



TRADE-OFFS AMBIENTALES Y BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS EN LA REFORESTACIÓN COMERCIAL CON CEDRELINGA CATENIFORMIS EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA

ENVIRONMENTAL TRADE-OFFS AND SOCIOECONOMIC BENEFITS OF COMMERCIAL REFORESTATION WITH CEDRELINGA CATENIFORMIS IN THE ECUADORIAN AMAZON

Tarcisio Anibal Paspuel Diaz ^{1*}

E-mail: anibalpaspuel@yahoo.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7234-1064>

Luis Emilio Carranza Quispe ²

E-mail: luis_emilio36@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1891-2986>

¹Universidad Internacional de Investigación, Ciudad de México, México.

²Universidad de Ciencias y Humanidades. Lima, Perú.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Paspuel Diaz, T. A., & Carranza Quispe, L. E. (2026). Trade-offs ambientales y beneficios socioeconómicos en la reforestación comercial con Cedrelinga cateniformis en la Amazonía Ecuatoriana. *Universidad y Sociedad* 18(2). e5818.

RESUMEN:

Las plantaciones forestales comerciales en la Amazonía ecuatoriana se han promovido mediante incentivos estatales para reducir la presión sobre los bosques primarios, pero frecuentemente carecen de evaluaciones de impacto ambiental (EIA) rigurosas. Este estudio evaluó los impactos biofísicos y socioeconómicos de una plantación de 80 hectáreas con la especie nativa *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) en la provincia de Orellana, durante las fases de establecimiento y mantenimiento inicial. Se aplicó una adaptación de la Matriz de Leopold para identificar y jerarquizar 336 interacciones ambientales. Los resultados revelaron una dualidad crítica: mientras las actividades de preparación del sitio (socola, tumba) y control químico de malezas generaron impactos negativos significativos sobre la cobertura vegetal secundaria y la calidad del suelo (incremento de erosión y acidez), el proyecto produjo beneficios socioeconómicos inmediatos en términos de generación de empleo local y fortalecimiento organizativo comunitario. El balance neto de impactos fue positivo (+18 en establecimiento, +269 en mantenimiento), sugiriendo que la reforestación con especies nativas es viable si se implementan medidas de mitigación específicas para suelos ácidos y pendientes fuertes. El estudio concluye que la sostenibilidad de estas iniciativas depende de la gestión de los *trade-offs* entre la alteración ecológica temporal y los beneficios económicos a largo plazo.

Palabras clave: Matriz de Leopold, *Cedrelinga cateniformis*, Amazonía, Evaluación de impacto ambiental, Reforestación comercial.

ABSTRACT:

Commercial forest plantations in the Ecuadorian Amazon have been promoted through state incentives to reduce pressure on primary forests, yet they frequently lack rigorous Environmental Impact Assessments (EIA). This study assessed the biophysical and socioeconomic impacts of an 80-hectare plantation utilizing the native species *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) in Orellana province, encompassing the establishment and initial maintenance phases. An adapted Leopold Matrix was applied to identify and rank 336 environmental interactions. The results revealed a critical duality: whereas site preparation activities (clearing, felling) and chemical weed control generated significant negative impacts on secondary vegetation cover and soil quality (increased erosion and acidity), the project yielded immediate socioeconomic benefits regarding local employment generation and community organizational strengthening. The net impact balance was positive (+18 during establishment, +269 during maintenance), suggesting that reforestation with native species is feasible provided that specific mitigation measures addressing acidic soils and steep slopes are implemented. The study concludes that the sustainability of such initiatives is contingent upon managing the trade-offs between temporary ecological disturbance and long-term economic benefits.

Keywords: Leopold Matrix, *Cedrelinga cateniformis*, Amazon, environmental impact assessment, commercial reforestation.

INTRODUCCIÓN

La región amazónica del Ecuador constituye uno de los territorios con mayor biodiversidad del planeta, reconocida como espacio estratégico para la estabilidad climática, la regulación hídrica y la conservación de especies de importancia global (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022). Sin embargo, la falta de planificación del establecimiento y manejo técnico de las plantaciones forestales amenaza esta riqueza natural por actividades extractivas, y además limita su regeneración.

En este contexto, las plantaciones forestales comerciales se han promovido como alternativa para responder a la demanda de productos madereros, al tiempo que buscan disminuir la presión sobre los bosques primarios amazónicos. La Amazonía ecuatoriana se distingue por su alta diversidad biológica y su papel esencial en la regulación ecológica y climática mundial, por lo que su preservación es de interés internacional. Si bien parece que cualquier plantación forestal, incluso las comerciales, promueven impactos positivos siempre, lo cierto es que pueden generar al mismo tiempo impactos negativos al irrumpir en un ecosistema establecido, alterando dinámicas preexistentes.

La industria forestal ecuatoriana demanda anualmente cerca de cinco millones de metros cúbicos de madera; sin embargo, se registra un déficit de 1,47 millones de m³, equivalente al 29 % del consumo (François et al., 2024). Para compensar esta brecha se requeriría establecer al menos 15.000 hectáreas de plantaciones por año durante dos décadas, acumulando alrededor de 300.000 hectáreas, sin considerar el crecimiento industrial proyectado. Esta carencia estructural compromete tanto la seguridad productiva del sector forestal como la sostenibilidad de los recursos naturales.

Aunque se han incrementado las plantaciones en las últimas décadas, la producción forestal continúa siendo insuficiente para cubrir la demanda nacional e internacional, lo que mantiene la presión sobre los ecosistemas más frágiles (Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022; Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022). El programa de incentivos forestales impulsado por el Estado ecuatoriano contempla la devolución de costos, pero este esquema no ha incorporado evaluaciones ambientales obligatorias en los proyectos financiados, priorizando metas cuantitativas sobre la calidad ambiental (Ecuador. Ministro de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016).

Pese a su potencial, en muchos casos estos proyectos se han implementado sin estudios ambientales integrales que anticipen y mitiguen impactos, generando

inquietudes sobre efectos en biodiversidad, suelos, agua y dinámicas sociales de las comunidades locales (François et al., 2024). Un problema crítico de estos proyectos es que, durante su planificación, rara vez se incluyen evaluaciones de impacto ambiental. Las instituciones financieras priorizan criterios técnicos y económicos, dejando de lado los efectos ambientales que emergen posteriormente y requieren atención especializada (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2020b).

Como resultado, persisten amenazas asociadas con la deforestación, entendida como la pérdida o reducción significativa de cobertura forestal debido a la expansión de la frontera agrícola y otros procesos de cambio de uso de suelo (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia Orellana, 2023). Este dilema se intensifica en la Amazonía ecuatoriana por la fragilidad de los ecosistemas locales y la coexistencia de comunidades indígenas y campesinas que dependen de los servicios ambientales que provee la selva (Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022).

Estudios previos muestran que, aunque estas plantaciones pueden mitigar la presión sobre bosques primarios, también implican riesgos de homogeneización, alteraciones edáficas y pérdida de diversidad biológica si no se gestionan adecuadamente (Brockhoff et al., 2021). Los resultados de investigaciones antecedentes indican que, si bien las plantaciones comerciales pueden generar ventajas económicas y contribuir a reducir la explotación de bosques nativos, también ocasionan alteraciones temporales de consideración si no se planifican correctamente.

Entre los impactos negativos destacan la erosión del suelo, la pérdida parcial de hábitat y la afectación de fuentes hídricas por sedimentación o químicos. Además, la expansión de proyectos forestales ha coincidido con políticas de fomento a la reforestación orientadas a incrementar la producción maderera y generar ingresos, pero en algunos casos sin contemplar suficientemente los impactos sobre el suelo, el agua, la fauna silvestre y el bienestar social de las poblaciones aledañas (Ordoñez et al., 2024).

La falta de metodologías uniformes ha dificultado establecer lineamientos técnicos que garanticen la sostenibilidad en un territorio de alta sensibilidad ecológica como la Amazonía. El análisis de impacto ambiental requiere herramientas robustas como la matriz de Leopold, reconocida por su utilidad en identificar, categorizar y jerarquizar efectos ambientales derivados de actividades humanas (Leopold et al., 1971). La aplicación de la matriz de Leopold permite examinar de manera sistemática los efectos sobre suelo, agua, biodiversidad y comunidades, aportando evidencia empírica que respalda

las decisiones de manejo forestal sostenible (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022).

Este enfoque amplía la comprensión teórica sobre la relación entre reforestación y sostenibilidad, y además plantea un modelo metodológico replicable que vincula el desarrollo económico con la conservación de ecosistemas estratégicos. La adopción de esta metodología permite prever impactos y diseñar estrategias de mitigación más eficaces adaptadas a las condiciones locales (Delabre et al., 2020).

La problemática descrita se vincula de manera directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular con el ODS 13 (Acción por el clima), el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico) (Organización de las Naciones Unidas, 2023). Al integrar dimensiones ambientales, sociales y económicas dentro del análisis de plantaciones forestales en la Amazonía, se promueven prácticas de reforestación que reducen la presión sobre los bosques primarios y favorecen la conservación de la biodiversidad (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022).

En la dimensión social y económica, los resultados se alinean con el fomento de la creación de empleo local y estimulan modelos de producción sostenible vinculados a la economía verde (Siwik-Ziomek & Figas, 2025). En conjunto, la propuesta busca reducir los impactos ambientales negativos y generar beneficios socioeconómicos que fortalezcan el bienestar de las comunidades amazónicas, confirmando la pertinencia de las plantaciones forestales comerciales como alternativa de desarrollo viable.

El objetivo de la investigación primaria que lleva al presente manuscrito, fue evaluar los impactos ambientales y proponer medidas de mitigación en plantaciones forestales con fines comerciales, utilizando especies nativas como *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), mediante la adaptación de la metodología de Leopold. El estudio se centró en una plantación ubicada en el sector Shyramunca, provincia de Orellana, Ecuador; durante las fases de establecimiento y mantenimiento inicial. Se buscó identificar, clasificar y jerarquizar los impactos sobre el suelo, agua, biodiversidad y atmósfera, así como evaluar los beneficios socioeconómicos generados. A partir de este análisis, se genera evidencia empírica sobre los *trade-offs* ambientales y sociales de la reforestación comercial en la Amazonía, proporcionando insumos técnicos para estandarizar procesos y planificar medidas de mitigación que apoyen el establecimiento de plantaciones sostenibles en

la región, equilibrando la productividad económica con la conservación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Amazonía ecuatoriana, específicamente en los sectores conocidos como “segunda” y “cuarta línea” de la comunidad Shyramunca, perteneciente a la parroquia Inés Arango, cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana. La intervención abarcó una superficie total de 80 hectáreas distribuidas en dos predios de la misma propietaria: el Predio 1, con 35 hectáreas de plantación y 14 hectáreas de reserva, y el Predio 2, con 45 hectáreas destinadas íntegramente a la producción forestal.

El área de estudio se sitúa en un contexto geográfico caracterizado por un relieve ondulado, con pendientes que varían entre el 5 % y el 40 %, lo cual condiciona significativamente los procesos hidrológicos superficiales y la susceptibilidad a la erosión, factor determinante para la planificación de actividades silviculturales (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Dayuma, 2019). El acceso a los sitios de plantación se realiza a través de vías de cuarto orden no pavimentadas, cuya transitabilidad se ve restringida durante la época invernal, influyendo en la logística operativa del proyecto.

Las condiciones edafoclimáticas del área de estudio son típicas de la región amazónica y determinantes para el desarrollo de la especie forestal seleccionada. Los suelos predominantes corresponden al orden de los Inceptisoles, específicamente al gran grupo Oxic Dystrudepts, caracterizados por texturas franco-arcillosas a arcillosas y una fuerte meteorización.

Los análisis químicos realizados a partir de seis muestras de suelo revelaron un pH promedio extremadamente ácido de 4,44, acompañado de altos niveles de toxicidad por aluminio y hierro (161 ppm), así como concentraciones bajas de fósforo (8,30 ppm) y potasio (0,4 meq/100 ml) (Delgado et al., 2017). Climáticamente, la zona registra una alta pluviosidad anual que oscila entre 2.500 y 3.500 mm, con un régimen bimodal que presenta máximos en abril-mayo y una disminución relativa en agosto-septiembre. La temperatura media anual se mantiene estable entre 25 °C y 26 °C, condiciones que favorecen el crecimiento de biomasa, pero también aceleran los procesos de lixiviación de nutrientes (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Dayuma, 2019).

La investigación se centró en la evaluación de una plantación forestal comercial con la especie de chuncho (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke)), establecida bajo los lineamientos del programa de incentivos forestales del

Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ecuador. Ministro de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016). Esta especie nativa fue seleccionada por su adaptabilidad a las condiciones locales de acidez y toxicidad de aluminio, así como por su alto valor comercial en el mercado maderero. La plantación se estableció con una densidad inicial de 625 árboles por hectárea en terrenos ubicados a una altitud promedio de 250 m s.n.m., lo que permitió estandarizar los bloques de manejo. El estudio abarcó las actividades desarrolladas durante las fases críticas del ciclo forestal: la fase de establecimiento, que incluye preparación del terreno, trazado y siembra; y la fase de mantenimiento inicial, que comprende los primeros dos años de manejo silvicultural, incluyendo control de malezas, fertilización y podas de formación.

Para la evaluación de los impactos ambientales se adoptó un enfoque metodológico mixto que integró el levantamiento de información en campo con herramientas de análisis matricial. La base epistemológica del estudio se sustentó en la aplicación del sistema de causa-efecto desarrollado por Leopold et al. (1971), conocido como Matriz de Leopold, adaptada específicamente a las condiciones del proyecto y del ecosistema amazónico. Esta adaptación implicó la preselección de acciones del proyecto y factores ambientales relevantes para el contexto local, descartando interacciones no significativas de la matriz original de 8.800 cruces posibles. El proceso se complementó con observaciones directas en campo, entrevistas no estructuradas a actores locales y revisión documental de los planes de reforestación, asegurando una triangulación de datos que fortaleció la validez de los hallazgos.

El procedimiento de evaluación consistió en la identificación y caracterización de las actividades generadoras de impacto mediante listas de chequeo aplicadas en las fases de establecimiento y mantenimiento. Posteriormente, se construyó la matriz de interacciones cruzando 21 acciones del proyecto (ejes horizontales) con 16 componentes ambientales agrupados en tres categorías fundamentales: **(1) Factores fisicoquímicos (suelo, agua, atmósfera); (2) Factores biológicos (flora, fauna); y (3) Factores socioeconómicos (ingreso, empleo, salud y organización comunitaria).**

Esta segmentación permitió una valoración integral de los trade-offs. Cada interacción identificada fue valorada cualitativa y cuantitativamente por un equipo multidisciplinario conformado por un biólogo, un ingeniero forestal y un sociólogo, quienes asignaron calificaciones en función de dos criterios fundamentales: la magnitud, entendida como la intensidad y extensión del impacto en una escala de -10 a +10; y la importancia, que pondera la relevancia del efecto en función de su duración y reversibilidad en una escala de 1 a 10 (Leopold et al., 1971).

El análisis de los datos obtenidos de la matriz permitió jerarquizar los impactos y determinar su significancia ambiental global. Las interacciones se clasificaron en cuatro categorías de significancia basadas en el producto de la magnitud por la importancia: insignificante (1-20), moderado (21-50), significativo (51-70) y muy significativo (71-100). Esta estratificación facilitó la identificación de los puntos críticos del proceso productivo que requieren medidas de mitigación prioritarias. Adicionalmente, se calcularon las agregaciones de impactos positivos y negativos para cada fase del proyecto, permitiendo establecer un balance neto del desempeño ambiental y socioeconómico de la plantación. La metodología aplicada buscó cuantificar daños, y también visibilizar los beneficios generados, proporcionando una base técnica integral para la toma de decisiones en la gestión forestal sostenible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados se estructura en función de la identificación de actividades generadoras de impacto y su posterior valoración mediante la Matriz de Leopold en las dos fases del proyecto. La evaluación permite discernir entre los efectos adversos inmediatos sobre los componentes biofísicos y los beneficios sociales y económicos emergentes, estableciendo una línea base para la discusión sobre la sostenibilidad de la plantación. A continuación, se detallan los hallazgos agrupados por actividad y fase de desarrollo.

Se identificaron y caracterizaron las principales actividades con potencial de alterar el entorno durante las fases de establecimiento y mantenimiento. Estas acciones, derivadas de la planificación técnica del proyecto, abarcan desde la preparación inicial del sitio hasta el manejo silvicultural de los primeros años. La Tabla 1 sintetiza estas actividades y su nivel de incidencia en el área del proyecto, evidenciando una mayor intensidad de intervención durante el establecimiento debido a la remoción de cobertura vegetal.

Tabla 1. Actividades con potencial de impacto ambiental durante el establecimiento y mantenimiento (primeros 2 años).

Actividad	Fase del proyecto	Generación de impacto
Producción de plantas	Establecimiento	No se genera impacto en el área del proyecto, ya que las plantas fueron adquiridas en un vivero externo.
Construcción de campamento	Establecimiento	Impacto directo sobre el suelo y la vegetación en un área de 120 m².
Socla de malezas	Establecimiento	Impacto sobre el 100% del área intervenida.
Tumba de malezas	Establecimiento	Afectación directa al 90% del terreno plantado.
Repique de ramas	Establecimiento	Impacto estimado sobre el 90% del área de plantación.
Quemas	Establecimiento	Incidencia en el 30% del terreno total.
Extracción de baliza	Establecimiento	Genera impacto en aproximadamente el 20% del área del proyecto.
Señalamiento y balizado	Establecimiento	Efecto directo sobre el 30% del área total.
Mantenimiento de campamento	Mantenimiento	Intervención sobre una superficie de 120 m².
Replante	Mantenimiento	Afectación directa en el 10% del terreno.
Mantenimiento coronamiento 1	Mantenimiento	Incidencia sobre el 30% de la superficie.
Mantenimiento chapia 1	Mantenimiento	Efecto sobre la totalidad del área de plantación (100%).
Fertilización	Mantenimiento	Afectación directa sobre el 20% del área.
Control químico de malezas	Mantenimiento	Incidencia sobre el 100% del terreno plantado.
Mantenimiento coronamiento 2	Mantenimiento	Impacto en el 30% del área.
Mantenimiento chapia 2	Mantenimiento	Efecto directo sobre el 100% del área de la plantación.
Podas	Mantenimiento	Incidencia estimada en el 20% del terreno.
Control de plagas	Mantenimiento	Genera afectación sobre el 10% del área.

Evaluación de Impactos: Fase de Establecimiento

Durante la fase de establecimiento, el análisis matricial permite identificar un total de 95 impactos negativos frente a 81 positivos, arrojando un balance neto agregado favorable de +18. Sin embargo, la distribución de estos impactos no fue homogénea. Las actividades de preparación del terreno, específicamente la socla y la tumba de malezas, concentran las mayores afectaciones negativas sobre la cobertura vegetal secundaria (arbustos y pastos), con reducciones valoradas en -11% y -31% respectivamente (Figura 1). Estos resultados indican que la remoción de biomasa necesaria para la siembra constituye el disturbio ecológico más severo en esta etapa inicial. En contraposición, los impactos positivos resultan predominantemente socioeconómicos, destacándose la generación de empleo y el incremento de ingresos locales como externalidades positivas directas de la inversión forestal.

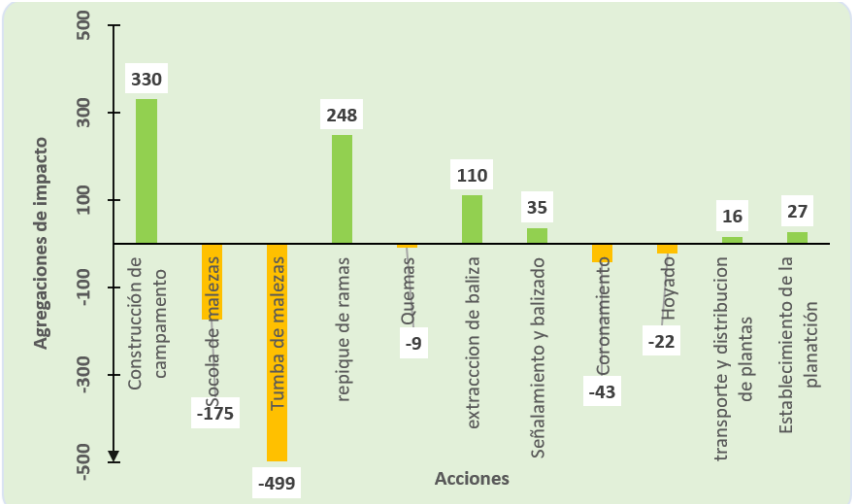


Fig 1. Agregación de impacto que causan las acciones en la fase de establecimiento de la plantación.

Al analizar la afectación por componentes ambientales (Figura 2), se observa que la vegetación (pastos y arbustos) y la calidad atmosférica (debido al ruido de maquinaria) soportan la mayor carga de impactos negativos. No obstante, el análisis agregado resalta que estos efectos adversos temporales son compensados, en términos de valoración total, por los beneficios en los indicadores de empleo (+476 agregaciones) y organización comunitaria (+338 agregaciones), confirmando la hipótesis de que las plantaciones actúan como dinamizadores económicos locales inmediatos.

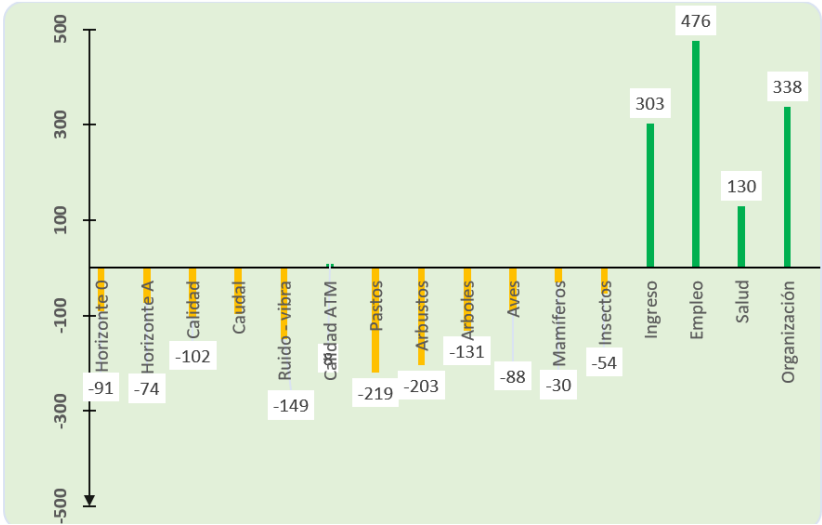


Fig 2. Agregación de impacto sobre los elementos ambientales en la fase de establecimiento de la plantación.

En la fase de mantenimiento (primeros dos años), se registran 113 impactos negativos y 47 positivos. A pesar del mayor número de interacciones negativas, la magnitud agregada de los beneficios resulta superior, generando un saldo neto positivo de +269. La Figura 3 ilustra este balance de trade-offs: mientras los componentes ambientales como “Suelo” y “Agua” continúan recibiendo impactos negativos derivados del control químico y la fertilización, los indicadores socioeconómicos muestran un repunte significativo. Específicamente, los factores “Ingreso” y “Empleo” presentan barras positivas notables, evidenciando que el mantenimiento de la plantación sostiene la economía local más allá de la fase de siembra inicial.

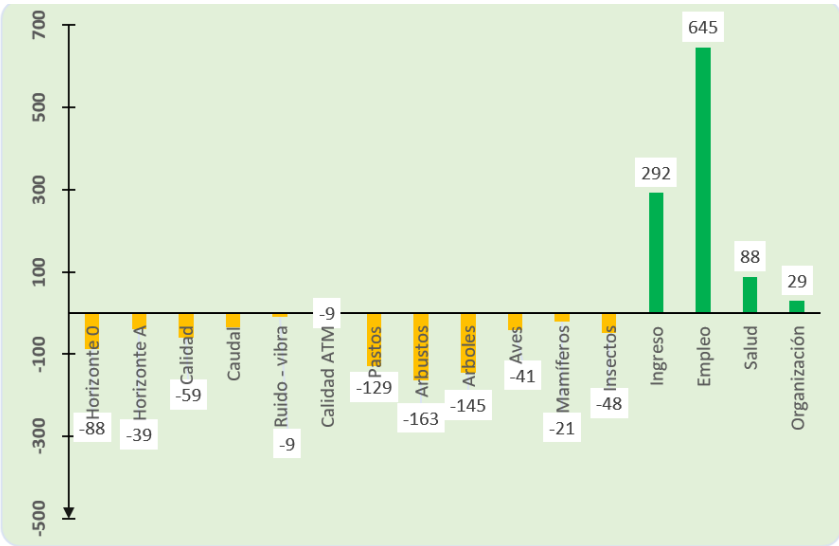


Fig 3. Agregación de impacto sobre los elementos ambientales en la fase de mantenimiento de la plantación.

El análisis global de las 336 interacciones identificadas permite clasificar los impactos según su nivel de significancia (Tabla 2). Se determina que la gran mayoría de los impactos negativos (87%) son de carácter “insignificante” (valores

1-20), lo que sugiere que son efectos de baja magnitud o corta duración. Sin embargo, un 9% de los impactos negativos alcanzan niveles “significativos” o “muy significativos”, correspondiendo principalmente a la alteración del suelo y la pérdida de biodiversidad local puntual. Por otro lado, los impactos positivos significativos y muy significativos representan una porción relevante, validando la contribución del proyecto al desarrollo local. Esta distribución estadística subraya la necesidad de concentrar los esfuerzos de gestión en el control de ese porcentaje crítico de impactos severos, mientras se potencian los beneficios socioeconómicos.

Tabla 2. Número de impactos por grupos de significancia.

Grupos de Significancia de impactos	No. Impactos	Negativos	Positivos
Impacto insignificante (1-20)	276	180	96
Impacto moderado (21-50)	18	9	9
Impacto significativo (51-70)	22	10	12
Impacto muy significativo (71-100)	20	9	11
Total interacciones de impacto	336	208	128

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación evidencian una marcada dualidad en los proyectos de reforestación comercial en la Amazonía ecuatoriana: la existencia de fuertes impactos ambientales negativos en componentes biofísicos críticos, coexistiendo con beneficios socioeconómicos significativos para las comunidades locales. Esta tensión estructural confirma que las plantaciones no son inocuas ni enteramente beneficiosas “per se”, sino sistemas complejos donde los *trade-offs* deben gestionarse activamente.

La evidencia encontrada coincide con patrones observados en otros estudios de plantaciones forestales tropicales, donde la expansión sin una planificación ambiental rigurosa tiende a generar pérdidas de biodiversidad y alteraciones ecosistémicas, al tiempo que provee oportunidades económicas inmediatas (López et al., 2024). Sin embargo, la persistencia de estos beneficios sociales a largo plazo podría verse comprometida si no se mitigan los riesgos ambientales que amenazan la base productiva del territorio.

En relación con los impactos biofísicos durante la fase de establecimiento, se determina que la eliminación de la cobertura vegetal secundaria (socola y tumba) constituye el disturbio más severo, afectando drásticamente a pastos y arbustos (Figura 1 y Figura 2). Estos hallazgos demuestran que la sustitución abrupta de la vegetación natural por monocultivos altera la estructura del ecosistema, facilitando la invasión de especies generalistas en detrimento de las nativas sensibles.

Asimismo, la exposición del suelo desnudo en terrenos con pendientes de hasta el 40% y alta pluviosidad exacerba los procesos erosivos y la pérdida de fertilidad, condiciones ya limitadas por la acidez natural de los Inceptisoles locales. Este escenario refuerza la idea de que los tratamientos silvícolas intensivos en zonas vulnerables amplifican la degradación si no se aplican técnicas de conservación de suelos.

Durante la fase de mantenimiento, si bien la intensidad del daño físico disminuye, emerge la contaminación química como un factor crítico (Figura 3). El uso de herbicidas y fertilizantes sintéticos en suelos ácidos con alta toxicidad de aluminio representa un riesgo significativo para la calidad del agua y la biodiversidad edáfica. Estudios previos han demostrado que estas prácticas pueden reducir la diversidad florística y alterar las propiedades biológicas del suelo a mediano plazo (Vera-Vélez & Ramos, 2025).

La evidencia del presente estudio sugiere que, aunque el mantenimiento es necesario para la viabilidad comercial de *Cedrelinga cateniformis*, la dependencia de insumos químicos convencionales genera externalidades negativas que podrían mitigarse mediante prácticas de manejo integrado de plagas y fertilización orgánica, reduciendo así la presión sobre los servicios ecosistémicos hídricos.

En contraste con los desafíos ambientales, el análisis de los factores socioeconómicos revela impactos positivos robustos en términos de empleo e ingresos (Figura 2 y Figura 3). Estos resultados se alinean con las conclusiones de López-Tobar et al. (2024); y Lisbôa (2021), quienes destacan el papel de las plantaciones forestales como motores de desarrollo rural cuando se integran en esquemas de incentivos inclusivos.



La generación de empleo local aporta liquidez a las economías familiares, pero, además, fortalece la organización comunitaria, un capital social indispensable para la gobernanza territorial. No obstante, es crucial advertir que estos beneficios económicos deben ser sostenibles; si la degradación ambiental avanza sin control, los costos ecológicos futuros podrían erosionar las ganancias actuales, convirtiendo al proyecto en una solución de corto plazo con pasivos ambientales heredados.

El análisis de significancia (Tabla 2) permite dimensionar la gestión del riesgo: aunque el 87% de los impactos negativos resultan clasificados como insignificantes, existe un núcleo crítico de impactos “significativos” y “muy significativos” que no puede ser ignorado. Al igual que Arani et al. (2021); y Tedjio et al. (2016), quienes aplican la matriz de Leopold en contextos industriales y productivos, se encuentra que la frecuencia de impactos menores no debe distraer la atención de los pocos impactos severos que tienen el potencial de comprometer la viabilidad del sistema. En el contexto amazónico, donde la resiliencia de los ecosistemas ante disturbios antrópicos es limitada, la identificación de estos puntos críticos es vital para priorizar recursos de mitigación hacia donde realmente se necesitan, evitando la dispersión de esfuerzos en medidas cosméticas.

A partir de la evidencia de los impactos significativos identificados, se derivan lineamientos técnicos críticos para asegurar la sostenibilidad de las plantaciones comerciales en la región. En primer lugar, dada la vulnerabilidad edáfica y las pendientes del terreno, resulta imperativo establecer barreras vivas en las curvas de nivel y mantener la cobertura vegetal en las entrelíneas para reducir la escorrentía superficial (Bonner et al., 2020).

De manera complementaria, la protección del recurso hídrico exige respetar rigurosamente una franja de protección ribereña de al menos 10 metros en todos los cursos de agua, independientemente de su caudal, actuando como filtro de sedimentos y agroquímicos (Davis et al., 2025). Finalmente, en cuanto al manejo de cobertura y plagas, se recomienda sustituir progresivamente el control químico de malezas por chapia manual selectiva o control mecánico, favoreciendo la regeneración de especies nativas; asimismo, el manejo fitosanitario debe priorizar el monitoreo biológico y el uso de biopreparados, reservando los insumos químicos sintéticos únicamente para emergencias puntuales, minimizando así la carga tóxica en el ecosistema (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2020a).

CONCLUSIONES

La investigación concluye que la reforestación comercial con *Cedrelinga cateniformis* en la Amazonía ecuatoriana presenta una viabilidad condicionada por la gestión de sus *trade-offs* socioambientales. El balance neto positivo de los impactos, sustentado en la Matriz de Leopold, valida la hipótesis de que los beneficios socioeconómicos, especialmente la generación de empleo y el fortalecimiento del tejido comunitario, pueden compensar los disturbios ambientales temporales inherentes al establecimiento forestal. Sin embargo, la persistencia de impactos negativos significativos en la calidad del suelo y el riesgo de erosión advierte que el éxito del modelo no es automático, sino dependiente de su capacidad para minimizar la degradación inicial en ecosistemas de alta vulnerabilidad edáfica.

En consecuencia, se establece que la sostenibilidad a largo plazo de estas plantaciones no puede disociarse de la implementación rigurosa de medidas de mitigación técnica. Se recomienda institucionalizar protocolos de manejo que prioricen la conservación de suelos en pendientes y la sustitución progresiva de insumos químicos, asegurando que el incentivo económico estatal no se traduzca en pasivos ambientales. La adopción de estas estrategias permite alinear la producción forestal comercial con los objetivos de conservación regional, demostrando que es posible dinamizar la economía rural sin comprometer irreversiblemente la base ecológica amazónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arani, M. H., Mohammadzadeh, M., Kalantary, R. R., Rad, S. H., Moslemzadeh, M., & Jaafarzadeh, N. (2021). Environmental impact assessment of a steel industry development plan using combined method involving Leopold matrix and RIAM. *Journal of environmental health science & engineering*, 19(2), 1997–2011. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00752-4>
- Bonner, M. T. L., Allen, D. E., Brackin, R., Smith, T. E., Lewis, T., Shoo, L. P., & Schmidt, S. (2020). Tropical Rainforest Restoration Plantations Are Slow to Restore the Soil Biological and Organic Carbon Characteristics of Old Growth Rainforest. *Microbial ecology*, 79(2), 432–442. <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01414-7>
- Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., et al. (2017). *Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services*. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>

Davis, S., Grainger, M., Pfeifer, M., Pattison, Z., Stephens, P., & Sanderson, R. (2025). Restoring riparian habitats for benefits to biodiversity and human livelihoods: a systematic map protocol for riparian restoration approaches in the tropics. *Environmental evidence*, 14(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s13750-025-00355-8>

Delabre, I., Boyd, E., Brockhaus, M., Carton, W., Krause, T., Newell, P., Wong, G. Y., & Zelli, F. (2020). *Unearthing the myths of global sustainable forest governance*. *Global Sustainability*, 3, e16, 1–10. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.11>

Delgado Cerón, A. J., Suquillo, J., Sevillano, C., Rodríguez, L., & Alvarado, S. (2017). *Evaluación del efecto de las actividades agrícolas y ganaderas sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos de la parroquia El Carmelo, provincia del Carchi*. Estación Experimental Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/7f23b7d8-d74f-4224-a7c6-b74e19fb82f1/content>

Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022). *Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental para proyectos de pequeña minería no metálica*. MAATE. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/geologia-de-minas/guia-para-la-elaboracion-de-estudios-de-impacto-ambiental-para-proyectos-de/147098215>

Ecuador. Ministro de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. <https://ecuadeforestal.org/wp-content/uploads/2016/08/FOLLETO-PIF-2016.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2020a). *The State of Food and Agriculture 2020*. Overcoming water challenges in agriculture. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>

Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2020b). *El estado de los bosques del mundo 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>

François, M., Rebello de Aguiar, T. Jr., Mielke, M. S., Rousseau, A. N., Faria, D., & Neto, E. M. (2024). Interacciones entre la cobertura forestal y la hidrología de cuencas hidrográficas: un metaanálisis conceptual. *Agua*, 16(23), 3350. <https://doi.org/10.3390/w16233350>

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Dayuma. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Dayuma*. https://dayuma.gob.ec/media/dayuma/pdot_archivos/PDOT2019_NRE-mWR4.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia Orellana. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2'23-2030*. <https://www.gporellana.gob.ec/resources/uploads/desarrollo/2024/PDOT%20PRO-VINCIAL%20FINAL%202023-2027-signed-signed-signed-signed-signed-compressed-comprimido.pdf>

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact* (Circular 645). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/cir645>

Lisbôa, F. M. (2021). Influence of burning and weed control on the soil fertility and vegetation cover of Brazilian Amazon pastures. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1), 9373–9381. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.85955>

López-Tobar, R., Herrera-Feijoo, R. J., García-Robredo, F., Mateo, R. G., & Torres, B. (2024). Timber harvesting and conservation status of forest species in the Ecuadorian Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1389852. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1389852>

Ordoñez, L., Erazo García, N. M., & Añazco, M. J. (2024). *Manejo forestal sostenible en la Amazonía ecuatoriana: Sistematización de experiencias*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica; PROAmazonía; ECOPAR.

Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023*. ONU. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf

Siwik-Ziomek, A., & Figas, A. (2025). Soil management for sustainable agriculture. *Agriculture*, 15(3), 345. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030345>

Tedjio, R. C., Talla, E. T., & Nana, E. D. (2016). Complementarity of two impact assessment tools: The case of a hydroelectric power plant in one of Africa's last hardwood forests in eastern Cameroon. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 34(3), 261–266. <https://doi.org/10.1080/14615517.2016.1184503>

Vera-Vélez, R., & Ramos-Veintimilla, R. (2025). *Diversity and environmental challenges in the Ecuadorian Amazon: Integrating agriculture and conservation in the face of deforestation*. *Diversity*, 17(11), 792. <https://doi.org/10.3390/d17110792>

CONFLICTOS DE INTERÉS:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Autor	Roles
Tarcisio Anibal Paspuel Diaz	Encargado de: Conceptualización, Metodología
Luis Emilio Carranza Quispe	Encargado de: Validación, Análisis formal



Contribución de los autores

Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

