

POTENCIALIDAD DE LAS ESPECIES DE YARUMO (*CECROPIA SPP*: *URTICACEAE*) EN
LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES TROPICALES EN
LATINOAMERICA



GABRIELA TRASLAVIÑA JARAMILLO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

POTENCIALIDAD DE LAS ESPECIES DE YARUMO (*CECROPIA SPP*: *URTICACEAE*) EN
LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES TROPICALES EN LATINOAMERICA

GABRIELA TRASLAVIÑA JARAMILLO

Estado del arte presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director

Mg. ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA

Magister en desarrollo sustentable y gestión ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. ÁLVARO JOSÉ ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mag. WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

A Cesar Raúl Traslaviña, quien ha sido mi pilar en los momentos más desafiantes y mi apoyo constante en cada etapa de este largo viaje académico. Su perseverancia, sabiduría y confianza en mí me han impulsado a superar cada obstáculo y alcanzar mis metas. Es el ejemplo vivo de esfuerzo y dedicación, y le debo no solo mi formación académica, sino también los valores que guían mi vida. Gracias, papá, por enseñarme a nunca rendirme. A María Elcy Jaramillo, el corazón de nuestra familia y mi ejemplo más grande de amor incondicional, generosidad y lealtad. Su fortaleza, sacrificio y paciencia inagotables me han inspirado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Mamá, tu apoyo silencioso, tus palabras de aliento y tu amor sin límites han sido la base de todo lo que he logrado. Eres mi más grande fuente de amor y motivación. A mis hermanos Tatiana Traslaviña Jaramillo y Santiago Traslaviña Jaramillo quienes han sido mis compañeros de vida, mis confidentes y cómplices en esta larga travesía universitaria. Gracias por escucharme, por apoyarme siempre y por ser el refugio donde encuentro alegría y comprensión. Gracias, familia, por ser la razón de mi fortaleza y mis sueños cumplidos. Este logro también es de ustedes.

Agradecimientos

A la docente Angélica Bustamante, por su apoyo incondicional como directora, por compartir generosamente sus valiosos conocimientos y por acompañarme con dedicación en la realización de este sueño. Su compromiso y sabiduría no solo han sido una guía académica, sino también una fuente de inspiración personal.

Al profesor Rodrigo Velosa, quien despertó en mí una pasión profunda por la ecología. Su entusiasmo y compromiso con el conocimiento fueron una chispa que encendió mi amor por el medio ambiente. Más que un profesor, fue un compañero de viaje invaluable, cuyos consejos y enseñanzas dejaron una huella imborrable en mi formación profesional.

A mis padres Raúl y Elcy, por confiar en mí sin reservas y brindarme siempre el apoyo necesario para vivir nuevas experiencias, incluso cuando el miedo a lo desconocido se presentaba. Gracias por enseñarme que los límites son solo una ilusión y que el verdadero crecimiento está en lo que se aprende fuera de la zona de confort. Su amor y fe inquebrantables me han dado la fuerza para seguir adelante.

A Daniel Cárdenas, quien ha estado a mi lado desde el primer día de universidad hasta el día de hoy. Gracias por ser un apoyo constante, por compartir risas, desafíos y momentos de crecimiento a lo largo de este recorrido. Tu amor ha sido una parte esencial de esta etapa de mi vida.

A mis amigas incondicionales, Lizeth Álvarez, Laura Agudelo y Angie Viña, porque la vida universitaria no habría sido la misma sin ustedes. Gracias por estar a mi lado en cada momento, por ser cómplices de risas, desvelos y aprendizajes. Su amistad ha sido un pilar que me ha sostenido y ha llenado de alegría este viaje.

Contenido

Pág.

Resumen	8
Abstract.....	9
1. Introducción	11
2. Desarrollo estado del arte	14
2.1. Delimitación del problema.....	14
2.2. Características de la muestra documental	15
2.3. Especies vegetales como agentes en la rehabilitación ecológica	16
2.3.1 Características ecológicas de las especies de Cecropia spp.....	16
2.3.2 Estrategias de rehabilitación ecológica utilizando Cecropia spp en proyectos.....	17
2.3.3 Desafíos para la implementación de Cecropia spp	20
3. Discusión	27
3.1. Avances en el uso de Cecropia spp en la rehabilitación ecológica	27
3.2. Limitaciones y desafíos en el uso de Cecropia spp para la rehabilitación ecológica ...	29
Conclusiones.....	32
Recomendaciones	33
Referencias Bibliográficas.....	35

Lista de Tablas

Pág

Tabla 1. Potencialidad de las especies de Cecropia spp en la rehabilitación ecológica de bosques	21
Tabla 2. Imágenes de cada una de las especies de Cecropia de la revisión bibliográfica.....	23

Resumen

La degradación de los bosques tropicales es una crisis ambiental de gran magnitud. En Colombia, entre 2001 y 2022, se perdieron 3.3 millones de hectáreas de bosques, lo que representa aproximadamente 10,000 hectáreas al año. Esta pérdida impacta negativamente la biodiversidad, el clima y las comunidades locales. Las principales causas incluyen la deforestación para infraestructura, la expansión agrícola, las plagas y las especies invasoras. Ante esta problemática, la rehabilitación ecológica se ha convertido en una estrategia clave para mitigar los efectos de la deforestación y restaurar ecosistemas degradados.

Estudios destacan la efectividad de especies como *Cecropia pachystachya* y *Cecropia distachya* en la regeneración de otras plantas y la recuperación de la biodiversidad en ecosistemas perturbados. Estas especies dominan las primeras etapas de la sucesión ecológica, creando condiciones favorables para la rehabilitación. Su rápido crecimiento, adaptabilidad a condiciones adversas como alta irradiación o sequía, y su habilidad para colonizar terrenos degradados, especialmente los afectados por actividades mineras o la deforestación, las convierten en herramientas valiosas para proyectos de rehabilitación ecológica.

No obstante, el uso de *Cecropia spp.* enfrenta varios desafíos. Su ciclo de vida corto y la competencia con especies invasoras, como *Urochloa brizantha*, limitan su capacidad para colonizar áreas de manera sostenida. Además, su dependencia de dispersores de semillas, principalmente murciélagos y aves, puede restringir su éxito. Por ello, se recomienda que su implementación en proyectos de rehabilitación ecológica se complemente con estrategias como el manejo de especies invasoras, el uso de biocarbón para mejorar las condiciones del suelo y tecnologías innovadoras como la dispersión aérea de semillas.

Se considera que las especies de *Cecropia spp.* ofrecen una excelente oportunidad para investigar su interacción con otras estrategias de rehabilitación, aplicadas a suelos degradados y programas de agroforestería. Fomentar la investigación en estos campos podría desarrollar estrategias más efectivas que también generen oportunidades económicas sostenibles para las comunidades locales, incentivando así la conservación de los ecosistemas.

Palabras Clave: Degradación, Rehabilitación ecológica, *Cecropia spp.*, Biodiversidad, deforestación, sucesión ecológica.

Abstract

Tropical forest degradation is a major environmental crisis. In Colombia, between 2001 and 2022, 3.3 million hectares of forest will be lost, representing approximately 10,000 hectares per year. This loss negatively impacts biodiversity, climate and local communities. The main causes include deforestation for infrastructure, agricultural expansion, pests and invasive species. Ecological rehabilitation has become a key strategy to mitigate the effects of deforestation and restore degraded ecosystems.

Studies highlight the effectiveness of species such as *Cecropia pachystachya* and *Cecropia distachya* in the regeneration of other plants and the recovery of biodiversity in disturbed ecosystems, providing sustainable economic opportunities for local communities, thus encouraging the conservation of ecosystems.

However, the use of *Cecropia spp.* faces several challenges. Its short life cycle and competition with invasive species, such as *Urochloa brizantha*, limit its ability to colonize areas on a sustained basis. In addition, its dependence on seed dispersers, mainly bats and birds, may restrict its success. Therefore, it is recommended that their implementation in ecological rehabilitation projects be complemented with strategies such as invasive species management, the use of biochar to improve soil conditions, and innovative technologies such as aerial seed dispersal.

Cecropia spp. species are considered to offer an excellent opportunity to investigate their interaction with other rehabilitation strategies applied to degraded soils and agroforestry programs. Encouraging research in these fields could develop more effective strategies that also generate sustainable economic opportunities for local communities, thus encouraging ecosystem conservation.

Keywords: *Degradation, Ecological rehabilitation, Cecropia spp, Biodiversity, deforestation, ecological succession.*

Glosario

Especies especializadas: Son aquellas que se adaptan a hábitats muy específicas, con recursos alimentarios limitados o a condiciones ambientales particulares (Rafferty, 2024).

Especies pioneras: Son aquellas que suelen ser las primeras en colonizar un ecosistema estéril. Ya que suelen tener características como alta tolerancia a condiciones adversas, rápida reproducción y una alta capacidad de dispersión (Treece, 2022).

Gramíneas invasoras: Es aquella que no es nativa de un área específica y ha sido introducida, directa o indirectamente, por la acción humana. Al establecerse en el nuevo entorno, puede proliferar y causar daños significativos al medio ambiente (Angélio, 2019).

Nucleación: Es una técnica de restauración ecológica que crea microhábitats para facilitar la regeneración natural y promover la sucesión ecológica, acelerando la recuperación de ecosistemas degradados mediante la formación de islas de vegetación (Díaz et al, 2023).

Rehabilitación ecológica: Es el proceso que busca restaurar un ecosistema dañado o destruido, enfocándose en la recuperación de sus funciones, productividad y servicios ecológicos, sin necesariamente reintroducir las mismas especies originales del lugar (Vanegas et al, 2015).

Restauración ecológica: Es un proceso destinado a restaurar un ecosistema dañado, degradado o alterado a su condición original, o al menos a un estado cercano al que tenía antes de haber sufrido el daño (Vanegas et al, 2015).

Sucesión ecológica: Es el proceso por el cual una comunidad de organismos cambia gradualmente tras una alteración en el ambiente. Como un incendio o una inundación, modificando los recursos disponibles, permitiendo que nuevas especies se establezcan y reemplazando progresivamente a las anteriores (Solano, 2023).

1. Introducción

La degradación de los bosques tropicales constituye una de las problemáticas ambientales más críticas a nivel mundial. En 2023, la pérdida total de bosques primarios tropicales, es decir aquellos que no han sido perturbados por actividad humana reciente (Morrison, 2020), alcanzó una pérdida total de 3.7 millones de hectáreas, lo que equivale a perder casi 10 campos de fútbol en bosques por minuto (Weisse et al, 2024). Según Quintana (2023), las tasas de deforestación son más altas en áreas de bosques tropicales como la Amazonía Sudamericana, en República Democrática del Congo y en las islas que integran Indonesia. La creación de infraestructura (carreteras, puertos, ductos, presas, etc.), los incendios y la conversión de las áreas boscosas en zonas de siembra de soya y palma de aceite, son las principales causas de la deforestación, de plagas y la introducción de especies invasoras entre los factores de la degradación y la pérdida de bosques tropicales (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020).

En América Latina, especialmente en la región amazónica, la tasa de deforestación es alarmante, en 2022, Brasil el país con la mayor proporción de la selva amazónica, concentró el 43% del total mundial de pérdida de bosques tropicales, equivalente a 1800 millones de hectáreas de bosques primarios. Esta pérdida se debió a causas no relacionadas con incendios, siendo estas las cifras más altas desde 2005 (González, 2023). En Colombia, según (World Wide Fund for Nature (WWF), 2024), entre 2001 y 2022 se han deforestado aproximadamente 3.3 millones de hectáreas en el territorio nacional; esta deforestación ha tenido consecuencias significativas para la biodiversidad, el clima y las comunidades locales de la Amazonía y la región Orinoquía, las zonas más afectadas por esta problemática (Calderón & Benavides, 2022).

Para enfrentar estos desafíos, la rehabilitación ecológica se ha convertido en una estrategia crucial para recuperar la funcionalidad de los ecosistemas forestales degradados (Capichoni et al, 2023). En Colombia, diversas iniciativas buscan restaurar áreas afectadas mediante la plantación de especies nativas y la implementación de prácticas de manejo sostenible (Meneses, 2018). Entre estas iniciativas, en 2021, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) llevó a cabo el Piloto Experimental de Restauración Ecológica Asistida en la Amazonia Colombiana, en el municipio de Morelia, Caquetá (El Tiempo, 2021). Este proyecto tenía como objetivo evaluar la viabilidad de la lluvia de semillas de especies pioneras, tales como Cascabelito (*Crotalaria pallida*), Cucubo (*Solanum sycophanta*), Cucharó (*Myrsine coriácea*), Tachuelo (*Zanthoxylum*

sp) y Asái (*Euterpe precatoria*), mediante la dispersión aérea de pellets, como complemento a las técnicas de restauración ecológica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En el contexto de la rehabilitación ecológica, las especies pioneras juegan un papel fundamental. Estas especies vegetales se caracterizan por ser de rápida colonización en áreas degradadas debido a su capacidad de germinar y crecer en condiciones adversas, como suelos deteriorados o alta exposición a la luz solar (Sierra et al, 2021). Al establecerse en estas áreas, las especies pioneras modifican el entorno, creando condiciones más favorables para el establecimiento de especies especializadas y generando proyecciones más amplias, lo que a su vez aumenta la biodiversidad y la estabilidad del ecosistema a largo plazo (Olea et al, 2007). Entre estas modificaciones se encuentran la mejora de la calidad del suelo, la creación de sombra y la reducción de la competencia por la luz (Romero, 2005). Este grupo de especies es esencial en los programas de rehabilitación ecológica, ya que facilitan la regeneración natural y aceleran la recuperación del ecosistema (Saenz & Zepeda, 2023).

Dentro de este grupo, las especies Yarumo (*Cecropia spp: Urticaceae*) tienen un gran potencial para la rehabilitación ecológica de bosques tropicales debido a sus características ecológicas únicas y por su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de suelo y luz (Braga et al, 2019). Los estudios como los realizados por (Barbosa et al, 2022) y (Martini et al, 2021) sobre algunas especies de *Cecropia spp*, tales como *Cecropia distachya* y *Cecropia pachystachya* respectivamente, han demostrado su habilidad para promover la regeneración de la vegetación secundaria y facilitar la restauración del ecosistema a través de varios mecanismos, como la mejora del suelo, la cual favorece al establecimiento de otras especies arbóreas.

En Colombia, la implementación de proyectos de restauración que incluyen especies de *Cecropia spp* ha mostrado resultados prometedores. Por ejemplo, Valois et al (2019) realizaron un estudio en áreas afectadas por minería en el municipio del Medio San Juan, en donde pudieron determinar como la especie *Cecropia peltata* logro establecerse en estas zonas degradadas, presentando un crecimiento prolongado en su altura y aumento del diámetro en su tallo, presentando una buena resiliencia ante condiciones adversas.

Estos proyectos son fundamentales para resaltar la importancia de los bosques, que trasciende su papel en la biodiversidad terrestre (Gómez, 2018). La Agenda 2030, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, reconoce esta importancia a través de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Organización de las Naciones Unidas (ONU) , 2015).

En particular el ODS 13, "Acción por el clima", llama a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, subrayando la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, limitar el calentamiento global a 1,5 °C y fomentar la resiliencia en las comunidades más vulnerables (Gómez, 2018). Así mismo, el ODS 15, "Vida de ecosistemas terrestres", enfatiza la importancia de gestionar los bosques de manera sostenible, combatir la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de biodiversidad (Gómez, 2018). Este enfoque global resalta la urgencia de implementar proyectos de rehabilitación ecológica que busquen no solo la recuperación de ecosistemas degradados, sino también la sostenibilidad ambiental a largo plazo y el bienestar de las comunidades que dependen de estos recursos vitales (Thornton, 2022).

Este estado del arte tiene como objetivo analizar la potencialidad de las especies de yarumo (*Cecropia spp*) en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales afectados por procesos antropogénicos. Se recopila información sobre los beneficios que ofrecen este tipo de especies vegetales en el proceso de remediación de suelos afectados y el establecimiento de otras especies, por medio de sucesión ecológica para la rehabilitación ecológica. Esto se hará por medio de revisión de diferente material bibliográfico que resalten las propiedades de este tipo de especies como agentes rehabilitadores de bosques tropicales degradados en Latinoamérica. Además, se propondrán recomendaciones para que las futuras investigaciones hechas de este tipo en el campo de la ecología de la conservación o la ingeniería ambiental logren aprovechar de la mejor manera los beneficios que ofrecen este tipo de especies vegetales.

2. Desarrollo estado del arte

2.1. Delimitación del problema

La degradación de los bosques tropicales debido a actividades humanas, como la deforestación, la minería y la agricultura extensiva, ha resultado en la pérdida significativa de biodiversidad y en la alteración de los servicios ecosistémicos fundamentales para la sostenibilidad ambiental (Leija et al, 2022). Entre estos servicios se encuentran los esenciales, que constituyen la base para la obtención de los demás servicios, así como los de aprovisionamiento, que incluyen productos tangibles que puede aprovechar el ser humano, pero corren el riesgo de agotarse (Avendaño et al, 2020). Esta situación afecta la capacidad de estos ecosistemas para recuperarse de manera natural, particularmente en áreas donde la cobertura vegetal ha sido gravemente reducida (FAO, 2020). Entre los factores que intensifican esta situación se encuentran la pérdida de suelos fértiles, el aumento de plagas y la introducción de especies invasoras, lo que genera un entorno de difícil establecimiento para nuevas especies vegetales (FAO, 2020).

En este contexto, la rehabilitación ecológica ha surgido como una solución clave para restaurar la funcionalidad ecológica de ecosistemas degradados (Aranguren, 2022). Sin embargo, su éxito depende de la selección adecuada de especies vegetales capaces de adaptarse en condiciones adversas (Aranguren, 2022). Las especies pioneras, como el yarumo (*Cecropia spp.*), se destacan por su capacidad para colonizar rápidamente áreas perturbadas y facilitar la regeneración del bosque mediante la mejora de la calidad del suelo y la creación de condiciones más favorables para la sucesión ecológica (Nytch et al, 2023), un proceso que implica cambios graduales en la estructura de una comunidad ecológica a lo largo del tiempo (Sabattini & Sabattini, 2018).

De acuerdo con esto, este estado del arte se enfoca en analizar el potencial de las especies de *Cecropia spp* en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales afectados por actividades antropogénicas. El análisis abarca estudios que evalúan la efectividad de estas especies en la rehabilitación de áreas degradadas, especialmente en zonas afectadas por deforestación, minería y otros procesos como la agricultura extensiva que alteran profundamente la estructura y la composición de los bosques tropicales. Además, se consideran las condiciones bajo cuales las

especies de *Cecropia spp* pueden contribuir de manera efectiva a la recuperación ecológica y la sostenibilidad a largo plazo en las regiones tropicales como Colombia y América Latina.

2.2. Características de la muestra documental

Para el desarrollo de esta investigación se siguió la metodología establecida por Goya et al (2020) mediante una revisión sistemática de literatura, utilizando bases de datos como: (i) *Google Scholar*, (ii) *Science Direct* y (iii) *Springer Link*. La búsqueda se realizó empleando tres palabras clave principales en idioma inglés, las cuales fueron: (i) “*Cecropia*” (*Cecropia*, nombre de la especie de interés en el estudio), (ii) “rehabilitation” (rehabilitación) y (iii) “tropical forests” (bosques tropicales). Además, la búsqueda bibliográfica abarcó el periodo entre 2014-2024, con un enfoque en artículos de investigación experimentales, con el objetivo de comprobar la temática establecida para esta investigación.

En la búsqueda inicial, utilizando las palabras clave principales y el periodo establecido, se encontraron 4540, 20 y 19 artículos de investigación en las bases de datos de Google Scholar, Science Direct y Springer Link respectivamente. A partir de esta búsqueda, se realizó una segunda búsqueda empleando palabras clave secundarias en idioma inglés. El objetivo de esta búsqueda secundaria fue refinar el número de documentos en cada una de las bases de datos, teniendo en cuenta información relacionada con el “potencial en la rehabilitación ecológica de especies del género *Cecropia spp* en bosques tropicales de Latinoamérica”. Las ecuaciones utilizadas en esta búsqueda secundaria fueron:

- *Cecropia* AND rehabilitation AND tropical forests AND ecology
- *Cecropia* AND rehabilitation AND tropical forests AND degradation
- *Cecropia* AND rehabilitation AND tropical forests AND ecology AND degradation

La fase final de la búsqueda bibliográfica consistió en analizar la información a partir de la ecuación de búsqueda “*Cecropia*” AND “rehabilitation” AND “tropical forests” AND “ecology” AND “degradation”. Este proceso permitió reducir el número de documentos a 2560 en *Google Scholar*, 15 en *Science Direct* y 7 en *Springer Link*. Posteriormente, la selección de los artículos más relevantes se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Osma & Peña (2024), filtrando y eliminando aquellos artículos que estuvieran duplicados o que no tuvieran

relación con el eje temático de la investigación. Para el caso de *Google Scholar*, se consideraron los más citados, de acuerdo con la clasificación de la base de datos. Tras completar este procedimiento de análisis, se seleccionaron un total 14 artículos entre las tres bases de datos, ocho (8) de *Google Scholar*, tres (3) de *Science Direct* y tres (3) de *Springer Link*.

2.3. Especies vegetales como agentes en la rehabilitación ecológica

Teniendo en cuenta la información recopilada, el presente análisis se enfoca en los aspectos más relevantes a considerar sobre el potencial de rehabilitación ecológica de las especies del género *Cecropia spp*. Enfatizando en sus características ecológicas más importantes, así como las estrategias más relevantes empleando este tipo de especies y los desafíos que presentan en su implementación.

2.3.1 Características ecológicas de las especies de *Cecropia spp*

Las especies del género *Cecropia spp* son árboles pioneros pertenecientes a la familia *Urticaceae*, ampliamente distribuidos en los bosques tropicales de Centroamérica y Sudamérica. De acuerdo con Chambi et al (2021); Rezende & Mascia (2019); Gomes et al (2024) las especies de *Cecropia spp* presentan un rápido crecimiento y tienen una alta tasa de colonización en terrenos perturbados. Su capacidad de crecer rápidamente y establecerse en áreas recién abandonadas es clave para su rol en la regeneración de bosques. Barbosa et al (2022) afirma que las especies de *Cecropia spp*, pueden tener un incremento anual de 1.39 m/año y un diámetro de 1.88 cm/año en áreas degradadas. Con respecto a esto, Vargas et al (2020) resaltan la capacidad de regeneración de las especies de este género, en específico la especie *Cecropia pittieri*, la cual presenta una buena capacidad para regenerarse en áreas donde se ha realizado corte o arranque de vegetación, lo que la convierte en una buena opción para ser una especie pionera efectiva en la rehabilitación de bosques tropicales.

La adaptabilidad a condiciones adversas es otra característica importante de estas especies. Según Calzavara et al (2015), la especie *Cecropia pachystachya* ajusta su producción de hojas a condiciones adversas, como la exposición a la luz intensa, aumentando su producción de hojas nuevas al ser trasladadas a condiciones de alta irradiancia. Además, bajo estas condiciones,

reducen su área foliar durante el proceso de aclimatación, esta reducción en el área foliar es un indicador de adaptación que ayuda a disminuir la pérdida de agua por transpiración, lo que puede ser ventajoso para minimizar el riesgo por deshidratación (Calzavara et al, 2015).

Esta capacidad de adaptación también fue demostrada por Nytch et al. (2023), quienes realizaron un estudio en los bosques submontanos y montanos del Bosque Nacional El Yunque, ubicado al este de Puerto Rico. Su investigación se centró en monitorear la vegetación presente y evaluar si las diferencias en la cobertura del dosel al momento del abandono agrícola y la posterior regeneración pasiva influían en la composición forestal. Como resultado, determinaron que *Cecropia schreberiana* es una especie pionera poco común en pasturas, que solo domina después de perturbaciones del dosel, como claros en el bosque o huracanes. Aprovecha la alta luminosidad para crecer rápidamente y alcanzar el dosel.

En cuanto a la adaptabilidad, Guzmán & Martínez (2016) demostraron en un estudio realizado en la selva baja tropical de una reserva de 640 ha en el estado de Veracruz, México, que la especie pionera *Cecropia obtusifolia*. Esta fue alta tanto en condiciones de reclutamiento natural como en trasplantes, alcanzando un 87.5% en total. Además, *Cecropia obtusifolia* presentó tasas de crecimiento en diámetro significativamente superiores en los trasplantes (proceso que consiste en trasladar un individuo de un lugar a otro después de haber crecido durante un período determinado), con un incremento de 4.26 mm/mes, en comparación con los 1.06 mm/meses observados en los reclutas (individuos que germinan y crecen en el lugar donde se plantan inicialmente). Finalmente, las tasas de crecimiento en altura fueron de 13.64 cm/mes para los reclutas y de 14.58 cm/mes para los trasplantes (Guzmán & Martínez, 2016).

2.3.2 Estrategias de rehabilitación ecológica utilizando *Cecropia* spp en proyectos

Martini et al (2020) realizaron un estudio en un bosque submontano denso ombrófilo ubicado en una finca en el municipio de Valença, estado de Bahía, Brasil, con el objetivo de determinar los beneficios de la agroforestería sucesional como mecanismo para incrementar los servicios ecosistémicos en este tipo de ecosistemas forestales. Para el desarrollo del estudio, emplearon especies pioneras como *Baccharis dracunculifolia*, *Vismia guianensis* y *Cecropia pachystachya*, las cuales se identificaron como las especies regenerantes más importantes, contribuyendo significativamente al aumento de la reserva de nutrientes presentes en la biomasa

aérea viva. Este incremento en la biomasa permitió la generación de otros servicios ecosistémicos clave, como la polinización, la atracción de fauna, la producción de alimentos, el control de plagas y la regulación ambiental en el agroecosistema diseñado. Así, se demostró que la agroforestería sucesional es una solución factible para la rehabilitación ecológica de bosques perturbados, utilizando este tipo de especies (Martini et al, 2020).

Un estudio realizado por Chambi et al (2021) en el corredor minero del departamento de Madre de Dios, sureste de la Amazonía peruana, en un bosque tropical húmedo estacional, buscaron evaluar la recuperación de la vegetación, empleando algunas especies pioneras, tales como *Ochroma Pyramidale* y *Cecropia Engleriana* que permitieran la sucesión ecológica, y por ende la restauración de bosques. A partir de esto, pudieron determinar que la especie *Cecropia engleriana*, mostró una alta densidad de tallos en áreas abandonadas tras actividades mineras, lo que es indicativo de la capacidad de esta especie para colonizar y dominar áreas perturbadas en las primeras etapas de la sucesión ecológica. Adicional a esto, se pudo determinar que en un período entre 5-7 años después del abandono, esta especie alcanzó su mayor densidad, con un total de 364 individuos por hectárea, aunque esta puede disminuir en parcelas más antiguas, que van desde los 8 a 19 años después del abandono, con un total de 132 individuos por hectárea (Chambi et al, 2021).

Frente a la necesidad de comprender cómo la restauración activa puede dirigir los sitios dominados por pastos exóticos, que no son resilientes, hacia la recuperación, Vieira et al (2021) realizaron un estudio en los bosques de tierra firme localizados al sur del embalse hidroeléctrico Jirau en el estado de Rondônia, Brasil. El estudio demostró que las especies *Cecropia purpurascens* y *Cecropia membranacea* presentaron un rápido crecimiento y una vida corta, y constituyeron el 62% del área basal en los sitios más jóvenes intervenidos con restauración activa. Vieira et al (2021) afirman que el predominio de *Cecropia spp.* hace que los sitios restaurados activamente sean más similares a los sitios altamente resilientes de los bosques amazónicos afectados por el pasto exótico africano, que a los sitios dominados por *Vismia spp.*, otra especie pionera estudiada en la regeneración natural.

Barbosa et al (2022) llevaron a cabo un estudio en la antigua mina de bauxita Mineração Paragominas SA (MPSA), estado de Pará en la Amazonia de Brasil, caracterizado por tener bosques ombrófilos densos o también conocidos como bosques húmedos tropicales caracterizados por tener altas temperaturas (promedios de 25°C) y alta pluviosidad (0 - 60 días secos en el año)

(Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), 2012). En este estudio, se implementaron tres métodos de restauración diferentes: nucleación, plantación de plántulas e inducción de la regeneración natural. Pudieron determinar que la plantación de plántulas, en la que se emplearon especies como la *Cecropia distachya* y la *Cecropia obtusa* y otras especies pioneras como *Senegalia polyphylla* y *Solanum crinitum*, obtuvo los mejores resultados en términos de número de individuos establecidos por hectárea, alcanzando un total de 3440 individuos en 81 especies. En comparación, con los 458.49 individuos de la nucleación y los 508.97 de la regeneración natural inducida.

Gomes et al (2024) llevaron a cabo un estudio en una propiedad degradada por actividades de extracción intensiva y no planificada de madera, situada en el “arco de la deforestación” en el estado de Pará, en la Amazonia oriental de Brasil. En su investigación, emplearon especies pioneras como *Cecropia distachya* Huber, *Cecropia palmata* Wild, *Cecropia sciadophylla* Mart. y *Pourouma guianensis* Aubl. Los resultados mostraron que *Cecropia distachya* Huber presentó la mayor densidad en el área recuperada, con 218.6 individuos por hectárea. Esta alta densidad contribuyó significativamente al índice de valor de cobertura (IVC), alcanzando el 37.2% del total, y al volumen de madera en el área, que fue de 14.3 m³/ha provenientes de esta especie, correspondiente al 12% del total. Este volumen fue calculado considerando únicamente 15 especies, las cuales representaron en conjunto el 94% del volumen total, es decir, 114.3 m³/ha (Gomes et al, 2024).

Teniendo en cuenta las propiedades en la rehabilitación ecológica de las especies de la familia *Cecropia spp*, Ríos et al (2024) realizaron un experimento para demostrar los beneficios de aplicar biocarbón en suelos degradados para estimular el crecimiento de especies forestales en una sección del bosque siempreverde Amazónico en Ecuador. En el estudio, monitorearon 270 árboles en bosques secundarios de rebrote natural durante tres años, encontrando que seis de las especies pertenecían a la familia de *Cecropia spp*. De estas, *Cecropia ficifolia* presentó 29 individuos, *Cecropia angustifolia* tuvo 25, *Cecropia marginalis* alcanzó los 29 y *Cecropia sciadophylla* registró 11 individuos, siendo las especies más abundantes.

Está a la densidad, se atribuye al uso del biocarbón, que se elaboró a partir de recortes de pigue pirolizados en un horno cónico abierto de pirólisis lenta (B1) con un tiempo de residencia medio de 2,7 h y una temperatura máxima de ~550 °C. Además del aumento de la densidad, se observó que la biomasa aérea de las especies de *Cecropia spp* tuvo un incremento del 26%.

Asimismo, se registró un crecimiento del 33% cuando estas especies se cultivaron en monocultivos junto con *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm, lo que demuestra los beneficios del biocarbón para fortalecer la rehabilitación ecológica de bosques tropicales degradados (Ríos et al, 2024).

2.3.3 *Desafíos para la implementación de Cecropia spp*

De acuerdo con Vargas et al (2020) en un estudio experimental realizado en una zona deforestada en el sector Aguacate en la Isla del Coco, ubicado en el Pacífico Tropical Oriental al suroeste de Costa Rica se pudo determinar que a pesar de que la especie *Cecropia pittieri* presentara una alta capacidad de regeneración, requiere en gran medida de dispersores como murciélagos o aves para la germinación de semillas, lo que limitó la capacidad de esta especie para colonizar nuevas áreas, debido a la baja densidad de los mismos. Por otro lado, la herbivoría fue otro factor que influyó en la mortalidad de individuos de esta especie, ya que durante el desarrollo del experimento se encontró que herbívoros como los ciervos de cola blanca redujeron el número de individuos en parcelas establecidas en un 16% del total de 25 individuos que murieron (Vargas et al, 2020).

Por otro lado, la competencia con especies invasoras como *Paspalum conjugatum* representó un gran desafío, ya que esta especie crea una cubierta densa que limita la entrada de luz y reduce el crecimiento de la especie. Tal como sucedió en el estudio realizado por Rezende & Mascia (2019) cerca de la Central Hidroeléctrica de Jirau ubicada en el río Madeira en el suroeste de la Amazonía, en el estado Rondonia, Brasil, el cual pudieron determinar cómo las especies *Cecropia purpurascens* y *Cecropia distachya* se vieron afectadas por gramíneas invasoras como la *Urochloa brizantha*, la cual creó una cubierta densa que inhibió en cierta parte el crecimiento de las especies pioneras (Rezende & Mascia, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior en la Tabla 1, se encuentra la relación entre el tipo de bosques tropical mencionado en cada estudio y las especies de *Cecropia spp* empleadas.

Tabla 1. Potencialidad de las especies de *Cecropia* spp en la rehabilitación ecológica de bosques

Autor	País	Tipo de bosques	Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Potencialidad de la especie
(Chambi et al, 2021)	Perú	Bosque Tropical Húmedo Estacional	<i>Cecropia Engleriana</i>	16.54% en la densidad de tallos en parcelas entre 5-7 años con respecto al total de diversidad
(Barbosa et al, 2022)	Brasil	Bosque Húmedo Tropical o Bosque Ombrófilos Densos	<i>Cecropia distachya</i> y <i>Cecropia obtusa</i>	Predominancia superior al 50% en todas las áreas, que corresponden a 22.45 ha
(Rezende & Mascia, 2019)	Brasil	Bosque Ripario	<i>Cecropia purpurascens</i> , <i>C. distachya</i>	Atracción de especies dispersoras de semillas, que permitieron el aumento en la colonización de 7 especies arbóreas cada 1570 m ² /año
(Calzavara et al, 2015),	Brasil	-	<i>Cecropia pachystachya</i>	Rápido crecimiento de hojas
(Vargas et al, 2020)	Costa Rica	Bosque Húmedo Tropical	<i>Cecropia pittieri</i>	Tasa de supervivencia del 60%, permitiendo el reclutamiento de otras especies
(Martini et al, 2021)	-	Bosque Submontano Denso Ombrófilo	<i>Cecropia pachystachya</i>	Especies de rapido crecimiento
(Guzmán & Martínez, 2016)	México	Selva Baja Tropical	<i>Cecropia obtusifolia Bertol</i>	Presentaron una tasa de crecimiento del 9% y una tasa de supervivencia del 87.5%
(Gomes et al, 2024)	Brasil	Bosque Tropical de la Amazonia	<i>Cecropia distachya</i> Huber, <i>Cecropia palmata</i> Wild, <i>Cecropia Sciadophyllia</i> Mart	Especies con aproximadamente 37.2% del total de cobertura vegetal
(Ngo et al, 2022)	Honduras	Bosque Húmedo Tropical	<i>Cecropia peltata</i>	66% de predominancia en zonas de uso agrícola con potencial de rehabilitación
(Ríos et al, 2024)	Ecuador	Bosque Siempreverde Amazónico	<i>Cecropia ficifolia</i> , <i>Cecropia angustifolia</i> , <i>Cecropia marginalis</i> y <i>Cecropia sciadophylla</i>	Representatividad del 33% en la composición arborea, es decir, 89 individuos de 270□
(Vieira et al, 2021)	Brasil	Bosque Tropical de Tierra Firme	<i>Cecropia purpurascens</i> y <i>Cecropia membranacea</i>	Constituyeron el 62% del área basal total, caracterizado po

Tabla 1. *Continuación*

Autor	País	Tipo de bosques	Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Potencialidad de la especie
(Nytch et al, 2023)	Puerto Rico	Bosque submontano y montano	<i>Cecropia schreberiana</i>	Especies de rápido crecimiento

Teniendo en cuenta lo observado en la Tabla 1, se puede afirmar que la potencialidad de las especies de *Cecropia* en la rehabilitación ecológica ha sido estudiada desde diferentes enfoques, según la revisión bibliográfica realizada. Por ejemplo, Chambi et al. (2021) concluyó que la presencia de *Cecropia Engleriana* en bosques tropicales de tipo Húmedo Estacional representó un 16,54% de la densidad de tallos en parcelas de 5 a 7 años, en relación con la diversidad total. Esta situación también fue destacada por Vieira et al. (2021), cuyo estudio determinó que estas especies de *Cecropia purpurascens* y *Cecropia membranacea* constituyeron el 62% del área basal total analizada, siendo las de mayor representatividad. Además, Ngo et al. (2022) señala que, por su carácter pionero, la especie de *Cecropia peltata* presento una alta predominancia en zonas agrícolas destinadas a la implementación de sistemas agroforestales para la rehabilitación de bosques tropicales, ocupando un 66% del área total de estudio. Por ejemplo, *Cecropia distachya* y *Cecropia pachystachya* son mencionadas en múltiples estudios y regiones, evidenciando su potencial para la rehabilitación en diversos tipos de bosques tropicales.

La cobertura geográfica de los estudios es bastante amplia, abarcando países como Perú, Brasil, Costa Rica, México, Honduras y Ecuador. Esta amplitud subraya que *Cecropia spp.* se emplea en una variedad de contextos ecológicos, adaptándose a diferentes condiciones ambientales. En particular, Brasil destaca por su alta representación en la Tabla 1, con estudios que exploran diversas especies en varios tipos de bosques, incluyendo bosques húmedos tropicales y bosques de la Amazonia. Esto sugiere que Brasil es un foco importante para la investigación y aplicación de *Cecropia spp.* en la rehabilitación de bosques tropicales.

Con respecto a las especies identificadas en la revisión bibliográfica, en la Tabla 2, se muestran fotografías de cada una de las especies de *Cecropia* para conocer sus características fenotípicas.

Tabla 2. *Imágenes de cada una de las especies de Cecropia de la revisión bibliográfica*

Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Imagen de la especie	Autor
<i>Cecropia Engleriana</i>		(Barriga et al, 2004)
<i>Cecropia distachya</i>		(Santos, 2020)
<i>Cecropia obtusa</i>		(NaturalistaCO, 2019)

Tabla 2. Continuación

Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Imagen de la especie	Autor
<i>Cecropia purpurascens</i> ,		(Gomes, 2021)
<i>Cecropia pittieri</i>		(Joyce, 2019)
<i>Cecropia pachystachya</i>		(Xavier, 2019)
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol		(Tenorio et al, 2018)

Tabla 2. Continuación

Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Imagen de la especie	Autor
<i>Cecropia palmata</i> Wild		(Pontes, 2022)
<i>Cecropia Sciadophylla</i> Mart		(Westerduijn, 2022)
<i>Cecropia peltata</i>		(Conrad, 2024)
<i>Cecropia ficifolia</i>		(Barriga et al, 2004)

Tabla 2. Continuación

Especie de <i>Cecropia</i> spp empleadas	Imagen de la especie	Autor
<i>Cecropia membranacea</i>		(Barriga et al, 2004)
<i>Cecropia schreberiana</i>		(The National Gardening Association, 2012)
<i>Cecropia angustifolia</i>		(Jonker, 2019)

Nota. Realizado a partir de revisión bibliográfica en páginas ecológicas especializadas

3. Discusión

3.1. Avances en el uso de *Cecropia spp* en la rehabilitación ecológica

El análisis de literatura seleccionada en este estudio resalta la importancia de las especies del género *Cecropia spp* como agentes clave en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales degradados. Estos árboles pioneros presentan características ecológicas que los hacen efectivos para la regeneración en áreas perturbadas, como su capacidad para adaptarse a condiciones adversas y su papel como pioneras en la sucesión ecológica. Investigaciones realizadas, como las de Barbosa et al (2022); Guzmán & Martínez (2016); Braga et al (2019); Gomes et al (2024) destacan la rapidez con la que las especies de *Cecropia spp* pueden establecerse en áreas degradadas, contribuyendo al aumento de la cobertura vegetal en un corto período. Este comportamiento pionero no solo favorece la recolonización de áreas perturbadas, sino que también genera una estructura vegetal que facilita la llegada y el establecimiento de otras especies, promoviendo la biodiversidad y la restauración del ecosistema.

Frente al tema de la sucesión ecológica estudios realizados como el de Chambi et al (2021) confirman que estas especies no solo presentan una alta densidad de individuos en sitios abandonados, sino que también dominan durante las primeras etapas de la sucesión ecológica, lo que les otorga un papel crucial en el proceso de rehabilitación. Este rápido crecimiento, observado en especies como *Cecropia distachya* y *Cecropia pachystachya*, es un indicador de su capacidad para competir en ambientes con condiciones difíciles, como áreas mineras o sitios afectados por la deforestación (Chambi et al, 2021).

Adicionalmente, la capacidad de la adaptación de las *Cecropia spp* a condiciones ambientales adversas, como la alta irradiación o la sequía, destaca su utilidad en proyectos de restauración ecológica en diversas regiones tropicales. Ejemplos como el de *Cecropia pachystachya* que ajusta su producción de hojas en condiciones de alta irradiancia (Calzavara et al, 2015), muestran como estas especies pueden sobrevivir y prosperar en ambientes extremos, lo que amplía su potencial uso en la rehabilitación de diferentes ecosistemas degradados de bosques tropicales.

Además, estudios como el de Nytych et al (2023) han demostrado como la *Cecropia schreberiana*, aunque no es la especie dominante en todas las áreas degradadas, puede aprovechar

perturbaciones en el dosel forestal para crecer de manera más rápida. Esto sugiere que la efectividad de estas especies depende en gran medida de las características del hábitat y las perturbaciones previas, lo que demuestra que a la hora de implementarlas en proyectos de rehabilitación los factores contextuales son importantes (Nytch et al, 2023).

La comparación de estrategias de rehabilitación, como la plantación de plántulas, la nucleación y la inducción de regeneración natural, sugiere que la plantación directa de especies de *Cecropia spp* ofrece mejores resultados en términos de establecimiento de individuos, como se observa en el estudio de Barbosa et al (2022) en áreas mineras rehabilitadas. Sin embargo, también se deben considerar las limitaciones de esta estrategia a largo plazo. Aunque la densidad inicial de individuos puede ser alta, como demuestra el caso de *Cecropia engleriana* en el corredor minero de Madre de Dios (Chambi et al, 2021), existe una disminución significativa en la densidad de individuos a medida que el ecosistema se estabiliza, lo que indica la necesidad de enfoques complementarios que promuevan la sucesión natural y la diversificación de especies a lo largo del tiempo.

La implementación de *Cecropia spp* en diversos proyectos ha resultado en una mejora notable en los servicios ecosistémicos. Martini et al (2020) demostraron que las especies pioneras incluyendo *Cecropia pachystchya*, contribuyen a aumentar la biomasa aérea viva, la cual es esencial para servicios como la regulación ambiental y la atracción de fauna.

Otro caso de éxito fue en el proyecto de restauración activa realizado por Vieira et al (2021) en bosques amazónicos. Estos autores observaron que la *Cecropia purpurascens* y *Cecropia membranacea* dominaron el área basal en sitios intervenidos alcanzando un 62% del total, lo que destaca su rápida colonización en escenarios de restauración activa. Este hallazgo respalda la idea de que las especies de *Cecropia spp* no solo es una opción viable, sino también eficaz en contextos de restauración activa, particularmente en áreas dominadas por pastos exóticos.

Por último, de acuerdo con lo observado en la Tabla 1, se demuestra que la elección de especies de *Cecropia spp* se realiza en función de las características específicas del tipo de bosque en el que se implementan. La adaptabilidad de estas especies a diferentes tipos de hábitats resalta su potencial como especies pioneras en la rehabilitación ecológica. La investigación futura podría centrarse en comparar la eficacia de estas especies en diversos contextos y desarrollar estrategias de restauración y rehabilitación basadas en los hallazgos observados.

3.2. Limitaciones y desafíos en el uso de *Cecropia spp* para la rehabilitación ecológica

Aunque las especies de yarumo (*Cecropia spp*) han mostrado un potencial significativo para la rehabilitación de bosques tropicales degradados, su implementación no está exenta de desafíos. Estas limitaciones pueden influir en la efectividad y sostenibilidad a largo plazo de las estrategias de restauración que incorporan estas especies.

Estudios como el de Chambi et al. (2021) señalan que una de las limitaciones de las especies de *Cecropia* está relacionada con su ciclo de vida. En este estudio, *Cecropia engleriana* redujo su densidad de tallos de 328 individuos por hectárea en un ciclo de 5 a 7 años a 132 individuos por hectárea en un ciclo de 8 a 9 años. Por esta razón, estas especies se consideran pioneras, ya que son efectivas en las primeras etapas de la sucesión ecológica, pero su densidad disminuye considerablemente después de los ocho años. Esta disminución puede generar oportunidades para que otras especies, tanto nativas como invasoras, dominen el área, lo que podría alterar el equilibrio del ecosistema restaurado (Chambi et al., 2021).

El manejo de la sucesión vegetal es crucial para el éxito de la rehabilitación ecológica. Aunque *Cecropia spp* puede dominar inicialmente, la transición hacia una comunidad forestal madura requiere la inclusión de una amplia gama de especies. Nye et al (2023) sugieren que la exclusividad de *Cecropia spp* en etapas tempranas podría limitar la diversidad de especies en etapas posteriores de sucesión, restringiendo la capacidad del ecosistema para recuperar su estructura y funcionalidad parcial o completas.

La competencia con especies invasoras o incluso con especies nativas puede limitar el éxito de *Cecropia spp* en ciertas áreas. Guzmán & Martínez (2016) encontraron que la competencia con pastos invasores puede reducir la supervivencia y el crecimiento de la especie *Cecropia obtusifolia*, un factor que debe ser gestionado cuidadosamente en proyectos de rehabilitación. Además, en áreas donde *Cecropia spp* compite con especies de sucesión secundaria o especies pioneras como la *Vismia spp* que establecen una cobertura densa, la dinámica de la comunidad puede verse alterada, afectando la rehabilitación del ecosistema.

Con respecto a la competencia con especies invasoras el estudio realizado por Rezende & Mascia (2019) muestra cómo las gramíneas invasoras, como *Urochloa brizantha*, pueden crear una cubierta densa que inhibe el crecimiento de *Cecropia spp*. Este desafío genera la necesidad de

estrategias de manejo integral que aborden tanto las especies invasoras como las técnicas de restauración para asegurar el éxito de los proyectos.

El éxito de la regeneración de *Cecropia spp* también depende de la presencia y efectividad de sus dispersores de semillas. Los dispersores, como aves y mamíferos frugívoros, juegan un papel crucial en la dispersión de semillas de *Cecropia spp*. Según Vargas et al (2020), la presencia de dispersores es esencial para asegurar la dispersión efectiva de las semillas, en este caso, de la especie *Cecropia pittieri*, además, de su germinación adecuadas. Sin embargo, en áreas donde los dispersores de semillas han sido desplazados o sus poblaciones han disminuido, la regeneración de *Cecropia spp* puede verse gravemente afectada. La falta de dispersores eficientes puede limitar la capacidad de *Cecropia spp* para colonizar nuevas áreas y mantener una población viable en el sitio rehabilitado (Vargas et al, 2020).

Para superar la limitación de dispersores de semillas, se pueden utilizar de herramientas y estrategias para atraer dispersores como murciélagos y aves que faciliten la dispersión de semillas de *Cecropia spp*. Esto puede incluir la plantación de especies de plantas que atraigan a estos dispersores y la creación de hábitats adecuados para ellos, así como el uso de perchas artificiales, las cuales han tenido una gran efectividad en la dispersión de semillas de especies pioneras (Peralta, 2016).

Por último, la Herbivoría puede ser un desafío significativo en la rehabilitación ecológica particularmente en ciertas especies de *Cecropia spp*. Estas especies a menudo enfrentan presión herbívora considerable debido a su alto valor nutritivo y su capacidad de rebrotar rápidamente, Vargas et al (2020) informan que los árboles de *Cecropia spp* pueden ser objeto de herbivoría intensa por parte de mamíferos, como los ciervos de cola blanca, los cuales redujeron el número de individuos de la especie *Cecropia pittieri* en parcelas establecidas en un 16% del total de 25 individuos que murieron. Es por esta razón, que sin una estrategia adecuada para manejar la Herbivoría, la efectividad de la rehabilitación puede verse comprometida.

Sin embargo, un estudio realizado por Carneiro et al (2018) demostró que la especie *Cecropia Loeft* tiene un mutualismo con las hormigas del género *Azteca*, este mutualismo es más efectivo en los bosques, donde las hormigas pueden obtener alimento fácilmente de las plantas cercanas, lo que les permite mantener una relación simbiótica en la que protegen a la *Cecropia* de herbívoros y otros depredadores. Esto subraya la importancia de conservar hábitats boscosos para mantener estas interacciones cruciales en la dinámica ecológica y plantea la necesidad de

considerar este tipo de relaciones en proyectos de rehabilitación ecológica, donde se busca restaurar la biodiversidad y las funciones ecológicas perdidas debido a la deforestación (Carneiro et al, 2018).

Para garantizar el éxito de las plantaciones de *Cecropia spp*, se pueden implementar estrategias de control para manejar la Herbivoría. Estableciendo cercados perimetrales hechos con mallas hexagonales y con polines de madera, generando una protección cilíndrica de 1 metro y enterrada a 30 cm del suelo, tal como propone (Contreras & Huertas, 2015), el cual estableció esta técnica para proteger especímenes vegetales de lagomorfos (mamíferos placentarios) en procesos de restauración ecológica.

Conclusiones

El análisis realizado en este estado del arte evidencia como las especies del género *Cecropia spp* desempeñan un papel destacado en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales degradados en Latinoamérica. Estas especies pioneras, caracterizadas por su rápido crecimiento y alta tasa de colonización en terrenos perturbados, presentan características que las convierte en candidatas ideales para la rehabilitación de ecosistemas afectados. La capacidad de *Cecropia spp* para adaptarse a condiciones adversas y su potencial para establecerse en áreas recién abandonadas son aspectos fundamentales que respaldan su efectividad en la regeneración de bosques tropicales.

La capacidad de adaptación de las especies de *Cecropia spp* a diferentes condiciones ambientales adversas, como alta irradiación y sequía, ha sido ampliamente documentada. Por ejemplo, la especie *Cecropia pachystachya* ajusta su producción de hojas en respuesta a la intensidad de luz, lo que demuestra su capacidad para sobrevivir y prosperar en ambientes extremos. Estos atributos permiten a las especies de *Cecropia spp* contribuir de manera significativa al incremento de la cobertura vegetal y a la restauración de la biodiversidad en áreas degradadas.

Además, la evidencia indica que las especies de *Cecropia spp* desempeñan un papel crucial en las primeras etapas de la sucesión ecológica. Su capacidad para dominar en áreas perturbadas, como las resultantes de actividades mineras o deforestación, facilita la creación de un entorno favorable para el establecimiento de otras especies, promoviendo así la recuperación del ecosistema. Este comportamiento pionero no solo acelera la restauración de la vegetación, sino que también contribuye a la mejora de los servicios ecosistémicos, como la regulación del clima, la conservación del agua y la provisión de hábitats para la fauna.

Sin embargo, a pesar de su potencial, también se identificaron desafíos significativos en la implementación de *Cecropia spp* en proyectos de rehabilitación ecológica. La dependencia de dispersores de semillas, como murciélagos y aves, puede limitar la capacidad de estas especies para colonizar nuevas áreas, especialmente en regiones con baja densidad de dispersores. A no ser que se implementen estrategias de rehabilitación activa, con plantación de plántulas, tal como se demostró en este estado del arte. Además, la competencia con especies invasoras y la presión de Herbivoría, especialmente en áreas degradadas, pueden afectar el éxito de *Cecropia spp* en la rehabilitación de los bosques. Aunque algunas especies cuentan con una protección mutualista con hormigas, herbívoros más grandes como ciervos, pueden alimentarse de ella, comprometiendo su supervivencia en las primeras etapas de crecimiento.

Recomendaciones

A partir del estudio realizado se identificaron ciertos vacíos existentes en la investigación. Entre los cuales se establecen la falta de estudios que mencionaran de manera específica la potencialidad de las especies de *Cecropia spp* en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales en América Latina, así como los beneficios socioeconómicos que estas pueden traer para las comunidades locales. Es por esta razón que se plantearon las siguientes recomendaciones:

1. Es importante expandir la investigación a diferentes regiones tropicales y subtropicales, realizando búsquedas más exhaustivas en bases de datos enfocadas en la rehabilitación y conservación ecológica, tales como, JSTOR o Web of Science. Además, integrar análisis de estudios de casos en distintas zonas con diferentes condiciones climáticas, edafológicas e hidrológicas, donde las especies de *Cecropia spp* jueguen un papel clave en la sucesión ecológica.

Así mismo desde el uso de la rehabilitación ecológica efectiva con la especie *Cecropia spp* se identificó que era necesario fortalecer los siguientes aspectos:

2. Se recomienda integrar perspectivas de otras disciplinas como la ecología del paisaje, biología molecular de las plantas, bioquímica vegetal y la modelación espacial, para ofrecer un panorama más complejo de las implicaciones de la rehabilitación ecológica con *Cecropia spp* a diferentes escalas, en particular esta última incluyendo el uso de tecnologías como drones, sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3. Es importante considerar el impacto socioeconómico positivo que la rehabilitación ecológica puede tener en las comunidades que habitan las áreas circundantes. Por eso se recomienda la participación de las comunidades en proyectos como este, desde la planificación hasta el monitoreo y mantenimiento. De igual forma, determinar los costos y las utilidades de este tipo de proyectos empleando especies de *Cecropia spp* en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales en Latinoamérica.

4. Se recomienda la implementación de estrategias como los sistemas agroforestales que incorporen especies de *Cecropia spp* junto con otras especies vegetales. Esto puede mejorar la diversidad de la vegetación y los servicios ecosistémicos en áreas degradadas. La combinación de especies puede también promover una mejor adaptación a las condiciones locales y facilitar la rehabilitación de los ecosistemas forestales.

5. Es importante establecer un programa de monitoreo y seguimiento para evaluar la evolución y el éxito de las plantaciones de *Cecropia spp.* Este monitoreo debe incluir la evaluación de tasas de crecimiento, la colonización de nuevas áreas y la interacción con otras especies, así como el impacto de factores como la competencia con especies invasoras y la presión Herbivoría.

Referencias Bibliográficas

- Angélio, B. (21 de septiembre de 2019). *Bioika*. Obtenido de Especies invasoras: <https://revistabioika.org/es/econoticias/post?id=56>
- Aranguren Hernández, S. (2022). Monitoreo y seguimiento de las especies vegetales plantadas como apoyo a los procesos de rehabilitación ecológica en la Vereda Mochuelo Bajo, Localidad de Ciudad Bolívar. [Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Obtenido de Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/31272>
- Avendaño, D., Cedeño, B., & Arroyo, M. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, 2(65), 63-90. doi:10.15359/rgac.65-2.3
- Barbosa, R., Silva, R., Schwartz, G., Rocha, W., Santos, S., Matos, J. d., . . . Moreira, V. (2022). Restoration of degraded areas after bauxite mining in the eastern Amazon: Which method to apply? *Ecological Engineering*, 180(106639), 1-9. doi:10.1016/j.ecoleng.2022.106639
- Barker, G. (7 de septiembre de 2016). *Phenotype*. Obtenido de Universidad de Warwick: <https://warwick.ac.uk/fac/sci/lifesci/research/vegin/geneticimprovement/phenotype/#:~:text=The%20phenotype%20of%20a%20plant,leaf%20shape%20and%20so%20on.>
- Braga, D., Domene, F., & Gandara, F. (2019). Shade trees composition and diversity in cacao agroforestry systems of southern Pará, Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(1), 1409-1421. doi:10.1007/s10457-018-0250-6
- Calderón, J., & Benavides, A. (2022). Deforestación y fragmentación en las áreas más biodiversas de la Cordillera Occidental de Antioquia (Colombia). *Biota colombiana*, 23(1), 1-15. doi:10.21068/2539200x.942
- Calzavara, A., Bianchini, E., Mazzanatti, T., Oliveira, H., Stolf, R., & Pimenta, J. (2015). Morphoanatomy and ecophysiology of tree seedlings in semideciduous forest during high-light acclimation in nursery. *Photosynthetica*, 53(4), 597-608. doi:10.1007/s11099-015-0151-0
- Capichoni, J., Castro, A., Sanjuán, P., Mota, G., Frois, C., Ramos, S., & Gastauer, M. (2023). A machine learning model to estimate evapotranspiration using a limited number of weather parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, 194(109437), 1-9. doi:10.1016/j.ecoleng.2023.107039

- Carneiro, Gaglioti, Carvalho, Nascimento, & Zina, J. (9 de julio de 2018). El hábitat afecta las interacciones ecológicas entre Azteca Forel (Hymenoptera: Formicidae) y Cecropia Loefl. (Urticaceae Juss.). *Sociobiology*, 65(2), 177-184. doi:10.13102/sociobiology.v65i2.2044
- Chambi Roger et al, O. D. (2021). Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4(594627), 1-10. doi:10.3389/ffgc.2021.594627
- Conrad, J. (15 de septiembre de 2024). *Cecropia Peltata*. Obtenido de Useful Tropical Plants: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Cecropia+peltata>
- Contreras, T., & Huertas, A. (2015). *Proyecto de restauración ecológica en Chile Central, Sector Parque Aguas de Ramón, Santiago*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/275408037_PONTIFICIA_UNIVERSIDAD_CATOLICA_DE_CHILE_FACULTAD_DE_AGRONOMIA_E_INGENIERIA_FORESTAL_DEPARTAMENTO_DE_ECOSISTEMAS_Y_MEDIO_AMBIENTE_Restauracion_Ecologica_AGR_325_PROYECTO_DE_RESTAURACION_ECOLOGICA_EN_C
- Díaz, J., Vargas, O., & Rodríguez, N. (2023). La nucleación: Una alternativa para la restauración ecológica de bosques neotropicales. *Ecología Austral*, 33(3), 867–886. doi:10.25260/EA.23.33.3.0.2134
- El Tiempo. (14 de diciembre de 2021). *Lanzan semillas del cielo: así es el piloto para reforestar en la Amazonia*. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/lanzar-semillas-del-cielo-asi-es-el-piloto-para-reforestar-la-amazonia-638997>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a8369c1b-88c7-41f2-8b7b-0d0e013a95d7/content>
- Gomes, P., Siviero, M., Ruschel, A., Benmuyal, S., Sales, A., & Marques, M. (2024). Productive forest recovery in legal reserve area: a case study in Eastern Amazon. *Floresta*, 54(1), 1-10. doi:10.5380/rf.v54.89712
- Gómez, C. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 1(140), 107-118. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6312616>

- González, F. (27 de junio de 2023). *El mundo perdió más de cuatro millones de hectáreas de bosques tropicales en 2022*. Obtenido de WIRED: <https://es.wired.com/articulos/el-mundo-perdio-mas-de-cuatro-millones-de-hectareas-de-bosques-tropicales-en-2022>
- Goya, A., Zafra, C., & Rodríguez, J. P. (2020). Tendencias metodológicas en la evaluación del grado de contaminación y de riesgos por metales pesados presentes en sedimentos viales urbanos. *UIS Ingenierías*, 19(4), 133-148. doi:10.18273/revuin.v19n4-2020012
- Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE). (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE). Obtenido de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>
- Jonker, A. (28 de febrero de 2019). *Yarumo Negro (Cecropia angustifolia)*. Obtenido de NaturalistMX: <https://mexico.inaturalist.org/observations/20826945>
- Joyce, R. (5 de marzo de 2019). *Guarumo (Cecropia pittieri)*. Obtenido de NaturalistaCO: <https://colombia.inaturalist.org/photos/32970856>
- Leija, E., Pavón, N., Sánchez, A., & Ángeles, G. (2022). Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación). *Revista cartográfica*, 1(102), 43-68. doi:10.35424/rcarto.i102.832
- Martini, F., Terra, G., Piotto, D., & Montandon, G. (2021). Recovering ecosystem functions through the management of regenerating community in agroforestry and plantations with *Khaya* spp. in the Atlantic Forest, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 482(118854), 1-13. doi:10.1016/j.foreco.2020.118854
- Meneses Marroquín, L. (2018). *Caracterización de ecosistemas de referencia y propagación de especies nativas de interés para restauración ecológica en la jurisdicción de Corpochivor*. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/14012>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (14 de diciembre de 2021). *Semillas que caen del cielo: el piloto de restauración ecológica que lanzó Minambiente en la Amazonía*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/semillas-que-caen-del-cielo-el-piloto-de-restauracion-ecologica-que-lanzo-minambiente-en-la-amazonia/>

- Morrison Vila, L. (2020). Caracterización de la biomasa en pie y de la productividad de biomasa en bosques tropicales primarios, de producción y bosques secundarios en Costa Rica. *[Trabajo de grado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]*. Obtenido de Repositorio Institucional. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9858>
- NaturalistaCO. (20 de septiembre de 2019). *Cecropia obtusa*. Obtenido de NaturalistaCO: <https://colombia.inaturalist.org/photos/52458471>
- Nytch, C., Rojas, J., Erazo, A., Santiago, R., & Meléndez, E. (2023). Effects of historical land use and recovery pathways on composition, structure, ecological function, and ecosystem services in a Caribbean secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 546(121311), 1-17. doi:10.1016/j.foreco.2023.121311
- Olea, A., Lorenzo, C., Naranjo, E., Ortiz, D., & León, L. (2007). Diversidad de frutos que consumen tres especies de murciélagos (Chiroptera: Phyllostomidae) en la selva lacandona, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(1), 191-200. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532007000100018&script=sci_arttext
- Organización de la Naciones Unidas (ONU) . (25 de septiembre de 2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de Organización de la Naciones Unidas (ONU) : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Osma, B., & Peña, M. (2024). Valoración económica ambiental de los efectos en la salud humana por las emisiones de material particulado PM2.5 y PM10 en el área urbana de Villavicencio. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]*. Obtenido de Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11634/56309>
- Peralta, N. (2016). Estrategias para incrementar la funcionalidad de las aves en la restauración ecológica de bosques subandinos. *[Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]*. Obtenido de Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57821>
- Pontes, R. (20 de julio de 2022). *Cecropia palmata*. Obtenido de Tropical Plants Database: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Cecropia+palmata>
- Quintana, F. (2023). La crisis ambiental global. *Anuario Mexicano de Asuntos Globales (AMAG)*, 1(1), 1-8. doi:<https://doi.org/10.59673/amag.v1i1.43>

- Rafferty, J. (3 de septiembre de 2024). *Pérdida de biodiversidad*. Obtenido de Enciclopedia Británica: <https://www.britannica.com/science/biodiversity-loss/Ecological-effects#ref1266700>
- Rezende, G., & Mascia, D. (2019). Forest restoration in southern Amazonia: Soil preparation triggers natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, 433(1), 93-104. doi:10.1016/j.foreco.2018.10.049
- Ríos, P., Smith, S., & Thomas, S. (2024). Biochar effects on NTFP-enriched secondary forest growth and soil properties in Amazonian Ecuador. *Journal of Environmental Management*, 350(119068), 1-13. doi:10.1016/j.jenvman.2023.119068
- Romero, A. (2005). Propuesta metodológica para seleccionar especies pioneras leñosas con fines de restauración ecológica dentro de la reserva biológica Cachalú (Encino Santander). *Revista Colombia Forestal*, 9(18), 52-59. doi:10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2005.1.a04
- Sabattini, J., & Sabattini, R. (2018). Sucesión vegetal y Restauración ecológica. *Revista Científica Agropecuaria*, 22(1-2), 31-53. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/339366738_Sucesion_vegetal_y_restauracion_ecologica
- Saenz, I., & Zepeda, C. (2023). ¿El que pega primero pega dos veces? Una mirada a las plantas pioneras en los bosques tropicales. *Centro de Investigación Científica de Yucatán*, 15(1), 141-146. Obtenido de https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2023/2023-07-13-ISaenz-El-que-pegar-primero-pegar-dos-veces.pdf
- Santos, M. (25 de septiembre de 2020). *Cecropia distachya*. Obtenido de Naturalista CO: <https://colombia.inaturalist.org/photos/97261183>
- Sierra, J., Quijano, M., Marín, D., Salazar, D., & García, M. (2021). Especies pioneras, persistentes y ensayos de germinación en bosques montanos de la cordillera central, Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, 11(2), 7-24. doi:10.19053/01217488.v11.n2.2020.10645
- Solano, J. (26 de agosto de 2023). *Sucesión ecológica*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/sucesion-ecologica/>
- The National Gardening Association. (14 de julio de 2012). *Trumpet Tree (Cecropia schreberiana subsp. antillarum)*. Obtenido de The National Gardening Association:

- <https://garden.org/plants/view/374133/Trumpet-Tree-Cecropia-schreberiana-subsp-antillarum/>
- Thornton, H. (3 de marzo de 2022). *Ventajas de la restauración de los ecosistemas y la recuperación de especies para las personas y el planeta*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas (ONU): <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/ventajas-de-la-restauraci%C3%B3n-de-los-ecosistemas-y-la-recuperaci%C3%B3n-de-especies-para-las>
- Treece, K. (13 de octubre de 2022). *What Is a Pioneer Species?* Obtenido de Treehugger: <https://www.treehugger.com/what-is-a-pioneer-species-5089870>
- Valois, H., Ríos, O., Jiménez, A., Sánchez, F., & Cuesta, T. (2019). Capítulo 4. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería en las subregiones del San Juan y Atrato en el Chocó. En H. Valois, O. Ríos, A. Jiménez, F. Sánchez, & T. Cuesta, *En Restauración ecológica participativa de áreas degradadas por minería en el departamento del Chocó* (págs. 59-75). Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ).
- Vanegas, S., Ospina, O., Escobar, G., Ramirez, W., & Sánchez, J. (2015). *Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.andi.com.co/Uploads/Plan%20nacional%20de%20restauraci%C3%B3n.pdf>
- Vargas, L., Rovere, A., & Camacho, J. (2020). Effectiveness of two treatments to promote tree regeneration: implications for forest restoration in the Isla del Coco National Park, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 103-114. doi:10.15517/rbt.v68is1.41172
- Weisse, M., Goldman, E., & Carter, S. (4 de abril de 2024). *Forest Pulse: La información más reciente sobre los bosques del mundo*. Obtenido de World Resources Institute (WRI): <https://research.wri.org/es/gfr/latest-analysis-deforestation-trends#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20total%20de%20bosques,las%20de%202019%20y%202021.>
- Westerduijn, R. (22 de junio de 2022). *Cecropia sciadophylla*. Obtenido de Useful Tropical Plants: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Cecropia+sciadophylla>

World Wide Fund for Nature (WWF). (12 de febrero de 2024). *Los devastadores impactos de la deforestación en Colombia*. Obtenido de World Wide Fund for Nature (WWF): <https://www.wwf.org.co/?386550/deforestacion-colombia-causas-consecuencias>

Xavier, R. (2 de julio de 2019). *Ambay (Cecropia pachystachya)*. Obtenido de Naturalista CO: <https://panama.inaturalist.org/photos/47196502>