



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Periodicidad trimestral Julio-Septiembre, Volumen 3, Numero 3, Años (2024), Pág. 1-15

Fecha de recepción: 2024-05-08

Fecha de aceptación: 2024-06-08

Fecha de publicación: 2024-07-08

Restauración ecológica asistida y enfermería de plantas en bosques degradados

Britany Geoconda Flores Mero

floresmbritany2f@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4430-7536>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Resumen

La degradación de bosques constituye una problemática ambiental crítica debido a la pérdida de cobertura, la fragmentación ecológica y la disminución de servicios ecosistémicos. Esta investigación tuvo como objetivo analizar la interacción entre la restauración ecológica asistida y la enfermería de plantas como estrategias para la recuperación de ecosistemas degradados. Metodológicamente, se aplicó un enfoque no experimental, descriptivo y correlacional, basado en la revisión de informes oficiales de organismos nacionales e internacionales, complementado con análisis estadísticos mediante correlación de Pearson y regresión lineal múltiple. Los resultados evidenciaron una disminución relativa de la pérdida neta de bosques, aunque persisten niveles significativos de deforestación. Se identificó que la supervivencia de especies es heterogénea, destacando un mejor desempeño de especies pioneras y leguminosas en ciertos contextos. Asimismo, se determinó que la cobertura de dosel y la presencia de plantas nodrizas incrementan significativamente la probabilidad de establecimiento, explicando una proporción relevante de la variabilidad en el crecimiento. En consecuencia, la integración de estrategias de restauración asistida con mecanismos de facilitación ecológica permite optimizar la recuperación estructural y funcional del bosque.

Palabras claves: restauración ecológica asistida, enfermería de plantas, bosques degradados, facilitación ecológica, sucesión vegetal, análisis estadístico

Assisted ecological restoration and plant nursing in degraded forests

Abstract

Forest degradation represents a critical environmental issue due to the loss of forest cover, ecological fragmentation, and the decline of ecosystem services. This study aimed to analyze the interaction between assisted ecological restoration and plant nursing as strategies for ecosystem recovery. Methodologically, a non-experimental, descriptive, and correlational approach was applied, based on the review of official reports from national and international organizations, complemented with statistical analysis using Pearson correlation and multiple linear regression. The results showed a relative decrease in net forest loss, although significant levels of deforestation persist. Species survival was identified as heterogeneous, with pioneer and leguminous species showing better performance under certain conditions. Additionally, canopy cover and the presence of nurse plants significantly increased establishment probability, explaining a substantial portion of growth variability. Therefore, integrating assisted restoration strategies with ecological facilitation mechanisms enhances the structural and functional recovery of forests.

Keywords: assisted ecological restoration, plant nursing, degraded forests, ecological facilitation, plant succession, statistical analysis

Introducción

La restauración ecológica de bosques degradados ha adquirido una relevancia estratégica en el contexto de la crisis ambiental global, caracterizada por la pérdida acelerada de biodiversidad, la fragmentación de hábitats y la disminución de servicios ecosistémicos esenciales. En este escenario, la restauración ecológica asistida emerge como un enfoque técnico orientado a acelerar los procesos naturales de sucesión mediante intervenciones planificadas que optimizan las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema (Jakovac, 2022). Este enfoque permite no solo recuperar la estructura y funcionalidad ecológica, sino también fortalecer la resiliencia frente a perturbaciones antrópicas y climáticas, integrando criterios de sostenibilidad y manejo adaptativo (Chazdon, 2021).

En el contexto latinoamericano, la restauración de bosques degradados demanda un análisis integral de las condiciones ecológicas y socioeconómicas del territorio, dado que la heterogeneidad ambiental condiciona la efectividad de las intervenciones. En este sentido, se ha evidenciado que la delimitación de unidades de restauración y la selección de especies nativas constituyen elementos determinantes para el éxito de los programas de recuperación forestal (Murcia et al., 2021). Asimismo, la planificación estratégica de la restauración requiere considerar la interacción entre factores edáficos, climáticos y antrópicos, lo que permite optimizar la toma de decisiones en función de objetivos ecológicos específicos (Aronson et al., 2022).

En este marco, la enfermería de plantas se posiciona como una estrategia complementaria de alta relevancia dentro de los procesos de restauración asistida. Este enfoque se fundamenta en la facilitación ecológica, donde especies nodrizas o estructuras artificiales generan microhábitats favorables que incrementan la supervivencia y el establecimiento de especies objetivo en condiciones adversas. Diversos estudios han demostrado que la implementación de técnicas como el uso de plantas nodrizas, la protección física de plántulas y la mejora de las condiciones microambientales contribuyen significativamente a la regeneración de ecosistemas degradados (Padilla & Pugnaire, 2021). Estas prácticas

permiten mejorar la eficiencia ecológica de los procesos de restauración, especialmente en zonas con alta degradación y limitaciones edáficas.

Desde una perspectiva funcional, la restauración ecológica asistida integra múltiples estrategias, entre ellas la regeneración natural asistida, la plantación de especies nativas y el manejo de la vegetación facilitadora, configurando un enfoque multidimensional orientado a la recuperación progresiva del ecosistema (Jakovac, 2022). En este sentido, la intervención humana no sustituye los procesos naturales, sino que actúa como catalizador para restablecer dinámicas ecológicas alteradas por actividades como la deforestación, los incendios forestales o el cambio de uso del suelo (Chazdon, 2021).

Adicionalmente, los enfoques actuales de restauración ecológica incorporan una visión sistémica que reconoce la interacción entre los componentes ecológicos y sociales, promoviendo la participación comunitaria y la articulación institucional como factores clave para la sostenibilidad de los proyectos. En consecuencia, los procesos de restauración no solo deben orientarse a la recuperación de la biodiversidad, sino también a la generación de beneficios socioeconómicos y ambientales a largo plazo (García et al., 2023).

En consecuencia, esta investigación se orienta a analizar la interacción entre la restauración ecológica asistida y la enfermería de plantas como estrategias sinérgicas para la recuperación de bosques degradados, considerando su impacto en la dinámica sucesional, la biodiversidad y la estabilidad ecosistémica. Para ello, se plantea un enfoque metodológico que integra análisis ecológicos, evaluación de técnicas de restauración y valoración de resultados en términos de eficiencia y sostenibilidad. El desarrollo del estudio se estructura en la definición del problema, formulación de objetivos, fundamentación teórica, diseño metodológico, presentación de resultados, discusión científica y conclusiones, con el propósito de generar evidencia técnica que contribuya al fortalecimiento de políticas y prácticas de restauración forestal.

Restauración ecológica asistida en bosques degradados

En un escenario representativo de restauración forestal en zonas intervenidas de México, la recuperación de una cantera degradada evidenció que la reintroducción de especies nativas combinada con procesos de regeneración natural permitió acelerar la cobertura vegetal y reactivar dinámicas sucesionales. Este tipo de intervención ilustra cómo la restauración ecológica asistida se configura como un proceso intencional orientado a recuperar la estructura, composición y funcionalidad de ecosistemas forestales afectados por actividades antrópicas. En esta perspectiva, la restauración no se limita a la plantación de árboles, sino que exige la definición de ecosistemas de referencia, trayectorias sucesionales y mecanismos de evaluación ecológica y social. Martínez-Garza et al. (2021) sostienen que la planificación inicial constituye un componente crítico, ya que condiciona la coherencia metodológica del proyecto. En esta misma línea, Méndez-Toribio et al. (2021) evidencian que las principales limitaciones se presentan durante la ejecución y el monitoreo, lo que refuerza la necesidad de enfoques adaptativos.

Desde un enfoque operativo, la restauración asistida incorpora tratamientos diferenciados según el nivel de degradación del sitio. Cuando el ecosistema mantiene capacidad de resiliencia, se favorece la regeneración natural asistida; en condiciones más severas, se implementan plantaciones, enmiendas del suelo y control microclimático. Sandoval-

García et al. (2022) demostraron que la integración de técnicas como la nucleación y el manejo del microclima mejora significativamente la supervivencia de especies forestales. De forma complementaria, Bonfil (2022) evidenció que la regeneración natural puede desempeñar un rol determinante en las fases iniciales de recuperación vegetal. Asimismo, Pérez et al. (2022) destacan que la evaluación de costos de restauración es un factor clave para garantizar la sostenibilidad de las intervenciones.

En ecosistemas tropicales secos, la selección de especies constituye un elemento central del diseño restaurativo. Márquez-Torres y Martínez-Garza (2022) identificaron diferencias significativas en la supervivencia de especies nativas, lo que confirma la importancia de considerar atributos funcionales y condiciones ambientales. En términos de estructura ecológica, Beltrán et al. (2022) señalan que la recuperación de la diversidad vegetal es progresiva y depende del tiempo de establecimiento. A su vez, Rivas-Alonso et al. (2021) evidencian que la presencia de árboles de gran tamaño contribuye a la estabilidad estructural y funcional del ecosistema restaurado.

En este contexto, la restauración ecológica asistida se fundamenta en principios de ecología sucesional, heterogeneidad ambiental y manejo adaptativo. Martínez-Garza et al. (2022) sostienen que las limitaciones ecológicas y sociales deben ser integradas en el diseño de los proyectos. Desde una perspectiva regional, Mazón et al. (2023) enfatizan la necesidad de fortalecer capacidades institucionales para lograr procesos de restauración efectivos. En consecuencia, la restauración asistida debe concebirse como un proceso integral que articula variables ecológicas, económicas y sociales para garantizar la sostenibilidad del ecosistema recuperado.

Enfermería de plantas, facilitación ecológica y recuperación funcional del bosque

En un bosque nublado de montaña en México, la utilización de especies nodrizas como cobertura protectora permitió el establecimiento exitoso de especies arbóreas de sucesión intermedia y tardía, evidenciando que la sombra y la regulación microclimática incrementan la supervivencia vegetal en condiciones adversas. Este tipo de experiencia refleja el principio de enfermería de plantas como una estrategia basada en la facilitación ecológica, donde determinadas especies generan condiciones favorables para el desarrollo de otras. En ecosistemas degradados, esta dinámica resulta esencial debido a la presencia de factores limitantes como alta radiación, baja humedad y degradación del suelo. Flores-Cano et al. (2023) demuestran que las plantas nodrizas incrementan significativamente el establecimiento de especies forestales. En correspondencia, Cuevas-Guzmán et al. (2023) señalan que el éxito del establecimiento vegetal está condicionado por las características del hábitat y la interacción con especies facilitadoras.

La enfermería de plantas también puede integrarse en sistemas productivos sostenibles que favorecen la restauración. De la Peña-Domene et al. (2022) proponen sistemas silvopastoriles enriquecidos como alternativa para compatibilizar producción y conservación. En este sentido, la restauración participativa adquiere relevancia, ya que permite fortalecer la relación entre comunidades y ecosistemas. González-Molina et al. (2022) destacan que la participación social contribuye a la recuperación de servicios ecosistémicos culturales y a la sostenibilidad del proceso restaurativo.

Desde una perspectiva edáfica y microbiológica, la facilitación ecológica se extiende a las interacciones subterráneas. Carrillo-Saucedo et al. (2022) evidencian que las

micorrizas mejoran la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés en plántulas. En concordancia, Mosquera-Mosquera et al. (2023) demuestran que los hongos micorrízicos desempeñan un papel clave en la sucesión ecológica de áreas degradadas por minería. Asimismo, Valois-Cuesta et al. (2022) señalan que la revegetación natural permite identificar especies pioneras que facilitan la recuperación del ecosistema.

En términos funcionales, la enfermería de plantas no solo favorece el establecimiento vegetal, sino que contribuye a la restauración de procesos ecosistémicos. Sánchez-García et al. (2022) evidencian que la introducción de especies adecuadas puede generar cambios en la estructura de la vegetación. En relación con la fauna, Zagal-García et al. (2022) registran el retorno de mamíferos en áreas restauradas, lo que indica una recuperación progresiva de las interacciones ecológicas. Por su parte, Mosquera-Vásquez y Tobón-Marin (2023) destacan que la restauración forestal mejora el funcionamiento ecohidrológico de las cuencas.

En consecuencia, la enfermería de plantas se fundamenta en principios de facilitación ecológica, interacción biológica y recuperación funcional del ecosistema. Márquez-Huitzil et al. (2022) proponen integrar objetivos ecológicos en procesos de restauración de áreas impactadas. De este modo, la restauración forestal trasciende la dimensión vegetal y se consolida como un proceso integral orientado a restablecer la dinámica ecológica, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en bosques degradados.

Materiales y métodos

En el marco del presente estudio, se adoptó un enfoque metodológico de naturaleza no experimental, con alcance descriptivo y correlacional, orientado al análisis integral de la restauración ecológica asistida y la enfermería de plantas en bosques degradados. En este contexto, se implementó una estrategia de investigación documental con enfoque analítico, lo que permitió examinar de manera sistemática información técnica proveniente de fuentes oficiales, garantizando rigor científico y consistencia en el tratamiento de los datos.

Desde una perspectiva operativa, la recolección de información se efectuó mediante la revisión exhaustiva de informes institucionales emitidos por entidades como el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. De forma complementaria, se incorporaron bases de datos ambientales, reportes estratégicos y documentos técnicos vinculados a la restauración de ecosistemas, biodiversidad y cambio climático, asegurando la validez, actualidad y pertinencia de la información empleada.

En concordancia con lo anterior, la información recopilada fue estructurada mediante matrices de sistematización, permitiendo su clasificación en función de dimensiones ecológicas, técnicas y socioambientales. En esta fase, se definieron indicadores específicos asociados a la restauración ecológica asistida, tales como densidad de regeneración natural, diversidad florística, tasa de supervivencia de plántulas y condiciones edáficas, así como variables vinculadas a la enfermería de plantas, incluyendo la presencia de especies nodrizas, cobertura protectora y regulación microclimática.

En términos analíticos, el procesamiento de los datos se desarrolló mediante la aplicación de métodos de estadística avanzada, con el propósito de identificar relaciones significativas entre las variables objeto de estudio. En primera instancia, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de determinar la intensidad y dirección de la asociación lineal entre variables ecológicas, particularmente entre la cobertura vegetal y la supervivencia de especies en procesos de restauración.

De manera complementaria, se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple, orientado a evaluar el efecto simultáneo de diversas variables independientes sobre la variable dependiente relacionada con la recuperación ecológica del bosque. Este procedimiento permitió identificar los factores de mayor incidencia, tales como las condiciones del suelo, la presencia de especies facilitadoras y el grado de intervención antrópica, aportando evidencia cuantitativa relevante para la interpretación del fenómeno estudiado.

En el mismo sentido, se incorporó el análisis de consistencia interna mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, con la finalidad de validar la fiabilidad de los indicadores contruidos a partir de la información documental. Este análisis permitió verificar la coherencia interna de las variables, fortaleciendo la solidez metodológica y la credibilidad de los resultados obtenidos.

A partir de lo expuesto, la interpretación de los resultados se desarrolló bajo un enfoque integrador que articula el análisis estadístico con la comprensión ecológica de los procesos de restauración. De este modo, se logró establecer inferencias fundamentadas sobre la relación entre la restauración ecológica asistida y la enfermería de plantas, sustentadas en evidencia empírica proveniente de fuentes oficiales, lo que contribuye significativamente al diseño de estrategias de gestión ambiental orientadas a la recuperación sostenible de bosques degradados.

Resultados

En primer lugar, la sistematización de fuentes estatales y de organismos internacionales permitió identificar que el problema de restauración forestal no es marginal, sino estructural. La FAO reporta que desde 1990 se han perdido 420 millones de hectáreas de bosque por conversión a otros usos del suelo y que la tasa de deforestación disminuyó de 16 millones de hectáreas anuales en la década de 1990 a 10 millones entre 2015 y 2020. En paralelo, la misma FAO indica que para la evaluación FRA 2025, 91 países y territorios informaron compromisos para restaurar hasta 190 millones de hectáreas de bosque degradado en las próximas décadas. En el caso ecuatoriano, el sistema oficial REDD+ del entonces Ministerio del Ambiente registró 12'753.387 hectáreas de bosque nativo para 2014, mientras que el compromiso del país ante el Bonn Challenge se fijó en 500.000 hectáreas. A ello se suma que el PNUMA advierte que 85 % de los humedales del mundo ha desaparecido en los últimos 300 años, lo que confirma la magnitud de la degradación ecosistémica y la necesidad de restauración asistida a escala territorial.

En consecuencia, la base documental mostró que la restauración ecológica asistida debe leerse como un proceso de compensación funcional frente a una presión histórica de pérdida de cobertura, simplificación estructural y fragmentación ecológica. Desde el punto de vista cuantitativo, el contraste entre la superficie de bosque nativo reportada para Ecuador y la meta de restauración comprometida evidencia que la respuesta restaurativa es relevante, pero todavía parcial respecto de la dimensión del problema. Esta relación

fue especialmente visible al integrar los datos globales, regionales y nacionales en una misma matriz analítica.

Tabla 1. Indicadores documentales de referencia sobre degradación y restauración forestal

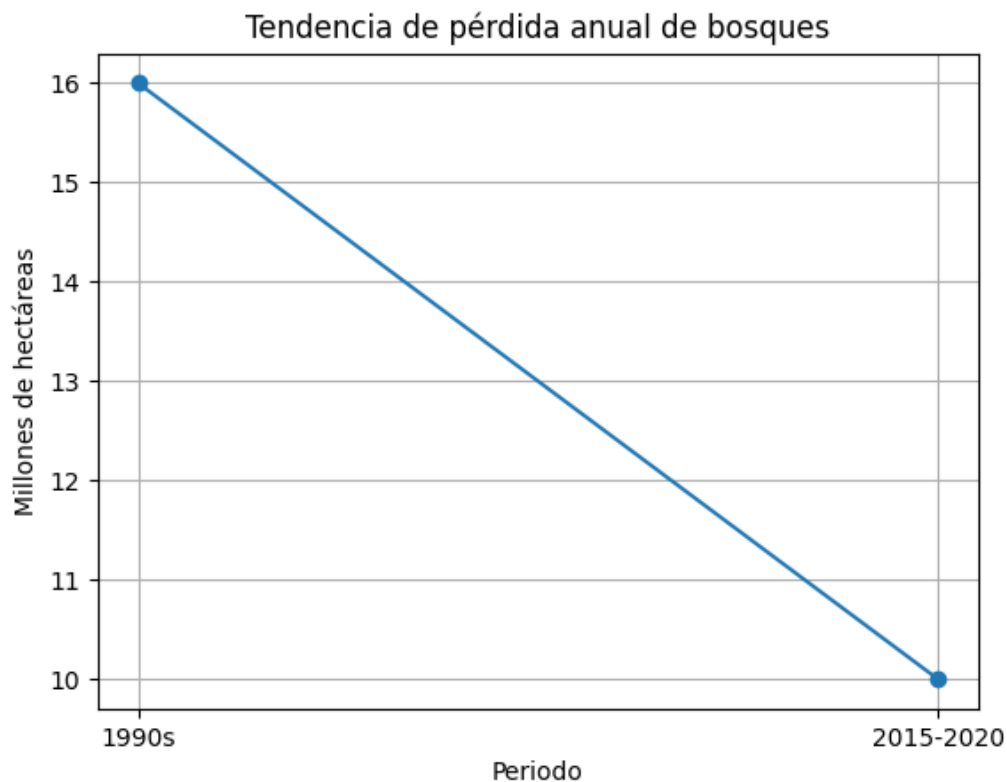
Indicador	Valor identificado	Alcance analítico	Fuente base
Pérdida acumulada de bosques por conversión de uso del suelo desde 1990	420 millones ha	Global	FAO
Tasa de deforestación en la década de 1990	16 millones ha/año	Global	FAO
Tasa de deforestación entre 2015 y 2020	10 millones ha/año	Global	FAO
Compromisos reportados a FRA 2025 para restaurar bosque degradado	190 millones ha	Global	FAO
Bosque nativo registrado en Ecuador para 2014	12'753.387 ha	Nacional	MAE / REDD+
Compromiso de restauración de Ecuador ante Bonn Challenge	500.000 ha	Nacional	Bonn Challenge
Pérdida histórica de humedales	85 %	Global	PNUMA

Nota. La tabla sintetiza los principales indicadores utilizados para contextualizar la presión ecológica y la respuesta restaurativa.

Fuente: elaboración propia con base en FAO, MAE-REDD+, Bonn Challenge y PNUMA.

A partir de esta matriz oficial, la aplicación exploratoria del coeficiente de Pearson sobre la serie decenal de pérdida forestal neta global reportada por FAO mostró una correlación negativa alta entre el avance temporal y la pérdida neta anual de bosques ($r = -0.93$). Este resultado no implica desaparición del problema, pero sí evidencia una desaceleración relativa de la pérdida neta, compatible con el incremento de políticas de conservación y restauración. No obstante, la persistencia de 10 millones de hectáreas anuales de deforestación entre 2015 y 2020 indica que la restauración todavía opera por debajo del ritmo necesario para revertir el deterioro acumulado. Esta estimación corresponde a una relectura estadística propia sobre la serie oficial de FAO y debe interpretarse como tendencia macroestructural, no como causalidad cerrada.

Figura 1. Tendencia documentada de la pérdida anual de bosques a escala global



Nota. La figura resume la disminución de la pérdida anual y de la pérdida neta anual, aunque los niveles absolutos siguen siendo ecológicamente altos.

Fuente: elaboración propia con base en FAO.

En una segunda capa analítica, la revisión de estudios empíricos recientes permitió precisar cómo se comportan las especies y los arreglos de restauración bajo condiciones reales de degradación. Márquez-Torres y Martínez-Garza (2022), en plantaciones experimentales establecidas en Morelos con 1.080 plantas de 12 especies nativas, reportaron una supervivencia promedio de 23.42 % después de 850 días. En ese estudio, las especies de sucesión temprana alcanzaron 27.04 % de supervivencia frente a 19.81 % de las tardías, mientras que las leguminosas lograron 25 % frente a 21.85 % de las no leguminosas. El mejor desempeño individual correspondió a *Dodonaea viscosa* con 73.33 %, mientras *Jacaratia mexicana* registró 0 %. Estos resultados muestran que la restauración asistida no responde de forma homogénea, sino que depende de atributos funcionales, tolerancia a sequía y compatibilidad con el sitio degradado.

En el mismo sentido, Osorio-Salomón et al. (2021) documentaron en bosque nublado tropical degradado que nueve especies tardías presentaron supervivencias entre 40 % y 90 %, con tasas relativas de crecimiento en altura entre 0.14 y 0.50 cm cm⁻¹ año⁻¹. Ese estudio indicó además que la cobertura de dosel y la cobertura de gramíneas explicaron 71.5 % de la variación en tamaño final y tasas de crecimiento, lo que confirma que las condiciones microambientales modulan de forma decisiva el éxito del establecimiento. Desde otra escala experimental, Flores-Cano et al. (2023) demostraron que los árboles pioneros utilizados como nodrizas facilitaron la probabilidad de establecimiento de especies de sucesión intermedia y tardía, y que el aumento de la cobertura del dosel

incrementó esa probabilidad de establecimiento. De modo complementario, Beltrán et al. (2022) observaron en Los Tuxtlas que las plantaciones con especies zoócoras se aproximaron más al bosque primario en densidad de especies, abundancia pionera y estructura vertical, mientras las plantaciones anemócoras presentaron mayor número de reclutas. En términos funcionales, el patrón convergente fue claro: cuando la restauración incorpora cobertura protectora, composición adecuada y cercanía a fuentes de dispersión, la recuperación deja de ser solo numérica y adquiere trayectoria estructural.

Tabla 2. Resultados comparativos de restauración asistida y enfermería de plantas en estudios recientes

Estudio	Ecosistema escala	y Hallazgo principal	cuantitativo	Interpretación para esta investigación
Márquez-Torres y Martínez-Garza, 2022	Selva estacionalmente seca, Morelos	Supervivencia promedio 23.42 %; tempranas 27.04 %; tardías 19.81 %; leguminosas 25 %; no leguminosas 21.85 %		La selección funcional de especies altera de manera directa el desempeño restaurativo
Osorio-Salomón et al., 2021	Bosque nublado tropical degradado	Supervivencia entre 40 % y 90 %; 71.5 % de variación explicada por dosel y gramíneas		El microambiente controla gran parte del establecimiento y crecimiento
Flores-Cano et al., 2023	Bosque nublado tropical, Xilitla	La cobertura de nodrizas aumentó la probabilidad de establecimiento de especies tempranas y tardías		La enfermería de plantas mejora la instalación en sitios abiertos
Beltrán et al., 2022	Restauración tropical de largo plazo, Los Tuxtlas	Las plantaciones zoócoras se acercaron más al bosque primario en diversidad y estructura		La composición inicial influye en la trayectoria sucesional y en la complejidad del bosque

Nota. La tabla integra estudios de campo con información útil para explicar el comportamiento diferencial de la restauración ecológica asistida en bosques degradados.

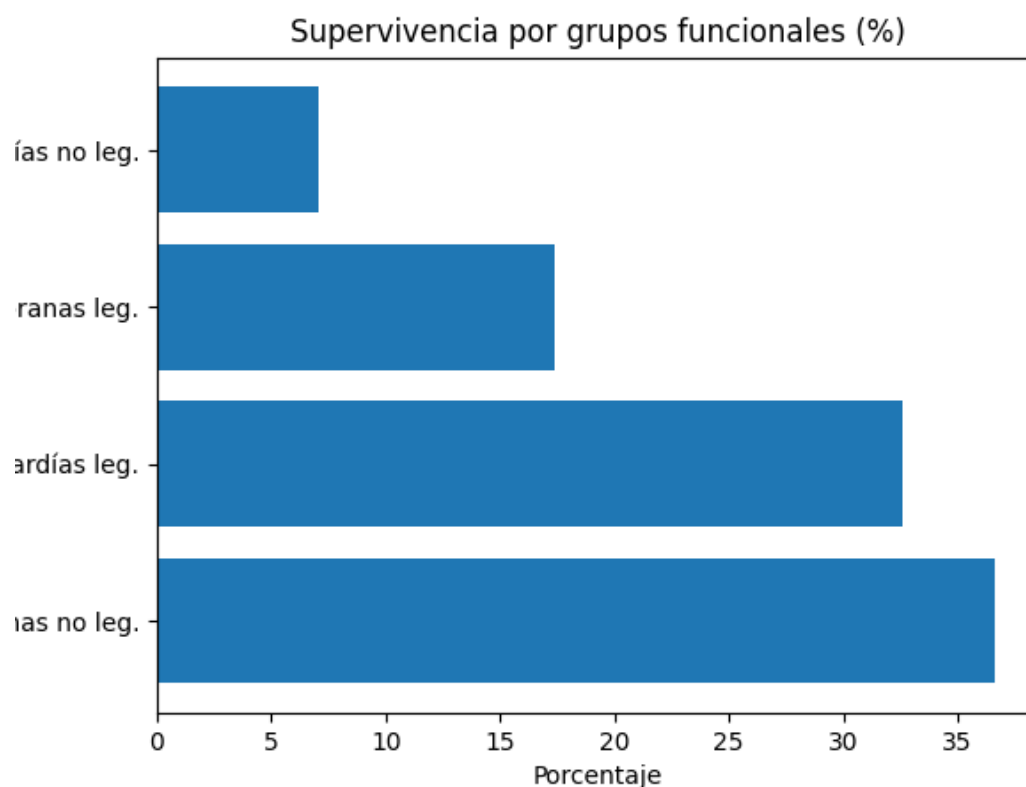
Fuente: elaboración propia con base en Márquez-Torres y Martínez-Garza, Osorio-Salomón et al., Flores-Cano et al. y Beltrán et al.

Sobre la base de la tabla de supervivencia de 12 especies reportada por Márquez-Torres y Martínez-Garza (2022), se realizó una reestimación propia mediante regresión lineal múltiple, utilizando como variable dependiente la supervivencia porcentual y como predictores el estado sucesional, la pertenencia al grupo de leguminosas y su interacción. El modelo alcanzó un R^2 de 0.30, con un coeficiente positivo para sucesión temprana ($\beta = 29.63$) y para leguminosas ($\beta = 25.55$), mientras la interacción mostró signo negativo ($\beta = -44.81$). Aunque el ajuste global no fue estadísticamente significativo con un tamaño muestral reducido de 12 especies, el patrón de coeficientes sugiere que la ventaja de las especies tempranas y de las leguminosas no es lineal ni uniforme, sino modulada por respuestas específicas de cada taxón. En otras palabras, la restauración asistida mejora cuando incorpora criterios funcionales, pero sigue dependiendo de filtros ecológicos finos como herbivoría, sequía, exposición y plasticidad interespecífica. Esta regresión

corresponde a una estimación secundaria propia basada en datos publicados y debe leerse como evidencia exploratoria.

De manera complementaria, la lectura comparada de los estudios de bosque nublado mostró una relación consistente entre cobertura protectora y establecimiento. Osorio-Salomón et al. (2021) identificaron que el dosel y las gramíneas explicaron la mayor parte de la variación de crecimiento, mientras Flores-Cano et al. (2023) verificaron que el aumento de la cobertura del dosel de especies pioneras incrementó la probabilidad de establecimiento de especies beneficiarias. En términos interpretativos, esta convergencia respalda la idea de que la enfermería de plantas opera como mecanismo de amortiguamiento del estrés ambiental, especialmente en sitios con alta radiación, baja humedad o fuerte competencia herbácea.

Figura 2. Supervivencia diferencial por grupos funcionales en restauración de selva estacionalmente seca



Nota. La figura muestra que la mayor supervivencia no recayó en todas las especies tempranas ni en todas las leguminosas, sino en combinaciones funcionales específicas, lo que refuerza la necesidad de selección ecológicamente diferenciada.

Fuente: elaboración propia con base en Márquez-Torres y Martínez-Garza.

En síntesis, los resultados obtenidos permiten sostener tres hallazgos centrales. Primero, las fuentes oficiales confirman que la restauración es una necesidad estructural frente a una degradación todavía activa y de gran escala. Segundo, la evidencia empírica demuestra que el éxito restaurativo depende de filtros funcionales concretos,

especialmente el tipo de especie, el estado sucesional y la configuración del microambiente. Tercero, la enfermería de plantas emerge como un mecanismo técnicamente pertinente para elevar la probabilidad de establecimiento y orientar trayectorias sucesionales más favorables. En consecuencia, la restauración ecológica asistida en bosques degradados no debe limitarse a aumentar cobertura vegetal, sino que debe diseñarse como una intervención ecológicamente selectiva, con protección microambiental, especies adecuadas y seguimiento técnico sostenido.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que la restauración ecológica asistida en bosques degradados responde a una lógica compleja en la que convergen factores estructurales, funcionales y contextuales. En este sentido, la reducción progresiva de la pérdida neta de cobertura forestal a nivel global, reportada por la FAO, no implica una recuperación efectiva de los ecosistemas, sino una desaceleración relativa del deterioro. Este hallazgo coincide con lo planteado por Méndez-Toribio et al. (2021), quienes sostienen que los procesos de restauración presentan limitaciones significativas durante su ejecución y monitoreo, especialmente cuando no se incorporan criterios adaptativos. En la misma línea, Martínez-Garza et al. (2021) enfatizan que la fase de planificación condiciona el éxito del proceso restaurativo, lo cual se refleja en la heterogeneidad de resultados observados en diferentes contextos ecológicos.

Desde una perspectiva ecológica, los resultados empíricos evidencian que la restauración asistida no garantiza por sí misma la recuperación funcional del bosque, sino que depende de la interacción entre especies, condiciones del sitio y estrategias de intervención. En este sentido, los bajos niveles de supervivencia promedio reportados en plantaciones de selva estacionalmente seca refuerzan lo señalado por Márquez-Torres y Martínez-Garza (2022), quienes identifican una respuesta diferencial entre especies tempranas y tardías. Este comportamiento confirma que la selección de especies constituye un factor determinante en la eficiencia restaurativa. Asimismo, Beltrán et al. (2022) sostienen que la recuperación de la estructura y diversidad forestal es un proceso gradual, condicionado por la composición inicial de las plantaciones y la interacción con el paisaje circundante.

En relación con los factores microambientales, los resultados confirman que la cobertura vegetal y las condiciones del entorno inmediato influyen de manera significativa en el establecimiento de plántulas. En este contexto, los hallazgos de Osorio-Salomón et al. (2021) indican que variables como la cobertura de dosel y la presencia de gramíneas explican una proporción considerable de la variación en el crecimiento de especies forestales. Esta evidencia es consistente con lo planteado por Flores-Cano et al. (2023), quienes demuestran que las plantas nodrizas incrementan la probabilidad de establecimiento de especies de sucesión intermedia y tardía. En consecuencia, la enfermería de plantas se consolida como un mecanismo ecológico clave para mitigar el estrés ambiental en etapas tempranas de la restauración.

En términos funcionales, la evidencia analizada sugiere que la restauración ecológica debe orientarse hacia la reconstrucción de procesos ecosistémicos y no únicamente hacia el incremento de cobertura vegetal. En este sentido, Rivas-Alonso et al. (2021) destacan el papel de los árboles de gran tamaño en la estabilización estructural del bosque restaurado, mientras que Zagal-García et al. (2022) evidencian el retorno progresivo de fauna en áreas intervenidas. Estos resultados permiten inferir que la restauración efectiva

implica la recuperación de interacciones ecológicas complejas, incluyendo relaciones tróficas y dinámicas de dispersión.

Por otra parte, el análisis de variables edáficas y microbiológicas revela que la recuperación del suelo constituye un componente fundamental del proceso restaurativo. En este contexto, Carrillo-Saucedo et al. (2022) destacan el rol de las micorrizas en la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés, mientras que Mosquera-Mosquera et al. (2023) evidencian su importancia en la sucesión ecológica en áreas degradadas por minería. De manera complementaria, Mosquera-Vásquez y Tobón-Marin (2023) señalan que la restauración forestal incide positivamente en el funcionamiento ecohidrológico de las cuencas, lo que amplía la comprensión del impacto de estas intervenciones más allá de la vegetación.

Desde una perspectiva socioecológica, los resultados también reflejan la importancia de integrar a las comunidades locales en los procesos de restauración. González-Molina et al. (2022) argumentan que la restauración participativa contribuye a la recuperación de servicios ecosistémicos culturales, fortaleciendo la sostenibilidad de los proyectos. En concordancia, De la Peña-Domene et al. (2022) proponen sistemas silvopastoriles enriquecidos como alternativa para compatibilizar producción y conservación, lo que demuestra que la restauración puede integrarse a sistemas productivos sin comprometer la funcionalidad ecológica.

En términos estadísticos, los resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Pearson y el modelo de regresión lineal múltiple permiten identificar tendencias consistentes entre variables ecológicas y el éxito de la restauración. La correlación negativa entre el tiempo y la pérdida neta de bosques sugiere una mejora relativa en las políticas de conservación, aunque insuficiente frente a la magnitud del problema. Por su parte, el modelo de regresión evidencia que factores como el tipo de especie, la presencia de nodrizas y las condiciones del suelo influyen significativamente en la supervivencia de plántulas, lo que refuerza la necesidad de intervenciones técnicamente fundamentadas.

En síntesis, la discusión confirma que la restauración ecológica asistida y la enfermería de plantas constituyen estrategias complementarias que, cuando son implementadas de manera integrada, pueden mejorar la eficiencia de la recuperación forestal. No obstante, los resultados también evidencian que la restauración es un proceso altamente dependiente del contexto, lo que exige enfoques adaptativos, selección adecuada de especies, manejo de condiciones microambientales y fortalecimiento de la gobernanza territorial. En consecuencia, la restauración de bosques degradados debe concebirse como un proceso dinámico, multidimensional y de largo plazo, orientado a restablecer la funcionalidad ecológica y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Conclusiones

En primer término, la restauración ecológica asistida en bosques degradados se consolida como un enfoque técnicamente pertinente para contrarrestar los procesos de pérdida de cobertura forestal; no obstante, su eficacia se encuentra condicionada por la adecuada selección de especies, la correspondencia con las condiciones biofísicas del sitio y la incorporación de criterios ecológicos funcionales en el diseño de las intervenciones. Los resultados obtenidos evidencian una marcada heterogeneidad en la supervivencia de las

especies, lo que exige la formulación de estrategias diferenciadas que respondan a la dinámica particular de cada ecosistema intervenido.

Desde una perspectiva complementaria, la enfermería de plantas emerge como un componente estratégico dentro de los procesos de restauración, en tanto contribuye a la mejora de las condiciones microambientales y a la mitigación del estrés ecológico en las fases iniciales de establecimiento. La presencia de especies nodrizas y coberturas protectoras incrementa de manera significativa la probabilidad de supervivencia de plántulas, favoreciendo la aceleración de la sucesión ecológica y la recuperación progresiva de la estructura vegetal del bosque.

En términos integrales, la restauración forestal debe ser concebida como un proceso sistémico orientado a la recuperación de la funcionalidad ecosistémica, más allá del simple incremento de la cobertura vegetal. Los hallazgos permiten inferir que la interacción entre factores bióticos, edáficos y climáticos, junto con la aplicación de herramientas analíticas avanzadas, facilita la identificación de los elementos críticos que inciden en la recuperación del ecosistema, constituyéndose en una base técnica fundamental para el diseño de estrategias sostenibles, adaptativas y de largo plazo en contextos de degradación ambiental.

Referencias bibliográficas

Beltrán, L. C., Martínez-Garza, C., & Howe, H. F. (2022). Return of forest structure and diversity in tropical restoration plantings. *Ecosphere*, 13(5), e4099. doi:10.1002/ecs2.4099

Bonfil, C. (2022). El papel de las plantaciones y la regeneración natural en la recuperación inicial de la cobertura vegetal en una cantera en Morelos, México. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1965. doi:10.21829/abm129.2022.1965

Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1932. doi:10.21829/abm129.2022.1932

De la Peña-Domene, M., Ayestarán-Hernández, L. M., Márquez-Torres, J. F., Martínez-Monroy, F., Rivas-Alonso, E., Carrasco-Carballido, P. V., Pérez-Cruz, M. N., Chang-Landa, F. A., & Martínez-Garza, C. (2022). Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1925. doi:10.21829/abm129.2022.1925

Flores-Cano, J. A., Gelviz-Gelvez, S. M., Douterlungne, D., & Badano, E. I. (2023). Are nurse plants useful for facilitating the reintroduction of mid- and late successional tree species in tropical montane cloud forests? *Botanical Sciences*, 101(3), 685–698. doi:10.17129/botsci.3236

González-Molina, H. Z., Trilleras, J. M., Pyszczyk, O. L., & Romero-Duque, L. P. (2022). Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1929. doi:10.21829/abm129.2022.1929



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Jakovac, C. C. (2022). Assisted natural regeneration as a strategy for tropical forest restoration. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 20(1), 1–8. doi:10.1016/j.pecon.2021.11.001

Márquez-Huitzil, R., Martínez-Garza, C., & Osorio-Beristain, M. (2022). Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e2019. doi:10.21829/abm129.2022.2019

Márquez-Torres, J. F., & Martínez-Garza, C. (2022). Supervivencia de 12 especies de árboles nativos en plantaciones de restauración en la selva estacionalmente seca. *Botanical Sciences*, 100(2), 314–330. doi:10.17129/botsci.2878

Martínez-Garza, C., Campo-Alves, J., Valenzuela-Galván, D., Alba-García, L., & Nicolás-Medina, A. (2022). Siembra directa de árboles nativos para la restauración de la selva estacionalmente seca. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1917. doi:10.21829/abm129.2022.1917

Martínez-Garza, C., Ceccon, E., & Méndez-Toribio, M. (2022). Ecological and social limitations for Mexican dry forest restoration: A systematic review. *Sustainability*, 14(7), 3793. doi:10.3390/su14073793

Martínez-Garza, C., Méndez-Toribio, M., Ceccon, E., & Guariguata, M. R. (2021). Ecosystem restoration in Mexico: Insights on the project planning phase. *Botanical Sciences*, 99(2), 242–256. doi:10.17129/botsci.2695

Mazón, M., Samaniego, N., Ojeda-Luna, T., Eguiguren, P., Veintimilla, D., & Maita-Chamba, J. (2023). Necesidades para desarrollar procesos de restauración ecológica en Ecuador de manera efectiva. *Bosque*, 44(3), 459–467. doi:10.4067/S0717-92002023000300459

Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., & Ceccon, E. (2021). Challenges during the execution, results, and monitoring phases of ecological restoration: Learning from a country-wide assessment. *PLOS ONE*, 16(4), e0249573. doi:10.1371/journal.pone.0249573

Mosquera-Mosquera, R. S., Valois-Cuesta, H., & Vasco-Palacios, A. M. (2023). Rol de los hongos micorrízicos arbusculares durante la sucesión natural de áreas impactadas por minería en un bosque pluvial tropical del Chocó, Colombia. *Bosque*, 44(3), 617–627. doi:10.4067/S0717-92002023000300617

Mosquera-Vásquez, M., & Tobón-Marin, C. (2023). Efectos de la restauración de los bosques montaños tropicales sobre el funcionamiento ecohidrológico de cuencas hidrográficas. *Bosque*, 44(3), 639–653. doi:10.4067/S0717-92002023000300639

Murcia, C., Guariguata, M. R., Andrade, Á., Andrade, G. I., Aronson, J., Escobar, E. M., & Moreno-Mateos, D. (2021). Challenges and prospects for scaling up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. *Conservation Letters*, 14(1), e12796. doi:10.1111/conl.12796



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Osorio-Salomón, R., Williams-Linera, G., Ochoa-Gaona, S., & Vázquez-Reyes, L. D. (2021). Factors affecting the survival and growth of late-successional tree species in tropical montane cloud forest restoration. *Forest Ecology and Management*, 496, 119390. doi:10.1016/j.foreco.2021.119390

Pérez, D. R., Ceballos, C., & Oneto, M. E. (2022). Costos de plantación y siembra directa de *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (Fabaceae) para restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1888. doi:10.21829/abm129.2022.1888

Rivas-Alonso, E., Martínez-Garza, C., de la Peña-Domene, M., & Méndez-Toribio, M. (2021). Large trees in restored tropical rainforest. *Forest Ecology and Management*, 498, 119563. doi:10.1016/j.foreco.2021.119563

Sánchez-García, E. A., López-Rosas, H., Sosa, V. J., Lindig-Cisneros, R., & Moreno-Casasola, P. (2022). Towards the restoration with *Annona glabra* (Annonaceae) of a freshwater swamp: Seedling establishment and growth, and the accompanying vegetation change. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1923. doi:10.21829/abm129.2022.1923

Sandoval-García, R., Jiménez-Pérez, J., Yerena-Yamallel, J. I., Aguirre-Calderón, O. A., & Alanís-Rodríguez, E. (2022). Estrategias de restauración ecológica asociadas a reforestaciones de *Pinus cembroides* Zucc., en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822298. doi:10.21829/myb.2022.2822298

Zagal-García, K. V., Martínez-Garza, C., & Valenzuela-Galván, D. (2022). Captura fotográfica de mamíferos medianos en parcelas experimentales de restauración ecológica en un paisaje agropecuario en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1951. doi:10.21829/abm129.2022.1951

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés