06/FABLE-Colombia-Brief_EN.pdf
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A. y Espen, L. (2022). Bioestimulantes en cultivos: su impacto bajo condiciones de estrés abiótico. *Horticulturae*, 8 (3), 189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Fox J., & Weisberg S. (2019). An {R} Companion to Applied Regression. *Sage*. <https://www.john-fox.ca/Companion/>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1). <https://doi.org/10.1111/rec.13035>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Giraldo, P., & Link, A. (2010). VARIACIÓN EN LA DISPONIBILIDAD DE FRUTOS CARNOSOS EN UN BOSQUE DEL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 14(2), 39-56. Retrieved October 02, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682010000200003&lng=en&tlng=es.

Gris, D., Boaretto, A. G., Marques, M. R., Damasceno-Junior, G. A., & Carollo, C. A. (2019). Secondary metabolites that could contribute to the monodominance of *Erythrina fusca* L. in the Brazilian Pantanal. *Ecotoxicology*, 28(10), 1232-1240. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02133-y>

Global Forest Watch. (2025). Perdida de la Cobertura Arborea en Santander, Colombia. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/COL/28/?map=eyJjYW5Cb3VuZCI6dHJlZX0%3D>

González-González, A., Villegas, J. C., Clerici, N., & Salazar, J. F. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 126, 107695. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107695>

GÖRAN I. ÅGREN, OSKAR FRANKLIN. (2003). Root : Shoot Ratios, Optimization and Nitrogen Productivity. *Annals of Botany* (92), 795-800. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg203>

Hadley W. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Hadley W., Romain F., Lionel H., Kirill M. & Davis V. (2023). *dplyr*: A Grammar of Data Manipulation. *R package version 1.1.4*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyr>

Harrington, John & Mexal, John & Fisher, James. (1994). Volume Displacement Provides a Quick and Accurate Way To Quantify New Root Production. *Tree Plant* (3) 121-124. https://www.researchgate.net/publication/268431929_Volume_Displacement_Provides_a_Quick_and_Accurate_Way_To_Quantify_New_Root_Production

Hartz, T. K. & Bottoms, T. G. (2010). Humic Substances Generally Ineffective in Improving Vegetable Crop Nutrient Uptake or Productivity. *HortScience*, 45(6), 906–910. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.906>

Hernández-Maravilla, S., Castrejón-Godínez, M. L., Tovar-Sánchez, E., Saldarriaga-Noreña, H. A., Rodríguez, A., Rosas-Ramírez, M. E., & Mussali-Galante, P. (2025). Metal Biomonitoring Through Arboreal Species in Riparian Ecosystems: *Pithecellobium dulce* B. as a Bioindicator Species. *Plants*, 14(1), 118. <https://doi.org/10.3390/plants14010118>

Hoffmann, C., Márquez, J. R. G., & Krueger, T. (2018). A local perspective on drivers and measures to slow deforestation in the Andean-Amazonian foothills of Colombia. *Land Use Policy*, 77, 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.043>

Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6), 417–441. <https://doi.org/10.1037/h0071325>

IDEAM. (2025). Monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación en colombia. *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono – SMByC*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Informe%20anual%20del%20monitoreo%20de%20bosque%20y%20la%20deforestacion>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

- Kumbhakar, S. K., Chauhan, R., Singh, V., Jadhav, S. K., & Quraishi, A. (2022). Screening of a new candidate tree legume- *Pithecellobium dulce* B. (Roxb.) Benth., for lead remediation. *Revista Brasileira de Botânica*, 45(3), 929-942. <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00830-3>
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In I. Olkin (Ed.), *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press.
- Lourerio J. (1790). Decandria Genus II. *Erythrina: Erythrina fusca*. *Flora Cochinchinensis* 2: 427–428. <http://www.botanicus.org/page/654120>
- Luna, C. V., & Fontana, M. L. (2020). Calidad de planta y comportamiento morfológico de *Cedrela fissilis* Vell. en respuesta a distintos sistemas de producción y sustratos en vivero. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 28(2), 145-158. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262020000200145&lng=es&tlng=es
- Maciel Henschel, Juliane & Aucique-Pérez, Carlos E. & Batista, Diego. (2021). Tutorial de funcionamiento del IRGA (LCpro-SD, ®ADC BioScientific) (En español). <http://dx.doi.org/10.29327/751917>
- Maity, A., Babu, K. D., Basak, B. B., & Marathe, R. A. (2024). Integrated use of NPK chemical fertilizers and bio-stimulants improved soil fertility, fruit yield, quality and net returns in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 47(8), 1287–1304. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2308187>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60.

<https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>

Martins, E. M., Pillajo, J. Q., & Jones, M. L. (2024). Humic and Fulvic Acids Promote Growth and Flowering in Petunias at Low and Optimal Fertility. *HortScience*, 59(2), 235–

244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17554-23>

Massa, A., Quagliariello, G., Martinengo, N., Calderón, A., & Pérez, S. (2023). Growth and slenderness index in sweet algarrobo, *Neltuma flexuosa*, according to the vermicompost percentage in the substrate and seed origin. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*

UNCuyo. <https://doi.org/10.48162/rev.39.105>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012. Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad. Bogotá, Colombia.

https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/gestion_en_biodiversidad/180912_manual_compensaciones.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Estrategia Nacional de Restauración 2023–2026, Juntos para recuperar la naturaleza perdida. *MINISTERIO DE AMBIENTE Y*

DESARROLLO SOSTENIBLE https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/03/ENR_3032025-1.pdf

Muschler, R. G., Nair, P. K. R., & Melendez, L. (1993). Crown development and biomass production of pollarded *Erythrina berteroana*, *Erythrina fusca* L. and *Gliricidia sepium* in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 24(2), 123–

143. <https://doi.org/10.1007/bf00706887>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical Structure and Biological Activity of Humic Substances Define Their Role as Plant Growth Promoters. *Molecules*, 26(8), 2256.

<https://doi.org/10.3390/molecules26082256>

Nazarov, A., Chetverikov, S., Timergalin, M., Ivanov, R., Ryazanova, N., Shigapov, Z., Tuktarova, I., Urazgildin, R., & Kudoyarova, G. (2024). Improving Tree Seedling Quality Using Humates Combined with Bacteria to Address Decarbonization Challenges through Forest Restoration. *Plants*, 13(11), 1452. <https://doi.org/10.3390/plants13111452>

Negret, P. J., Maron, M., Fuller, R. A., Possingham, H. P., Watson, J. E., & Simmonds, J. S. (2021). Deforestation and bird habitat loss in Colombia. *Biological Conservation*, 257, 109044. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109044>

Oksanen J., Simpson G., Blanchet F., Kindt R., Legendre P., Minchin P., O'Hara R., Solymos P., Stevens M., Szoecs E., Wagner H., Barbour M., Bedward M., Bolker B., Borcard D., Borman T., Carvalho G., Chirico M., De Caceres M., Durand S., Evangelista H., FitzJohn R., Friendly M., Furneaux B., Hannigan G., Hill M., Lahti L., Martino C., McGlenn D., Ouellette M., Ribeiro Cunha E., Smith T., Stier A., Ter Braak C., Weedon J. (2025). *vegan*: Community Ecology Package. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan>

Olascuaga-Vargas, D., Mercado-Gómez, J., & Sanchez-Montaña, L. R. (2016). ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN SUCESIONAL EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE SECO TROPICAL EN TOLUVIEJO-SUCRE (COLOMBIA). *Colombia Forestal*, 19(1), 23-40. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423943446002>

Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*, 2(11), 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Pérez-H., Natalia & D., Sandra & G., Erin & L., Sandra & P., Hendrik & Jaureguiberry, Pedro &

Bret-Harte, M. & Cornwell, W. & Craine, Joseph & Gurvich, Diego & Urcelay, Carlos & Veneklaas, Erik & Reich, Peter & Poorter, Lourens & Wright, I. & Ray, P. & Enrico, Lucas & Pausas, J. & Vos, A. & Van der Heijden, Marcel. (2013). Nuevo manual para la medición estandarizada de caracteres funcionales de plantas. *Australian Journal of Botany*. 61. 167-234.

https://www.researchgate.net/publication/312653394_Nuevo_manual_para_la_medicion_estandarizada_de_caracteres_funcionales_de_plantas

Petrone, A., & Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology And Earth System Sciences*, 14(2), 239-250. <https://doi.org/10.5194/hess-14-239-2010>

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>

Quiroz Marchant, I., Chung Guin-po, P., García Rivas, E., et al (2009). Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/17366>

Ramírez, M., Hallely, S., Regino, M., Brigida, C., & García, D. E. (2012). Respuesta a tratamientos pregerminativos y caracterización morfológica de plántulas de *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce* B. y *Ziziphus mauritiana*. *Pastos y Forrajes*, 35(1), 29-42. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n1/pyf03112.pdf>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.1)

[Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Reina, M., Medina, R., Ávila, F., Ángel, S., & Cortés, R. (2010). CATÁLOGO PRELIMINAR DE LA FLORA VASCULAR DE LOS BOSQUES SUBANDINOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA CACHALÚ, SANTANDER (COLOMBIA). *Colombia Forestal*, 13(1), 27-

54. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392010000100003&lng=en&tlng=es.

Restrepo-Carvajal, I. C., Clerici, N., & Alvarado, S. T. (2025). Assessing restoration strategies for the recovery of Colombian Moist Forests: a meta-analysis. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/rec.70085>

Restrepo, I., Aldana, A., & Stevenson, P. (2016). DINÁMICA DE BOSQUES EN DIFERENTES ESCENARIOS DE TALA SELECTIVA EN EL MAGDALENA MEDIO (COLOMBIA). *Colombia Forestal*, 19(2), 195-

208. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a05>

Restrepo-Laguna, R. (2010). Manual de Practicas de Viveros Forestales. Manuales de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Rodri_Laguna/2.pdf

Revelle W. (2025). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research_*. Northwestern University, Evanston, Illinois. *R package version 2.5.6*,

<https://CRAN.R-project.org/package=psych>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Rodríguez-Zapata, M. A., & Ruiz-Agudelo, C. A. (2021). Environmental liabilities in Colombia:

A critical review of current status and challenges for a megadiverse country. *Environmental Challenges*, 5, 100377. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100377>

Rojas Molina, J. (2011). Enfermedades foliares del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)

establecido en un campo clonal ubicado en el Magdalena Medio Santandereano (Colombia). *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria* (12) 65-76.

https://www.researchgate.net/publication/303876018_Enfermedades_foliares_del_caucho_Hevea_brasiliensis_Muell_Arg_establecido_en_un_campo_clonal_ubicado_en_el_Magdalena_Medio_Santandereano_Colombia

Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A

Meta-Analysis and review of Plant-Growth response to humic substances. In *Advances in agronomy* (pp. 37–89). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800138-7.00002-4>

Ruíz, J., Vargas, O., & Rodríguez, N. (2023). Restoration priorities: Integrating successional states

and landscape resilience in tropical dry forest compensation projects in Colombia. *Applied Geography*, 157, 103021. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103021>

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>

Sanchez, P., Ackerly, D., Martínez J., Mencuccini, M., Dexter, K. G., & Dawson, T. E. (2024). A

framework to study and predict functional trait syndromes using phylogenetic and

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

- environmental data. *Methods In Ecology And Evolution*, 15(4), 666-681. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.14304>
- Santacruz-García, A. C., Senilliani, M. G., Gómez, A. T., Ewens, M., Yonny, M. E., Villalba, G. F., & Nazareno, M. A. (2022). Biostimulants as forest protection agents: Do these products have an effect against abiotic stress on a forest native species? Aspects to elucidate their action mechanisms. *Forest Ecology And Management*, 522, 120446. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120446>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- SiB Colombia. (2025). *Cifras destacadas Biodiversidad de Colombia 2024*. Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia. [https://cifras.biodiversidad.co/files/Kit_prensaCifras Sobre Biodiversidad de Colombia .pdf](https://cifras.biodiversidad.co/files/Kit_prensaCifras_Sobre_Biodiversidad_de_Colombia.pdf)
- Silva, Ramon & Dias, Thiago & De Oliveira Dias, Bruno & da Silva, Toshik & Alves, Júlio & Silva, Rogério & Bezerra, Ana & Silva, João & Nascimento, Marlene & Lopes, Adriano & José, Adjair José Da & Nascimento, Rodolpho. (2024). Cattle manure and humic substances stimulate morphophysiological and nutritional processes in pepper plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 28. 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n4e278898.
- Society for Ecological Restoration. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*; Society for Ecological Restoration International: Tucson, AZ, USA.

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/ser_primer.pdf

Sorour, S., Mosalem, M., Abotaleb, A., & Gharieb, A. (2021). ALLEVIATION OF SALT-STRESS ON SUGAR BEET (BETA VULGARIS L.) USING MOLASSES, HUMIC, AND NANOCACO₃. *Applied Ecology And Environmental Research*, 19(6), 4923-4939. https://doi.org/10.15666/aeer/1906_49234939

Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1–25. <https://doi.org/10.2307/2331554>

Torres-Romero, F., & Acosta-Prado, J. C. (2022). Knowledge Management Practices and Ecological Restoration of the Tropical Dry Forest in Colombia. *Land*, 11(3), 330. <https://doi.org/10.3390/land11030330>

Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant signaling & behavior*, 5(6), 635–643. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>

Union Europea. (2024). REGULATION (EU) 2019/1009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. *Article 47*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R1009-20241120>

Universidad Industrial de Santander. (2024). Mapa del campus central de la Universidad Industrial de Santander. <https://uis.edu.co/mapa/>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

University of Maryland and World Resources Institute. (2024). "Global Primary Forest Loss".

Accessed through *Global Forest Watch*. www.globalforestwatch.org.

Vargas Figueroa, Jhon Alexander, Duque Palacio, Olga Lucía, & Torres González, Alba Marina.

(2015). Germinación de semillas de cuatro especies arbóreas del bosque seco tropical del

Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 249-261. Retrieved

September 08, 2025, from

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-

[77442015000100020&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000100020&lng=en&tlng=es).

Villar-Salvador P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación.

Restauración de Ecosistemas Mediterráneos, 66 – 80

(4). https://www.researchgate.net/publication/256669981_Importancia_de_la_calidad_de

[la_planta_en_los_proyectos_de_revegetacion](https://www.researchgate.net/publication/256669981_Importancia_de_la_calidad_de_la_planta_en_los_proyectos_de_revegetacion)

Wang, M., Song, G., Zheng, Z., Mi, X., & Song, Z. (2024). Exploring the impact of fulvic acid

and humic acid on heavy metal availability to alfalfa in molybdenum contaminated

soil. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83813-6>

Wei T. & Simko V. (2024). R package '*corrplot*': Visualization of a Correlation Matrix (Version

0.95). <https://github.com/taiyun/corrplot>

Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares,

J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K.,

Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., . . . Villar, R. (2004).

The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821-

827. <https://doi.org/10.1038/nature02403>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Yara Management System. (2022). Ficha de Especificaciones Técnicas: RAFOS.

<https://www.yara.com.co/globalassets/y-fpt104-rafos.pdf>

Zafra – Otero, D, Gélvez-Chaparro, J. E., Barajas-Rangel, D. S., Ríos-Reyes, C. A., & Castellanos-Alarcón, O. M. (2019). Geoconservation of underground ecosystems in Santander (Colombia) from geotourism and geoeeducation strategies. *International Journal Of Hydrology*, 3(4), 317-320. <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00194>

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Apéndices

Apéndice A. Datos obtenidos en el primer muestreo sobre el estado base de las plantas.

No. raíces secundarias	Long. Raíz secundaria (cm)	Peso seco hojas (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco tallo (g)	Peso seco peciolo (g)	Area foliar (cm ²)	Biomasa total (g)
1	20.5	0.07	0.04	0.04	0.003	22.03	0.15
4	7.13	0.09	0.05	0.04	0.003	21.67	0.18
2	15.15	0.12	0.07	0.07	0.007	33.44	0.27
1	4.3	0.08	0.05	0.04	0.006	23.35	0.18
3	13.93	0.29	0.17	0.14	0.013	30.16	0.61
1	12	0.12	0.06	0.07	0.007	30.36	0.26
2	9.85	0.15	0.07	0.09	0.01	33.79	0.32
6	25.98	0.99	1.12	0.41	0.12	256.66	2.64
6	33.2	0.84	1.09	0.43	0.09	173.52	2.45
5	26.4	0.85	0.64	0.3	0.08	186.02	1.87
6	22	0.69	0.64	0.38	0.07	121.88	1.78
6	20.92	0.65	0.83	0.24	0.08	147.46	1.8
9	23.89	1.02	0.78	0.41	0.1	208.15	2.31
6	32.77	1.14	1.22	0.46	0.12	253.95	2.94

Especie	Replica	Tratamiento	Long. Tallo (cm)	Diametro base tallo (mm)	No. hojas	Long. Pecíolo (cm)	Long. Raíces(cm)	Long. Raiz primaria (cm)
<i>Pytheccellobium dulce</i>	1	Base	13.1	1.31	11	1.05	24	24
<i>Pytheccellobium dulce</i>	2	Base	10.3	1.49	12	0.82	22.5	15.5
<i>Pytheccellobium dulce</i>	3	Base	16.2	1.3	13	1.08	22.5	24.4
<i>Pytheccellobium dulce</i>	4	Base	13	1.23	11	1.04	24.4	24.4
<i>Pytheccellobium dulce</i>	5	Base	20.5	1.99	16	1.05	24.9	24.9
<i>Pytheccellobium dulce</i>	6	Base	13.5	1.48	12	0.96	26	26
<i>Pytheccellobium dulce</i>	7	Base	15.2	1.52	14	1.06	20.8	20.8
<i>Erythrina fusca</i>	1	Base	22	4.52	5	5.63	39	32
<i>Erythrina fusca</i>	2	Base	15.5	5.36	4	5	37.7	28.5
<i>Erythrina fusca</i>	3	Base	15	4.39	4	5.4	41.3	30
<i>Erythrina fusca</i>	4	Base	34.1	4.9	3	5.2	34.2	21.8
<i>Erythrina fusca</i>	5	Base	13.2	5.02	4	5.23	30.7	21.2
<i>Erythrina fusca</i>	6	Base	15.1	5.44	4	5.48	37	27.6
<i>Erythrina fusca</i>	7	Base	15.7	5.83	4	5.78	42.5	37.8

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Apéndice B. Resultados de prueba estadística para comparar tratamientos en *Pithecellobium dulce* B.

Variable	t	df	p-value	Prueba
Longitud del tallo	0.82721	12	0.4243	T student
No. Espinas Tallo	-0.56246	12	0.5842	T student
Diámetro base del tallo	0.25294	12	0.8046	T student
Total de hojas	-0.64428	12	0.5315	T student
Long. prom pecíolo	1.7281	12	0.1096	T student
Long. sistema radicular	0.050974	12	0.9602	T student
Long raíz principal	-1.2972	12	0.2189	T student
No. total de raíces 2	-1.0719	12	0.3049	T student
Long. raíces secundarias	0.19926	12	0.8454	T student
No. nódulos	28		0.6944	U de Mann Witney
Volumen radicular	0.21266	12	0.8352	T student
Peso seco de hojas	26		0.8982	U de Mann Witney
Peso seco de raíz	0.096936	12	0.9244	T student
Peso seco tallo	21		0.7015	U de Mann Witney
Peso seco pecíolos	27.5		0.7486	U de Mann Witney
Peso seco raíz secundaria	21		0.701	U de Mann Witney
Área foliar	-0.26464	12	0.7958	T student
Biomasa total	-0.11852	12	0.9076	T student
Biomasa raíces	-0.42677	12	0.6771	T student
Índice de Dickson	0.60907	12	0.5538	T student
Índice de Esbeltez	0.63649	12	0.5364	T student
Fracción R:S	-0.84937	12	0.4123	T student
Fracción S:R	0.77494	12	0.4534	T student
Fracción LMF	0.80749	12	0.4351	T student
Fracción RMF	-0.83997	12	0.4173	T student

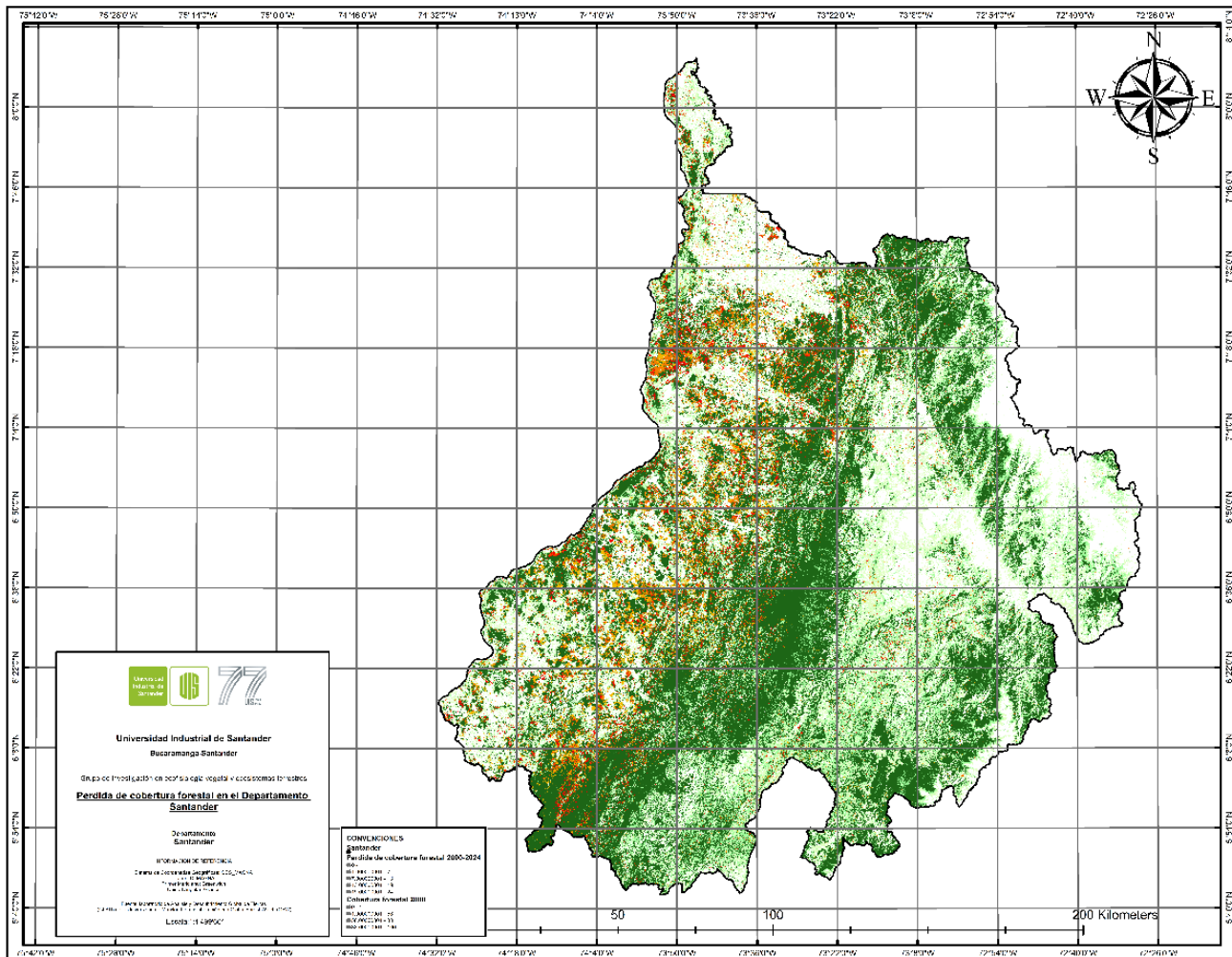
BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Apéndice C. Tabla de resultados con los valores de p obtenidos en la prueba estadística para comparar tratamientos en *Erythrina fusca L.*

Variables	t	df	p-value	Prueba
Long. tallo	2.370	12	0.035	T student
No. Espinas Tallo	0.648	12	0.529	T student
Diámetro base del tallo	2.221	12	0.046	T student
Total de hojas	1.188	12	0.258	T student
Long. prom pecíolo	42.000		0.030	U de Mann Witney
Long. sistema radicular	-1.410	12	0.184	T student
Long. raíz principal	-1.570	12	0.142	T student
No. total de raíces 2	1.851	12	0.089	T student
Long. raíces secuncarias	-2.273	12	0.042	T student
No. nódulos	1.624	12	0.130	T student
Volumen radicular	31.000		0.441	U de Mann Witney
Peso seco de hojas	44.000		0.015	U de Mann Witney
Peso seco de raíz	-0.139	12	0.892	T student
Peso seco tallo	2.428	12	0.032	T student
Peso seco pecíolos	3.047	12	0.010	T student
Peso seco raíz secundaria	0.429	12	0.676	T student
Área foliar	3.319	12	0.006	T student
Biomasa total	2.428	12	0.032	T student
Biomasa raíces	0.071	12	0.945	T student
Índice de Dickson	3.913	12	0.002	T student
Índice de Esbeltez	-0.087	12	0.932	T student
Fracción R:S	-2.344	12	0.037	T student
Fracción S:R	2.003	12	0.068	T student
Fracción LMF	2.250	12	0.044	T student
Fracción RMF	-2.250	12	0.044	T student
Área foliar específica	-0.698	12	0.499	T student
Masa foliar aérea	0.6985	12	0.498	T student

BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Apéndice D. Mapa de la pérdida de cobertura forestal en el departamento de Santander (University of Maryland and World Resources Institute, 2024).



BIOESTIMULACIÓN CON ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

Anexos

Tabla 8. Composición y propiedades químicas de Fullfert (Cosmoagro, 2018).

Elemento	Garantizado g/L
Potasio soluble en agua	40.0
Azufre total (S)	9.0
Carbono Extrato Humico Total (CEHT)	150.0
Carbono de Acidos Humicos (CAH)	90.0
Carbono de Acidos Fulvicos (CAF)	60.0
Carbono orgánico oxidable total	150.0
pH en solución acuosa al 10%	12
Conductividad Electrica 1:200 (dS/m)	1.5
Solidos insolubles en H ₂ O	8.9 g/L

Tabla 9. Composición química de fertilizante Rafos (Yara Management System, 2022).

Elemento	Garantizado g/L
Nitrógeno Total (%N)	12.0
Nitrógeno Amoniacal (% N)	8.88
Nitrógeno Nítrico (%N)	3.2
Fósforo Asimilable (%P ₂ O ₅)	24.0
Potasio Soluble (%K ₂ O)	12.0
Óxido de Magnesio (%MgO)	2.0
Azufre (% S)	1.0
Boro (%B)	0.04
Zinc (%Zn)	0.02
Humedad (%H ₂ O)	2.0 Max.