



Elementos clave para un **plan de restauración del paisaje** en el campus del CATIE, Turrialba, Costa Rica



Serie Red Latinoamericana de Bosque Modelo

Publicación N° 5

Elementos clave para un plan de restauración del paisaje en el campus del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Edwin Jurado Rojas
Luis Diego Jiménez Alvarado
Fernando Carrera Gambetta

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica
2024

This publication has been produced with the financial support of the Government of Canada through the International Model Forest Network (IMFN) Secretariat's - IMFN Climate. The primary objective of this project is to support the development of leadership within the forestry sector across Latin American and Caribbean (LAC) countries, with a particular focus on promoting the active involvement of women and youth. Additionally, it aims to foster the generation of knowledge by connecting research with field demonstrations of restoration schemes, ultimately contributing to the preservation and enhancement of forest management and biodiversity.

Esta publicación ha sido producida con el apoyo financiero del Gobierno de Canadá a través de la Secretaría de la Red Internacional de Bosques Modelo - IMFN Climate. El objetivo principal de este proyecto es apoyar el desarrollo del liderazgo dentro del sector forestal en los países de América Latina y el Caribe (ALC), con un enfoque particular en promover la participación activa de mujeres y jóvenes. Además, pretende fomentar la generación de conocimiento al conectar la investigación con demostraciones de campo de esquemas de restauración y contribuir, en última instancia, a la preservación y mejora de la gestión forestal y la biodiversidad.

Cita sugerida

Jurado, E; Jiménez, L.D.; Carrera, F. 2024. Elementos clave para un plan de restauración del paisaje en el campus del CATIE, Turrialba, Costa Rica (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE 68 p. Serie Red Latinoamericana de Bosques Modelo N° 5.

Créditos

Autores:

Edwin Jurado Rojas

Luis Diego Jiménez Alvarado

Fernando Carrera Gambetta

Edición técnica:

Cristina Vidal

Diseño y diagramación

Tecnología de Información y Comunicación, CATIE

Contenido

Resumen	9
Abstract	11
Introducción	13
Metodología	15
Área de estudio.....	15
Enfoque de la investigación y diseño muestral.....	17
Caracterización de los usos del suelo y análisis de la fragmentación.....	18
Percepciones de los actores	19
Actores entrevistados.....	21
Análisis de las percepciones.....	21
Resultados y discusión	22
Caracterización de los usos del suelo en el CATIE y su entorno.....	23
Usos del suelo en el Campus del CATIE	27
Perspectivas actuales del uso de los suelos en el CATIE	29
Estrategias de mejora en el manejo del uso del suelo del CATIE	31
Desafíos para la mejora de uso del suelo en el CATIE2	37
Servicios ecosistémicos (SE) percibidos en el campus del CATIE.....	39
Sitios potenciales de restauración en el CATIE.....	42
Especies recomendadas para la restauración en los espacios agroforestales del CATIE	46
Acciones para prevenir atropellos de fauna silvestre en la Ruta 10 del CATIE	49
BioCATIE: herramienta de ciencia ciudadana para observación de la biodiversidad.....	52
Objetivos de restauración: Percepciones de los participantes.....	55
Ecosistema de referencia para la restauración.....	56
Conclusiones	60
Bibliografía	63

Índice de figuras

Figura 1.	Área del campus del CATIE más una franja adicional de 1,5 km de ancho, en el valle de Turrialba, Cartago, Costa Rica.....	16
Figura 2.	Mapa que representa los 10 usos del suelo identificados en el área de estudio, en el contexto del paisaje de Turrialba.....	26
Figura 3.	Imágenes satelitales que resaltan el campus del CATIE (en rojo) y una zona circundante de 1,5 km (en amarillo), que evidencia las notables transformaciones en la cobertura arbórea durante un período de 50 años en el paisaje de Turrialba.....	28
Figura 4.	Mapa que muestra los sitios sujetos a evaluación para el cambio de su uso en la finca comercial del CATIE.....	30
Figura 5.	Mapa que muestra los sitios identificados por los entrevistados como potenciales para la restauración en el CATIE	45
Figura 6.	Lista de las acciones más importantes que los entrevistados mencionaron para prevenir los atropellos de fauna silvestre en la Ruta 104.....	50
Figura 7.	Áreas con alta incidencia de atropellos en un segmento de la Ruta Nacional 10, con la línea azul que indica la ubicación de la carretera (adaptado de Márquez, 2021).....	51
Figura 8.	Número de especies registradas con la etiqueta “research” en BioCATIE (2005-2023), organizada por clase.....	53

Índice de tablas

Tabla 1.	Número de actores entrevistados por grupo sobre percepciones en torno al uso del suelo y la restauración en el campus del CATIE	21
Tabla 2.	Lista de las estrategias de mejora en el manejo del campus del CATIE sugeridas con más frecuencia por los entrevistados.....	37
Tabla 3.	Principales servicios ecosistémicos agrupados por categorías según el MEA (2005) y ordenados según la frecuencia de menciones por las personas entrevistadas.....	40
Tabla 4.	Lista de especies arbóreas sugeridas por los participantes para la restauración en sistemas agroforestales o silvopastoriles del CATIE.....	47
Tabla 5.	Resumen de Atropellos (Atrop.) y Avistamientos (Avist.) de fauna silvestre en un tramo de la Ruta Nacional 10, camino de tierra que conduce al jardín botánico del CATIE y vías internas del campus (adaptado de Márquez, 2021).....	51

Lista de acrónimos y abreviaturas

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CATUR	Cámara de Turismo de Turrialba
CB	Corredores Biológicos
CBVCT	Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
LAICA	Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIST	Maestría Internacional de Turismo Sostenible
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
ONF	Oficina Nacional Forestal
PEI	Plan Estratégico Institucional
PSA	Pago de Servicios Ambientales
RPF	Restauración del Paisaje Forestal
RTT	Reforest The Tropics
SAF	Sistemas Agroforestales
SIDI	Índice de Diversidad del Paisaje
TEC	Tecnológico de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica



Resumen

En el marco del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030), se identificaron los elementos para promover un plan de restauración en el campus del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), el cual tiene una extensión de 973 hectáreas y posee un potencial significativo para contribuir a la restauración y conectividad en el CBVCT, debido a su diversidad de objetivos, que incluyen actividades comerciales, investigación, educación y asistencia técnica (Canet-Desanti *et al.* 2009).

Para este proyecto se consideró la relevancia del enfoque de Restauración del Paisaje Forestal (RPF) para la investigación en el CATIE (Villalobos *et al.* 2020), que busca mejorar paisajes degradados para abordar el cambio climático y beneficiar a las comunidades locales (Stanturf *et al.* 2019), así como la relevancia estratégica de los Corredores Biológicos (CB) en Costa Rica (Canet-Desanti *et al.* 2009).

El propósito del estudio fue identificar elementos que puedan servir como base para un plan de restauración del paisaje en el CATIE. Para lograrlo, se realizó un análisis del paisaje, que combinó enfoques cuantitativos y cualitativos, y se emplearon imágenes satelitales y técnicas de procesamiento cuantitativo para clasificar los suelos. Además, se recopilaron las percepciones de actores clave a través de entrevistas, revisiones de documentos y discusiones en grupo. El muestreo se basó en un enfoque no probabilístico por conveniencia y cadena de referencia.

Los resultados revelaron que el paisaje circundante al CATIE, con un radio de 1,5 kilómetros, presenta como principales usos del suelo: bosques, cultivo de caña, pastizales, zonas urbanas y plantaciones forestales. El Índice de Diversidad del Paisaje (SIDI) fue de 0,8, lo que indica una alta fragmentación.

En cuanto a las percepciones de los actores sobre enfoques clave de restauración en el campus, se destaca la restauración de las márgenes de la quebrada Grande con un área potencial a intervenir de 6,6 ha, la creación del corredor de árboles en el camino interno del campus con 4,4 km de longitud y el corredor arbóreo sobre la Ruta 10 y 411 con 2,2 km. También se resaltó la importancia de monitorear los atropellos de fauna y promover prácticas sostenibles en el uso del suelo. Los bosques naturales de Los Espaveles y Florencia se identificaron como ecosistemas de referencia para la restauración en el campus, debido a su biodiversidad, composición forestal y madurez.

Estas dos áreas de bosque natural mencionadas son bosques secundarios y, por lo tanto, constituyen procesos de restauración gradual del bosque natural por sí mismos. El monitoreo de su composición y estructura a lo largo del tiempo es de gran valor, además de su carácter de ecosistemas de referencia, sustentado en su grado de madurez y diversidad.

El CATIE tiene la oportunidad de demostrar la importancia de la acción coordinada y sostenible para abordar los desafíos ambientales y comunitarios en su entorno, y convertirse así en un modelo ejemplar de prácticas responsables y de restauración del paisaje.

Palabras claves: *Restauración del paisaje forestal, análisis del paisaje, percepción de actores claves, conservación de la biodiversidad, monitoreo de atropellos de fauna, restauración de márgenes de quebrada, bosque Los Espaveles.*



Abstract

In the framework of the United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021 - 2030) and considering the relevance of the Forest Landscape Restoration (FLR) approach for research at CATIE (Villalobos *et al.* 2020), which seeks to improve degraded landscapes to address climate change and benefit local communities (Stanturf *et al.* 2019), as well as the strategic relevance of Biological Corridors (BC) in Costa Rica (Canet-Desanti *et al.* 2009), elements were identified to promote a restoration plan on the CATIE campus.

The campus of the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), with an area of 973 hectares, has significant potential to contribute to restoration and connectivity in the CBVCT due to its diversity of objectives, which include commercial activities, research, education, and technical assistance (Canet-Desanti *et al.* 2009).

The purpose of this study was to identify elements that could serve as the basis for a landscape restoration plan at CATIE. To achieve this, a landscape analysis combining quantitative and qualitative approaches was carried out. Satellite imagery and quantitative processing techniques were used to classify soils. In addition, the perceptions of key stakeholders were gathered through interviews, document reviews and group discussions. Sampling was based on a non-probability approach by convenience and reference chain.

The results revealed that the landscape surrounding CATIE, with a radius of 1.5 kilometers, has as main land uses: forests, sugarcane cultivation, pastures, urban areas, and forest plantations. The Landscape Diversity Index (SIDI) was 0.8, indicating high fragmentation. In terms of stakeholder perceptions of key restoration approaches on campus, the restoration of the banks of the Grande Creek with a potential area to intervene of 6.6 ha, the creation of the tree corridor on the internal road of the campus with 4.4 km in length, and the tree corridor on Route 10 and 411 with 2.2 km, were highlighted. The importance of monitoring wildlife atrocities and promoting sustainable land use practices was also emphasized. The natural forests of Los Espaveles and Florencia were identified as reference ecosystems for restoration on campus due to their biodiversity, forest composition and maturity

These two areas of natural forest mentioned above are secondary forests and, therefore, constitute gradual natural forest restoration processes in their own right; the monitoring of their composition and structure over time is of great value, in addition to their character as reference ecosystems, sustained by their degree of maturity and diversity.

CATIE could demonstrate the importance of coordinated and sustainable action to address environmental and community challenges in its environment, thus becoming an exemplary model of responsible practices and landscape restoration.

Key words: *Forest landscape restoration, landscape analysis, stakeholder perception, biodiversity conservation, monitoring of wildlife harm, stream bank restoration, Los Espaveles Forest.*



Introducción

El Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas, que abarca desde el 2021 hasta el 2030, se declaró a principios del 2019, con el propósito de respaldar y ampliar los esfuerzos dirigidos a prevenir, detener e invertir la degradación de los ecosistemas a nivel mundial. Su objetivo principal es concienciar sobre la importancia de lograr el éxito en la restauración de los ecosistemas (FAO 2022).

La Restauración del Paisaje Forestal –también conocida por sus siglas en inglés FLR, (*Forest Landscape Restoration*)– promueve la restauración ecológica con el fin de crear paisajes más resilientes ante el cambio climático, mejorar el bienestar de las personas y aumentar la funcionalidad productiva en paisajes previamente degradados (Stanturf *et al.* 2019).

A nivel nacional, Costa Rica ha implementado una estrategia de conservación territorial a través de los Corredores Biológicos (CB), diseñados para facilitar la conectividad ecológica en paisajes fragmentados. Estos corredores tienen el propósito de conservar la flora y fauna silvestres, mientras fomentan el desarrollo de diversas funciones ecosistémicas que son esenciales para el beneficio de la población, en particular, al proporcionar servicios ambientales y de conectividad (Canet-Desanti *et al.* 2009). El campus del CATIE forma parte del Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca (CBVCT), en el cual se han llevado a cabo diversas investigaciones, incluyendo las de Estrada-Carmona *et al.* (2019), Morán-Ordóñez *et al.* (2022), Pérez-García *et al.* (2018) y Martínez-Salinas y Declerck (2010).

El campus del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) cuenta con una extensión de 973 hectáreas y es un sitio con gran potencial para contribuir a la restauración y recuperación de la conectividad en el CBVCT. Su amplio territorio supera las dimensiones típicas de las propiedades en la zona y su manejo tiene objetivos variados que incluyen actividades comerciales (producción agropecuaria, silvopastoril, agroforestal y plantaciones forestales), investigación, educación (tanto para su Escuela de

posgrado como para otros visitantes) y asistencia técnica. Estas particularidades convierten al CATIE en un enclave importante que, mediante acciones de restauración, puede contribuir significativamente a los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al tiempo que facilita la conectividad biológica entre las cordilleras Volcánica Central y Talamanca (Canet-Desanti *et al.* 2009).

El propósito fundamental del presente estudio fue identificar elementos esenciales relacionados con el uso de los suelos del campus del CATIE, para la formulación de un plan de restauración de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos en este, con el propósito de contribuir a los objetivos del CBVCT. Para lograrlo se plantearon los siguientes objetivos específicos: i) caracterizar los usos actuales del suelo en el campus del CATIE y su entorno cercano; ii) identificar los objetivos actuales de manejo de los usos del suelo en el campus y la finca comercial del CATIE, y su correlación con los objetivos del CBVCT y iii) determinar los objetivos de restauración, las estrategias del manejo del suelo, desafíos, posibles áreas de intervención y especies priorizadas para un plan de restauración forestal en el CATIE.



Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó en el campus del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), ubicado en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. Abarca una extensión de 973 hectáreas y limita al norte con el río Turrialba, al este con el río Reventazón, al sur con el área boscosa del Embalse Hidroeléctrico Angostura, la comunidad La Susanita y el Hotel Villa Florencia, al suroeste con la finca de caña de azúcar La Florencia, al oeste con las comunidades San Juan Sur y Noche Buena y finalmente, al noroeste con la ciudad de Turrialba.

Este campus se encuentra a una altitud entre 580 y 750 metros sobre el nivel del mar y registra una precipitación media anual de 2700 mm, una temperatura promedio de 22 °C y una humedad relativa de 88%, según datos no publicados de la estación meteorológica del CATIE (<https://www.imn.ac.cr/especial/estacionCatie.html>). Esta área forma parte de la zona ecológica de bosque premontano muy húmedo (Martínez-Salinas *et al.* 2016). En lo que respecta a los suelos, se caracterizan por ser aluviales mixtos, Ultisol e Inceptisol, con una textura que varía entre franco y franco arcilloso en los primeros horizontes del suelo (McDaniels, citado por Salas, 2022).

Según lo reportado por Aguirre (1971), los terrenos del CATIE se distribuyen principalmente en áreas de topografía plana o casi plana, con pendientes que oscilan entre 1 y 3%. En menor medida, algunas áreas se encuentran en terrenos ondulados y colinas, donde las pendientes varían entre 3 y 15%. Solo una pequeña proporción de estos terrenos se halla en zonas escarpadas, con pendientes que fluctúan entre 10 y 50%, así como en colinas y terrenos montañosos, donde las pendientes van de 20 a 80%.

Se recolectaron percepciones de actores involucrados, particularmente en relación con el área de la finca comercial y residencial del campus del CATIE. Para llevar a cabo la caracterización y el análisis del paisaje, se consideró el campus y, además, una zona *buffer* constituida por una franja de 1,5 km de ancho que rodea estas instalaciones.

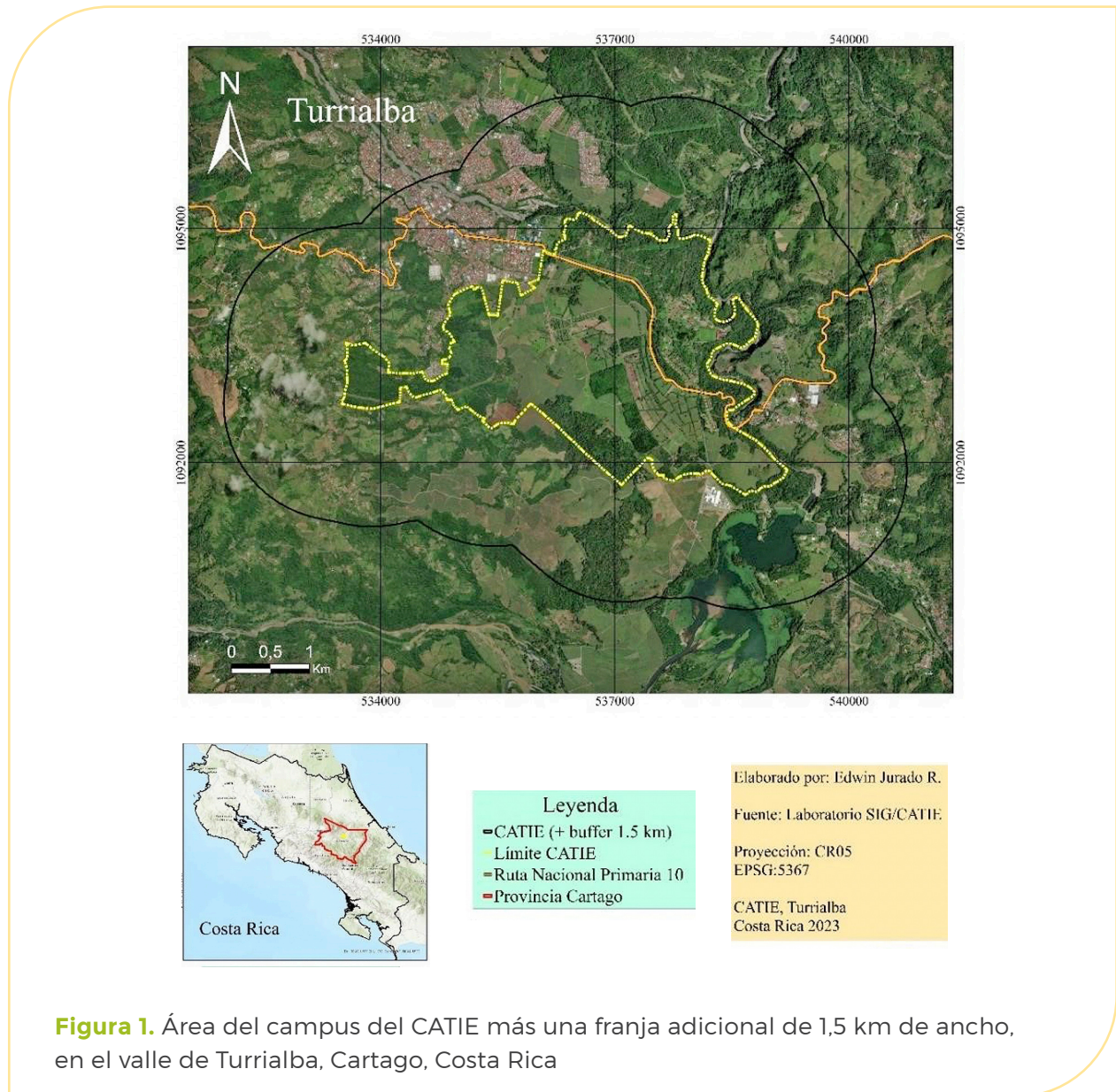


Figura 1. Área del campus del CATIE más una franja adicional de 1,5 km de ancho, en el valle de Turrialba, Cartago, Costa Rica

Enfoque de la investigación y diseño muestral

Se realizó un análisis del paisaje utilizando imágenes satelitales para la clasificación de suelos mediante técnicas de procesamiento cuantitativas. Al mismo tiempo, se incorporaron elementos cualitativos para la interpretación de los resultados, que incluyó una verificación visual en el campo.

En cuanto a las percepciones de los actores, esta investigación se desarrolló siguiendo un enfoque cualitativo y exploratorio, basado en la interpretación, narración e inducción del fenómeno o realidad bajo estudio. Se emplearon técnicas de recolección de datos, como la observación, entrevistas semiestructuradas, revisión de documentos y discusiones en grupo (Hernández *et al.* 2018).

En lo que respecta al muestreo, se optó por un enfoque no probabilístico, específicamente uno por conveniencia y cadena de referencia (Sarstedt *et al.* 2017, Makwana *et al.* 2023). En la primera fase, los actores fueron seleccionados directa e intencionalmente de la población para conformar una muestra. En la segunda fase, se implementó un muestreo por cadena de referencia, donde un actor clave ayudó a identificar a otros individuos que sugirió para ser entrevistados (Otzen y Manterola 2017).



Caracterización de los usos del suelo y análisis de la fragmentación

Para el presente estudio se contó con tres imágenes satelitales descargadas de la plataforma Planet (ráster, resolución 5 m), de los meses de noviembre y diciembre de 2022, y enero de 2023. Estas imágenes se consolidaron para obtener una imagen única. La clasificación de los usos del suelo se realizó en todo el campus, además de un área *buffer* de 1,5 km fuera de los límites del CATIE. Para esto se utilizó el programa ArcGIS Pro. Luego de obtener un mapa con la clasificación de los usos de suelo en formato GeoTIFF, se hizo un análisis de la fragmentación con el programa FRAGSTATS, que permite analizar patrones espaciales y cuantificar la composición y configuración del paisaje.

Para fines del estudio, se analizó el paisaje con base en tres métricas de FRAGSTATS y se aplicó la regla de ocho vecinos por cada píxel focal (4 vecinos ortogonales y 4 vecinos diagonales) (McGarigal 2014, Zateffi *et al.* 2019).

Las métricas empleadas fueron: 1) métricas de área y borde, representadas por PLAND (porcentaje del paisaje); 2) métricas de agregación, representadas por PD (densidad de parche) y ENN_MN (vecino euclidiano medio más cercano) y 3) métricas de diversidad, representadas por SIDI (Índice de Diversidad de Simpson).

Las métricas de área y borde se refieren al tamaño de los parches y la cantidad de borde creado por estos parches. Por su parte, PLAND se basa en determinar qué parte del paisaje se compone de un tipo de parche en particular y se expresa en porcentaje (McGarigal 2014).

Las métricas de agregación están relacionadas con la tendencia de los tipos de parches a agregarse espacialmente. Asimismo, PD expresa el número de parches por unidad de área (número/100 ha), mientras que ENN_MN se define como la distancia media en línea recta más corta entre el parche focal y su vecino más cercano de la misma clase (uso del suelo), según la distancia entre los centros de los dos parches respectivos y se mide en metros (McGarigal 2014).

Las métricas de diversidad se originan de los estudios ecológicos sobre la diversidad de especies de plantas y animales. Además, el SIDI se interpreta como la probabilidad de que la elección aleatoria de dos píxeles sean tipos de parches diferentes. Entonces, si un SIDI es igual a 0, significa que no hay diversidad de parches (un solo tipo de parche). Mientras, un SIDI más cercano a 1 significa mayor diversidad de parches, lo que se traduce como un alto nivel de fragmentación y no posee unidad de medida (Llausàs y Nogué 2012, McGarigal 2014).

Percepciones de los actores

Con el fin de comprender la percepción de diferentes actores sobre la gestión de los usos del suelo en el CATIE, tanto en la finca comercial como en el resto del campus, se llevaron a cabo una serie de entrevistas semiestructuradas (Díaz-Bravo *et al.* 2013, Mashuri *et al.* 2022) mediante un protocolo de entrevista que se detalla en el Anexo. Durante estas entrevistas, se buscó recopilar información sobre los siguientes aspectos:

- Perspectivas del manejo del uso del suelo en el CATIE.
- Estrategias para mejorar el manejo del uso del suelo en el CATIE, con el objetivo de contribuir al bienestar social y ambiental.
- Desafíos por superar para implementar medidas de mejora en el uso del suelo del CATIE.
- Percepción de los servicios ecosistémicos que brinda el campus del CATIE.
- Identificación de sitios potenciales para la restauración en el CATIE.
- Recomendación de especies para un plan de restauración en el CATIE.
- Acciones para prevenir atropellos de fauna silvestre en un sector de la Ruta 10 que atraviesa el campus.
- Establecimiento de objetivos para un plan de restauración en el CATIE.

Los actores involucrados en estas entrevistas se dividieron en cinco grupos:

- 1. Administradores en el CATIE:** Este grupo incluyó a personas responsables de la finca comercial, oficina de alianzas y negocios verdes, administración del jardín botánico, servicios generales, administración del banco semillas forestales y la oficina de Recursos Genéticos y Biotecnología.
- 2. Expertos funcionarios del CATIE:** En este grupo se encontraron investigadores y docentes afiliados al CATIE, tales como Unidad Bosques y Biodiversidad en Paisajes Productivos, Unidad de Cuencas, Seguridad Hídrica y Suelos, Unidad de Acción Climática, Unidad de Ganadería y Manejo del Ambiente, Unidad de Agroforestería y Mejoramiento Genético de Café y Cacao, y la Coordinación de la Maestría Internacional de Turismo Sostenible (MIST).
- 3. Expertos externos al CATIE:** Este grupo estuvo compuesto por investigadores y profesionales que trabajan como consultores o en organizaciones no gubernamentales externas al CATIE, como Reforest The Tropics, Panthera Costa Rica y Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).
- 4. Representantes del gobierno a nivel nacional o local:** Incluyó al personal que trabaja en dependencias gubernamentales, como MINAE, MAG, ICE, UCR, TEC, Ministerio de Salud y la Municipalidad de Turrialba.
- 5. Miembros de asociaciones civiles:** Este grupo estuvo conformado por organizaciones ambientalistas, tales como Turrialba Va Primero y Unidos por Nuestro Cantón, así como la Cámara de Cañeros de Turrialba, Centro de Terapia Física Morpho, Comunidad Nochebuena y la Cámara de Turismo de Turrialba (CATUR).

Actores entrevistados

Se llevaron a cabo un total de 49 entrevistas, distribuidas en 5 grupos, como se detalla en la Tabla 1. El grupo de “Expertos del CATIE” fue el más frecuentemente entrevistado (total de 17), mientras que el grupo “Miembros de asociaciones civiles” tuvo el menor número de entrevistas, con solo 6 personas entrevistadas.

Tabla 1. Número de actores entrevistados por grupo sobre percepciones en torno al uso del suelo y la restauración en el campus del CATIE

Grupo	# entrevistados
Expertos del CATIE	17
Expertos externos al CATIE	12
Administradores en el CATIE	7
Representantes del gobierno a nivel nacional o local	7
Miembros de asociaciones civiles	6
Total	49

Análisis de las percepciones

Las transcripciones de todas las entrevistas se registraron y organizaron en una hoja de Microsoft Excel. Cada entrevistado se identificó mediante un código único y las respuestas se dispusieron en filas y columnas, que siguieron el formato detallado en la sección de “Colecta de datos de las percepciones”. Luego, se identificaron y clasificaron los conceptos y percepciones compartidos por los participantes, y se prestó especial atención a los temas mencionados con mayor frecuencia. Estos hallazgos se organizaron en cuadros resúmenes y gráficas de barras.



Resultados y discusión

Caracterización de los usos del suelo en el CATIE y su entorno

Los usos del suelo predominantes en el CATIE y su área circundante de 1,5 km fueron: bosque (31,2%), caña de azúcar (20,3%), pasto (17,7%), urbano (13,4%), plantaciones forestales (6,2%), agua (4,3%), café (4,1%), cultivos (1,2%), suelos desnudos y otros (1,6%) (Figura 2). Estos resultados revelan la diversidad de usos del suelo y, por tanto, una matriz agrícola en el paisaje, lo que plantea un desafío para mantener y restaurar la biodiversidad.

En dicha matriz hay una proporción considerable de bosques, la cual es alentadora y manifiesta una necesidad de mantener y mejorar la calidad de estos hábitats forestales. La conservación de estos bosques y la restauración de áreas degradadas son fundamentales para promover la biodiversidad local y contribuir al cumplimiento de los objetivos de conservación y sostenibilidad del CATIE.

De igual forma, la presencia de caña de azúcar y pasturas destaca la importancia de considerar estrategias de restauración agroecológica, que puedan integrar prácticas sostenibles, preservar la productividad agrícola y minimizar el impacto ambiental.

Con respecto a la distancia promedio al vecino más cercano (ENN_MN). Para la clase urbano/vías, la distancia promedio entre este uso del suelo fue de 41 metros. Entre la clase bosque 44 m, pastura 52 m, caña 106 m, plantación 129 m, café 145 m, agua 177 m, cultivos 151 m, otros 356 m y suelo desnudo 513 m.

Estos resultados muestran una notable variación de las distancias entre las diferentes clases de uso de suelo e indican que la distribución espacial de los parches en el paisaje varía significativamente en función de la clase de uso de suelo. Hay que considerar que esta variación es importante ante un plan de la restauración, ya que diferentes clases de uso de suelo requerirán enfoques y estrategias de restauración específicas (ejemplo, los cultivos de caña).

La distancia promedio entre los parches de la misma clase da una idea de cuán próximas o aisladas se encuentran unas de otras. En un contexto de conectividad en el paisaje, la distancia promedio al vecino más cercano brinda algunos detalles a considerar. Una ENN_MN corta revela que los parches similares en el paisaje están más cerca unos de otros (parches de bosques), lo que puede ser beneficioso para la biodiversidad y la dispersión de especies. Por otro lado, una ENN_MN larga sugiere un mayor aislamiento entre parches, lo que podría dificultar la movilidad de la fauna y la propagación de semillas (cultivos caña de azúcar, plantaciones y café).

No solo se debe prestar atención a las distancias que hay entre los parches de la misma clase, sino observar el panorama en general, es decir, el paisaje que comprende el CATIE y su área de influencia. Comprender cómo está configurada la distribución de los usos del suelo permitirá sugerir rutas de corredores ecológicos e identificar la restauración en ciertas áreas y con esto reducir el aislamiento de estos parches y mejorar la conectividad (bordes de caña de azúcar, caminos internos, márgenes de quebradas).

En cuanto a la densidad de parches (PD) equivalente para cada 100 ha, fue la siguiente: urbano/vías (7.2), bosque (4.1), pastura (3.3), café (1.3), caña (1.3), plantación (0.7), cultivos (0.6), otros (0.3), suelo desnudo (0.2) y agua (0.06). La alta densidad de parches de áreas urbanas y vías (7.2) sugiere una intensa fragmentación del paisaje, lo que plantea desafíos considerables para la conservación de la biodiversidad en un entorno modificado por la actividad humana.

Por otro lado, la densidad más baja de parches de agua (0.06) indica que los cuerpos de agua presentan menos fragmentación en comparación con otros tipos de uso del suelo, por lo que es visible su importancia como corredores ecológicos (márgenes de quebradas o ríos) y hábitats clave para la fauna. Al respecto, en el CATIE se está trabajando en la recuperación de la cobertura arbórea con especies nativas en las márgenes de la quebrada Grande, de acuerdo con los esfuerzos de sostenibilidad y conservación de la institución.

En relación con el Índice de Diversidad de Simpson (SIDI), es necesario puntualizar que es un concepto adaptado de la ecología tradicional, el cual –dentro de sus múltiples aplicaciones– mide la diversidad de plantas y animales. Sin embargo, estos índices de diversidad han sido aplicados por ecólogos del paisaje para medir su composición. En este caso particular, el SIDI permite estimar la riqueza de parches en un área determinada, que se interpreta como el grado de fragmentación en un paisaje al estar correlacionado con la riqueza de los parches (Hanski 2015).

El Índice de Diversidad de Simpson de 0.8 indica que existe una diversidad sustancial en la composición de los parches en el paisaje del CATIE y sugiere una alta fragmentación del paisaje, la cual requiere estrategias de restauración y conectividad entre hábitats. Es así como la restauración en el campus del CATIE se enfrenta al desafío de promover la conectividad entre estos parches fragmentados, lo que es esencial para ayudar a que las especies se desplacen, se reproduzcan y mantengan poblaciones saludables. Los corredores ecológicos y la restauración de áreas degradadas pueden desempeñar un papel fundamental en la creación de estas conexiones y la mejora de la resiliencia de los ecosistemas.

Además, este nivel de fragmentación pone de manifiesto la necesidad de un enfoque integral de restauración que no solo se centre en la conservación de la diversidad de especies, sino que también considere la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas. La restauración de hábitats clave, como las zonas ribereñas a cuerpos de agua, sería un buen punto de partida. Asimismo, la gestión sostenible de los paisajes y la promoción de prácticas agrícolas y forestales amigables con la biodiversidad son elementos importantes para lograr los objetivos de conservación del CATIE, la cual está en medio de un entorno caracterizado por una diversidad de usos del suelo.

La Figura 2 muestra una presencia importante de bosques de diferentes calidades, principalmente al norte y este del campus, y en menor grado al sur de este. En el flanco noroeste, el uso de la tierra es ante todo urbano, dada la presencia de la ciudad de Turrialba. Se evidencia que las mejoras en las prácticas agropecuarias que puedan realizarse en la finca comercial del campus, la cual –según muestra el mapa– está dominada por caña de azúcar y pasturas, y en el área de colecciones genéticas hacia el norte de este, así como el incremento de cobertura arbórea en la medida de lo posible, podrían contribuir a mejorar la conectividad entre estos bloques de bosque y, por ende, la conectividad del CBVCT.

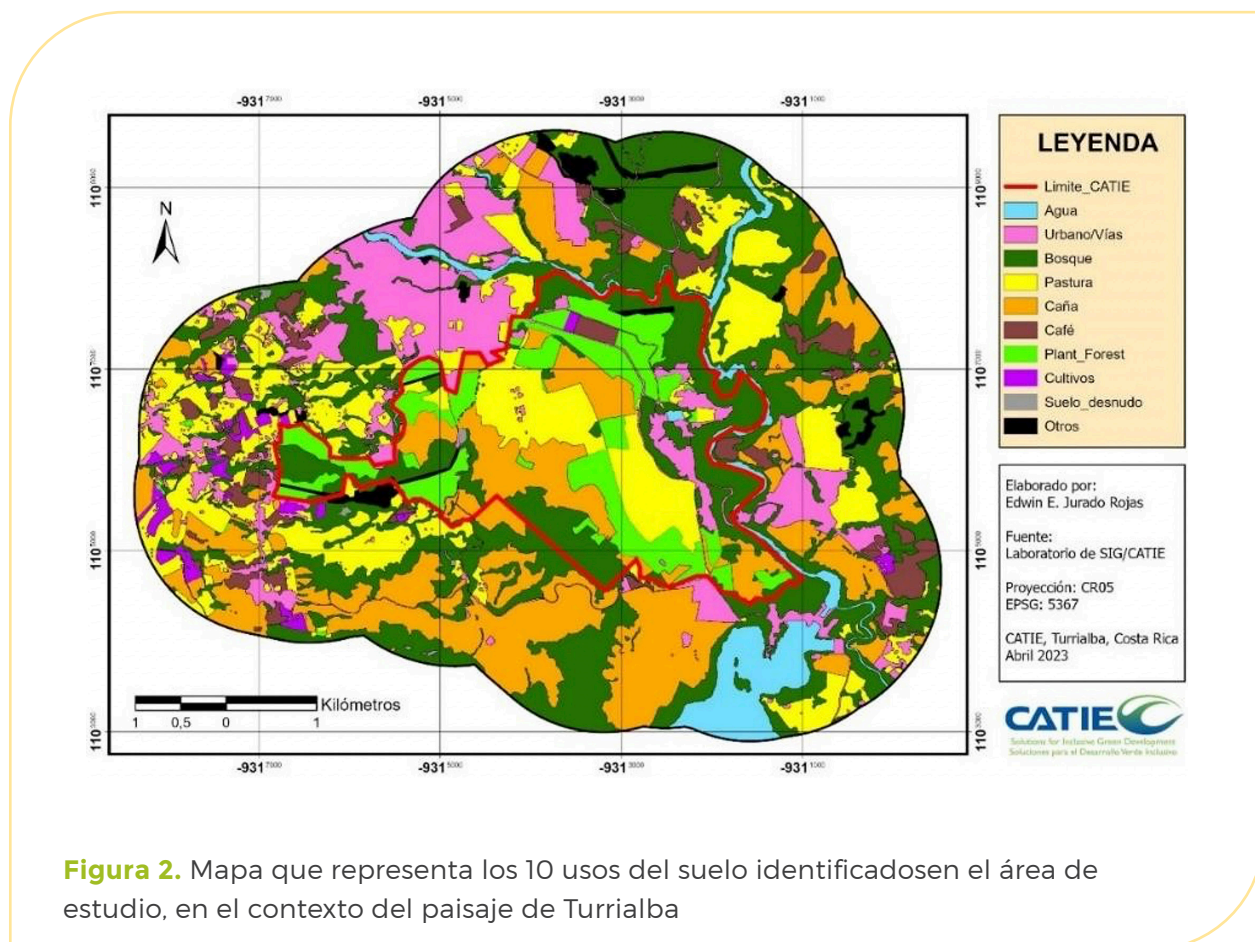


Figura 2. Mapa que representa los 10 usos del suelo identificados en el área de estudio, en el contexto del paisaje de Turrialba

Usos del suelo en el Campus del CATIE

Hasta la fecha, en toda el área del CATIE es posible identificar alrededor de 150 hectáreas de plantaciones forestales, 75 de pastizales para ganado lechero, 100 para ganado de carne y 120 de caña de azúcar, aunque se está considerando reducir esta última superficie a 70 hectáreas, el Bosque Florencia –un bosque en sucesión natural con más de 90 años de antigüedad que ocupa 32 hectáreas– y el Bosque Los Espaveles, un bosque primario ribereño que abarca 110 hectáreas.

Además, se cuenta con 11 hectáreas para las colecciones genéticas de café, 4,5 hectáreas al Jardín Botánico y 10,6 hectáreas a la colección de cacao. También se conservan otras colecciones en una extensión de 30 hectáreas, que incluyen colecciones de pejobaye, sapotáceas, cítricos y un palmetum. El área que comprende el edificio principal, oficinas y las residencias consta de aproximadamente 55 hectáreas. Adicionalmente, la finca comercial cuenta con un total de 25 kilómetros de cercas vivas.

Es importante destacar que el campus del CATIE ha experimentado un incremento significativo en su cobertura arbórea a lo largo de los años, lo que ha contribuido a mejorar su funcionalidad ecológica (Figura 3).



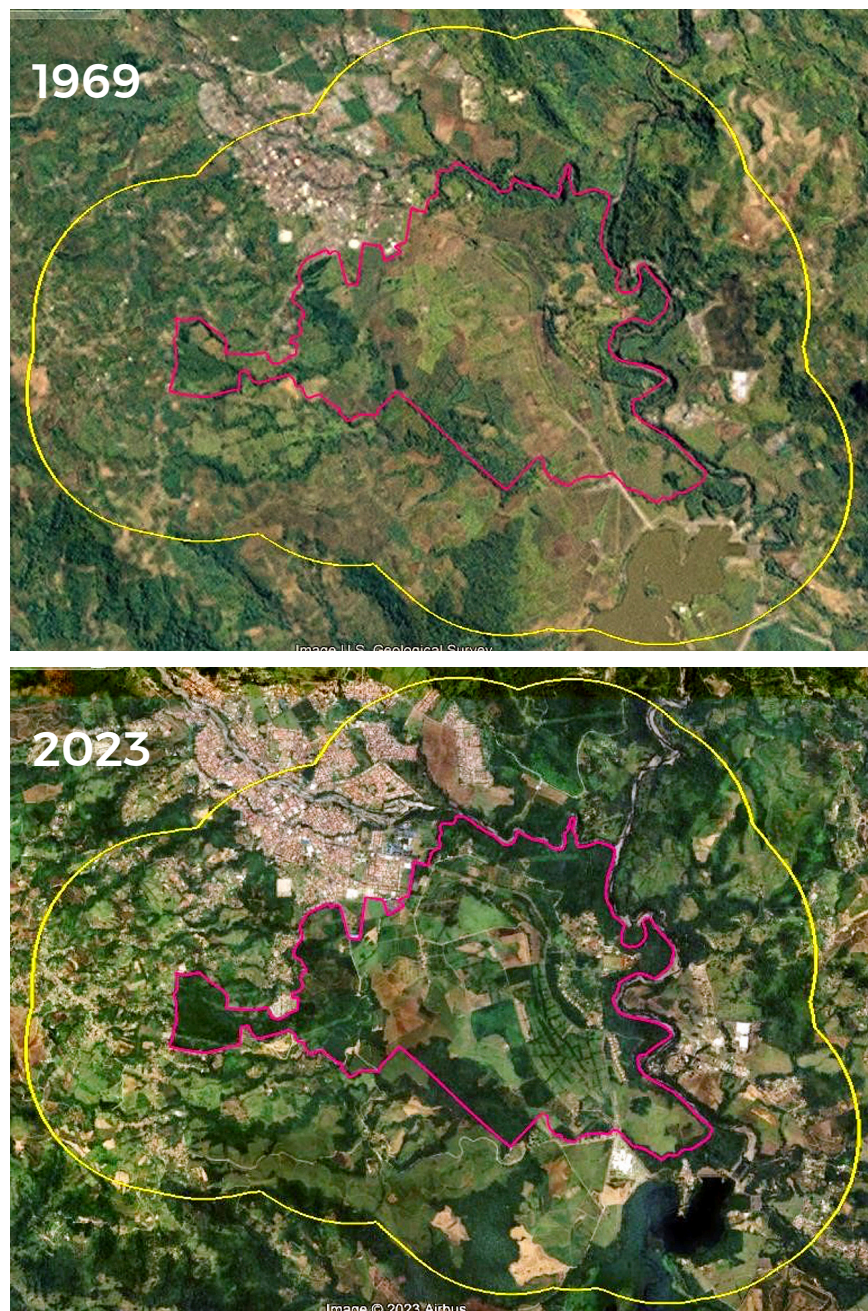


Figura 3. Imágenes satelitales que resaltan el campus del CATIE (en rojo) y una zona circundante de 1,5 km (en amarillo), que evidencia las notables transformaciones en la cobertura arbórea durante un período de 50 años en el paisaje de Turrialba

Perspectivas actuales del uso de los suelos en el CATIE

Recientemente, se ha establecido un comité compuesto por el administrador de la finca comercial, el regente forestal y el director de alianzas estratégicas del CATIE. Dicho comité está actualmente llevando a cabo una evaluación exhaustiva de los usos del suelo y considerando diversas alternativas de cambio.

Es importante destacar que tanto este comité como otros entrevistados han enfatizado la importancia de la finca comercial del CATIE, ya que desempeña un papel fundamental al proporcionar parte del sustento económico a la institución. Por lo tanto, cualquier propuesta de restauración debe ser objeto de una evaluación cuidadosa y además, ser financieramente viable.

Asimismo, se aclara que el objetivo no es reducir el área dedicada a los cultivos agrícolas, sino más bien optimizarla y adecuarla a su capacidad de uso. En este contexto, el comité ha identificado zonas de cultivo de caña de azúcar que presentan un menor rendimiento y que podrían ser destinadas a usos más apropiados, como la creación de plantaciones forestales. También se han identificado otras áreas de cultivo de caña que podrían cambiar de uso debido a la presión social relacionada con este tipo de cultivo, principalmente por las molestias a la población debido a la quema de caña.

Las áreas propuestas para cambios, por consideraciones sociales, incluyen el sector cercano a la población Las Américas (sitio 1), la zona en la Ruta 10 frente a la colección genética de café (sitio 3) y cerca del nuevo hospital William Allen en la Ruta 411 (sitio 5). Por otro lado, las zonas identificadas como de baja productividad son el sector de puente cajón contiguo al ICE (sitio 6) y el sitio 4 cerca de las colecciones de cacao. Por último, el sitio 2 ha sido recientemente reforestado para contribuir a la protección de la quebrada Grande (Figura 4). El comité está evaluando como posible alternativa la implementación de plantaciones de *Gmelina arborea* como una oportunidad de cambio de uso en ciertas partes de la finca comercial.

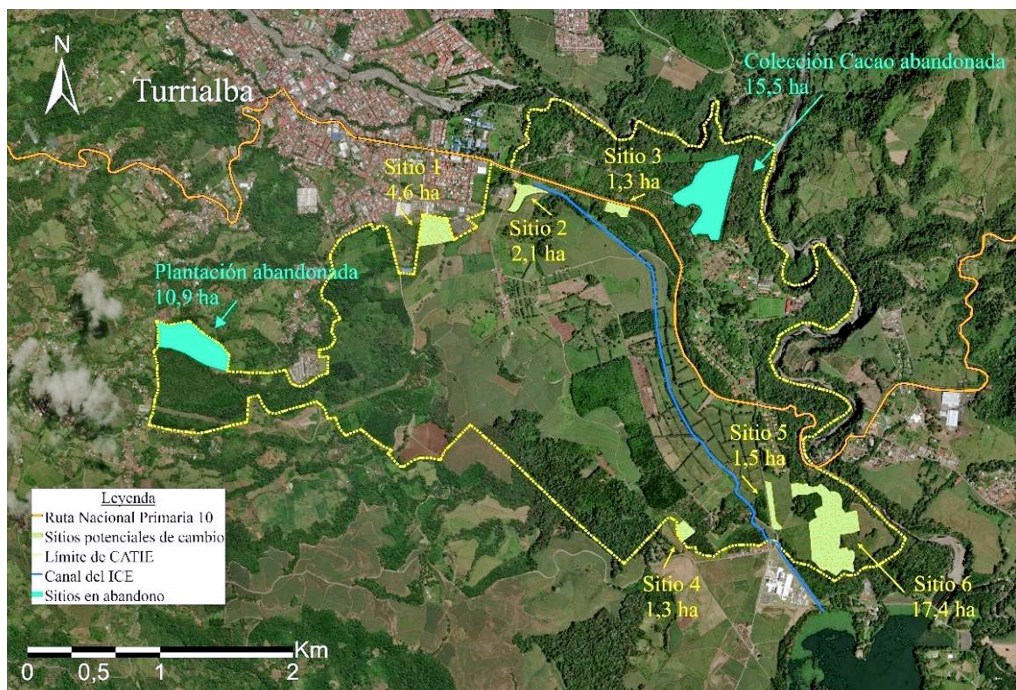


Figura 4. Mapa que muestra los sitios sujetos a evaluación para el cambio de su uso en la finca comercial del CATIE

Por otro lado, en el extremo oeste de la finca (colindante con San Juan Sur), en la actualidad, existen plantaciones forestales y otras áreas sin uso comercial (10,9 ha). Al respecto, el regente forestal del CATIE mencionó que se espera desarrollar en el futuro un sistema de café con plantaciones en una superficie aproximada de 6 hectáreas (Figura 4).

En cuanto al área de ganadería, se planea mejorar su utilización mediante la transición hacia sistemas silvopastoriles. Se han identificado aproximadamente 35 hectáreas que podrían destinarse a este propósito.

Por último, desde la dirección de Alianzas Estratégicas del CATIE se destacó la importancia de documentar los esfuerzos de cambio de uso al fortalecer la expansión de los parches de bosques mediante plantaciones y promover la implementación de sistemas agroforestales (SAF) para café y cacao. Esto se llevará a cabo gracias a la experiencia y conocimientos acumulados por parte del CATIE en estos campos.

Estrategias de mejora en el manejo del uso del suelo del CATIE

Se han identificado una serie de estrategias para mejorar el manejo del uso de los suelos y promover una gestión más sostenible en el campus. A continuación, se presentan de manera resumida las opiniones referidas por los entrevistados, organizadas por orden de frecuencia.

- **Promoción de cercas vivas en la finca comercial:** Fomentar el aumento de cercas vivas en los caminos internos y las divisiones en las pasturas como medida de conservación y protección del entorno. Se han identificado alrededor de 25 kilómetros de cercas vivas ya instaladas en la finca. No obstante, aún está en proceso el establecimiento de aproximadamente 10 kilómetros adicionales de cercas vivas, que son prioritarias en las pasturas para ganado de carne y leche.
- **Espacio de enseñanza y divulgación:** Gestionar el campus del CATIE como un espacio dedicado a la enseñanza y divulgación de experiencias, una finca modelo que sirva de ejemplo en prácticas agrícolas y forestales sostenibles.
- **Diálogo con la comunidad local:** Fomentar un mayor diálogo y colaboración con la comunidad local de Turrialba y otras áreas del valle. Esto implica incluir a la comunidad en la toma de decisiones y soluciones relacionadas con los aspectos productivos, sociales y ambientales de la zona.

- **Promoción de arborización en el campus:** Propiciar el aumento de árboles y, por lo tanto, una mejora de la belleza escénica del campus con especies arbóreas de buenas características florales, porte medio y de copa amplia para fomentar más sombra.
- **Políticas de gestión institucional:** Implementar políticas de gestión institucional que reflejen los valores y objetivos de sostenibilidad del CATIE. Aunque existe un Plan Estratégico Institucional (PEI 2021-2030), se reconoce la necesidad de definir una política ambiental más específica que guíe la gestión ambiental e incluya el manejo y conservación del agua, la biodiversidad y el desarrollo sostenible. A esto podría agregarse un plan de gestión energética para optimizar el uso de la energía en las instalaciones del CATIE y una concientización sobre el uso de transporte a todo el personal y aliados estratégicos, especialmente para aquellos que trabajan y residen en el campus al promover alternativas de transporte más amigables con el medio ambiente.
- **Promoción de caña de azúcar sostenible:** Incluye la plantación de árboles en los bordes de los campos de caña, la promoción del cultivo orgánico de caña de azúcar y la aplicación de buenas prácticas agrícolas.

Se valora la relevancia de las estrategias recomendadas por los entrevistados, ya que se perciben como elementos que fortalecerán la consecución de los objetivos de sostenibilidad y conservación del CATIE. No obstante, a continuación, se aborda en detalle el uso de las cercas vivas en las pasturas y el cultivo de caña.

Un tema de importancia es la promoción de cercas vivas, las cuales –según Chacón y Harvey (2006)– desempeñan un papel fundamental en la configuración de la estructura y las relaciones entre elementos en los paisajes agrícolas. En esta misma línea, Harvey *et al.* (2005) subrayan que la instalación y el manejo cuidadoso de las cercas vivas en las fincas no solo cumplen un propósito agronómico, sino que también pueden contribuir a objetivos de conservación. Dichas cercas pueden funcionar como hábitats, fuentes de recursos y vías de conectividad en el paisaje para una selección de especies vegetales y animales.

De igual forma, la investigación de Garbach *et al.* (2010) examinó la influencia de las cercas vivas dentro del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT) en la diversidad de aves. Se encontró que la riqueza de especies era más alta en las cercas multiestrato (árboles maduros sin podar), seguida por las cercas simples (árboles inmaduros podados regularmente) y finalmente, las cercas de poste y alambre tenían la menor riqueza de especies.

Sin embargo, se observó que más de 90% de las especies de aves migratorias y aquellas que suelen frecuentar áreas de bosque y plantaciones agroforestales en el CBVCT se encontraban en las cercas multiestrato. En resumen, la altura y la complejidad estructural de las cercas multiestrato fomentan un mayor uso del corredor por parte de una amplia variedad de especies de aves y pueden ofrecer más respaldo para actividades de forrajeo y reproducción (Garbach *et al.* 2010).

Asimismo, las cercas vivas se establecen con el propósito de ofrecer tanto bienes y servicios ecosistémicos como ventajas a los sistemas productivos existentes (Morantes-Tolosa y Renjifo 2017). En relación con los servicios ecosistémicos en tierras de pastoreo, un estudio realizado por Aryal *et al.* (2022) reveló que los sistemas silvopastoriles –que incluyen cercas vivas, árboles dispersos y bancos de forraje, así como los fragmentos de bosque, ya sean secundarios o primarios– albergan un porcentaje de carbono de entre 27% y 163% superior en comparación con las tierras de pastoreo convencionales. Estos investigadores enfatizan la importancia de promover sistemas silvopastoriles adecuados y la conservación de los remanentes de bosque en paisajes donde predomina la ganadería, como una estrategia de mitigación del carbono fundamentada en el uso de la tierra.

La promoción y gestión adecuada de las cercas vivas se presenta como una práctica valiosa que equilibra la producción agropecuaria con la conservación de la naturaleza y el servicio ambiental, y destaca su importancia en paisajes rurales y como parte de estrategias de sostenibilidad a nivel global. El CATIE ha venido desarrollando estas estrategias desde hace décadas y tiene la oportunidad de continuar mejorando y evidenciar estas prácticas, especialmente, debido a las características del espacio físico que posee, ya que está inmerso en una matriz agrícola y forma parte de un corredor biológico que busca mejorar la conectividad ecológica de la mano de las actividades productivas.

Otro de los usos principales de la finca comercial del CATIE es el cultivo de caña de azúcar, para el cual resulta pertinente explorar estrategias que permitan mejorar la sostenibilidad ambiental de esta producción. En cuanto al cultivo de caña orgánica y el uso de árboles, la documentación de esta práctica es limitada, al menos en lo que respecta a la región centroamericana. Sin embargo, de Melo et. al (2021) recopilaron una serie de datos históricos sobre las actividades productivas en una finca de este tipo de caña que ha mantenido un enfoque 100% orgánico desde 1999.

En esta finca, ubicada en San Pablo de Tres Equis (10 km aproximadamente en dirección noreste del CATIE), se cultiva caña de azúcar en asociación con árboles de laurel (*Cordia alliodora*) dispersos en medio de los cultivos y en filas a lo largo de las divisiones o caminos, para un total de 198 árboles en 4 hectáreas, con una distancia mínima de 10 metros entre árboles. Al respecto, de Melo *et al.* (2021) destacaron este enfoque de cultivo agroforestal como una estrategia que no solo enriquece el paisaje rural, sino que también conlleva beneficios adicionales, como el aumento de la productividad y el fomento de la diversificación, en contraposición al enfoque convencional de monocultivo.



En la zona de Turrialba, la caña de azúcar se produce básicamente en monocultivo e incluye la finca del CATIE con 120 hectáreas y la finca privada Florencia con 225 hectáreas. Ahí el sistema de gestión y cosecha es altamente tecnificado y utiliza productos agroquímicos.

Un representante de la Cámara de Cañeros de Turrialba señaló que la combinación de árboles en los bordes de los campos de caña de azúcar podría beneficiar a los productores con la obtención de madera para venta u otros usos en la finca. Sin embargo, destacó que la Cámara de Cañeros no promueve específicamente esta práctica y deja a discreción de cada productor la decisión de implementar árboles en sus parcelas.

Además, un representante de LAICA indicó que no es factible plantar árboles en los campos de cultivo de caña, ya que esto podría resultar en un retraso de hasta 50% en el desarrollo óptimo de este producto. La posibilidad de cultivar árboles se limitaría a las vías internas o divisiones del terreno, pero se requeriría dejar un espacio entre el cultivo de caña y la fila de árboles. Por lo tanto, en la mayoría de los campos de cultivo de este tipo en Turrialba no se encuentran árboles en los bordes, ya que el enfoque principal es promover la productividad del cultivo de caña.

Por consiguiente, el CATIE podría evaluar la incorporación en parte de sus tierras actualmente destinadas al monocultivo de caña de azúcar de algunas estrategias de asocio de especies forestales, al menos en los límites del cultivo, como alternativa para los productores de la zona, con formas de producción que favorezcan la biodiversidad y la conectividad ecológica.

Por otro lado, en la finca comercial del CATIE –a través de la implementación de prácticas de protección del suelo– se han construido canales de drenaje en los campos de cultivo de caña y pastura. Según Polón *et al.* (2011), el drenaje se considera una de las prácticas agrícolas más significativas para mejorar la calidad del suelo, prevenir inundaciones y aumentar la productividad de los cultivos. Estos canales de drenaje contribuyen a reducir la erosión del suelo causada por las fuertes lluvias en la región.

Además, los responsables de la finca comercial reconocen alternativas para aprovechar la caña de azúcar, como el uso de los residuos, que incluyen las hojas y los cogollos de la planta. Estos residuos tienen múltiples aplicaciones, que incluyen producción de etanol, elaboración de compost, utilización como cobertura del suelo, fabricación de tableros aglomerados, alimentación del ganado, producción de pulpa y papel, y generación de biogás (Peñaranda *et al.* 2017, Sánchez-Herrera 2017).

Salazar-Ortiz *et al.* (2017) determinaron que la caña de azúcar (hoja, cogollo y tallos) tiene potencial para ser usada en la alimentación del ganado estabulado, semiestabulado y de pastoreo. Además, en los periodos de escasez de forraje, esta caña es una alternativa para sostener la producción pecuaria en las zonas tropicales.

En la finca del CATIE, como en otros predios privados, se ha optado por el uso de la quema en los campos de caña de azúcar como un método para eliminar el follaje y otras materias no deseadas en el cultivo. Esto se hace con el fin de facilitar la cosecha y mejorar la calidad de la materia prima para su procesamiento en el ingenio. Es importante destacar que esa práctica está regulada por el Decreto Ejecutivo N° 35368-MAG-S-MINAET, conocido como el Reglamento para Quemadas Agrícolas Controladas. Esta legislación tiene un alcance general y se aplica a todo el sector agropecuario, incluyendo la producción de caña de azúcar.

A pesar de que la quema está permitida por el Estado, los administradores de la finca están tomando medidas para reducir la frecuencia de las quemadas y la necesidad de requemar los campos. Esto se hace con el propósito de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y la generación de partículas de ceniza, además de atender a las preocupaciones sociales relacionadas con las quejas acerca de las quemadas. Esta iniciativa demuestra un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

Finalmente, se destaca la importancia de considerar la implementación de cercas vivas en las pasturas y linderos de la caña de azúcar para promover la conectividad y servicios ecosistémicos dentro de un marco de restauración en la finca. También, se resalta la ejecución de buenas prácticas agrícolas, así como la importancia de considerar aspectos ambientales y sociales en estas decisiones.

Tabla 2. Lista de las estrategias de mejora en el manejo del campus del CATIE sugeridas con más frecuencia por los entrevistados¹

Principales Estrategias de Mejora	Freq.
Aumentar cercas vivas	20
Promover una Finca Modelo, demostrativa y de enseñanza	17
Mayor diálogo e involucramiento con la comunidad	16
Mayor arborización y embellecimiento del campus	14
Establecer políticas institucionales	12
Promover caña agroforestal, orgánica y aumentar variedades de caña	10

Freq.= Frecuencia

Desafíos para la mejora de uso del suelo en el CATIE²

Según los entrevistados, se han identificado varios desafíos por superar para un mejor manejo de los usos del suelo en el CATIE. Los más comunes fueron:

- Comunicación Limitada entre Actores Claves:** Se ha observado una comunicación insuficiente entre los diferentes actores dentro de la institución, lo que ha llevado a un funcionamiento aislado. Esto se manifiesta en la falta de coordinación entre investigadores y el personal encargado de la administración de la finca comercial. Como resultado, las iniciativas no están alineadas, las decisiones son inestables y los esfuerzos se aíslan.

¹ Se muestra la lista completa en Anexo.

² Desafíos del manejo de los suelos mencionados con menor frecuencia: Discontinuidad de proyectos y/o investigaciones en la finca, y resistencia al cambio en las prácticas de manejo en la finca.

Para abordar este desafío es crucial mejorar la comprensión mutua entre los actores y fomentar el trabajo conjunto, para lo cual es necesario implementar reuniones regulares interdepartamentales para facilitar la comunicación y la colaboración entre investigadores y el personal de la administración. Esto promoverá una mayor alineación en la toma de decisiones y garantizará un enfoque más cohesivo en las iniciativas del CATIE.

- **Comunicación Limitada hacia la Comunidad Local:** Se mencionó como un reto importante la necesidad de aumentar la visibilidad de los proyectos y resultados de las investigaciones del CATIE entre las comunidades locales en el valle de Turrialba. En este sentido, se puede diseñar estrategias de divulgación efectivas que incluyan la organización de eventos abiertos a la comunidad local y la creación de contenidos accesibles que comuniquen los resultados de las investigaciones y los beneficios para la comunidad. Esto fortalecerá los lazos entre el CATIE y la población de la zona.
- **Limitación de Recursos Económicos:** La falta de recursos económicos o proyectos de investigación aplicados a la finca ha limitado la implementación de parcelas experimentales y dificultado el mantenimiento de áreas importantes, como las colecciones genéticas (Cabiria 5 y 6 parcialmente abandonadas). También ha impedido la contratación de personal técnico necesario para aliviar la carga de trabajo de aquellos con múltiples responsabilidades.

A pesar de estos desafíos, proyectos como RTT, que abarcan aproximadamente 110 hectáreas en el CATIE, permiten que la institución obtenga beneficios económicos a través de la compensación por carbono capturado y la comercialización de madera, una vez que las plantaciones alcanzan la madurez.

Para reducir la presión por recursos económicos es recomendable explorar fuentes de financiamiento adicionales mediante la presentación de propuestas a organizaciones internacionales, donantes o programas de investigación. Esto contribuirá a garantizar los recursos necesarios para proyectos experimentales y la restauración de áreas críticas. Además, aliviará la carga financiera al permitir la expansión de iniciativas rentables centradas en el manejo forestal sostenible e incluir el establecimiento de plantaciones forestales como RTT o las estrategias de restauración respaldadas por el Gobierno de Canadá a través de su proyecto RestarAcción.

Servicios ecosistémicos (SE) percibidos en el campus del CATIE

A partir de las respuestas proporcionadas por los entrevistados, se ha compilado una lista de servicios ecosistémicos que son percibidos en el campus del CATIE. Estos servicios se han categorizado según las dimensiones de regulación, culturales, provisión y soporte, y siguen el enfoque de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA 2005) (Tabla 3).

Por otro lado, algunos otros aspectos mencionados frecuentemente por los entrevistados fueron la biodiversidad y la conectividad.

Aunque el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) de 1993 proporciona una definición formal de este tipo de diversidad, en numerosas publicaciones científicas, se da por sentado que el término Biodiversidad equivale a esta definición (Mace *et al.* 2012). Por lo tanto, biodiversidad se entiende como la amplia gama de variabilidad de organismos vivos, procedentes de diversas fuentes, lo cual incluye ecosistemas terrestres y marinos, así como otros ecosistemas acuáticos y sus interacciones en los complejos ecológicos de los que forman parte. Esta diversidad abarca diferencias tanto dentro de las especies como entre ellas, así como en la composición y funcionamiento de los ecosistemas en su conjunto (CDB 1993).

Tabla 3. Principales servicios ecosistémicos agrupados por categorías según el MEA (2005) y ordenados según la frecuencia de menciones por las personas entrevistadas³

Categoría	Servicios Ecosistémicos	Freq.
Regulación	Regulación del clima	22
	Control de la erosión	12
	Conservación de agua	10
	Polinización	10
	Dispersión de semillas	4
Cultural	Recreación	14
	Belleza escénica	14
	Turismo y espiritualidad	5
Provisión	Fuente de alimento	8
	Madera y leña	5
	Provisión de agua	4
	Resguardo genético	4
Soporte	Ciclaje de nutrientes	4

Freq.= Frecuencia

Por otro lado, es fundamental comprender el vínculo entre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. Como señalan Mace *et al.* (2012) e Isbell *et al.* (2014), la biodiversidad es un concepto complejo que guarda diversas relaciones con los servicios ecosistémicos. En algunos casos, se utilizan los términos “biodiversidad” y “servicios ecosistémicos” casi como sinónimos, y se cree que la gestión adecuada de los servicios ecosistémicos garantiza la preservación de la biodiversidad y viceversa.

³ Servicios ecosistémicos mencionados con menor frecuencias: Control de plagas, regulación de agua, postes vivos, enseñanza y producción de oxígeno.

Por otro lado, la biodiversidad a veces se considera un servicio ecosistémico en sí mismo y se ve como una de las metas que la gestión de los ecosistemas puede y debe lograr, especialmente en lo que concierne a la conservación de especies silvestres, en particular aquellas de interés para la conservación (Mace *et al.* 2012).

Otros autores como Isbell *et al.* (2014) señalan que es probable que la disminución de la biodiversidad esté generando una deuda en cuanto a la provisión de servicios ecosistémicos. Esto implica que esas deudas relacionadas con los servicios que dependen de la biodiversidad pueden ser significativas a nivel global, incluso si son localmente pequeñas, siempre que se produzcan de manera generalizada en extensas áreas de los ecosistemas que aún permanecen. Por lo tanto, existe un valor considerable en preservar no solo la cantidad (superficie) de los ecosistemas naturales, sino también su calidad (biodiversidad), con el fin de garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos.

Otro aspecto relevante señalado por los entrevistados es la conectividad. Varios autores la definen como el grado en el que la estructura y composición del paisaje facilita los desplazamientos de genes, propágulos (polen y semillas), individuos y poblaciones (Mitchell *et al.* 2013, Rudnick *et al.* 2012, Tscharrntke *et al.* 2015). Por ende, la conectividad de un paisaje se define en función de las necesidades de los organismos que habitan en él y se desplazan a través de él, lo que implica que la conectividad varía según la especie y el contexto específico (Rudnick *et al.* 2012).

Igualmente, los cambios en la cobertura y el uso del suelo –incluida la fragmentación del hábitat, que convierte áreas continuas de hábitat en numerosos parches más pequeños– tienen un impacto significativo en la conectividad del paisaje (Mitchell *et al.* 2013).

Una estrategia para mejorar la conectividad del Valle de Turrialba consiste en ampliar la cobertura forestal. En relación con este enfoque, un estudio realizado por Morán-Ordóñez *et al.* (2022) evaluó las consecuencias de un plan de restauración forestal con múltiples objetivos, que incluía la promoción de servicios ecosistémicos, el incremento de la conectividad forestal y la minimización del impacto en las formas de vida locales en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

Sus hallazgos indican que los planes de restauración forestal a gran escala podrían dar lugar a posibles repercusiones socioeconómicas y conflictos de gestión. Por lo tanto, es fundamental considerar con atención las posibles limitaciones para la implementación de la restauración, con el propósito de asegurar que las recomendaciones de restauración derivadas de estos procesos de planificación encuentren menor resistencia a nivel local. Además, demostraron que es posible reducir los costos de oportunidad sin comprometer otros objetivos, como el aumento de la provisión de servicios ecosistémicos o la mejora de la conectividad.

En este contexto, el Campus del CATIE desempeña un papel fundamental en el mantenimiento y promoción de servicios ecosistémicos, la conservación de la biodiversidad y la promoción de la conectividad en la región. Además, cuenta con un extenso terreno, alberga diversas actividades productivas y se encuentra en una zona que –en su mayoría– se destina a usos no forestales, lo que lo convierte en un valioso enclave en medio de una matriz agrícola. Su proximidad a la ciudad de Turrialba y otros fragmentos de bosque también aumenta su importancia en términos de conectividad, lo que subraya la necesidad de implementar un enfoque de restauración en el campus.

Sitios potenciales de restauración en el CATIE

En la sección previa sobre perspectivas actuales del uso de suelos en el campus, se indicaron los sitios de caña y áreas abandonadas que serán convertidos en plantaciones forestales como parte de un proceso de uso eficiente de los suelos y restauración. Además de esos lugares, hay otras áreas sugeridas para restauración que fueron mencionadas de manera recurrente por los entrevistados, las cuales se describe a continuación:

- 1. Márgenes de la quebrada Grande** (también llamada quebrada Zapote por el personal de la finca y algunos entrevistados). Esta se origina fuera de los límites de la finca, ingresa al CATIE por la parte colindante con San Juan Sur y atraviesa parches de bosques secundarios, plantaciones forestales, cultivos de caña, pasturas y áreas de infraestructura urbana, culmina en el Jardín Botánico del CATIE y desemboca en el río Turrialba.

Los entrevistados mencionaron que los esfuerzos de restauración deberían centrarse en las márgenes de la quebrada Grande, en particular los colindantes con las pasturas, caña de azúcar y áreas cercanas a la infraestructura urbana. Según la legislación forestal costarricense (Ley N° 7575, artículo 33 - Áreas de Protección), las franjas de protección en zonas rurales deben abarcar 15 metros horizontales a cada lado de la quebrada.

Luego de realizar un cálculo en el programa ArcGis y considerar lo mencionado por los entrevistados, se estimó un recorrido aproximado de 2,2 kilómetros de longitud para esta quebrada, donde se deben centrar los esfuerzos de restauración. Con estos datos es posible estimar un área aproximada para restauración en la quebrada Grande de 6,6 hectáreas.

Durante las visitas hechas en el terreno, se pudo observar la existencia de secciones de árboles, lo que ha dado lugar a una franja arbórea discontinua. Es importante destacar que esa franja no cumple con la amplitud de 15 metros en ambas márgenes, según lo establecido por la Ley Forestal. Es relevante mencionar que recientemente se han llevado a cabo campañas de restauración que incluyen la plantación de diversas especies forestales nativas en una sección de la quebrada que se encuentra frente a las instalaciones de los invernaderos en la finca. En este proceso, se han seguido las directrices establecidas por dicha ley.

Entre las especies establecidas se destaca el espavel (*Anacardium excelsum*), que es un árbol adecuado para su desarrollo en humedales y áreas ribereñas. Un entrevistado resaltó la importancia de llevar a cabo un monitoreo desde la naciente de la quebrada, con el fin de evaluar el estado de contaminación debido a residuos sólidos y la lixiviación del vertedero municipal que está cercano a este cuerpo de agua.

- 2. Linderos de los caminos internos principales que conectan el campus del CATIE con la actual colección genética de cacao dentro de la finca.** Este camino atraviesa áreas de cultivos que incluyen caña, pasturas, plantaciones forestales, sistemas agroforestales de café y la propia colección de cacao.

Mediante una estimación en ArcGIS, se calculó una longitud aproximada de 4,4 kilómetros de camino interno con potencial de restauración entre el campus y la colección de cacao.

Es importante destacar que, si se decide implementar un corredor de árboles en este camino interno, los responsables del proyecto deben llevar a cabo una evaluación detallada para determinar si se establecerá una hilera de árboles o una franja de un ancho específico a lo largo del camino. Esta decisión conlleva implicaciones, como la reducción de área productiva destinada a la caña de azúcar o las pasturas y, por lo tanto, requerirá una discusión y consideración cuidadosa por parte de los administradores y expertos del CATIE.

En la Tabla 4 se presenta una lista de especies arbóreas recomendadas por los entrevistados y respaldadas por fuentes bibliográficas. Estas especies podrían ser tomadas en cuenta en un posible proyecto futuro de restauración para el mencionado corredor.

2. **Importancia de establecer un corredor de árboles a lo largo del sector aledaño a la Ruta Primaria 10 y la Ruta Terciaria 411 (2,3 km)**, que comenzaría en la entrada principal del CATIE y se dirigiría hacia el sur, en dirección al Hospital William Allen Taylor. Este corredor atravesaría principalmente el sector que limita con las pasturas utilizadas para el ganado de carne.

Recientemente, como parte de la ampliación de la infraestructura vial para el acceso al nuevo hospital, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) taló las cercas vivas de sotacaballo (*Zygia longifolia*) que se encontraban en la Ruta 411 que lleva al hospital.

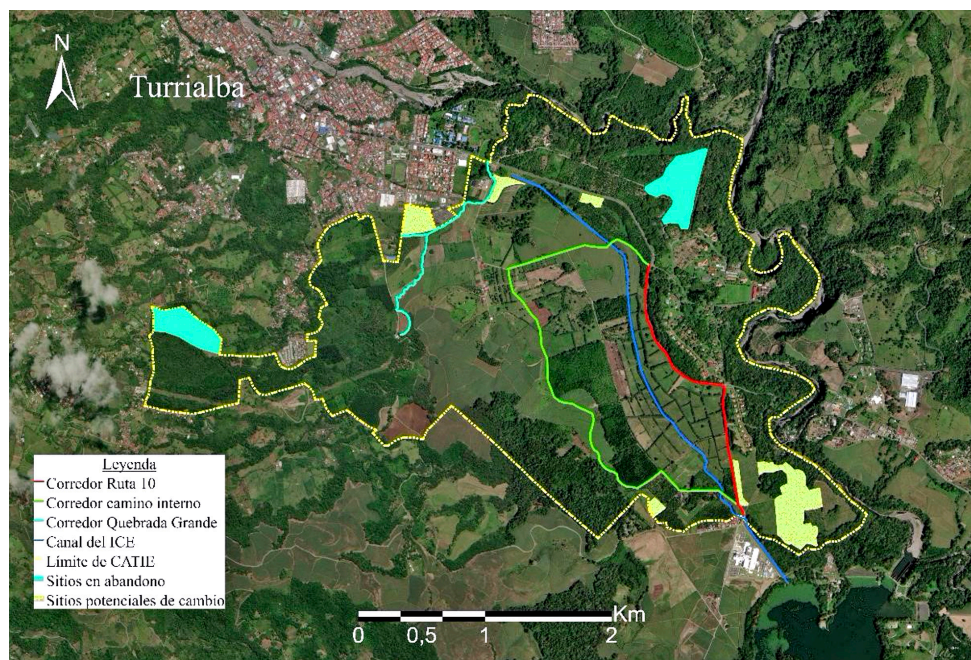


Figura 5. Mapa que muestra los sitios identificados por los entrevistados como potenciales para la restauración en el CATIE

Se espera que, en colaboración con otras instituciones como el ICE, MOPT, MINAE y la Municipalidad de Turrialba, entre otras, el CATIE pueda restablecer las cercas vivas y ampliar su extensión, tal como se mencionó. Con la generación de estos espacios arbolados se aportaría al bienestar de las personas que transitan hacia el hospital u otros sitios, como La Susanita, o personas que realizan prácticas recreativas.

Estos espacios, como los corredores de árboles (cercas vivas) y franjas de protección en quebradas, en función de su complejidad, serán de gran importancia para fomentar la conectividad y servirán como hábitat para la fauna.

Especies recomendadas para la restauración en los espacios agroforestales del CATIE

A continuación, se presenta una lista de especies arbóreas recomendadas por los entrevistados para iniciar el proceso de restauración en las áreas potenciales de mejora, principalmente en los sectores de producción agropecuaria en el campus del CATIE.

No se realizó aquí un análisis de las especies que serían más apropiadas para facilitar procesos de regeneración natural que conduzcan a sucesiones secundarias, los cuales se están promoviendo en la actualidad en algunos sectores que se han dejado con ese propósito. Se cuenta con bases de información relevantes sobre la composición de los bosques naturales de la zona, desde los cuales podrían identificarse especies indicadoras de la adecuada evolución de espacios de sucesión secundaria.

Tabla 4. Lista de especies arbóreas sugeridas por los participantes para la restauración en sistemas agroforestales o silvopastoriles del CATIE

N°	Nombre científico	Nombre común	Usos recomendados
1	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo	SAF / PlanFore / Cercas vivas
2	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	Pilón	SAF / PlanFore / Cercas vivas
3	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	SAF / PlanFore / Cercas vivas
4	<i>Vochysia ferruginea</i>	Botarrama	SAF / PlanFore / Cercas vivas
5	<i>Vochysia guatemalensis</i>	Chancho blanco	SAF / PlanFore / Cercas vivas
6	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble sabana	Cercas vivas / PlanFore
7	<i>Carapa guianensis</i>	Caobilla	Cercas vivas / PlanFore
8	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro	SAF / Cercas vivas
9	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	SAF / Cercas vivas
10	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Poró	SAF / Cercas vivas
11	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	SAF / Cercas vivas
12	<i>Terminalia amazonia</i>	Amarillón	SAF / Cercas vivas
13	<i>Inga edulis</i>	Guaba	SAF / Cercas vivas
14	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	Cas	SAF / Cercas vivas
15	<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo	SAF / Cercas vivas
16	<i>Trichanthera gigantea</i>	Nacedero	Cercas vivas
17	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Cercas vivas
18	<i>Prunus annularis</i>	Níspero	Cercas vivas
19	<i>Randia karstenii</i>	Limoncillo	Cercas vivas
20	<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	Cercas vivas
21	<i>Acnistus arborescens</i>	Cüitite	Cercas vivas
22	<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	Cashá	SAF
23	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	Márgenes de quebradas
24	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	Márgenes de quebradas

Con el fin de obtener una comprensión más precisa de algunos términos relacionados con los “usos recomendados” en la Tabla 4 se proporcionan algunas definiciones de acuerdo con la Guía Técnica de Sistemas Agroforestales de la Oficina Nacional Forestal (ONF, 2013).

Cabe señalar que un Sistema Agroforestal (SAF) se define como el método de utilizar la tierra que involucra la integración de especies forestales y cultivos agronómicos en un mismo espacio y período, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad del sistema.

Asimismo, las cercas vivas son árboles utilizados como pilares para marcar los límites de una propiedad o terreno y, además, ofrecen ventajas, como la producción de leña, forraje, postes y madera. Estos sistemas también crean un ambiente propicio para la vida silvestre, que puede incluir tanto plagas de cultivos como animales beneficiosos, como las aves que ayudan a controlar las plagas. La elección de las especies para las cercas vivas depende de las condiciones climáticas y culturales locales, y se seleccionan diversas variedades para adaptarse a estas condiciones.

De acuerdo con la Ley Forestal N° 7575, en su artículo 3, apartado f), se define como “plantación forestal” la superficie de una o varias hectáreas que se dedica al cultivo de una o más variedades de árboles con el propósito principal –aunque no exclusivo– de obtener madera.

Hasta este punto y de acuerdo con la Tabla 4, se ha abordado la restauración del paisaje bajo un enfoque agroforestal, el cual ha incluido actividades, como plantación de árboles forestales, implementación de sistemas agroforestales con cultivos de café y cacao e instalación de cercas vivas en las divisiones de las parcelas y caminos internos. No obstante, se recomienda asignar un espacio específico para la sucesión natural. Una ubicación idónea para ello sería la franja arbórea en las riberas de la quebrada Grande.

Según el administrador de la finca del CATIE, se han iniciado labores de delimitación sobre esta franja. Como parte de sus planes a corto plazo, se ha decidido eliminar el cultivo caña de azúcar y el de pasturas en los 15 metros adyacentes a la quebrada. Además, en el 2022 se instalaron plantas de *Vochysia* sp. en una de las márgenes de la quebrada.

En este contexto, se destaca la importancia de considerar el *Anacardium excelsum*, una especie autóctona de la región. Dada sus características funcionales, se espera que desempeñe un papel significativo en la recuperación del ecosistema en esa parte de la quebrada. En términos generales, estas medidas permitirán que la vegetación y parte de la fauna nativa regresen gradualmente a la zona con el paso del tiempo, lo que facilitará la creación de un corredor que conecte el jardín botánico con los parches de bosques secundarios.

Acciones para prevenir atropellos de fauna silvestre en la Ruta 10 del CATIE

Según los entrevistados, se han identificado acciones clave para prevenir los atropellos de fauna silvestre en la Ruta Nacional Primaria 10, que atraviesa las instalaciones del CATIE. En primer lugar, se propone la creación de puentes subterráneos o aéreos para permitir el paso seguro de la fauna. Además, se sugiere la instalación de carteles disuasivos e informativos que adviertan a los conductores sobre la presencia de fauna silvestre en la zona. También se considera efectiva la implementación de reductores de velocidad en la vía. Otra acción importante es llevar a cabo monitoreos constantes de los atropellos e -idealmente- realizar seguimientos en diferentes épocas del año, ya que esto puede proporcionar datos relevantes a lo largo del tiempo y las temporadas (Figura 6).

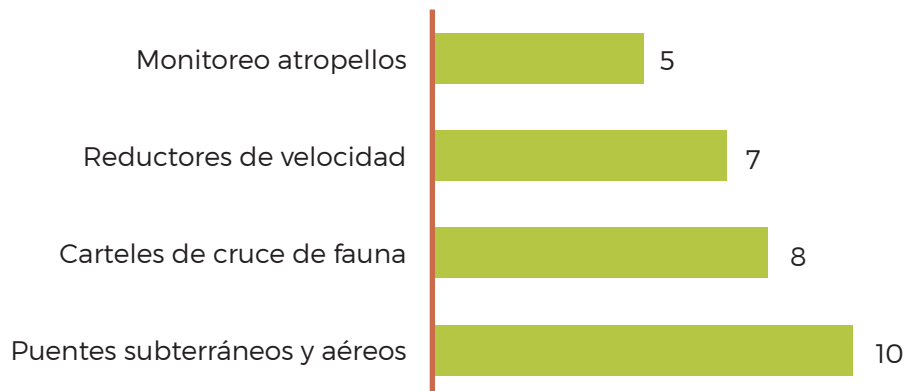


Figura 6. Lista de las acciones más importantes que los entrevistados mencionaron para prevenir los atropellos de fauna silvestre en la Ruta 10⁴

Aunque la creación de puentes para la fauna, la instalación de carteles y la implementación de reductores de velocidad son las medidas más comúnmente sugeridas por los entrevistados, algunos actores destacaron la importancia de fundamentar este conjunto de acciones en estudios previos que identifiquen los “puntos calientes” o las áreas donde los incidentes con la fauna ocurren con mayor frecuencia. De esta manera, se lograría una utilización más eficiente de los recursos económicos y una contribución más directa a la conservación de la fauna presente en el CATIE.

Márquez (2021) llevó a cabo un estudio sobre los atropellos de fauna silvestre en el tramo de la Ruta 10 que atraviesa el CATIE por medio de un total de 16 monitoreos entre septiembre y noviembre de 2019, con una frecuencia de dos veces por semana, que alternaban entre horarios diurnos (de 5 a 7 a. m.) y nocturnos (de 6 a 8 p. m.).

⁴ Otras estrategias menos comunes para prevenir los atropellos de fauna en la Ruta 10 fueron campañas de sensibilización en medios de comunicación, cuantificar población de fauna y establecer barreras físicas para evitar el tránsito de fauna en zonas críticas.

Tabla 5. Resumen de Atropellos (Atrop.) y Avistamientos (Avist.) de fauna silvestre en un tramo de la Ruta Nacional 10, camino de tierra que conduce al jardín botánico del CATIE y vías internas del campus (adaptado de Márquez, 2021)

Fauna vertebrada	Ruta 10		Camino de tierra		Campus	
	Atrop.	Avist.	Atrop.	Avist.	Atrop.	Avist.
Anfibios	59	11	-	11	8	13
Reptiles	3	-	1	-	1	-
Mamíferos	5	3	-	3	-	1
Aves	-	5	-	27	-	48
Total	67	19	1	41	9	62

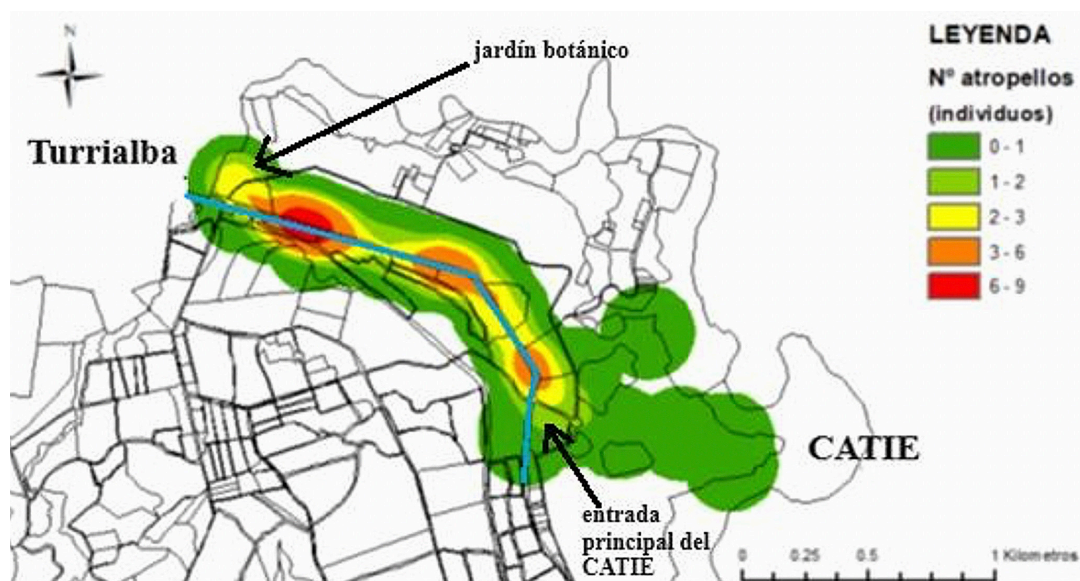


Figura 7. Áreas con alta incidencia de atropellos en un segmento de la Ruta Nacional 10, con la línea azul que indica la ubicación de la carretera (adaptado de Márquez, 2021)

Los hallazgos de Márquez (2021) proporcionan la línea base para la toma de decisiones en favor de la protección de la vida silvestre, a lo que se suma las recomendaciones de los entrevistados. Así, se propone la implementación de un programa de monitoreo de atropellos que se realice al menos dos veces al año: uno durante la temporada seca y otro en la temporada húmeda. Este programa podría contar con la participación de estudiantes, pasantes o visitantes interesados en contribuir a la conservación de la fauna.

Con el objetivo de asegurar la continuidad y efectividad de los monitoreos (atropellos y población de fauna), se sugiere buscar financiamiento y establecer alianzas con organizaciones como Panthera. Esto permitiría capacitar al personal y garantizar los recursos necesarios a largo plazo. La documentación de estos monitoreos sería invaluable para los decisores del CATIE, ya que proporcionaría la información necesaria para tomar medidas adecuadas en beneficio de la fauna.

Esta iniciativa no solo fortalecería el compromiso de la institución con la conservación de la fauna, sino que también serviría como un ejemplo de enfoque ambientalista para la población y los aliados del Centro.

BioCATIE: herramienta de ciencia ciudadana para observación de la biodiversidad

BioCATIE es un proyecto desarrollado en el CATIE que se enfoca en la recopilación y documentación de datos sobre la biodiversidad presente en las áreas del campus y la finca de este Centro. El proyecto utiliza la plataforma en línea y la aplicación móvil iNaturalist para llevar a cabo estas actividades.

En BioCATIE, se invita a personas interesadas, como investigadores, estudiantes, visitantes y cualquier persona que se encuentre en el CATIE, a registrar observaciones de la naturaleza. Estas observaciones pueden incluir plantas, animales, hongos y otros organismos vivos. La plataforma iNaturalist permite a los participantes cargar fotografías de las especies que encuentran y proporcionar información sobre dónde y cuándo se hicieron las observaciones.

Cuando una observación en iNaturalist lleva la etiqueta “research”, significa que ha pasado por un proceso de validación y es considerada una contribución de alta calidad que puede ser utilizada en investigaciones científicas y proyectos relacionados con la biodiversidad y la conservación.

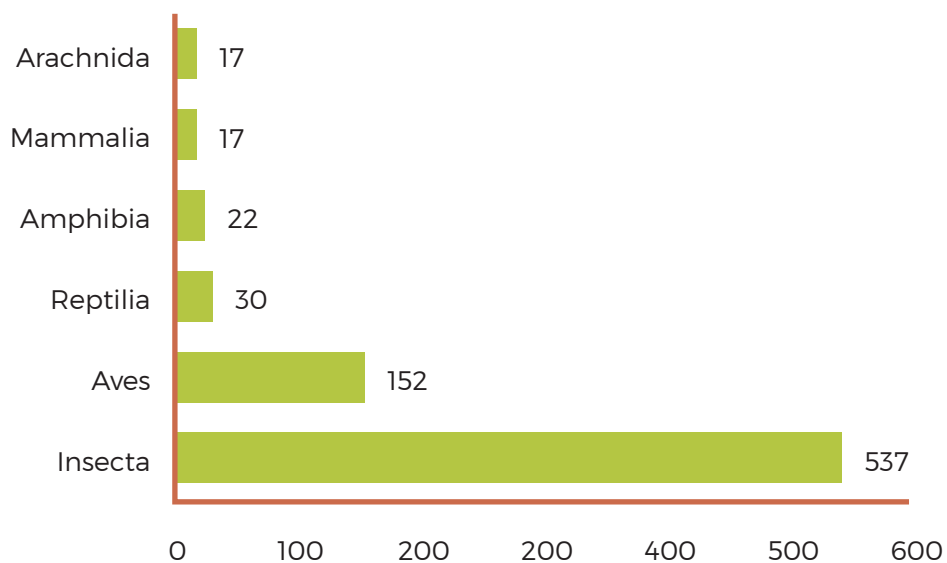


Figura 8. Número de especies registradas con la etiqueta “research” en BioCATIE (2005-2023), organizada por clase

Con esta herramienta (BioCATIE), se puede obtener una aproximación de la diversidad presente en el CATIE, lo cual es útil como fuente de información para estudios de biodiversidad y distribución de especies. Sin embargo, para realizar cálculos poblacionales precisos, generalmente se requiere una metodología más específica, que puede implicar muestreos sistemáticos en el campo, análisis de datos y modelado.

El CATIE cuenta con una valiosa oportunidad para aprovechar al máximo la plataforma BioCATIE, la cual se debe promover de manera aún más activa y fomentar la participación de la ciencia ciudadana entre sus estudiantes de posgrado, profesores, investigadores y el personal que trabaja en la finca y el resto del campus, entre otros. Además, es importante destacar que la mayoría de las observaciones registradas en la plataforma hasta la fecha se concentran en los alrededores del campus y el jardín botánico. En contraste, se ha observado una menor cantidad de registros en áreas como las plantaciones forestales, pasturas, campos de caña de azúcar, bosques secundarios y sistemas agroforestales. Este hecho crea un vacío significativo en la información disponible sobre la biodiversidad presente en estos espacios, que también merece ser documentada y estudiada.



Objetivos de restauración: Percepciones de los participantes

Durante el proceso de investigación se llevaron a cabo entrevistas con diversos actores clave, con el propósito de conocer sus percepciones sobre cuáles deberían ser los objetivos de restauración del paisaje en el CATIE. Las respuestas de los participantes se clasificaron en cuatro categorías principales.

- **Promover la conectividad y restaurar la biodiversidad:** Los participantes expresaron la importancia de enfocar los esfuerzos de restauración en promover la conectividad de los hábitats y la restauración de la biodiversidad. Esta perspectiva resalta la necesidad de crear un entorno donde la fauna y la flora puedan moverse y prosperar, y contribuir así a la salud general del ecosistema.
- **CATIE como finca modelo:** También se enfatizó que el campus del CATIE debería servir como un modelo de referencia en términos de prácticas agrícolas sostenibles y restauración del paisaje. Esto implica no solo la restauración de la biodiversidad, sino también la implementación de enfoques agrícolas y de gestión que sean respetuosos con el medio ambiente y socialmente responsables.
- **Recreación, investigación y educación:** Otros destacaron que los objetivos de restauración del paisaje deberían incluir la creación de espacios para la recreación, la investigación y la educación. Esto sugiere que el CATIE puede desempeñar un papel fundamental como un entorno donde las personas puedan aprender sobre la naturaleza y disfrutar actividades al aire libre, al tiempo que se fomenta la investigación en el campo de la restauración ecológica.
- **Recuperar y mantener los servicios ecosistémicos:** También se resaltó la importancia de restaurar y mantener los servicios ecosistémicos proporcionados por el paisaje del CATIE. Esto incluye la regulación del agua, la polinización, la purificación del aire y otros servicios vitales para el bienestar humano y la salud del ecosistema.

Estas son las percepciones de los actores entrevistados que resaltan la diversidad de objetivos y expectativas con respecto a la restauración del paisaje en el CATIE. Los resultados sugieren que, para lograr un programa de restauración exitoso, es fundamental abordar estas diversas perspectivas y considerar cómo pueden integrarse de manera coherente en un enfoque integral de restauración.

Promover la conectividad y restaurar la biodiversidad aparecen como objetivos principales, y se alinean estrechamente con los principios de conservación de la biodiversidad y restauración ecológica. La visión del CATIE como una finca modelo y la importancia de la recreación, la investigación y la educación sugieren una oportunidad valiosa para destacar el liderazgo del Centro en la promoción de prácticas sostenibles y la difusión del conocimiento.

La recuperación y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos subrayan la relevancia de los servicios que los ecosistemas proporcionan tanto para la comunidad local como para un público más amplio. Estos resultados proporcionan una base sólida para desarrollar estrategias de restauración que aborden estas diversas metas y expectativas, y que –en última instancia– contribuyan a la misión y visión del CATIE como un centro de excelencia en investigación, enseñanza y conservación ambiental.

Ecosistema de referencia para la restauración

Uno de los pasos cruciales en el proceso de restauración implica la identificación de un ecosistema de referencia, el cual desempeñaría un papel fundamental al servir como punto de orientación para la planificación y evaluación del éxito del proyecto. En este sentido, es esencial que el entorno restaurado se asemeje a las condiciones previas a la degradación (Clewel *et al.* 2006, Gann *et al.* 2019).

No obstante, los Estándares de la SER (Sociedad para la Restauración Ecológica) proponen la utilización de un “modelo de referencia” que expande el concepto de ecosistema de referencia para incluir posibles cambios en las condiciones ambientales (Gann *et al.* 2019, Pacheco *et al.* 2023). Estos modelos se construyen a partir de múltiples fuentes de información y la mejor práctica implica la creación de modelos empíricos que se basan en datos específicos de los atributos del ecosistema recopilados en diversos sitios de referencia (Gann *et al.* 2019).

Es importante destacar que la distinción entre sitios de referencia y modelos de referencia puede parecer sutil, pero radica en el hecho de que los sitios son ubicaciones físicas reales, mientras que los modelos de referencia generalmente consisten en conjuntos de información (Pacheco *et al.* 2023).

En el contexto particular del CATIE, se han identificado dos áreas de bosques que, debido a su historia y condición, podrían ser consideradas como sitios de referencia. Estos lugares han sido objeto de numerosas investigaciones a lo largo de varios años, lo que ha permitido documentar la evolución ecológica de estos bosques. Es así como se considera toda esta información como un modelo de referencia, la cual proporciona una idea aproximada de las especies que se puede esperar encontrar en las áreas destinadas a la restauración a través de procesos de sucesión secundaria. A continuación, se detallan algunas de las características distintivas de estos bosques.

El Bosque Los Espaveles es particular y uno de los aportes a la conservación más importantes que tiene el CATIE. Además, junto al resto del área (finca comercial), se perfila como un núcleo para la conservación de la biodiversidad y brindar servicios ecosistémicos (entrevista a experto del CATIE). Adicionalmente, al tratarse de un bosque secundario, constituye un ecosistema en proceso de restauración ecológica por sí mismo.

Este bosque, ubicado en la margen izquierda del río Reventazón y parte de las tierras del CATIE, presenta una interesante diversidad biológica. Asimismo, está compuesto principalmente por áreas de bosque primario y en algunas secciones, bosque secundario.

En el bosque primario, Salcedo (1986) encontró 60 especies por hectárea con un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 20 cm. Sin embargo, este número de especies aumentó a medida que se ampliaba el área de muestreo y se llegó a observar 68 especies de árboles en 1,4 hectáreas. Entre las especies más destacadas en términos de valor de importancia (IVI) se encontraron *Anacardium excelsum*, *Brosimum alicastrum*, *Rollinia microsepala*, *Simarouba amara* y *Nectandra* sp.

Por otro lado, un estudio realizado por Veintimilla *et al.* (2019) en la vertiente caribeña de la cordillera de Talamanca, que incluye parcelas pertenecientes a la zona de Turrialba, evaluó la composición forestal en un rango altitudinal que va desde los 440 hasta los 2950 m s. n. m. El estudio registró la presencia de especies como *Hedyosmum scaberrimum*, *Pourouma bicolor* y *Vochysia allenii* en todas las parcelas dentro del rango altitudinal de 430-1120 m s. n. m., que incluye la zona del CATIE. Además, se identificaron varias especies de palmeras, como *Euterpe precatoria*, *Socratea exorrhiza*, *Welfia regia* e *Iriartea deltoidea*, así como dicotiledóneas como *Garcinia magnifolia*, *Miquartia guianensis* y *Carapa guianensis*, que fueron registradas en el rango de altitud de 430-620 m s. n. m.

En un estudio realizado por Johanning (1987), se observó que el bosque Florencia había avanzado en su proceso de sucesión y se encontraba en una etapa de sucesión secundaria de 50-60 años. Durante esta fase, el bosque presentaba tres estratos medios con alturas que variaban entre 25-35 m, 15-20 m y 8-12 m, respectivamente. Además, se registraba una abundante presencia de bejucos y epífitas, lo que contribuía a su densidad. También se observaba la regeneración de varias especies, que incluían *Lacistema aggregatum*, *Rollinia microsepala*, *Simarouba amara* y *Goethalsia meiantha*.

Con el paso de los años, este bosque continuó su proceso de sucesión. Según Camacho-Calvo *et al.* (2021), se encuentra en una fase de sucesión madura y se destacan *Goethalsia meiantha* y *Celtis schippii* como especies dominantes. Asimismo, el bosque se caracteriza por su alto potencial productivo.

Recientemente, Gálvez (2022) evaluó parcelas permanentes en dicho bosque y registró un total de 2975 individuos, correspondientes a 38 especies y 17 familias. Las familias Meliaceae (18% del total de individuos), Moraceae (13%), Malvaceae y Rutaceae (11%), y las especies *Celtis schippii* (familia Cannabaceae, 23%), *Virola sebifera* (Myristicaceae, 16%), *Simarouba amara* (Simaroubaceae, 8%), *Virola koschnyi* (Myristicaceae, 8%) y *Goethalsia meiantha* (Malvaceae, 6%) fueron las más abundantes y representan la regeneración natural, tanto comercial como potencialmente comercial, en el área de estudio.

En resumen, es crucial comprender que –aunque estos ecosistemas de referencia pueden aportar información sobre las especies que podrían indicar el éxito de un proyecto de restauración– el enfoque debe ser mucho más amplio. Es fundamental reconocer que los ecosistemas naturales son dinámicos y están en constante cambio, lo que significa que los resultados de un proyecto pueden no coincidir exactamente con las condiciones pasadas. En lugar de centrarse exclusivamente en replicar el pasado, es más sensato orientar los esfuerzos hacia objetivos que busquen mejorar la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático y otros desafíos, lo que se alinea con las perspectivas más actuales en el campo de la restauración ecológica (Hobbs y Harris 2001).

En cuanto a la conectividad entre los bosques Los Espaveles y Florencia –a pesar de las barreras actuales, como campos de caña de azúcar, pastizales, sistemas agroforestales, plantaciones forestales y zonas urbanas, que incluyen la Ruta Nacional 10, edificios académicos y complejos de apartamentos–, la identificación y planificación de corredores ecológicos, como se mencionó, ofrecen una oportunidad valiosa para unir estos dos bosques y mejorar la conectividad del paisaje en el campus del CATIE. De acuerdo con las recomendaciones de los entrevistados, estos corredores pueden ser un paso importante hacia la creación de un entorno que promueva la biodiversidad y brinde servicios ecosistémicos, y contribuir así al bienestar tanto de la comunidad local como del ecosistema en general.

The image shows a rural landscape with rolling green hills under a cloudy sky. In the foreground, there is a field of tall grass. A fence line runs across the middle ground. Several trees are scattered across the hills, and a small white house is visible on the left. The entire scene is overlaid with a semi-transparent green filter and a white rounded rectangular frame. The word "Conclusiones" is written in white, sans-serif font across the center of the frame.

Conclusiones

El paisaje estudiado se distingue por su diversidad de usos del suelo, con una predominancia de bosques, seguido de áreas de caña de azúcar, pastizales, zonas urbanas y plantaciones forestales, entre otros. Un dato relevante es el valor del SIDI, calculado en 0.8, lo que señala una notable fragmentación del paisaje.

La implementación de cercas vivas en los caminos internos de la finca y el aumento de la cobertura de árboles en el campus se presentan como estrategias fundamentales para conservar, proteger y mejorar el entorno, lo que ayudará a la sostenibilidad ambiental. Además, la colaboración con la comunidad local resulta esencial para abordar aspectos productivos, sociales y ambientales de una manera inclusiva y efectiva. Asimismo, establecer políticas ambientales específicas, que incluyan la gestión del agua, la biodiversidad y el uso de energía, reflejaría el compromiso del CATIE con la sostenibilidad.

Un desafío clave es mejorar la comunicación efectiva y la coordinación entre los diferentes actores dentro del CATIE, para evitar decisiones fragmentadas y esfuerzos aislados. De igual forma, la colaboración y comprensión mutua entre investigadores y personal de administración deben ser fortalecidas para avanzar hacia una gestión más eficiente de los usos del suelo, que caracterice y valore los servicios ecosistémicos que este campus brinda a la sociedad.

En cuanto a la restauración, se destaca la importancia de enfocarse en la recuperación de las márgenes de la quebrada Grande, con el propósito de mejorar su salud, aumentar la biodiversidad y contribuir a la protección de un recurso hídrico vital. De igual manera, establecer un corredor arbóreo a lo largo del camino interno de la finca y la creación de un corredor de árboles a lo largo de la Ruta 10, desde la entrada principal del CATIE hasta el Hospital William Allen Taylor, es una propuesta prometedora en términos de belleza paisajística, sombra y fomento de la biodiversidad, aunque se requiere una planificación detallada en términos de especies y configuración.

La implementación de medidas para prevenir atropellos de fauna, como puentes subterráneos o aéreos, carteles informativos y reductores de velocidad, es esencial. Además, el seguimiento constante de estos incidentes a lo largo del tiempo brindará información valiosa para la evaluación y adaptación de dichas medidas.

El CATIE, como institución, debe desempeñar un rol destacado como modelo de referencia en términos de prácticas agrícolas sostenibles y restauración del paisaje. Esto implica no solo la restauración de la biodiversidad, sino también la adopción de enfoques productivos y de gestión respetuosos con el ambiente y socialmente responsables. Esta posición de liderazgo refuerza la promoción de prácticas sostenibles.

Finalmente, los bosques Los Espaveles y Florencia representan ecosistemas de referencia importantes para la restauración en el CATIE. Además, proporcionan información valiosa sobre la diversidad de especies, la composición forestal y la evolución de los paisajes a lo largo del tiempo, y se han establecido como pilares fundamentales para los esfuerzos de restauración y la conservación de la biodiversidad en la zona.





Bibliografía

- Aguirre Aste, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 132 p.
- Aryal, DR; Morales-Ruiz, DE; López-Cruz, S; Tondopó-Marroquín, CN; Lara Nucamendi, A; Jiménez-Trujillo, JA; Pérez-Sánchez, E; Betanzos-Simon, JE; Casasola-Coto, F; Martínez-Salinas, A; Sepúlveda-López, CJ; Ramírez-Díaz, R; La O Arias, MA; Guevara-Hernández, F; Pinto-Ruiz, R; Ibrahim, M. 2022. Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock dominated landscapes in Mexico (en línea). *Scientific Reports* 12(1):1-18. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21089-4>.
- Camacho-Calvo, M; Delgado-Rodríguez, D; Valera Mejías, V; Serrano-Molina, J. 2021. Potencial productivo de cuatro bosques secundarios en América Central y pautas para su manejo silvícola. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 30 p. (Serie Técnica). Informe técnico n.º 427.
- Canet-Desanti, L; Finegan, B; Bouroncle, C; Gutiérrez, I; Herrera, B. 2009. El monitoreo de la efectividad del manejo de corredores biológicos. Una herramienta basada en la experiencia de los comités de gestión en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* (54):51-58.
- Chacón, ML; Harvey, CA. 2006. Live fences and landscape connectivity in a neotropical agricultural landscape. *Agroforestry Systems* 68(1):15-26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-005-5831-5>.
- Clewell, AF; Aronson, J. 2006. Motivations for the restoration of ecosystems. *Conservation Biology* 20(2):420-428. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.15231739.2006.00340.x>.
- de Melo Virgínio Filho, E; Somarriba, E; Cerda, R; Casanoves, F; Cordero, CA; Avelino, J; Roupsard, O; Rapidel, B; Vaast, P; Harmand, J-M; Staver, C; Beer, J; Mora, A; Morales, VH; Fonseca, C; Vargas, VJ; Ramírez, LG; Soto, G; Isaac, ME; Durán Umaña, L; Tapia Fernández, AC; Romero, LF; Gómez, RL; Gamboa, H; Diniz, P; Viu Serrano, JO; Pires Bezerra, L; Menezes de Souza, Z; Caicedo, C; Pico, J; Montagnini, F; Haggard, J. 2021. Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café.
- Díaz-Bravo, L; Torruco-García, U; Martínez-Hernández, M; Varela-Ruiz, M. 2013. La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica* 2(7):162-167. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72706-6](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72706-6).
- Estrada-Carmona, N; Martínez-Salinas, A; DeClerck, FAJ; Vilchez-Mendoza, S; Garbach, K. 2019. Managing the farmscape for connectivity increases conservation value for tropical bird species with different forest-dependencies (en línea). *Journal of Environmental Management* 250(September):109504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109504>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2022. FAO: La nueva Década de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas es una oportunidad inigualable para crear empleo, mejorar la seguridad alimentaria y abordar el cambio climático (en línea). Consultado 18 may. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/news/story/es/item/1183553/icode/>.

- Galarza Rosero, P. 1960. Selección de algunas especies forestales a base de su crecimiento y regeneración natural. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 136 p.
- Gálvez Cusiquispe P. 2022. Impactos del manejo forestal en la regeneración natural y el contenido de carbono en biomasa aérea: Estudio de caso de bosque primario de segunda cosecha y un bosque secundario en Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 55 p.
- Gann, GD; McDonald, T; Walder, B; Aronson, J; Nelson, CR; Jonson, J; Hallett, JG; Eisenberg, C; Guariguata, MR; Liu, J; Hua, F; Echeverría, C; Gonzales, E; Shaw, N; Decler, K; Dixon, KW. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27(S1):S1-S46. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Hanski, I. 2015. Habitat fragmentation and species richness. *Journal of Biogeography* 42(5):989-993. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.12478>.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Sinclair, FL. 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111(1-4):200-230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.011>.
- Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C; Baptista Lucio, P. 2018. Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana México.
- Hobbs, RJ; Harris, JA. 2001. Restoration ecology: Repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology* 9(2):239-246. ISSN 10612971. DOI: 10.1046/j.1526-100X.2001.009002239.x.
- Isbell, F; Tilman, D; Polasky, S; Loreau, M. 2015. The biodiversity-dependent ecosystem service debt. *Ecology Letters* 18(2):119-134. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12393>.
- Johanning San Román, L. 1987. Observaciones fenológicas en un bosque secundario premontano muy húmedo en Turrialba, Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 196 p.
- Ley Forestal n.º 7575. Art. 3. Diario Oficial La Gaceta. Costa Rica. 16 abr. 1996.
- Llausàs, A; Nogué, J. 2012. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. *Ecological Indicators* 15(1):85-91. ISSN 1470160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.08.016.
- Mace, GM; Norris, K; Fitter, AH. 2012. Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution* 27(1):19-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>.
- Makwana, D; Engineer, P; Dabhi, A; Hardik, C. 2023. Sampling Methods in Research: A Review (en línea). *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)* 7(3):762-768. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/371985672>.

- Márquez Noguera, M. 2021. Estudio de la siniestralidad de fauna silvestre y propuesta de medidas correctoras para el paso de fauna en el CATIE y un tramo de la Ruta Nacional 10, Turrialba, Costa Rica. Tesis Lic. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 114 p.
- Martínez-Salinas, A; DeClerck, F; Vierling, K; Vierling, L; Legal, L; Vílchez-Mendoza, S; Avelino, J. 2016. Bird functional diversity supports pest control services in a Costa Rican coffee farm. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 235:277-288.
- Mashuri, S; Sarib, M; Rasak, A; Alhabsyi, F. 2022. Semi-structured interview: a methodological reflection on the development of a qualitative research instrument in educational studies (en línea). *Journal of Research and Method in Education* 12(1):22-29. DOI: <https://doi.org/10.9790/7388-1201052229>.
- McGarigal, K; FRAGSTATS help. 2014. University of Massachusetts, Amherst, MA, EE. UU. 182 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press.
- Mitchell, MGE; Bennett, EM; González, A. 2013. Linking Landscape Connectivity and Ecosystem Service Provision: Current Knowledge and Research Gaps. *Ecosystems* 16(5):894-908. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>.
- Morán-Ordóñez, A; Hermoso, V; Martínez-Salinas, A. 2022. Multi-objective forest restoration planning in Costa Rica: Balancing landscape connectivity and ecosystem service provisioning with sustainable development. *Journal of environmental management* 310:114717.
- Morantes-Toloza, JL; Renjifo, LM. 2018. Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical* 66(2):739. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33405>.
- ONF (Oficina Nacional Forestal, Costa Rica) 2013. *Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables*. Costa Rica. 33 p.
- Otzen, T; Manterola, C. 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* 35(1):227-232. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>.
- Peñaranda González, LV; Montenegro Gómez, SP; Abad Giraldo, AP. 2017. Aprovechamiento de residuos agroindustriales / Exploitation of agroindustrial waste in Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 8(2):141-150.
- Pérez-García, O; Benjamin, TJ; Tobar, DE. 2018. Los agroecosistemas cafetaleros modernos y su relación con la conservación de mariposas en paisajes fragmentados. *Revista de Biología Tropical* 66(1):394-402. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.29013>.

- Polón Pérez R; Ruiz Sánchez, M; Morales Guevara, D; Jerez Mompié, E; Ramírez Arrebató, MÁ; Maqueira López, L. 2011. Principales beneficios que se alcanzan con la práctica adecuada del drenaje agrícola. *Cultivos Tropicales* 32(2):5260.
- Rudnick, D; Ryan, SJ; Beier, P; Dieffenbach, F. 2012. University of New Hampshire Scholars' Repository. The Role of Landscape Connectivity in Planning and Implementing Conservation and Restoration Priorities. *Issues in Ecology* (16).
- Salas Juárez L. 2022. Evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y el potencial de captura de carbono en sistemas de pasto Cayman (*Urochloa* híbrido CIAT BRO2/1752) en monocultivo y en asocio con leñosas forrajeras en la zona húmeda de Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 42 p.
- Salcedo Calero, G. 1986. Estudio ecológico y estructural del bosque "Los Espaveles" Turrialba, Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 147 p.
- Sánchez-Herrera, D; Houbron, E; Alzate, L; Valdés-Rodríguez, OA; Sánchez-Sánchez, O. 2017. Potencial del uso del rastrojo de la caña de azúcar (*saccharum* spp.) para producción de biogás (en línea). *Agroproductividad* 10(11):112-115.
- Sarstedt, M; Bengart, P; Shaltoni, AM; Lehmann, S. 2018. The use of sampling methods in advertising research: a gap between theory and practice (en línea). *International Journal of Advertising* 37(4):650-663. DOI: <https://doi.org/10.1080/02650487.2017.1348329>.
- Stanturf, JA; Kleine, M; Mansourian, S; Parrotta, J; Madsen, P; Kant, P; Burns, J; Bolte, A. 2019. Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach. *Annals of Forest Science* 76(2):50-70. ISSN 1297966X. DOI: 10.1007/s13595-019-0833-z.
- Tscharntke, T; Klein, AM; Kruess, A; Steffan-Dewenter, I; Thies, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - Ecosystem service management. *Ecology Letters* 8(8):857-874. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.14610248.2005.00782.x>.
- Veintimilla, D; Ngo Bieng, MA; Delgado, D; Vílchez-Mendoza, S; Zamora, N; Finegan, B. 2019. Drivers of tropical rainforest composition and alpha diversity patterns over a 2,520 m altitudinal gradient. *Ecology and Evolution* 9(10):5720-5730. ISSN 20457758. DOI: 10.1002/ece3.5155.
- Villalobos, R; Delgado, D; Chaves, E. 2020. Restauración de Paisajes Forestales. Manual para la formación de formadores. Turrialba, Costa Rica, GIZ, Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 211 p. Disponible en <https://restauracionforestal.catie.ac.cr/>.
- Zatelli, P; Gobbi, S; Tattoni, C; Cantiani, MG; La Porta, N; Rocchini, D; Zorzi, N; Ciolli, M. 2019. Relevance of the cell neighborhood size in landscape metrics evaluation and free or open-source software implementations. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(12):586-607. ISSN 22209964. DOI: 10.3390/ijgi8120586.



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



Tel. + (506) 2558-2000



comunica@catie.ac.cr



Sede Central, CATIE
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica