

Artículo Original

Distribución, abundancia y estado de conservación de especies vegetales amenazadas en paisajes agrícolas

Distribution, abundance, and conservation status of threatened plant species in agricultural landscapes

Javier Ramón Sotomayor Castellanos^{1*}  

¹*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán-México*

***Autor de correspondencia:** Javier Ramón Sotomayor Castellanos 

Recibido: 10-01-2025

Revisado: 17-01-2025

Aceptado: 24-01-2025

Publicado: 31-01-2025

Cómo citar este artículo: [Sotomayor Castellanos, J. R. (2025). Distribución, abundancia y estado de conservación de especies vegetales amenazadas en paisajes agrícolas. *Viterra*, 3(1), 1-35. <https://viterra.diginova.pro/index.php/viterra/article/view/14>

RESUMEN

La transformación de los ecosistemas naturales como consecuencia de la expansión e intensificación agrícola constituye una de las principales amenazas para la diversidad vegetal. Sin embargo, los paisajes productivos pueden mantener remanentes de vegetación, corredores ecológicos, cercas vivas y otros elementos capaces de proporcionar hábitats para especies vegetales amenazadas. El objetivo de la investigación fue analizar la distribución, abundancia y estado de conservación de especies vegetales amenazadas presentes en paisajes agrícolas con diferentes niveles de transformación. Se evaluaron 24 unidades de paisaje clasificadas en tres categorías de intensidad agrícola: baja, media y alta. El muestreo florístico fue desarrollado mediante 120 parcelas distribuidas proporcionalmente entre las unidades de estudio. Para cada especie amenazada se registraron presencia, abundancia, frecuencia, densidad, estructura poblacional y características del hábitat. La configuración espacial fue analizada mediante sistemas de información geográfica y métricas relacionadas con cobertura natural, tamaño de fragmentos, densidad de bordes, aislamiento y conectividad. Se registraron 2.846 individuos pertenecientes a 32 especies vegetales incluidas dentro de diferentes categorías de amenaza. Los paisajes con baja intensidad agrícola presentaron una riqueza promedio de 18,6 especies amenazadas por unidad, frente a 13,2 en los paisajes de intensidad media y 7,8 en aquellos con elevada transformación. La abundancia promedio disminuyó desde 168,4 hasta 72,7 individuos por unidad. La cobertura de vegetación natural presentó una correlación positiva con la riqueza ($r = 0,81$; $p < 0,001$), mientras que el aislamiento mostró una asociación negativa ($r = -0,76$; $p < 0,001$). Los modelos estadísticos demostraron que la cobertura natural, conectividad y heterogeneidad del paisaje explicaron el 79,4 % de la variabilidad observada dentro de la riqueza de especies amenazadas. Se concluye que los paisajes agrícolas mantienen poblaciones relevantes para la conservación vegetal, pero el incremento de la intensificación, fragmentación y aislamiento reduce significativamente su riqueza, abundancia y capacidad de regeneración. La conservación de remanentes naturales, corredores ecológicos y matrices productivas diversificadas constituye una estrategia fundamental para proteger las especies vegetales amenazadas dentro de territorios agrícolas.

Palabras clave: biodiversidad; conservación vegetal; especies amenazadas; fragmentación; paisajes agrícolas; vegetación.

ABSTRACT

The transformation of natural ecosystems resulting from agricultural expansion and intensification constitutes one of the main threats to plant diversity. However, productive landscapes may retain vegetation remnants, ecological corridors, hedgerows, and other elements capable of providing habitats for threatened plant species. The objective of this research was to analyse the distribution, abundance, and conservation status of threatened plant species occurring in agricultural landscapes with different levels of transformation. Twenty-four landscape units classified into three agricultural intensity categories—low, medium, and high—were evaluated. Floristic sampling was conducted using 120

plots proportionally distributed among the study units. For each threatened species, presence, abundance, frequency, density, population structure, and habitat characteristics were recorded. Spatial configuration was analysed using geographic information systems and metrics related to natural vegetation cover, fragment size, edge density, isolation, and connectivity. A total of 2,846 individuals belonging to 32 plant species included in different threat categories were recorded. Low-intensity agricultural landscapes presented an average richness of 18.6 threatened species per unit, compared with 13.2 in medium-intensity landscapes and 7.8 in highly transformed landscapes. Mean abundance decreased from 168.4 to 72.7 individuals per unit. Natural vegetation cover was positively correlated with species richness ($r = 0.81$; $p < 0.001$), whereas isolation showed a negative association ($r = -0.76$; $p < 0.001$). Statistical models demonstrated that natural vegetation cover, connectivity, and landscape heterogeneity explained 79.4% of the variability observed in threatened species richness. It is concluded that agricultural landscapes maintain plant populations relevant to conservation; however, increasing intensification, fragmentation, and isolation significantly reduce their richness, abundance, and regeneration capacity. The conservation of natural remnants, ecological corridors, and diversified productive matrices constitutes a fundamental strategy for protecting threatened plant species within agricultural territories.

Keywords: agricultural landscapes; biodiversity; fragmentation; plant conservation; threatened species; vegetation.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Botanic Gardens Conservation International (BGCI, 2019), la diversidad vegetal constituye uno de los principales componentes del patrimonio biológico mundial y desempeña funciones esenciales para el mantenimiento de los ecosistemas y el bienestar de las sociedades humanas. Las especies vegetales participan activamente en procesos relacionados con la producción primaria, regulación climática, conservación del suelo, ciclos hidrológicos, almacenamiento de carbono y mantenimiento de múltiples interacciones ecológicas. Además de su importancia ambiental, las plantas proporcionan alimentos, medicamentos, fibras, combustibles y materias primas indispensables para numerosas actividades económicas y sociales. En este contexto, la conservación de la diversidad vegetal representa un componente fundamental para mantener la estabilidad ecológica, garantizar la provisión de servicios ecosistémicos y promover modelos de desarrollo sostenible capaces de satisfacer las necesidades humanas sin comprometer la disponibilidad futura de los recursos naturales.

Sin embargo, las poblaciones vegetales se encuentran sometidas a crecientes presiones derivadas principalmente de las actividades humanas. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) identifican la pérdida y transformación de los hábitats, expansión de las fronteras agrícolas, fragmentación del paisaje, urbanización, sobreexplotación de los recursos naturales, contaminación, introducción de especies invasoras y cambio climático constituyen algunas de las principales amenazas para la conservación de la flora. Estos procesos pueden modificar la distribución y abundancia de las especies, reducir el tamaño de las poblaciones y alterar los mecanismos naturales de regeneración. La acumulación de estas presiones resulta especialmente preocupante para aquellas especies caracterizadas por distribuciones geográficas restringidas, poblaciones pequeñas o requerimientos ecológicos especializados, debido a que presentan una menor capacidad para responder frente a las modificaciones ambientales.

La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza constituye una de las principales herramientas internacionales utilizadas para evaluar el riesgo de extinción de las especies. La aplicación de criterios relacionados con el tamaño poblacional, distribución geográfica, reducción de las poblaciones y probabilidad de extinción permite establecer diferentes categorías de amenaza y proporcionar información relevante para orientar las acciones de conservación (IUCN, 2021). Sin embargo, la identificación y clasificación de las especies amenazadas representa solamente una primera etapa dentro del proceso de protección de la biodiversidad. Para establecer estrategias efectivas resulta necesario conocer la distribución espacial de las poblaciones, abundancia de individuos, estructura demográfica, capacidad de regeneración, características de los hábitats y principales amenazas existentes dentro de los territorios donde se encuentran las especies.

La expansión de las actividades agrícolas constituye uno de los principales procesos relacionados con la transformación de los ecosistemas naturales. Como explican Sztár et al. (2023), la conversión de bosques, matorrales y pastizales en

áreas destinadas a la producción agrícola y pecuaria puede generar pérdida de hábitats y disminución progresiva de las poblaciones vegetales. Asimismo, la intensificación agrícola modifica las características estructurales de los paisajes mediante la expansión de monocultivos, eliminación de remanentes naturales, utilización intensiva de agroquímicos y reducción de la heterogeneidad territorial. No obstante, los efectos de las actividades agrícolas sobre la biodiversidad pueden variar según la intensidad productiva, estructura y configuración del paisaje, prácticas de manejo implementadas y características ecológicas particulares de las especies presentes dentro de los territorios.

Los paisajes agrícolas no constituyen necesariamente espacios completamente desprovistos de biodiversidad. Dentro de estos territorios pueden mantenerse fragmentos de vegetación natural, corredores ribereños, cercas vivas, bordes de cultivos, árboles dispersos y áreas en diferentes etapas de regeneración. Estos elementos pueden proporcionar hábitats, refugios y recursos importantes para numerosas especies vegetales y animales. Deák et al. (2020) analizaron las relaciones existentes entre los paisajes agrícolas y la conservación de la biodiversidad, demostrando que la estructura y heterogeneidad territorial pueden influir significativamente sobre la capacidad de los sistemas productivos para mantener comunidades biológicas. Los paisajes diversificados pueden proporcionar una mayor variedad de condiciones ambientales y microhábitats capaces de favorecer la permanencia de especies con diferentes requerimientos ecológicos, mientras que la simplificación territorial provocada por la expansión de monocultivos y eliminación de elementos naturales puede disminuir considerablemente las posibilidades de supervivencia de las especies más sensibles.

La modificación del paisaje y la fragmentación de los hábitats constituyen procesos estrechamente relacionados con la pérdida de biodiversidad. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) destacan que la transformación territorial modifica simultáneamente la cantidad, calidad y configuración espacial de los hábitats disponibles. La fragmentación puede dividir áreas naturales originalmente continuas en remanentes pequeños y aislados, generando modificaciones dentro de las condiciones ambientales y la dinámica de las poblaciones. Las especies vegetales pueden presentar diferentes respuestas frente a estos procesos. Mientras determinadas especies generalistas poseen capacidad para sobrevivir dentro de pequeños fragmentos, bordes y áreas perturbadas, las especies especializadas pueden necesitar condiciones ambientales específicas y presentar una mayor sensibilidad frente a las transformaciones del territorio.

La reducción del tamaño de los fragmentos naturales puede disminuir la disponibilidad de espacios adecuados para mantener poblaciones viables, mientras que el incremento del aislamiento puede limitar los procesos de dispersión de semillas y polen. Según *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), la disminución de la conectividad entre las poblaciones también puede generar efectos genéticos relacionados con endogamia y pérdida progresiva de diversidad genética. Sin embargo, los efectos de la fragmentación dependen igualmente de las características de las matrices agrícolas circundantes. Los sistemas productivos diversificados pueden presentar una mayor permeabilidad para determinados procesos ecológicos, mientras que las matrices agrícolas intensivas pueden actuar como barreras que dificultan el desplazamiento, dispersión y establecimiento de las especies.

Los estudios sobre diversidad vegetal desarrollados dentro de paisajes agrícolas demuestran que incluso los fragmentos naturales pequeños pueden conservar componentes importantes de la flora. Las investigaciones relacionadas con pastizales secos fragmentados han mostrado que los remanentes pueden mantener componentes únicos de diversidad taxonómica y filogenética (Deák et al., 2020). Estos resultados demuestran que el valor de conservación de los fragmentos naturales no depende exclusivamente de su tamaño, debido a que incluso áreas relativamente pequeñas pueden albergar especies raras o amenazadas ausentes dentro de otros elementos del paisaje. Sin embargo, la capacidad de estos fragmentos para mantener poblaciones vegetales a largo plazo depende de diferentes factores relacionados con la abundancia de individuos, estructura demográfica, regeneración, conectividad y calidad de los hábitats.

El tamaño poblacional constituye un indicador fundamental para evaluar el estado de conservación de las especies vegetales. Las directrices de la IUCN (2021) señalan que las poblaciones pequeñas pueden presentar una mayor vulnerabilidad frente a eventos ambientales extremos, alteraciones demográficas y pérdida de diversidad genética. La abundancia de individuos proporciona información importante sobre la situación de las poblaciones, debido a que una

especie puede encontrarse presente dentro de diferentes fragmentos y, sin embargo, mantener cantidades extremadamente reducidas de individuos. Por esta razón, los estudios orientados a la conservación necesitan analizar simultáneamente la presencia, distribución y abundancia de las especies para establecer con mayor precisión su situación dentro de los territorios evaluados.

La estructura demográfica proporciona información adicional sobre las posibilidades de permanencia de las poblaciones a largo plazo. Las poblaciones caracterizadas por la presencia de individuos adultos y ausencia de plántulas o juveniles pueden experimentar importantes problemas de regeneración. Aunque los ejemplares adultos permanezcan temporalmente dentro del paisaje, la continuidad futura de estas poblaciones puede encontrarse comprometida. En concordancia con la IUCN (2021), la evaluación de la regeneración constituye un componente fundamental para analizar el estado de conservación de las especies vegetales amenazadas. Los cambios dentro de las condiciones ambientales pueden afectar la germinación, establecimiento y supervivencia de las plantas jóvenes, mientras que la intensificación agrícola puede modificar las características del suelo, disponibilidad de agua y condiciones microclimáticas. Asimismo, actividades como el pastoreo, pisoteo, incendios y utilización de herbicidas pueden limitar significativamente los procesos naturales de regeneración.

Los efectos de la fragmentación sobre la diversidad vegetal también dependen del nivel de especialización ecológica de las especies. Las investigaciones han demostrado que las respuestas frente a la fragmentación pueden variar considerablemente entre especies generalistas y especialistas de hábitat (Yan et al., 2022). Las especies especializadas pueden presentar requerimientos ecológicos restringidos y menor capacidad para sobrevivir dentro de matrices agrícolas intensificadas, mientras que determinadas especies generalistas pueden utilizar diferentes tipos de hábitats y presentar una mayor tolerancia frente a las perturbaciones. Estas diferencias resultan fundamentales para evaluar el estado de conservación de la flora amenazada, debido a que las estrategias de protección necesitan reconocer que las especies responden de manera diferente frente a los cambios territoriales y requieren medidas adaptadas a sus características ecológicas.

La Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales establece objetivos relacionados con el conocimiento, protección, utilización sostenible, educación y fortalecimiento institucional (BGCI, 2019). Estos lineamientos reconocen la necesidad de conservar las especies tanto dentro como fuera de las áreas protegidas, considerando que una proporción significativa de la biodiversidad mundial se encuentra distribuida dentro de territorios productivos y paisajes modificados. Por esta razón, los espacios agrícolas necesitan incorporarse dentro de las estrategias contemporáneas de conservación, debido a que las medidas exclusivamente fundamentadas en áreas protegidas pueden resultar insuficientes para garantizar la permanencia de especies distribuidas dentro de territorios ampliamente transformados.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica ha destacado igualmente la importancia de desarrollar acciones globales destinadas a disminuir la pérdida de diversidad vegetal (BGCI, 2019). Estas acciones necesitan integrar estrategias de conservación in situ, conservación ex situ, restauración ecológica y utilización sostenible de los recursos naturales. La conservación in situ permite mantener las especies dentro de sus ambientes naturales y conservar los procesos ecológicos y evolutivos asociados con sus poblaciones. Sin embargo, determinadas especies caracterizadas por poblaciones pequeñas y elevados niveles de amenaza pueden requerir medidas complementarias. En estos casos, la conservación ex situ mediante bancos de semillas, jardines botánicos y colecciones especializadas puede proporcionar mecanismos adicionales de seguridad frente a la desaparición de las poblaciones naturales.

Las estrategias nacionales e internacionales de conservación vegetal destacan la importancia de identificar las especies amenazadas, evaluar sus poblaciones y proteger los hábitats necesarios para garantizar su supervivencia. La Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales subraya que el conocimiento de la distribución constituye un componente fundamental para establecer prioridades de conservación, especialmente considerando que las especies con distribuciones restringidas pueden presentar una mayor vulnerabilidad frente a los cambios territoriales. Dentro de los paisajes agrícolas, determinadas especies pueden encontrarse concentradas exclusivamente dentro de fragmentos naturales, mientras que otras pueden utilizar bordes, sistemas agroforestales, áreas de regeneración o

cercas vivas. La identificación de estos patrones permite determinar cuáles elementos territoriales presentan mayor importancia para la conservación y establecer acciones específicas de protección y restauración.

Los sistemas de información geográfica y las herramientas de análisis espacial proporcionan nuevas posibilidades para estudiar la distribución de las especies vegetales. La integración de los datos obtenidos mediante trabajo de campo con imágenes satelitales permite relacionar la presencia y abundancia de las poblaciones con las características estructurales del paisaje. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) muestran que las métricas relacionadas con cobertura natural, tamaño de fragmentos, densidad de bordes, aislamiento y conectividad pueden proporcionar información relevante sobre los factores asociados con la presencia y permanencia de las especies. El análisis espacial resulta especialmente importante dentro de paisajes agrícolas debido a su elevada heterogeneidad, debido a que estos territorios pueden presentar mosaicos constituidos por cultivos, pastizales, bosques, vegetación secundaria, sistemas agroforestales y asentamientos humanos.

La heterogeneidad del paisaje puede incrementar la variedad de hábitats disponibles y proporcionar refugios que favorezcan la permanencia de determinadas especies. La agricultura tradicional y los sistemas productivos diversificados pueden mantener elementos importantes para la conservación de la biodiversidad. Los sistemas agroforestales, cercas vivas y cultivos asociados pueden presentar una mayor diversidad biológica que los monocultivos intensivos. Sin embargo, la presencia ocasional de especies amenazadas dentro de estos territorios no garantiza necesariamente la existencia de poblaciones viables. Por esta razón, los estudios necesitan analizar conjuntamente la abundancia, estructura poblacional y capacidad de regeneración para determinar las posibilidades reales de permanencia de las especies.

La evaluación del estado de conservación puede desarrollarse mediante la combinación de diferentes indicadores ecológicos. La riqueza permite determinar el número de especies amenazadas presentes dentro de los territorios; la abundancia proporciona información sobre el tamaño de las poblaciones; la frecuencia permite evaluar su distribución dentro de las unidades de muestreo; la densidad expresa el número de individuos existentes por unidad de superficie; y la estructura demográfica permite analizar la representación de plántulas, juveniles y adultos. La combinación de estos indicadores proporciona una evaluación más completa que la utilización aislada de la riqueza de especies, debido a que dos paisajes pueden presentar el mismo número de especies amenazadas, pero mantener poblaciones con abundancias, distribuciones y estructuras demográficas completamente diferentes.

Las categorías de amenaza establecidas mediante los criterios descritos por la IUCN (2021) proporcionan igualmente información relevante para establecer prioridades de conservación. Las especies clasificadas como Vulnerables, En Peligro y En Peligro Crítico presentan diferentes niveles de riesgo y necesidades particulares de intervención. La distribución de estas categorías dentro de los paisajes agrícolas puede permitir identificar territorios prioritarios, especialmente cuando determinadas áreas mantienen poblaciones de especies altamente amenazadas. La integración entre las categorías internacionales de amenaza y la información ecológica obtenida directamente dentro de los territorios puede contribuir al establecimiento de estrategias de conservación más precisas.

Deák et al. (2020) plantean que la conservación dentro de paisajes agrícolas necesita integrar diferentes escalas territoriales. A escala local resulta necesario proteger las poblaciones y microhábitats donde permanecen las especies amenazadas; a escala de paisaje se requiere mantener cobertura natural, conectividad y heterogeneidad territorial; mientras que a escala regional resulta necesario desarrollar redes ecológicas, políticas de ordenamiento territorial y estrategias capaces de integrar producción y conservación. Las acciones también necesitan considerar las actividades económicas y necesidades de las comunidades rurales, debido a que la protección de especies dentro de propiedades agrícolas requiere necesariamente la participación de agricultores, productores y propietarios de las tierras.

Las medidas exclusivamente restrictivas pueden generar conflictos y presentar dificultades para mantenerse a largo plazo. Por el contrario, la implementación de incentivos destinados a conservar fragmentos naturales, desarrollar actividades de restauración y adoptar prácticas productivas sostenibles puede contribuir a integrar la producción agrícola con la protección de la biodiversidad. La educación ambiental y asistencia técnica también representan componentes fundamentales. Los agricultores pueden desempeñar un papel importante dentro de los procesos de

identificación, monitoreo y protección de especies, mientras que el conocimiento local puede proporcionar información relacionada con la distribución histórica, usos tradicionales y cambios experimentados por las poblaciones vegetales. La integración entre el conocimiento científico y la experiencia de las comunidades puede fortalecer significativamente las estrategias de conservación.

A pesar de los avances relacionados con la evaluación de la biodiversidad, continúa existiendo una necesidad de investigaciones empíricas orientadas específicamente a analizar las especies vegetales amenazadas dentro de paisajes agrícolas. Una proporción importante de los estudios se concentra dentro de áreas naturales o analiza la diversidad vegetal total. Sin embargo, las especies amenazadas pueden presentar respuestas diferentes frente a la transformación territorial, por lo que la identificación de los factores relacionados con su distribución y abundancia resulta fundamental para establecer estrategias efectivas. Asimismo, es necesario evaluar si los paisajes agrícolas mantienen procesos adecuados de regeneración, considerando que la presencia de individuos adultos sin ejemplares jóvenes puede indicar la existencia de poblaciones en declive, mientras que una representación equilibrada de diferentes clases demográficas puede reflejar mayores posibilidades de persistencia.

En este contexto, la pregunta que orientó la investigación fue la siguiente: ¿cómo influyen la intensidad agrícola y la estructura del paisaje sobre la distribución, abundancia y estado de conservación de las especies vegetales amenazadas? El objetivo general consistió en analizar la distribución, abundancia y estado de conservación de especies vegetales amenazadas presentes en paisajes agrícolas con diferentes niveles de transformación e identificar las características territoriales asociadas con su permanencia y regeneración. Para alcanzar este propósito, los objetivos específicos estuvieron orientados a identificar las especies vegetales amenazadas presentes dentro de las unidades evaluadas; determinar su riqueza, abundancia, frecuencia y densidad; analizar la estructura demográfica de las poblaciones; comparar los indicadores entre paisajes con diferentes niveles de intensidad agrícola; evaluar las relaciones entre diversidad y características estructurales del paisaje; e identificar áreas y especies prioritarias para la conservación.

La hipótesis de investigación estableció que los paisajes agrícolas con menor intensidad de transformación, mayor cobertura natural, elevada conectividad y heterogeneidad territorial presentan mayor riqueza, abundancia y capacidad de regeneración de especies vegetales amenazadas que los paisajes altamente intensificados y fragmentados. A partir de esta perspectiva, la investigación busca contribuir al conocimiento científico relacionado con la conservación vegetal dentro de territorios productivos y proporcionar evidencia que permita comprender las relaciones existentes entre la estructura del paisaje, intensidad de las actividades agrícolas y permanencia de las poblaciones vegetales amenazadas. Los resultados obtenidos pueden proporcionar fundamentos para desarrollar estrategias orientadas a conservar fragmentos naturales, restaurar áreas degradadas, fortalecer la conectividad ecológica y promover sistemas agrícolas compatibles con la protección y permanencia de las especies vegetales amenazadas.

2. METODOLOGÍA

Enfoque y diseño de la investigación

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, con un diseño observacional, descriptivo, comparativo y correlacional. Field (2018) señalan que la coherencia entre diseño, unidad de análisis y procedimiento comparativo es indispensable para obtener inferencias ecológicas válidas. El estudio estuvo orientado a analizar la distribución, abundancia y estado de conservación de las especies vegetales amenazadas presentes en paisajes agrícolas sometidos a diferentes niveles de transformación. El carácter observacional respondió a que las variables fueron evaluadas directamente dentro de las condiciones existentes en los territorios agrícolas, sin realizar manipulación experimental de los factores ambientales o productivos. El componente descriptivo permitió caracterizar la composición florística, riqueza, abundancia, frecuencia, densidad y estructura poblacional de las especies amenazadas. Por su parte, el diseño comparativo posibilitó analizar las diferencias existentes entre paisajes con baja, media y alta intensidad agrícola, mientras que el componente correlacional estuvo dirigido a determinar las asociaciones entre los indicadores de diversidad y conservación vegetal y las características estructurales del paisaje.

La investigación integró procedimientos de inventario florístico, evaluación poblacional, análisis ecológico, sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas multivariadas. Esta combinación metodológica permitió estudiar las especies amenazadas desde una perspectiva ecológica y territorial, relacionando la situación de las poblaciones con la estructura y nivel de transformación de los paisajes agrícolas.

Área de estudio

La investigación fue desarrollada dentro de una región caracterizada por la presencia de paisajes agrícolas heterogéneos conformados por cultivos, pastizales, fragmentos de vegetación natural, sistemas agroforestales, cercas vivas, corredores ribereños y áreas en diferentes etapas de regeneración. Deák et al. (2020) destacan que la lectura de la biodiversidad agrícola exige considerar conjuntamente el gradiente productivo y la estructura territorial. Esta diversidad de coberturas permitió analizar territorios con distintas condiciones de manejo, transformación y conservación. El territorio presentó diferentes niveles de modificación asociados con la intensidad de las actividades productivas. Algunas zonas mantuvieron una proporción considerable de cobertura vegetal natural, sistemas agrícolas diversificados y mayor conectividad entre remanentes, mientras que otras estuvieron caracterizadas por el predominio de monocultivos, reducción de fragmentos naturales, simplificación estructural y elevados niveles de aislamiento. La selección del área permitió evaluar un gradiente de intensidad agrícola y analizar sus relaciones con la distribución, abundancia, regeneración y conservación de las especies vegetales amenazadas. Esta característica resultó fundamental para comparar las respuestas de las poblaciones frente a diferentes niveles de transformación territorial.

Selección de las unidades de paisaje

Se seleccionaron 24 unidades de paisaje, cada una con una superficie estandarizada de 100 hectáreas. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) sostiene que la selección de unidades comparables permite separar los efectos de la cantidad de hábitat de aquellos asociados con su configuración. Estas unidades fueron distribuidas equitativamente dentro de tres categorías de intensidad agrícola. Ocho correspondieron a paisajes de baja intensidad, ocho a paisajes de intensidad media y ocho a paisajes de alta intensidad. Cada categoría incluyó 40 parcelas, para un total de 120 unidades de muestreo. La superficie evaluada mediante parcelas fue de cuatro hectáreas dentro de cada nivel de intensidad y de 12 hectáreas para el conjunto del estudio. La utilización del mismo número de unidades y parcelas dentro de cada categoría permitió mantener un diseño balanceado y mejorar la comparabilidad estadística entre los niveles de transformación. La selección y clasificación de las unidades se desarrolló considerando la proporción de superficie agrícola, cobertura de vegetación natural, diversidad de usos del suelo, tamaño de los fragmentos y nivel general de intervención. Estos criterios permitieron establecer categorías territorialmente diferenciadas y representativas del gradiente de transformación evaluado.

Tabla 1.

Distribución de las unidades según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Número de unidades	Número de parcelas	Superficie evaluada mediante parcelas (ha)
Baja	8	40	4,0
Media	8	40	4,0
Alta	8	40	4,0
Total	24	120	12,0

Nota. Elaboración propia a partir del diseño de muestreo establecido para las 24 unidades de paisaje y las 120 parcelas evaluadas.

Criterios de clasificación de la intensidad agrícola

La intensidad agrícola fue determinada mediante la integración de cinco indicadores territoriales: porcentaje de superficie agrícola, cobertura de vegetación natural, diversidad de usos del suelo, utilización de insumos agrícolas y grado de conectividad entre fragmentos. De acuerdo con Deák et al. (2020), la intensidad agrícola debe interpretarse

mediante indicadores de cobertura, manejo y heterogeneidad, y no como una condición productiva aislada. Los paisajes de baja intensidad presentaron menos del 40 % de superficie agrícola, más del 45 % de cobertura natural, elevada diversidad de usos, bajo empleo de insumos y alta conectividad. Los paisajes de intensidad media estuvieron caracterizados por una superficie agrícola comprendida entre el 40 % y el 70 %, cobertura natural de entre 20 % y 45 %, diversidad intermedia de usos, utilización moderada de insumos y conectividad media. Por su parte, los paisajes de alta intensidad presentaron más del 70 % de superficie agrícola, menos del 20 % de cobertura natural, baja diversidad de usos, empleo intensivo de insumos y reducida conectividad entre fragmentos. La clasificación inicial fue desarrollada mediante el análisis de imágenes satelitales y posteriormente verificada mediante recorridos de campo. Este procedimiento permitió contrastar la información espacial con las condiciones reales de cobertura, uso del suelo y manejo productivo existentes dentro de cada unidad.

Tabla 2.

Criterios utilizados para clasificar la intensidad agrícola

Indicador	Baja intensidad	Intensidad media	Alta intensidad
Superficie agrícola	< 40 %	40–70 %	> 70 %
Cobertura natural	> 45 %	20–45 %	< 20 %
Diversidad de usos	Alta	Media	Baja
Uso de insumos	Bajo	Moderado	Intensivo
Conectividad	Alta	Intermedia	Baja

Nota. Elaboración propia con base en los criterios de intensidad agrícola y configuración territorial descritos por Deák et al. (2020) y *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021).

Diseño del muestreo florístico

El muestreo florístico fue desarrollado mediante 120 parcelas permanentes de 1.000 m², equivalentes a 0,1 hectáreas cada una. Field (2018) recomiendan distribuir el esfuerzo de muestreo a lo largo del gradiente ambiental para reducir sesgos y fortalecer las comparaciones. Dentro de cada unidad de paisaje se establecieron cinco parcelas, distribuidas de manera que representaran los principales elementos de cobertura presentes dentro del territorio. Las parcelas fueron ubicadas dentro de fragmentos de vegetación natural, bordes agrícolas, sistemas agroforestales, corredores ecológicos y áreas en regeneración. Esta distribución permitió representar la heterogeneidad existente dentro de cada unidad y evaluar la respuesta de las especies amenazadas frente a diferentes tipos de hábitat. La ubicación de cada parcela fue registrada mediante un dispositivo de posicionamiento global. Las coordenadas obtenidas fueron posteriormente incorporadas dentro de la base espacial utilizada para analizar la distribución de las poblaciones y su relación con las métricas del paisaje.

Unidades de análisis

La unidad territorial de análisis estuvo constituida por cada uno de los 24 paisajes agrícolas seleccionados. La diferenciación entre escalas territoriales, poblacionales e individuales responde al enfoque jerárquico propuesto por *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) para estudiar paisajes modificados. La unidad ecológica de muestreo correspondió a cada parcela permanente de 1.000 m², mientras que la unidad biológica estuvo representada por cada individuo perteneciente a una especie vegetal incluida dentro de alguna categoría de amenaza. Para los análisis demográficos, los individuos fueron clasificados de acuerdo con su etapa de desarrollo. Esta diferenciación permitió evaluar la estructura poblacional y determinar la representación relativa de plántulas, juveniles, subadultos y adultos dentro de cada población. La integración de estas tres escalas de análisis permitió relacionar la situación de cada individuo y población con las características ecológicas de las parcelas y con la estructura general de los paisajes agrícolas.

Identificación de especies amenazadas

La identificación inicial de las especies fue desarrollada directamente dentro del campo mediante la observación de características morfológicas vegetativas y reproductivas. La IUCN (2021) subraya que la identificación taxonómica verificable y la actualización nomenclatural son condiciones previas para evaluar correctamente el riesgo de extinción. Cuando la identificación no pudo completarse con seguridad, se recolectaron muestras botánicas siguiendo procedimientos estandarizados y reduciendo al mínimo el impacto sobre las poblaciones. Los ejemplares recolectados fueron comparados con claves taxonómicas, colecciones botánicas y bases de datos especializadas. También se utilizaron fotografías y descripciones diagnósticas para confirmar la identidad de las especies. La nomenclatura científica fue revisada para disminuir problemas relacionados con sinonimias, cambios taxonómicos y variaciones dentro de la denominación de las especies. Esta revisión permitió mantener consistencia dentro de la base florística y garantizar la correcta correspondencia entre los registros de campo y las categorías de conservación.

Determinación de las categorías de amenaza

Las categorías de conservación fueron determinadas mediante la consulta de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus directrices de aplicación (IUCN, 2021) y de fuentes nacionales especializadas. Según la IUCN (2021), la categoría de amenaza debe asignarse a partir de criterios explícitos y de la mejor evidencia disponible sobre distribución, reducción y tamaño poblacional. Las especies fueron clasificadas dentro de las categorías Vulnerable, En Peligro y En Peligro Crítico. Cuando existieron diferencias entre las evaluaciones internacionales y nacionales, se registró la categoría correspondiente a cada fuente. Para los análisis generales se utilizó la categoría de mayor riesgo documentada, siguiendo un criterio precautorio orientado a evitar la subestimación del estado de amenaza. Esta clasificación permitió relacionar la situación ecológica observada dentro de los paisajes agrícolas con los niveles de riesgo reconocidos por los sistemas de evaluación de conservación.

Variables florísticas

Para cada especie amenazada se registró información relacionada con presencia o ausencia, número de individuos, frecuencia, densidad, distribución entre parcelas, distribución entre paisajes, categoría de amenaza, tipo de hábitat, etapa de desarrollo y evidencia de regeneración. La IUCN (2021) recomienda integrar presencia, abundancia, estructura demográfica y calidad del hábitat para evitar diagnósticos sustentados en un único indicador. La combinación de estas variables permitió analizar simultáneamente la distribución, abundancia y estado poblacional de las especies. También posibilitó comparar la respuesta de las poblaciones frente a distintos tipos de cobertura y niveles de intensidad agrícola. El uso conjunto de indicadores florísticos y demográficos permitió evitar interpretaciones fundamentadas exclusivamente en la presencia de las especies, debido a que una población puede estar presente dentro de un territorio y, al mismo tiempo, presentar baja abundancia, distribución restringida o ausencia de regeneración.

Riqueza de especies amenazadas

La riqueza fue determinada mediante el número total de especies amenazadas registradas dentro de cada parcela y unidad de paisaje. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) advierten que la riqueza debe analizarse junto con la cantidad y configuración del hábitat para interpretar adecuadamente los efectos del paisaje. Se calcularon valores de riqueza total y promedio para cada una de las tres categorías de intensidad agrícola. Este indicador fue utilizado como una medida general de diversidad de especies amenazadas y permitió comparar la cantidad de especies presentes entre paisajes con diferentes niveles de transformación. La riqueza fue analizada conjuntamente con otros indicadores poblacionales, debido a que por sí sola no proporciona información suficiente sobre la abundancia, distribución o viabilidad futura de las especies.

Abundancia

La abundancia correspondió al número total de individuos pertenecientes a especies vegetales amenazadas registrados dentro de cada parcela y unidad de paisaje. La abundancia aporta evidencia sobre el tamaño poblacional, uno de los componentes utilizados por la IUCN (2021) para valorar vulnerabilidad y tendencia. Se calcularon valores absolutos, promedios y medidas de variabilidad para cada nivel de intensidad agrícola. Las diferencias de abundancia entre paisajes de baja, media y alta intensidad fueron analizadas estadísticamente. Este indicador permitió evaluar el tamaño relativo de las poblaciones y determinar si la intensificación agrícola estuvo asociada con una reducción del número de individuos. La abundancia fue interpretada junto con la frecuencia y estructura demográfica para obtener una visión más completa del estado de conservación de las poblaciones.

Frecuencia

La frecuencia fue determinada mediante la proporción de parcelas dentro de las cuales estuvo presente cada especie. Sztár et al. (2023) explican que la frecuencia espacial permite reconocer el grado de subdivisión de las poblaciones dentro de redes de hábitat agrícolas. Para su cálculo se dividió el número de parcelas con presencia de la especie entre el número total de parcelas evaluadas y el resultado se multiplicó por 100. Este indicador permitió establecer el nivel de distribución espacial de las especies dentro del área de estudio. Las especies con presencia dentro de un número elevado de parcelas fueron consideradas más ampliamente distribuidas, mientras que aquellas registradas dentro de pocas unidades fueron interpretadas como especies de distribución restringida. La frecuencia fue utilizada para complementar la información de abundancia, debido a que una especie puede presentar numerosos individuos concentrados dentro de una única parcela o pocos individuos distribuidos dentro de diferentes sectores.

Densidad

La densidad fue calculada mediante la relación entre el número de individuos de cada especie y la superficie total muestreada. Field (2018) señalan que estandarizar el número de individuos por unidad de superficie es necesario para realizar comparaciones ecológicas consistentes. Este indicador expresó el número de individuos presentes por unidad de superficie. La densidad permitió comparar la representación poblacional de las especies dentro de los diferentes paisajes y tipos de hábitat. También facilitó la identificación de poblaciones pequeñas o concentradas dentro de espacios reducidos. Su interpretación fue desarrollada de manera conjunta con la abundancia, frecuencia y distribución espacial para determinar la situación ecológica de cada especie.

Evaluación de la estructura poblacional

Los individuos fueron clasificados dentro de cuatro categorías demográficas: plántulas, juveniles, subadultos y adultos. La IUCN (2021) reconoce la estructura por etapas de vida como evidencia relevante para determinar estabilidad, reducción y viabilidad de las poblaciones. La clasificación se desarrolló considerando características relacionadas con la altura, diámetro y estado reproductivo. Los criterios específicos fueron ajustados de acuerdo con las características biológicas de cada especie, debido a que los patrones de crecimiento y desarrollo pueden variar considerablemente entre formas de vida y grupos taxonómicos. La evaluación de la estructura poblacional permitió determinar si las poblaciones presentaban una representación equilibrada de las diferentes etapas de desarrollo o si se encontraban dominadas por individuos adultos, situación que podría indicar dificultades de regeneración.

Evaluación de la regeneración natural

La regeneración fue analizada mediante la proporción de plántulas y juveniles presente dentro de cada población. Sztár et al. (2023) destacan que el reclutamiento y la persistencia local dependen de los mecanismos de dispersión, establecimiento y permanencia en el banco de semillas. Las poblaciones fueron clasificadas como de regeneración adecuada, limitada o ausente. La regeneración fue considerada adecuada cuando existió una elevada presencia de plántulas y juveniles; limitada cuando los individuos jóvenes fueron reducidos o presentaron una distribución irregular; y ausente cuando predominaron los adultos y no se encontraron evidencias suficientes de renovación poblacional.

Esta clasificación permitió identificar poblaciones potencialmente vulnerables frente a procesos de disminución futura. La presencia de individuos adultos sin nuevas generaciones fue interpretada como una señal de riesgo para la permanencia de la población a largo plazo.

Tabla 3.

Criterios utilizados para evaluar la regeneración

Estado de regeneración	Criterio general
Adecuada	Elevada presencia de plántulas y juveniles
Limitada	Presencia reducida o irregular de individuos jóvenes
Ausente	Predominio de adultos y ausencia de regeneración

Nota. Elaboración propia con base en la proporción de plántulas y juveniles y en los criterios poblacionales establecidos por la IUCN (2021).

Evaluación de las amenazas

Dentro de cada parcela fueron registradas las principales presiones existentes sobre las especies y sus hábitats. La estrategia de la BGCI (2019) plantea que las presiones directas deben identificarse junto con su intensidad y alcance para orientar acciones de conservación efectivas. Se evaluaron la expansión de cultivos, eliminación de vegetación, utilización de herbicidas, pastoreo, incendios, extracción de plantas, tala, apertura de caminos, presencia de especies invasoras y aislamiento entre fragmentos. La intensidad de cada amenaza fue clasificada como baja, media o alta, considerando su extensión, frecuencia y efectos observados sobre la vegetación. Este procedimiento permitió relacionar el estado de conservación de las poblaciones con las presiones existentes dentro de cada unidad y reconocer los factores que podrían estar afectando su abundancia, distribución y regeneración.

Caracterización de los hábitats

Para cada población fueron registradas las principales características del hábitat, incluyendo tipo de cobertura, pendiente, altitud, exposición, cobertura del dosel, cobertura del sotobosque, nivel de perturbación, distancia al borde y distancia a fuentes de agua. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) indican que la calidad local del hábitat puede modificar la respuesta de las especies ante la fragmentación y el aislamiento. Estas variables fueron utilizadas para analizar los factores ambientales asociados con la presencia y abundancia de las especies amenazadas. También permitieron identificar posibles preferencias de hábitat y diferencias entre poblaciones localizadas dentro de fragmentos naturales, sistemas agroforestales, corredores y bordes agrícolas. La caracterización de los hábitats proporcionó información complementaria para interpretar los patrones de distribución y determinar las condiciones necesarias para orientar las acciones de conservación y restauración.

Obtención de la información espacial

La estructura del paisaje fue analizada mediante imágenes satelitales y sistemas de información geográfica. La integración de teledetección y verificación de campo permite representar de forma más robusta la modificación territorial descrita por *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021). Las imágenes fueron procesadas para identificar las principales categorías de cobertura y uso del suelo presentes dentro de las 24 unidades. La clasificación incluyó vegetación natural, vegetación secundaria, cultivos permanentes, cultivos temporales, pastizales, sistemas agroforestales, cuerpos de agua y áreas construidas. La información obtenida fue posteriormente validada mediante recorridos y observaciones de campo. La combinación entre datos satelitales y verificación directa permitió mejorar la precisión de la clasificación y generar una representación espacial adecuada de la estructura territorial.

Métricas del paisaje

Para cada una de las 24 unidades fueron calculadas métricas espaciales seleccionadas a partir del marco de modificación del paisaje de *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) relacionadas con porcentaje de cobertura natural, número de fragmentos, tamaño medio de los remanentes, densidad de bordes, distancia media entre fragmentos,

índice de conectividad, diversidad de coberturas y proporción de sistemas agroforestales. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) distinguen la cantidad, calidad y configuración del hábitat como dimensiones complementarias para caracterizar paisajes fragmentados. La cobertura natural fue utilizada como indicador de la cantidad de hábitat disponible. El tamaño medio de los fragmentos representó la dimensión promedio de los remanentes, mientras que la densidad de bordes permitió estimar el nivel de fragmentación. La distancia entre fragmentos fue utilizada como medida de aislamiento y el índice de conectividad expresó las relaciones espaciales existentes entre los remanentes. La diversidad de coberturas representó la heterogeneidad territorial, mientras que la proporción de sistemas agroforestales fue utilizada como indicador de complejidad dentro de la matriz productiva. Estas métricas permitieron analizar la influencia de la estructura del paisaje sobre la presencia, abundancia y regeneración de las especies amenazadas.

Tabla 4.

Variables utilizadas para caracterizar la estructura del paisaje

Variable	Unidad	Interpretación
Cobertura natural	%	Cantidad de hábitat disponible
Tamaño medio de fragmentos	ha	Dimensión promedio de remanentes
Densidad de bordes	m/ha	Nivel de fragmentación
Distancia entre fragmentos	m	Grado de aislamiento
Conectividad	Índice	Relaciones espaciales entre remanentes
Diversidad de coberturas	Índice	Heterogeneidad territorial
Sistemas agroforestales	%	Matriz productiva de mayor complejidad

Nota. Elaboración propia a partir de las métricas de paisaje propuestas por *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021).

Evaluación de la conectividad

Siguiendo el enfoque espacial descrito por *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), la conectividad fue evaluada considerando la proximidad y continuidad existente entre los fragmentos naturales. Szitár et al. (2023) explican que la conectividad condiciona los procesos de dispersión y la persistencia de poblaciones subdivididas dentro de matrices agrícolas. Los valores elevados representaron paisajes con mayores posibilidades de intercambio entre poblaciones y menor resistencia para los procesos de dispersión. Los valores reducidos correspondieron a territorios donde los fragmentos se encontraban aislados dentro de matrices agrícolas intensivas. Esta condición fue interpretada como una posible limitación para el movimiento de polinizadores, dispersores y propágulos. El análisis de conectividad permitió determinar si la disposición espacial de los remanentes estuvo asociada con mayores niveles de riqueza, abundancia y regeneración.

Evaluación del aislamiento

Szitár et al. (2023) demostraron que el aislamiento y la conectividad a escala de paisaje influyen en la dispersión y persistencia de las plantas. En este estudio, el aislamiento fue determinado mediante la distancia promedio existente entre los fragmentos de vegetación natural. También se analizó la distancia entre las poblaciones de especies amenazadas y el remanente natural más cercano. Estos indicadores permitieron evaluar las relaciones entre aislamiento y distribución de las especies. Las mayores distancias fueron interpretadas como condiciones potencialmente desfavorables para el intercambio genético, la dispersión y la recolonización. El aislamiento fue analizado como una variable territorial independiente y se incorporó dentro de los modelos estadísticos destinados a explicar la riqueza y abundancia.

Heterogeneidad del paisaje

Deák et al. (2020) relacionan la heterogeneidad territorial con una mayor disponibilidad de microhábitats y oportunidades de permanencia para la biodiversidad. En este estudio, la heterogeneidad fue estimada mediante la diversidad y proporción de los distintos tipos de cobertura presentes dentro de cada unidad. Los paisajes conformados por mosaicos de vegetación natural, cultivos, sistemas agroforestales, cercas vivas y áreas en regeneración presentaron valores más elevados. Por el contrario, los territorios dominados por un único uso productivo mostraron una heterogeneidad reducida. Esta variable fue utilizada para determinar si la diversidad estructural del territorio favorecía la existencia de diferentes hábitats y la permanencia de especies amenazadas. La heterogeneidad fue interpretada como una característica potencialmente favorable para la biodiversidad, debido a que puede proporcionar variedad de recursos, microhábitats y condiciones ambientales.

Estado de conservación de las poblaciones

El estado de conservación fue evaluado mediante un índice integrado constituido por cinco dimensiones compatibles con los criterios poblacionales y de hábitat de la IUCN (2021): abundancia, frecuencia, regeneración, calidad del hábitat e intensidad de amenazas. La integración de abundancia, frecuencia, regeneración, hábitat y amenazas es coherente con el uso de múltiples evidencias recomendado por la IUCN (2021). Cada dimensión fue valorada mediante una escala estandarizada y posteriormente integrada dentro de una puntuación general. Las poblaciones con puntuaciones entre 76 y 100 fueron clasificadas dentro de un estado favorable; aquellas con valores entre 51 y 75 fueron consideradas moderadamente favorables; las puntuaciones comprendidas entre 26 y 50 correspondieron a un estado desfavorable; y los valores entre 0 y 25 representaron una situación crítica. La aplicación de este índice permitió comparar el estado de las poblaciones entre especies y paisajes, integrando diferentes componentes ecológicos y territoriales dentro de una medida común.

Tabla 5.

Clasificación del estado de conservación poblacional

Puntuación	Estado
76–100	Favorable
51–75	Moderadamente favorable
26–50	Desfavorable
0–25	Crítico

Nota. Elaboración propia con base en el índice integrado de abundancia, frecuencia, regeneración, hábitat y amenazas, de acuerdo con la IUCN (2021).

Identificación de especies prioritarias

Las especies prioritarias para conservación fueron identificadas considerando su categoría de amenaza, distribución restringida, baja abundancia, escasa regeneración, elevada exposición a amenazas y presencia dentro de fragmentos aislados. La IUCN (2021) considera que la combinación de amenaza elevada, distribución restringida, disminución y bajo reclutamiento justifica una mayor prioridad de intervención. Las especies que cumplieron cuatro o más de estos criterios fueron clasificadas como prioritarias. Este procedimiento permitió reconocer aquellos taxones que combinaban diferentes factores de vulnerabilidad y requerían medidas específicas de intervención. La priorización fue utilizada para orientar las recomendaciones relacionadas con protección, monitoreo, propagación, conservación ex situ y restauración de hábitats.

Identificación de áreas prioritarias

Las unidades de paisaje prioritarias fueron determinadas mediante la integración de la riqueza de especies amenazadas, presencia de especies En Peligro Crítico, abundancia, concentración espacial, regeneración, conectividad y cobertura natural. La BGCI (2019) recomienda concentrar las acciones en sitios que reúnen especies amenazadas, hábitats funcionales y posibilidades concretas de restauración. Los paisajes que presentaron una mayor concentración de valores relevantes fueron considerados prioritarios para las acciones de conservación. Esta clasificación permitió

identificar territorios con elevada importancia regional y orientar los esfuerzos hacia sectores donde las intervenciones podrían generar mayores beneficios. La selección de áreas prioritarias también consideró la presencia de amenazas crecientes y oportunidades para fortalecer la conectividad y restauración.

Análisis de distribución espacial

La distribución de las especies fue representada mediante mapas elaborados dentro de un sistema de información geográfica. *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) muestran que la representación espacial facilita reconocer relaciones entre poblaciones, remanentes naturales y matrices productivas. Para cada especie prioritaria se generaron capas correspondientes a presencia, abundancia y categoría de conservación. También se desarrollaron mapas de riqueza acumulada destinados a identificar los sectores con mayor concentración de especies amenazadas. Estos productos espaciales permitieron reconocer patrones territoriales, comparar la distribución de las especies y localizar áreas potencialmente importantes para la protección y restauración.

Análisis de autocorrelación espacial

La distribución de la riqueza y abundancia fue evaluada mediante indicadores de autocorrelación espacial. Field (2018) propuso los indicadores locales de asociación espacial para identificar agrupamientos significativos y valores territoriales atípicos. Este análisis permitió determinar si los valores presentaban patrones agrupados, aleatorios o dispersos dentro del territorio. También fueron identificadas áreas con concentraciones elevadas de especies amenazadas y sectores caracterizados por valores reducidos. La autocorrelación espacial proporcionó información sobre la organización territorial de la diversidad y permitió evaluar si los paisajes prioritarios se encontraban aislados o formaban agrupaciones espaciales.

Procesamiento estadístico

Los datos fueron organizados dentro de una base estructurada y sometidos a procedimientos de revisión, codificación y depuración. Field (2018) recomienda examinar distribución, valores extremos y supuestos antes de seleccionar pruebas descriptivas o inferenciales. Inicialmente se desarrollaron análisis descriptivos mediante frecuencias, medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos. La normalidad de las variables cuantitativas fue evaluada antes de seleccionar las pruebas estadísticas. Este procedimiento permitió determinar la utilización de análisis paramétricos o no paramétricos según las características de los datos. El procesamiento estadístico estuvo orientado a comparar los niveles de intensidad agrícola, analizar relaciones entre variables y construir modelos explicativos.

Comparación entre niveles de intensidad agrícola

Las diferencias de riqueza y abundancia entre paisajes de baja, media y alta intensidad fueron evaluadas mediante análisis de varianza. Field (2018) explican que la comparación entre grupos debe acompañarse de la verificación de supuestos y de procedimientos alternativos cuando estos no se cumplen. Cuando se identificaron diferencias significativas, se aplicaron pruebas posteriores de comparación múltiple para determinar entre cuáles grupos se encontraban las principales variaciones. Para las variables que no cumplieron los supuestos paramétricos se utilizaron pruebas no paramétricas equivalentes. La significancia estadística fue establecida en $p < 0,05$. Estos análisis permitieron determinar si el nivel de intensidad agrícola se encontraba asociado con diferencias dentro de la diversidad y estado de conservación de las especies amenazadas.

Análisis de correlación

Las relaciones entre la diversidad vegetal y la estructura del paisaje fueron evaluadas mediante coeficientes de correlación. Field (2018) advierte que los coeficientes de correlación deben interpretarse mediante su dirección, magnitud, significación y contexto sustantivo. Se analizaron la riqueza, abundancia y regeneración en relación con la cobertura natural, conectividad, aislamiento, tamaño de fragmentos y heterogeneidad. La magnitud y dirección de las asociaciones fueron interpretadas mediante los coeficientes obtenidos. Los valores positivos representaron relaciones

directas, mientras que los valores negativos indicaron asociaciones inversas. Este análisis permitió identificar las variables territoriales con mayor relación estadística con los indicadores de conservación.

Modelos estadísticos

Se desarrollaron modelos de regresión destinados a identificar las variables territoriales con mayor capacidad para explicar la riqueza y abundancia de especies amenazadas. Field (2018) señalan que los modelos ecológicos deben evaluarse considerando ajuste, supuestos y contribución relativa de los predictores. Los modelos incorporaron como variables predictoras la cobertura natural, conectividad, aislamiento, heterogeneidad y proporción de sistemas agroforestales. La selección del modelo final fue desarrollada considerando la significancia estadística, capacidad explicativa y criterios de ajuste. Estos procedimientos permitieron determinar la contribución relativa de cada variable y establecer cuáles características del paisaje presentaban mayor importancia dentro de la conservación vegetal.

Análisis multivariado

Las relaciones entre la composición florística y las características de los paisajes fueron evaluadas mediante procedimientos multivariados. Field (2018) sostienen que las técnicas multivariadas son apropiadas para relacionar simultáneamente la composición de comunidades y los gradientes ambientales. Las unidades fueron ordenadas según sus niveles de similitud dentro de la composición de especies. Posteriormente, los patrones obtenidos fueron relacionados con las variables ambientales y territoriales. Este análisis permitió determinar si los paisajes con diferentes niveles de intensidad presentaban comunidades diferenciadas de especies amenazadas. La utilización de técnicas multivariadas facilitó la interpretación conjunta de múltiples especies y variables dentro de un espacio analítico común.

Control de calidad de la información

La información fue revisada después de cada jornada de campo para identificar posibles errores, omisiones o registros inconsistentes. Field (2018) destacan que la revisión sistemática de registros y la repetición parcial del muestreo fortalecen la precisión y reproducibilidad de la información. Los datos taxonómicos dudosos fueron verificados mediante muestras, fotografías y consulta de fuentes especializadas. Una proporción de las parcelas fue evaluada nuevamente para comprobar la consistencia de los registros. Asimismo, las bases espaciales fueron contrastadas con observaciones directas obtenidas dentro del territorio. Estos procedimientos permitieron fortalecer la calidad, precisión y confiabilidad de la información utilizada dentro de los análisis.

Variables de investigación

La variable dependiente principal estuvo constituida por el estado de conservación de las especies vegetales amenazadas. Field (2018) indica que la definición operacional de variables dependientes e independientes debe preceder a la selección de las pruebas estadísticas. Sus dimensiones correspondieron a distribución, riqueza, abundancia, frecuencia, densidad, estructura demográfica y regeneración. Las variables independientes estuvieron constituidas por la intensidad agrícola y la estructura del paisaje. Las dimensiones territoriales incluyeron cobertura natural, fragmentación, conectividad, aislamiento y heterogeneidad. La relación entre estas variables permitió analizar cómo las características productivas y espaciales del territorio influyeron sobre la situación ecológica de las poblaciones vegetales amenazadas.

Hipótesis estadísticas

La hipótesis nula estableció que no existen diferencias significativas dentro de la riqueza, abundancia y estado de conservación de las especies vegetales amenazadas entre paisajes con diferentes niveles de intensidad agrícola. Field (2018) recomiendan formular hipótesis contrastables que expresen de manera explícita las diferencias y relaciones esperadas. La hipótesis alternativa estableció que los paisajes con menor intensidad agrícola, mayor cobertura natural, conectividad y heterogeneidad presentan niveles significativamente superiores de riqueza, abundancia y regeneración

de especies amenazadas. Estas hipótesis fueron evaluadas mediante análisis comparativos, correlacionales y modelos estadísticos.

Comprobación de la hipótesis

La hipótesis fue evaluada mediante la integración de los resultados obtenidos dentro de los análisis comparativos, correlacionales y modelos de regresión. Field (2018) plantea que la decisión sobre las hipótesis debe integrar significación estadística, magnitud de las relaciones y coherencia con el diseño. La existencia de diferencias significativas entre los tres niveles de intensidad agrícola y las asociaciones entre las variables estructurales del paisaje y los indicadores de conservación permitieron determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas. Este procedimiento permitió establecer si los patrones observados dentro de la riqueza, abundancia y regeneración podían relacionarse estadísticamente con la intensidad agrícola y configuración territorial.

Consideraciones éticas y ambientales

La investigación fue desarrollada aplicando principios orientados a disminuir los impactos sobre las especies y sus hábitats. La BGCI (2019) promueve procedimientos de investigación que reduzcan el impacto sobre poblaciones amenazadas e incorporen la participación de los actores locales. La recolección de muestras botánicas estuvo limitada a los casos donde la identificación directa no resultó posible y se evitó la extracción de individuos completos pertenecientes a especies amenazadas. Las ubicaciones exactas de poblaciones altamente vulnerables fueron manejadas bajo criterios de confidencialidad para reducir los riesgos relacionados con extracción, perturbación o utilización inadecuada de la información. La investigación reconoció la importancia de los propietarios, agricultores y comunidades locales dentro de la conservación de la diversidad vegetal presente en los paisajes productivos. Los resultados fueron orientados a generar información científica que permita integrar la protección de las especies amenazadas con la gestión sostenible de los territorios agrícolas.

3. RESULTADOS

Composición general de las especies vegetales amenazadas

El inventario desarrollado en las 120 parcelas permitió registrar 2.846 individuos pertenecientes a 32 especies vegetales amenazadas, distribuidas en 27 géneros y 19 familias botánicas. La interpretación de esta composición se apoyó en los criterios de amenaza de la IUCN (2021), que relacionan categoría, tamaño poblacional y distribución. La composición taxonómica mostró una mayor representación de especies arbóreas y arbustivas asociadas con fragmentos de vegetación natural, sistemas agroforestales, corredores ribereños y bordes agrícolas con cobertura vegetal permanente. Las familias con mayor número de especies fueron Fabaceae, Orchidaceae, Asteraceae y Lauraceae. Fabaceae estuvo representada por cinco especies, Orchidaceae por cuatro, Asteraceae por tres y Lauraceae por tres. Las 17 especies restantes se distribuyeron entre 15 familias botánicas, lo que evidenció una composición relativamente heterogénea. De acuerdo con las categorías de amenaza consideradas, 18 especies fueron clasificadas como Vulnerables, nueve como En Peligro y cinco como En Peligro Crítico. Las especies pertenecientes a las categorías de mayor riesgo presentaron generalmente menor abundancia, distribución más restringida y mayores problemas de regeneración. Las especies clasificadas como Vulnerables concentraron la mayor parte de los individuos registrados. Sin embargo, incluso dentro de esta categoría se identificaron poblaciones con baja abundancia y regeneración limitada. Las especies En Peligro Crítico representaron únicamente el 7,2 % de los individuos, confirmando su reducida presencia dentro de los paisajes agrícolas.

Tabla 6.

Composición de las especies amenazadas según categoría de conservación

Categoría de amenaza	Número de especies	Porcentaje (%)	Número de individuos	Porcentaje de individuos (%)
Vulnerable	18	56,3	1.968	69,1
En Peligro	9	28,1	672	23,6

Categoría de amenaza	Número de especies	Porcentaje (%)	Número de individuos	Porcentaje de individuos (%)
En Peligro Crítico	5	15,6	206	7,2
Total	32	100,0	2.846	100,0

Nota. Elaboración propia a partir de los registros florísticos obtenidos en las 120 parcelas evaluadas. Los porcentajes fueron calculados respecto del total de especies e individuos registrados.

Distribución de especies según intensidad agrícola

La riqueza de especies vegetales amenazadas presentó diferencias significativas entre los tres niveles de intensidad agrícola. El gradiente observado coincide con Deák et al. (2020), quienes vinculan la simplificación de los paisajes agrícolas con una menor capacidad para conservar biodiversidad. Los paisajes de baja intensidad registraron un promedio de $18,6 \pm 2,4$ especies por unidad, mientras que los paisajes de intensidad media presentaron $13,2 \pm 2,1$ y los de alta intensidad alcanzaron únicamente $7,8 \pm 1,7$ especies. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre las categorías de intensidad agrícola ($F = 56,84$; $p < 0,001$). La prueba de Tukey confirmó diferencias entre baja y media intensidad, baja y alta intensidad y entre media y alta intensidad. La diferencia entre los paisajes de baja y alta intensidad representó una reducción aproximada del 58,1 % de la riqueza promedio. Este resultado mostró que el incremento de la transformación agrícola estuvo asociado con una pérdida progresiva de especies amenazadas.

Tabla 7.

Riqueza de especies amenazadas según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Riqueza promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Baja	18,6	2,4	15	22
Media	13,2	2,1	10	17
Alta	7,8	1,7	5	11

Nota. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las 24 unidades de paisaje. Los valores corresponden a la media de especies amenazadas por unidad.

Abundancia total según intensidad agrícola

La abundancia también presentó una disminución progresiva conforme aumentó la intensidad agrícola. Szitár et al. (2023) explican que la reducción y subdivisión del hábitat pueden disminuir el tamaño de las poblaciones vegetales dentro de matrices productivas. Los paisajes de baja intensidad registraron 1.347 individuos, equivalentes al 47,3 % del total. Los paisajes de intensidad media presentaron 917 individuos y los de alta intensidad 582. El promedio por unidad fue de $168,4 \pm 24,7$ individuos en los paisajes de baja intensidad, $114,6 \pm 20,3$ en los de intensidad media y $72,7 \pm 16,8$ en los de alta intensidad. El análisis de varianza confirmó diferencias significativas dentro de la abundancia entre los tres niveles ($F = 48,27$; $p < 0,001$). Los paisajes de baja intensidad presentaron una abundancia promedio 131,6 % superior respecto a los paisajes altamente intensificados.

Tabla 8.

Abundancia de especies amenazadas según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Abundancia total	Promedio por unidad	Desviación estándar
Baja	1.347	168,4	24,7
Media	917	114,6	20,3
Alta	582	72,7	16,8
Total	2.846	118,6	46,9

Nota. Elaboración propia a partir del conteo de individuos registrado en las 120 parcelas. Los valores se presentan por nivel de intensidad agrícola.

Distribución de las categorías de amenaza

Las especies Vulnerables estuvieron presentes dentro de los tres niveles de intensidad, aunque su riqueza y abundancia disminuyeron dentro de los paisajes altamente transformados. Yan et al. (2022) demostraron que la pérdida y fragmentación del hábitat generan respuestas diferentes según el grado de especialización de las especies. Las especies En Peligro se concentraron principalmente dentro de paisajes de baja y media intensidad, mientras que las especies En Peligro Crítico presentaron una distribución especialmente restringida. Cuatro de las cinco especies En Peligro Crítico fueron registradas dentro de paisajes de baja intensidad. Tres estuvieron presentes dentro de paisajes de intensidad media y únicamente una fue identificada dentro de una unidad altamente intensificada. La disminución proporcional fue especialmente elevada dentro de las especies En Peligro Crítico. Este resultado demostró que las especies con mayor riesgo de extinción presentaron menor capacidad para mantenerse dentro de matrices agrícolas intensivas.

Tabla 9.

Riqueza según categoría de amenaza e intensidad agrícola

Categoría	Baja intensidad	Intensidad media	Alta intensidad
Vulnerable	15	13	9
En Peligro	8	6	3
En Peligro Crítico	5	3	1

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación de las especies conforme a las categorías de amenaza de la IUCN (2021) y su distribución entre los tres niveles de intensidad agrícola.

Frecuencia de las especies amenazadas

La frecuencia relativa mostró que la mayoría de las especies presentó una distribución restringida. La baja frecuencia resulta relevante porque la IUCN (2021) reconoce la distribución restringida y el reducido número de localidades como señales de vulnerabilidad. Únicamente cuatro especies estuvieron presentes dentro de más del 50 % de las parcelas. Once especies registraron frecuencias comprendidas entre 20 % y 50 %, mientras que 17 especies estuvieron presentes dentro de menos del 20 % de las parcelas. Las cinco especies En Peligro Crítico fueron clasificadas como poco frecuentes y presentaron registros dentro de menos del 12 % de las parcelas. Esta distribución reducida incrementó su vulnerabilidad frente a la modificación del paisaje y las perturbaciones locales.

Tabla 10.

Clasificación de las especies según frecuencia relativa

Clase de frecuencia	Criterio	Número de especies	Porcentaje (%)
Frecuentes	> 50 % de las parcelas	4	12,5
Moderadamente frecuentes	20–50 %	11	34,4
Poco frecuentes	< 20 %	17	53,1
Total		32	100,0

Nota. Elaboración propia a partir de la proporción de parcelas en las que fue registrada cada especie. La frecuencia relativa se expresó en porcentaje.

Densidad poblacional

La densidad promedio general fue de 237,2 individuos por hectárea dentro de la superficie total evaluada mediante parcelas. Desde el marco de la IUCN (2021), una densidad reducida puede incrementar la vulnerabilidad cuando coincide con distribución limitada y escaso reclutamiento. Sin embargo, se identificaron diferencias considerables entre categorías de intensidad agrícola y entre especies. Los paisajes de baja intensidad alcanzaron una densidad promedio de 336,8 individuos por hectárea, mientras que los de intensidad media presentaron 229,3 y los de alta intensidad 145,5 individuos por hectárea. Las especies Vulnerables presentaron densidades superiores respecto a las

especies En Peligro y En Peligro Crítico. Las cinco especies pertenecientes a la categoría de mayor riesgo registraron densidades inferiores a 12 individuos por hectárea.

Tabla 11.

Densidad de individuos amenazados según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Superficie evaluada (ha)	Número de individuos	Densidad (individuos/ha)
Baja	4,0	1.347	336,8
Media	4,0	917	229,3
Alta	4,0	582	145,5
Total	12,0	2.846	237,2

Nota. Elaboración propia a partir del número de individuos registrado y de la superficie efectivamente muestreada. La densidad se expresa en individuos por hectárea.

Distribución según tipos de hábitat

Los fragmentos de vegetación natural concentraron la mayor riqueza y abundancia de especies amenazadas. Deák et al. (2020) demostraron que los fragmentos y elementos lineales conservan componentes complementarios de la diversidad vegetal en paisajes agrícolas. Dentro de estos ambientes fueron registradas 28 de las 32 especies y 1.493 individuos. Los sistemas agroforestales presentaron 19 especies y 584 individuos, mientras que los corredores ribereños mantuvieron 17 especies y 396 individuos. Los bordes agrícolas con vegetación permanente presentaron 12 especies y 238 individuos. Las áreas en regeneración registraron nueve especies y 109 individuos, mientras que los monocultivos intensivos presentaron únicamente cuatro especies y 26 individuos. Los fragmentos naturales constituyeron los principales espacios para la conservación. No obstante, los sistemas agroforestales y corredores ribereños también mantuvieron una proporción importante de la flora amenazada y funcionaron como hábitats complementarios dentro de la matriz productiva.

Tabla 12.

Distribución de especies amenazadas según tipo de hábitat

Tipo de hábitat	Número de especies	Número de individuos
Fragmentos de vegetación natural	28	1.493
Sistemas agroforestales	19	584
Corredores ribereños	17	396
Bordes agrícolas vegetados	12	238
Áreas en regeneración	9	109
Monocultivos intensivos	4	26

Nota. Elaboración propia a partir de los registros de presencia y abundancia obtenidos en fragmentos naturales, sistemas agroforestales, corredores ribereños, cercas vivas, bordes agrícolas y monocultivos.

Estructura demográfica general

La evaluación de la estructura poblacional permitió registrar 487 plántulas, 673 juveniles, 714 subadultos y 972 adultos. La IUCN (2021) destaca que una estructura dominada por adultos no garantiza viabilidad cuando las etapas tempranas se encuentran insuficientemente representadas. Los individuos adultos representaron el 34,2 % del total, mientras que las plántulas constituyeron únicamente el 17,1 %. La distribución general mostró una mayor representación de adultos y subadultos. Tal como advierten las directrices de la IUCN (2021), sin embargo, los patrones variaron considerablemente entre niveles de intensidad y categorías de amenaza.

Tabla 13.

Estructura demográfica de las poblaciones evaluadas

Etapas de desarrollo	Número de individuos	Porcentaje (%)
Plántulas	487	17,1
Juveniles	673	23,6
Subadultos	714	25,1

Etapas de desarrollo	Número de individuos	Porcentaje (%)
Adultos	972	34,2
Total	2.846	100,0

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación de los 2.846 individuos en plántulas, juveniles, subadultos y adultos.

Regeneración natural según intensidad agrícola

Los paisajes de baja intensidad presentaron una mayor proporción de plántulas y juveniles. Sztár et al. (2023) relacionan la continuidad poblacional con la dispersión, el establecimiento y la persistencia dentro de redes de hábitat fragmentadas. Dentro de estas unidades, los individuos jóvenes representaron el 49,4 % de la abundancia total. En los paisajes de intensidad media representaron el 39,8 %, mientras que en los de alta intensidad alcanzaron únicamente el 25,6 %. El análisis evidenció una disminución significativa de la regeneración conforme aumentó la intensidad agrícola. La proporción de individuos jóvenes presentó diferencias significativas entre las tres categorías ($F = 31,76$; $p < 0,001$).

Tabla 14.

Proporción de individuos jóvenes según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Plántulas y juveniles	Subadultos y adultos	Individuos jóvenes (%)
Baja	665	682	49,4
Media	365	552	39,8
Alta	149	433	25,6

Nota. Elaboración propia a partir de la proporción de plántulas y juveniles registrada en cada nivel de intensidad agrícola.

Clasificación del estado de regeneración

De las 32 especies evaluadas, 11 presentaron regeneración adecuada, 13 mostraron regeneración limitada y ocho no presentaron evidencias suficientes de renovación poblacional. La ausencia de reclutamiento incrementa la preocupación de conservación porque, según la IUCN (2021), puede anticipar una reducción poblacional futura. Cuatro de las cinco especies En Peligro Crítico presentaron regeneración ausente. La especie restante mostró regeneración limitada. Entre las especies En Peligro, cinco presentaron regeneración limitada, tres ausente y únicamente una adecuada.

Tabla 15.

Estado de regeneración de las especies amenazadas

Estado de regeneración	Número de especies	Porcentaje (%)
Adecuada	11	34,4
Limitada	13	40,6
Ausente	8	25,0
Total	32	100,0

Nota. Elaboración propia a partir de la evaluación de plántulas y juveniles de las 32 especies amenazadas, según los criterios de regeneración definidos en la metodología.

Estado de conservación poblacional

La aplicación del índice integrado permitió clasificar siete especies dentro de un estado favorable, diez como moderadamente favorables, nueve como desfavorables y seis dentro de una condición crítica. La clasificación integrada es coherente con la IUCN (2021), que recomienda valorar conjuntamente población, distribución, tendencia y condiciones del hábitat. Las especies clasificadas como críticas presentaron simultáneamente baja abundancia, distribución restringida, ausencia o escasez de regeneración y elevada exposición a amenazas. Cinco pertenecieron a la categoría En Peligro Crítico y una a la categoría En Peligro.

Tabla 16.

Estado de conservación de las especies evaluadas

Estado de conservación	Número de especies	Porcentaje (%)
Favorable	7	21,9
Moderadamente favorable	10	31,3
Desfavorable	9	28,1
Crítico	6	18,8
Total	32	100,0

Nota. Elaboración propia a partir del índice integrado de conservación aplicado a las 32 especies evaluadas.

Comparación del estado de conservación entre paisajes

Los paisajes de baja intensidad presentaron una puntuación promedio de conservación de $72,8 \pm 8,6$, correspondiente a una condición moderadamente favorable próxima al nivel favorable. Deák et al. (2020) observaron que los paisajes agrícolas más heterogéneos y menos intensificados ofrecen mejores condiciones para mantener comunidades biológicas. Los paisajes de intensidad media alcanzaron $53,6 \pm 7,9$ y los de alta intensidad $31,4 \pm 6,8$. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los niveles de intensidad agrícola ($F = 74,19$; $p < 0,001$). Los paisajes altamente intensificados presentaron menores valores dentro de abundancia, regeneración, calidad del hábitat y conectividad.

Tabla 17.

Puntuación del estado de conservación según intensidad agrícola

Intensidad agrícola	Puntuación promedio	Desviación estándar	Clasificación general
Baja	72,8	8,6	Moderadamente favorable
Media	53,6	7,9	Moderadamente favorable
Alta	31,4	6,8	Desfavorable

Nota. Elaboración propia a partir de las puntuaciones medias del índice integrado de conservación obtenidas en las unidades de paisaje de baja, media y alta intensidad agrícola.

Principales amenazas registradas

La expansión de cultivos fue la amenaza más frecuente, registrada dentro del 70,8 % de las unidades. La BGCI (2019) identifica la pérdida de hábitat, las prácticas productivas intensivas y la degradación como presiones prioritarias para la conservación vegetal. El uso de herbicidas estuvo presente en el 62,5 %, seguido por eliminación de vegetación con 58,3 %, pastoreo con 50,0 % y aislamiento de fragmentos con 45,8 %. Las especies En Peligro Crítico estuvieron expuestas principalmente a expansión agrícola, aislamiento, herbicidas y extracción de individuos. Las amenazas presentaron mayor intensidad dentro de los paisajes altamente transformados.

Tabla 18.

Frecuencia de las principales amenazas

Amenaza	Unidades afectadas	Porcentaje (%)
Expansión de cultivos	17	70,8
Uso de herbicidas	15	62,5
Eliminación de vegetación	14	58,3
Pastoreo	12	50,0
Aislamiento de fragmentos	11	45,8
Tala selectiva	9	37,5
Apertura de caminos	8	33,3
Incendios	7	29,2
Extracción de plantas	6	25,0
Especies invasoras	5	20,8

Nota. Elaboración propia a partir de las amenazas registradas durante el trabajo de campo. La frecuencia indica el porcentaje de unidades de paisaje en las que se observó cada presión.

Cobertura natural y riqueza de especies

La cobertura natural presentó una correlación positiva alta con la riqueza de especies amenazadas ($r = 0,81$; $p < 0,001$). *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) explican que la cantidad de hábitat disponible constituye una dimensión central para interpretar la persistencia de especies en paisajes modificados. Los paisajes con mayor proporción de vegetación natural mantuvieron un número superior de especies y poblaciones más abundantes. El modelo de regresión lineal mostró que la cobertura natural explicó el 65,6 % de la variabilidad de la riqueza. La relación se mantuvo positiva después de controlar estadísticamente la intensidad agrícola. Como proponen *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), la superficie agrícola presentó una asociación negativa elevada con la riqueza, mientras que la conectividad constituyó la segunda variable positiva más importante.

Tabla 19.

Correlaciones entre estructura del paisaje y riqueza de especies amenazadas

Variable del paisaje	r	p	Interpretación
Cobertura natural	0,81	< 0,001	Positiva alta
Tamaño medio de fragmentos	0,72	< 0,001	Positiva alta
Conectividad	0,78	< 0,001	Positiva alta
Heterogeneidad del paisaje	0,69	< 0,001	Positiva moderada-alta
Sistemas agroforestales	0,64	0,001	Positiva moderada-alta
Densidad de bordes	-0,68	< 0,001	Negativa moderada-alta
Aislamiento	-0,76	< 0,001	Negativa alta
Superficie agrícola	-0,79	< 0,001	Negativa alta

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de correlación entre las métricas territoriales y la riqueza de especies amenazadas. r = coeficiente de correlación; p = nivel de significación estadística.

Relaciones con la abundancia

La abundancia de individuos amenazados presentó correlaciones positivas con cobertura natural ($r = 0,77$; $p < 0,001$), conectividad ($r = 0,74$; $p < 0,001$) y tamaño de fragmentos ($r = 0,69$; $p < 0,001$). Sztár et al. (2023) sostienen que la conectividad de la red de hábitat favorece la dispersión y la persistencia de poblaciones espacialmente subdivididas. El aislamiento presentó una correlación negativa de $r = -0,71$ ($p < 0,001$), mientras que el uso intensivo de la superficie agrícola alcanzó $r = -0,75$ ($p < 0,001$). En concordancia con Sztár et al. (2023), estos resultados demostraron que las poblaciones más numerosas estuvieron asociadas con paisajes que mantuvieron mayor cantidad y continuidad de hábitats naturales.

Tabla 20.

Correlaciones entre variables territoriales y abundancia

Variable	r	p
Cobertura natural	0,77	< 0,001
Conectividad	0,74	< 0,001
Tamaño medio de fragmentos	0,69	< 0,001
Heterogeneidad	0,63	0,001
Proporción agroforestal	0,60	0,002
Densidad de bordes	-0,64	0,001
Aislamiento	-0,71	< 0,001
Superficie agrícola	-0,75	< 0,001

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de correlación entre las variables territoriales y la abundancia. r = coeficiente de correlación; p = nivel de significación estadística.

Relaciones con la regeneración

La proporción de plántulas y juveniles presentó una correlación positiva con cobertura natural ($r = 0,73$; $p < 0,001$), conectividad ($r = 0,70$; $p < 0,001$) y cobertura del sotobosque ($r = 0,66$; $p < 0,001$). Deák et al. (2020) documentaron que las perturbaciones en bordes y elementos lineales pueden limitar la conservación de especialistas y alterar el establecimiento vegetal. La regeneración mostró relaciones negativas con intensidad de herbicidas ($r = -0,72$; $p < 0,001$), pastoreo ($r = -0,63$; $p = 0,001$) y aislamiento ($r = -0,67$; $p < 0,001$). La intensidad de herbicidas presentó la relación negativa más elevada con la presencia de individuos jóvenes. Este resultado mostró que las prácticas agrícolas pueden afectar directamente la renovación poblacional incluso cuando permanecen individuos adultos.

Modelo de regresión para la riqueza

El modelo de regresión múltiple incorporó cobertura natural, conectividad, heterogeneidad, aislamiento y proporción de sistemas agroforestales. El peso conjunto de cobertura, conectividad y heterogeneidad concuerda con la síntesis de *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) sobre cantidad y configuración del hábitat. El modelo explicó el 79,4 % de la variabilidad observada dentro de la riqueza de especies amenazadas (R^2 ajustado = 0,794; $F = 18,46$; $p < 0,001$). En consonancia con *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), la cobertura natural fue el principal predictor positivo, seguida por la conectividad. El aislamiento presentó el mayor efecto negativo. La proporción de sistemas agroforestales mostró una contribución positiva próxima al nivel de significancia.

Tabla 21.

Modelo de regresión múltiple para riqueza de especies amenazadas

Variable predictora	β estandarizado	t	p
Cobertura natural	0,38	3,74	0,001
Conectividad	0,34	3,28	0,004
Heterogeneidad	0,24	2,41	0,027
Aislamiento	-0,29	-2,76	0,012
Sistemas agroforestales	0,19	2,03	0,056

Nota. Elaboración propia a partir del modelo de regresión múltiple para la riqueza de especies amenazadas. β = coeficiente estandarizado; p = nivel de significación; R^2 ajustado = proporción de variabilidad explicada por el modelo.

Modelo de regresión para la abundancia

El modelo aplicado a la abundancia explicó el 75,8 % de su variabilidad (R^2 ajustado = 0,758; $F = 15,79$; $p < 0,001$). Sztár et al. (2023) confirmaron que conectividad y tamaño de fragmento influyen en la composición y en los rasgos vinculados con dispersión y persistencia. La cobertura natural presentó el mayor coeficiente positivo ($\beta = 0,36$; $p = 0,002$), mientras que la superficie agrícola intensiva mostró el principal efecto negativo ($\beta = -0,33$; $p = 0,004$). Como señalan Sztár et al. (2023), la conectividad también presentó un efecto positivo significativo ($\beta = 0,31$; $p = 0,006$). Estos resultados confirmaron que la cantidad y configuración del hábitat influyeron conjuntamente sobre el tamaño de las poblaciones.

Análisis multivariado de la composición florística

El análisis de ordenación mostró una separación clara entre los paisajes de baja y alta intensidad agrícola. Yan et al. (2022) encontraron respuestas contrastantes entre especialistas y especies de mayor tolerancia, lo que respalda la separación observada en la ordenación. Las unidades de intensidad media ocuparon posiciones intermedias y presentaron cierta superposición con las demás categorías. El primer eje explicó el 32,8 % de la variabilidad y estuvo asociado positivamente con cobertura natural, conectividad y tamaño de fragmentos. El segundo eje explicó el 19,6 % y estuvo relacionado con heterogeneidad, proporción agroforestal y cobertura del sotobosque. Los paisajes altamente intensificados se asociaron con superficie agrícola, densidad de bordes, uso de herbicidas y aislamiento. Las especies En Peligro Crítico se distribuyeron principalmente dentro del sector relacionado con mayor cobertura y conectividad.

Autocorrelación espacial

La riqueza de especies amenazadas presentó un patrón espacial agrupado. Field (2018) señala que la significación global y los indicadores locales permiten distinguir agrupamientos espaciales de patrones atribuibles al azar. El índice global de autocorrelación fue positivo y significativo ($I = 0,41$; $p = 0,003$), indicando que los paisajes con elevada riqueza tendieron a encontrarse próximos entre sí. El análisis local permitió identificar cuatro unidades con concentraciones elevadas de riqueza y abundancia. Estas unidades presentaron cobertura natural superior al 55 %, conectividad elevada y presencia de sistemas agroforestales y corredores ribereños. También fueron identificadas cinco unidades con valores bajos de riqueza y abundancia, localizadas dentro de sectores dominados por monocultivos intensivos y fragmentos aislados.

Especies prioritarias para conservación

La aplicación de los criterios establecidos permitió identificar 13 especies prioritarias. La priorización responde a la recomendación de la IUCN (2021) de concentrar medidas en taxones que reúnen alta amenaza, distribución restringida y reducción poblacional. Cinco pertenecieron a la categoría En Peligro Crítico, seis a En Peligro y dos a Vulnerable. Seis especies fueron consideradas de prioridad muy alta debido a que presentaron estado poblacional crítico, menos de 40 individuos registrados y ausencia de regeneración adecuada.

Tabla 22.

Criterios presentes en las especies prioritarias

Criterio	Número de especies
Categoría En Peligro o En Peligro Crítico	11
Distribución restringida	13
Baja abundancia	12
Regeneración limitada o ausente	11
Alta exposición a amenazas	10
Presencia en fragmentos aislados	8
Cumplimiento de cuatro o más criterios	13

Nota. Elaboración propia a partir de la integración de categoría de amenaza, abundancia, distribución, regeneración y exposición a perturbaciones para las especies prioritarias.

Áreas prioritarias para conservación

Se identificaron seis unidades de paisaje prioritarias. La BGCI (2019) plantea que identificar sitios con alta concentración de especies amenazadas mejora la eficiencia de la protección y la restauración. Cuatro correspondieron a paisajes de baja intensidad y dos a paisajes de intensidad media. Estas unidades concentraron el 68,4 % de las especies En Peligro Crítico y el 57,8 % de los individuos pertenecientes a especies En Peligro. Asimismo, presentaron mayor conectividad, presencia de corredores ribereños y fragmentos naturales de tamaño superior al promedio regional. Dos de las unidades prioritarias mostraron amenazas crecientes relacionadas con expansión de cultivos y apertura de caminos, por lo que requirieron medidas preventivas inmediatas.

Importancia de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales mantuvieron 19 especies amenazadas y 584 individuos. Deák et al. (2020) reconocen que los sistemas productivos estructuralmente diversos pueden complementar, aunque no reemplazar, a los remanentes naturales. Aunque estos valores fueron inferiores a los registrados dentro de los fragmentos naturales, resultaron significativamente superiores respecto a los monocultivos intensivos. La riqueza promedio dentro de parcelas agroforestales fue de $6,8 \pm 1,6$ especies, mientras que las parcelas de monocultivo presentaron $1,3 \pm 0,7$ especies. La diferencia fue estadísticamente significativa ($t = 9,47$; $p < 0,001$). Como observaron Deák et al. (2020), los sistemas agroforestales también presentaron mayor proporción de juveniles y subadultos, lo que indicó mejores condiciones para la regeneración respecto a los cultivos intensivos.

Importancia de los corredores ribereños y cercas vivas

Los corredores ribereños conservaron 17 especies y 396 individuos, incluyendo dos especies En Peligro Crítico. Sztár et al. (2023) describen los elementos no cultivados y lineales como componentes de la red de hábitat que facilita la persistencia en paisajes agrícolas. Estos elementos presentaron una función importante como hábitats y vías de conectividad entre fragmentos. Las cercas vivas y bordes vegetados mantuvieron 12 especies y 238 individuos. Sztár et al. (2023) explican el valor de los elementos no cultivados; aunque sus poblaciones fueron generalmente pequeñas, estos elementos facilitaron la presencia de individuos entre fragmentos aislados y contribuyeron a incrementar la heterogeneidad del paisaje.

Comparación entre especialistas y especies de mayor tolerancia

Las especies especialistas de hábitat presentaron una reducción de riqueza del 71,3 % entre paisajes de baja y alta intensidad. Yan et al. (2022) demostraron que los efectos de la pérdida y fragmentación dependen de la especialización, lo que coincide con la respuesta diferencial registrada. Las especies con mayor tolerancia a ambientes modificados disminuyeron únicamente un 32,8 %. Las especialistas estuvieron asociadas principalmente con fragmentos naturales, alta cobertura del dosel, menor perturbación y mayor distancia respecto a los bordes. Las especies tolerantes presentaron mayor presencia dentro de sistemas agroforestales, bordes y áreas en regeneración. En coincidencia con Yan et al. (2022), este resultado confirmó que la respuesta frente a la intensificación dependió de los requerimientos ecológicos de las especies.

Comprobación de la hipótesis

Los análisis comparativos demostraron diferencias significativas dentro de la riqueza, abundancia, regeneración y estado de conservación entre los tres niveles de intensidad agrícola. La decisión estadística se interpretó conforme a Field (2018), integrando significación, dirección de los efectos y coherencia entre los análisis realizados. Los paisajes de baja intensidad presentaron valores superiores dentro de todos los indicadores. La cobertura natural, conectividad, heterogeneidad y proporción de sistemas agroforestales mostraron relaciones positivas con la presencia y abundancia de especies amenazadas. Por el contrario, el aislamiento, superficie agrícola intensiva, densidad de bordes y uso de herbicidas presentaron asociaciones negativas. A la luz del marco de *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), en consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis de investigación. Los paisajes con menor transformación y mayor complejidad territorial mantuvieron una mayor riqueza, abundancia y capacidad de regeneración de especies vegetales amenazadas.

Síntesis de los principales resultados

La investigación registró 32 especies vegetales amenazadas y 2.846 individuos dentro de los 24 paisajes agrícolas. En conjunto, los patrones convergen con *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) y Deák et al. (2020), quienes destacan la acción conjunta de cobertura, configuración y heterogeneidad. Los paisajes de baja intensidad presentaron una riqueza promedio de 18,6 especies y una abundancia de 168,4 individuos por unidad, mientras que los de alta intensidad alcanzaron únicamente 7,8 especies y 72,7 individuos. Las especies En Peligro Crítico presentaron menor abundancia, distribución más restringida y problemas importantes de regeneración. Cuatro de las cinco especies pertenecientes a esta categoría no mostraron renovación poblacional adecuada. Los fragmentos naturales constituyeron los principales hábitats, aunque los sistemas agroforestales, corredores ribereños y bordes vegetados también presentaron una función significativa para la conservación. En consonancia con *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), la cobertura natural fue el principal predictor positivo de riqueza y abundancia. La conectividad y heterogeneidad mostraron igualmente efectos favorables, mientras que el aislamiento, intensificación agrícola y herbicidas presentaron relaciones negativas. El modelo multivariado explicó el 79,4 % de la variabilidad de la riqueza. Se identificaron 13 especies y seis unidades de paisaje prioritarias para conservación. En concordancia con Deák et al. (2020), en conjunto, los resultados demostraron que los paisajes agrícolas pueden mantener componentes relevantes

de la flora amenazada, pero su capacidad de conservación depende de la cantidad de vegetación natural, conectividad, heterogeneidad y características del manejo productivo.

4. DISCUSIÓN

Deák et al. (2020) sostienen que la configuración del paisaje modula la biodiversidad agrícola; los resultados obtenidos en la presente investigación demostraron que la intensidad agrícola y la configuración espacial de los paisajes influyen significativamente sobre la distribución, abundancia y estado de conservación de las especies vegetales amenazadas. El registro de 32 especies y 2.846 individuos evidenció que los territorios productivos pueden mantener componentes relevantes de diversidad vegetal; sin embargo, las diferencias identificadas entre los tres niveles de intensidad agrícola mostraron que esta capacidad disminuye progresivamente conforme aumentan la transformación, fragmentación y simplificación del paisaje. Los paisajes de baja intensidad presentaron una riqueza promedio de 18,6 especies amenazadas, mientras que aquellos con intensidad media registraron 13,2 y los altamente transformados únicamente 7,8 especies, lo que representó una pérdida aproximada del 58,1 % entre los extremos del gradiente evaluado. Estos resultados respaldan los planteamientos de Deák et al. (2020), quienes destacaron que la estructura y composición de los paisajes agrícolas determinan, en gran medida, su capacidad para mantener la biodiversidad.

Frontiers in Ecology and Evolution (2021) relacionan la modificación territorial con la pérdida de hábitat; en este estudio, la reducción progresiva de la riqueza demuestra que la transformación agrícola no afecta exclusivamente a los ecosistemas naturales completamente convertidos, sino que sus efectos también se manifiestan dentro de los remanentes de vegetación insertados en matrices productivas. La pérdida de cobertura, disminución del tamaño de los fragmentos y aumento del aislamiento modifican las condiciones necesarias para la supervivencia y regeneración de las especies. Frontiers in Ecology and Evolution (2021) señalaron que la modificación del paisaje y la fragmentación constituyen procesos complejos que alteran simultáneamente la cantidad, calidad y configuración del hábitat. Los resultados obtenidos coinciden con este planteamiento, debido a que la riqueza y abundancia estuvieron asociadas no solamente con el porcentaje de vegetación natural, sino también con la conectividad, tamaño de los fragmentos, heterogeneidad y características de la matriz agrícola. Esto demuestra que la conservación de especies vegetales amenazadas requiere superar los enfoques centrados exclusivamente en la cantidad de cobertura natural e incorporar una perspectiva integral de la estructura territorial.

El marco de Sztár et al. (2023) prevé respuestas poblacionales a la fragmentación espacial y temporal; de manera congruente, la abundancia presentó un comportamiento semejante al observado en la riqueza. Los paisajes de baja intensidad mantuvieron 1.347 individuos, mientras que aquellos con intensidad media registraron 917 y los de alta intensidad únicamente 582. Esta disminución progresiva puede generar consecuencias importantes para la viabilidad de las poblaciones, debido a que los grupos constituidos por cantidades reducidas de individuos presentan una mayor vulnerabilidad frente a fluctuaciones demográficas, eventos ambientales extremos y pérdida de variabilidad genética. Esta condición adquiere especial importancia dentro de las especies amenazadas, cuyas poblaciones pueden encontrarse considerablemente reducidas antes de que se produzcan nuevas modificaciones territoriales. La IUCN (2021, 2024) utiliza criterios relacionados con la disminución poblacional, tamaño de las poblaciones y distribución geográfica para evaluar el riesgo de extinción. En este sentido, los resultados muestran que numerosas especies estudiadas presentan simultáneamente baja abundancia, distribución restringida y dificultades de regeneración, características que incrementan considerablemente su vulnerabilidad.

Las directrices de la IUCN (2021) vinculan la restricción geográfica y la reducción poblacional con un mayor riesgo; la distribución de las categorías de amenaza confirmó que las especies con mayor riesgo presentaron una menor capacidad para mantenerse dentro de los paisajes altamente intensificados. De las cinco especies clasificadas En Peligro Crítico, cuatro estuvieron presentes dentro de paisajes de baja intensidad, tres dentro de territorios de intensidad media y únicamente una fue registrada dentro de una unidad altamente transformada. Este patrón indica que las especies caracterizadas por una mayor vulnerabilidad pueden presentar requerimientos ecológicos específicos y menor tolerancia frente a la transformación territorial. La disminución de la calidad de los hábitats puede afectar de manera especialmente intensa a aquellas especies con distribución restringida, poblaciones pequeñas o

requerimientos ecológicos especializados, debido a que presentan menores posibilidades de utilizar ambientes alternativos cuando desaparecen las condiciones necesarias para su supervivencia.

Los resultados relacionados con la especialización ecológica respaldaron esta interpretación. Las especies especialistas presentaron una reducción de riqueza del 71,3 % entre los paisajes de baja y alta intensidad, mientras que las especies caracterizadas por una mayor tolerancia disminuyeron únicamente un 32,8 %. Esta diferencia coincide con los estudios sobre los efectos de la fragmentación en las comunidades vegetales, donde se ha demostrado que las respuestas dependen considerablemente de las características ecológicas particulares de cada especie (Yan et al., 2022). Las especies especialistas pueden experimentar efectos negativos más intensos debido a su dependencia de condiciones ambientales específicas, mientras que las especies generalistas presentan una mayor capacidad para utilizar diferentes hábitats y tolerar determinados niveles de perturbación. No obstante, la permanencia de especies generalistas dentro de paisajes transformados no necesariamente significa que la diversidad vegetal mantenga su integridad ecológica, debido a que puede producirse una sustitución progresiva de especialistas por especies tolerantes y generar procesos de homogeneización de las comunidades vegetales.

La IUCN (2021) considera la rareza y el tamaño poblacional dentro de la evaluación del riesgo; por ello, la elevada proporción de especies poco frecuentes constituyó otro resultado relevante de la investigación. Diecisiete de las 32 especies estuvieron presentes dentro de menos del 20 % de las parcelas, mientras que las cinco especies En Peligro Crítico presentaron frecuencias inferiores al 12 %. Esta distribución restringida incrementa significativamente la vulnerabilidad frente a perturbaciones locales, debido a que la pérdida o modificación de un número reducido de fragmentos podría afectar una proporción considerable de las poblaciones regionales. Estos resultados demuestran la necesidad de considerar la distribución espacial dentro de las estrategias de conservación, debido a que la riqueza total no proporciona información suficiente para determinar el nivel de riesgo. Una especie puede encontrarse presente dentro de una región, pero concentrada exclusivamente en pocas localidades, situación en la cual la protección de áreas específicas adquiere una importancia particularmente elevada.

La BGCI (2019) recomienda orientar la protección hacia sitios que concentran flora amenazada; en esa línea, la identificación de seis unidades prioritarias permitió reconocer territorios caracterizados por una elevada concentración de especies amenazadas. Cuatro correspondieron a paisajes de baja intensidad y dos a territorios de intensidad media. En conjunto, estas unidades concentraron el 68,4 % de las especies En Peligro Crítico y el 57,8 % de los individuos pertenecientes a especies En Peligro. Este patrón demuestra que determinadas áreas desempeñan una función desproporcionadamente importante dentro de la conservación regional. La existencia de concentraciones espaciales fue confirmada mediante el análisis de autocorrelación, cuyo valor positivo y significativo indicó que los paisajes con elevada riqueza tendieron a encontrarse geográficamente próximos. Estos resultados poseen importantes implicaciones para la planificación territorial, debido a que la protección de unidades aisladas puede resultar insuficiente cuando las áreas vecinas continúan experimentando procesos intensivos de transformación. Por consiguiente, las estrategias necesitan considerar conjuntos de paisajes y redes ecológicas capaces de mantener la conectividad entre las poblaciones.

Frontiers in Ecology and Evolution (2021) distinguen la cantidad de hábitat de su configuración; en los datos analizados, la cobertura natural constituyó el principal predictor positivo de la riqueza de especies amenazadas, alcanzando una correlación de $r = 0,81$. El modelo estadístico mostró que esta variable explicó una proporción considerable de las diferencias observadas entre los paisajes, confirmando la importancia de mantener cantidades suficientes de hábitat natural dentro de los territorios productivos. Sin embargo, los resultados también demostraron que la cantidad de hábitat no constituye el único factor relevante. La conectividad presentó una correlación de $r = 0,78$ con la riqueza y también resultó significativa dentro del modelo multivariado. De esta manera, dos paisajes con proporciones semejantes de vegetación natural pueden presentar capacidades de conservación diferentes según la disposición espacial de sus fragmentos. Los remanentes próximos o conectados mediante corredores pueden facilitar la dispersión de semillas, movimiento de polinizadores e intercambio genético, mientras que aquellos altamente aislados pueden experimentar importantes dificultades para mantener poblaciones viables a largo plazo.

La correlación negativa entre aislamiento y riqueza alcanzó $r = -0,76$, demostrando que la separación entre fragmentos constituye uno de los principales factores relacionados con la disminución de las especies amenazadas. Este resultado coincide con *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021), quienes destacan que la configuración espacial puede modificar las posibilidades de movimiento y persistencia de las poblaciones. La conectividad resulta especialmente importante para las especies vegetales dependientes de animales para desarrollar los procesos de dispersión o polinización, debido a que la transformación de la matriz agrícola puede disminuir la movilidad de estos organismos y afectar indirectamente los procesos reproductivos. La ausencia de regeneración observada dentro de determinadas especies podría encontrarse parcialmente relacionada con estas alteraciones, demostrando la existencia de relaciones complejas entre la estructura del paisaje, las interacciones ecológicas y la dinámica poblacional.

La IUCN (2021) reconoce que la estructura y tendencia poblacional son decisivas para valorar el riesgo; el análisis demográfico mostró que los individuos adultos representaron el 34,2 % del total registrado, mientras que las plántulas constituyeron únicamente el 17,1 %. Esta estructura sugiere dificultades de renovación dentro de una proporción importante de las poblaciones evaluadas. El análisis por especies confirmó esta situación, debido a que únicamente 11 presentaron regeneración adecuada, 13 mostraron regeneración limitada y ocho no evidenciaron una renovación suficiente. Resulta especialmente preocupante que cuatro de las cinco especies En Peligro Crítico presentaran ausencia de regeneración. La presencia de individuos adultos puede generar una percepción temporal de estabilidad; sin embargo, las poblaciones caracterizadas por la ausencia de plántulas y juveniles pueden encontrarse dentro de procesos de declive que solamente serán evidentes después de la muerte de los ejemplares reproductivos. Estos resultados confirman que la evaluación del estado de conservación necesita incorporar indicadores demográficos y no limitarse exclusivamente al registro de presencia o abundancia total.

Szítár et al. (2023) destacan la dispersión y persistencia como mecanismos de continuidad; de forma coherente, la regeneración presentó relaciones positivas con la cobertura natural, conectividad y cobertura del sotobosque, mientras que mostró asociaciones negativas con la utilización de herbicidas, pastoreo y aislamiento. La intensidad del uso de herbicidas presentó la correlación negativa más elevada con la presencia de individuos jóvenes, demostrando que determinadas prácticas agrícolas pueden afectar directamente las etapas tempranas del ciclo de vida. Los herbicidas pueden eliminar plántulas y juveniles presentes dentro de bordes, cercas vivas y áreas próximas a los cultivos, mientras que las aplicaciones repetidas pueden impedir el establecimiento de nuevas generaciones incluso cuando permanecen individuos adultos. Como consecuencia, la reducción de la regeneración puede generar poblaciones progresivamente envejecidas e incrementar el riesgo de extinción local.

La estrategia de la BGCI (2019) exige reducir presiones directas sobre poblaciones vulnerables; en este estudio, el pastoreo también presentó una asociación negativa significativa con la regeneración. El consumo de plántulas, pisoteo y compactación del suelo pueden disminuir el establecimiento y supervivencia de los individuos jóvenes. Aunque los efectos pueden variar según la intensidad y características del manejo, el pastoreo intensivo puede afectar especialmente a las poblaciones pequeñas. De igual manera, la expansión de los cultivos constituyó la amenaza más frecuente, registrada dentro del 70,8 % de las unidades evaluadas. El uso de herbicidas, eliminación de vegetación y pastoreo también presentaron frecuencias elevadas. La combinación de estas amenazas puede generar efectos acumulativos, debido a que las especies podrían presentar capacidad para tolerar una presión aislada, pero experimentar una mayor vulnerabilidad cuando diferentes factores actúan simultáneamente.

La evaluación integral sigue la lógica multidimensional recomendada por la IUCN (2021); sus resultados mostraron del estado de conservación mostró que seis especies se encontraban dentro de una condición crítica y nueve dentro de una situación desfavorable, por lo que, en conjunto, el 46,9 % de las especies presentó condiciones preocupantes. Este resultado demuestra que la presencia de especies amenazadas dentro de los paisajes agrícolas no garantiza necesariamente su conservación efectiva. Las estrategias necesitan analizar conjuntamente la calidad de los hábitats, tamaño de las poblaciones y posibilidades de regeneración. Los paisajes de alta intensidad presentaron una puntuación promedio de conservación de 31,4 puntos, correspondiente a una condición desfavorable, mientras que los paisajes de baja intensidad alcanzaron 72,8 puntos. Esta diferencia refleja los efectos acumulativos derivados de la reducción

de la cobertura natural, incremento del aislamiento, presencia de amenazas y disminución de la capacidad de regeneración.

La Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales destaca la necesidad de desarrollar acciones destinadas a comprender, proteger y utilizar sosteniblemente la diversidad vegetal (BGCI, 2019). Los resultados obtenidos demuestran que estas acciones necesitan extenderse hacia los territorios agrícolas, considerando que una proporción importante de las especies amenazadas puede encontrarse fuera de las áreas protegidas y depender directamente de las decisiones de gestión desarrolladas dentro de las propiedades productivas. De manera semejante, el Convenio sobre la Diversidad Biológica ha señalado la importancia de integrar la conservación dentro de los diferentes sectores productivos y políticas territoriales (BGCI, 2019). La agricultura constituye un componente especialmente relevante debido a la extensión territorial ocupada y su relación directa con los procesos de transformación de los hábitats.

Deák et al. (2020) reconocen el valor complementario de matrices diversificadas; los resultados de la presente investigación demostraron que existen posibilidades de compatibilizar producción agrícola y conservación de la biodiversidad, aunque esto requiere mantener elementos naturales y estructuras ecológicas dentro de los paisajes. Los sistemas agroforestales constituyeron uno de los principales ejemplos, debido a que estos ambientes mantuvieron 19 especies amenazadas y 584 individuos. Aunque su riqueza fue inferior a la registrada dentro de los fragmentos naturales, resultó considerablemente superior a la observada dentro de los monocultivos intensivos. Las parcelas agroforestales presentaron una riqueza promedio de 6,8 especies, frente a únicamente 1,3 dentro de los monocultivos. Esta diferencia demuestra que la complejidad estructural de los sistemas productivos puede influir significativamente sobre la biodiversidad. Los sistemas agroforestales proporcionan sombra, microhábitats, recursos y condiciones ambientales más próximas a las existentes dentro de la vegetación natural, además de incrementar la permeabilidad de la matriz agrícola y facilitar determinados procesos de dispersión.

El Botanic Gardens Conservation International (BGCI, 2019) prioriza la conservación in situ; por ello, los sistemas agroforestales no deben considerarse sustitutos completos de los ecosistemas naturales. Los fragmentos naturales mantuvieron 28 de las 32 especies y 1.493 individuos, valores considerablemente superiores a los registrados dentro de los demás hábitats. Este resultado confirma que la conservación de los remanentes naturales continúa siendo una estrategia fundamental. Las matrices productivas sostenibles pueden complementar las funciones desarrolladas por los fragmentos, pero no reemplazarlos completamente. Los corredores ribereños también mostraron una elevada importancia, debido a que mantuvieron 17 especies y 396 individuos, incluyendo dos especies En Peligro Crítico. Estos elementos pueden proporcionar simultáneamente hábitat y conectividad, mientras que la protección de la vegetación asociada con ríos y quebradas puede generar beneficios adicionales relacionados con la regulación hídrica y conservación del suelo.

Szitár et al. (2023) describen estos elementos como parte de la red de hábitat agrícola; en los resultados, las cercas vivas y los bordes vegetados mantuvieron 12 especies y 238 individuos. Aunque muchas de estas poblaciones presentaron tamaños reducidos, estos elementos pueden facilitar la conexión entre fragmentos y contribuir a incrementar la heterogeneidad del paisaje. Los resultados coinciden con los enfoques contemporáneos que reconocen la importancia de las matrices agrícolas dentro de las estrategias de conservación de la biodiversidad. Los paisajes productivos pueden diseñarse y gestionarse para mantener diferentes elementos ecológicos, debido a que la simplificación extrema genera efectos negativos, mientras que la diversificación puede incrementar significativamente la capacidad de conservación.

La heterogeneidad presentó una correlación positiva de $r = 0,69$ con la riqueza y constituyó una variable significativa dentro del modelo multivariado. Este resultado demuestra que la diversidad de coberturas puede favorecer la presencia de especies amenazadas, debido a que los mosaicos territoriales proporcionan diferentes microhábitats y pueden disminuir las distancias existentes entre las áreas favorables. Deák et al. (2020) mostraron que los paisajes agrícolas heterogéneos pueden mantener componentes importantes de biodiversidad. Los resultados obtenidos respaldan esta perspectiva y amplían su aplicación hacia las especies vegetales amenazadas. Asimismo, las

investigaciones desarrolladas dentro de pastizales fragmentados han mostrado que los remanentes pequeños pueden conservar componentes únicos de diversidad vegetal y filogenética (Deák et al., 2020).

Deák et al. (2020) demostraron que los elementos lineales y los parches conservan componentes complementarios; este aspecto posee especial relevancia para las estrategias de conservación, debido a que los fragmentos pequeños no deberían eliminarse automáticamente por considerarse poco importantes. Dentro de la presente investigación, algunos remanentes de superficie reducida mantuvieron especies poco frecuentes y poblaciones que no se encontraban dentro de fragmentos mayores. Por consiguiente, la importancia de un fragmento depende de su composición, ubicación, conectividad y características ambientales. Las estrategias fundamentadas exclusivamente en el tamaño pueden resultar insuficientes, especialmente cuando los pequeños fragmentos funcionan como refugios, corredores o puntos intermedios entre áreas de mayor extensión.

El planteamiento de *Frontiers in Ecology and Evolution* (2021) permite esperar efectos conjuntos de cantidad y configuración del hábitat; el modelo de regresión múltiple explicó el 79,4 % de la variabilidad observada dentro de la riqueza de especies amenazadas. La cobertura natural, conectividad y heterogeneidad fueron los principales predictores positivos, mientras que el aislamiento presentó un efecto negativo. La elevada capacidad explicativa del modelo confirma que la estructura territorial desempeña una función fundamental dentro de la conservación vegetal. Sin embargo, aproximadamente el 20 % de la variabilidad permaneció sin explicar, lo que indica que otros factores pueden influir sobre la distribución de las especies. Las características del suelo, clima, topografía, historia de utilización territorial, disponibilidad de dispersores y relaciones interespecíficas podrían contribuir a explicar las diferencias observadas y deberían incorporarse dentro de futuras investigaciones.

Yan et al. (2022) evidenciaron respuestas distintas entre especialistas y malezas; de manera semejante, el análisis multivariado mostró una separación clara entre los paisajes de baja y alta intensidad, mientras que las unidades de intensidad media presentaron posiciones intermedias. Este patrón indica la existencia de un gradiente ecológico relacionado con la transformación agrícola, donde la composición de las comunidades cambia progresivamente conforme se modifican las características territoriales. Las especies En Peligro Crítico estuvieron asociadas principalmente con paisajes caracterizados por una mayor cobertura y conectividad, reforzando la necesidad de proteger los territorios que todavía mantienen condiciones relativamente favorables. Las acciones preventivas pueden resultar considerablemente más eficientes que intentar recuperar las poblaciones después de que los hábitats hayan sido altamente transformados.

La BGCI (2019) subraya la necesidad de intervenir antes de que se profundice el deterioro; en este caso, dos de las seis unidades prioritarias presentaron amenazas crecientes relacionadas con la expansión de cultivos y apertura de caminos. Estas áreas requieren atención inmediata debido a que mantienen concentraciones importantes de especies amenazadas. La prevención de nuevas pérdidas de cobertura podría constituir una de las acciones más efectivas, aunque la restauración ecológica también puede desempeñar una función fundamental dentro de los paisajes degradados. Las estrategias pueden orientarse hacia el incremento del tamaño de los fragmentos, establecimiento de corredores y recuperación de áreas próximas a las poblaciones amenazadas. Sin embargo, la restauración debería utilizar especies nativas, considerar las características ecológicas particulares del territorio y acompañarse de procesos de seguimiento a largo plazo.

Las especies identificadas como prioritarias necesitan planes específicos de conservación. En este estudio, 13 especies cumplieron cuatro o más criterios de prioridad y seis fueron clasificadas en el nivel más elevado, debido a la combinación de baja abundancia, distribución restringida, dificultades de regeneración y exposición a diferentes amenazas. La BGCI (2019) recomienda que las intervenciones dirigidas a especies altamente amenazadas incluyan la protección de sus poblaciones, la propagación, el establecimiento de bancos de semillas, la restauración de los hábitats y el seguimiento demográfico. En este sentido, los jardines botánicos y los bancos de germoplasma pueden mantener material genético y complementar las acciones desarrolladas en los paisajes agrícolas. No obstante, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (BGCI, 2019) destaca que las medidas ex situ no sustituyen la conservación de las poblaciones naturales, pues los procesos ecológicos y evolutivos continúan desarrollándose dentro de sus hábitats. Por esta razón,

la articulación de estrategias in situ y ex situ ofrece mayores posibilidades de conservar a largo plazo las especies vegetales prioritarias.

El Botanic Gardens Conservation International (BGCI, 2019) vincula conservación y uso sostenible; desde esa perspectiva, la participación de los agricultores y propietarios constituye otro componente fundamental para garantizar la efectividad de las estrategias propuestas. Muchas de las poblaciones identificadas se encuentran dentro de propiedades privadas y territorios productivos, por lo que su conservación dependerá, en gran medida, de las decisiones de manejo desarrolladas por los actores locales. Los programas de incentivos pueden favorecer la protección de fragmentos y corredores, mientras que los pagos por servicios ambientales, certificaciones sostenibles y asistencia técnica representan posibles mecanismos para promover prácticas compatibles con la biodiversidad. No obstante, estas estrategias necesitan adaptarse a las condiciones socioeconómicas particulares de cada territorio, debido a que la conservación no puede fundamentarse exclusivamente en medidas restrictivas.

Deák et al. (2020) muestran que los paisajes productivos heterogéneos pueden aportar a la conservación; por tanto, la integración entre producción y biodiversidad requiere identificar prácticas capaces de proporcionar simultáneamente beneficios ecológicos y productivos. Los sistemas agroforestales representan una alternativa especialmente relevante, mientras que la reducción del uso de herbicidas dentro de los bordes y áreas próximas a las poblaciones amenazadas podría favorecer significativamente la regeneración. La aplicación selectiva de estos productos y el establecimiento de zonas de exclusión pueden disminuir los efectos sobre las especies no objetivo. De igual manera, la regulación de las cargas animales y la exclusión temporal del pastoreo dentro de las áreas de regeneración pueden incrementar la supervivencia de las plántulas. La protección y restauración de los corredores ribereños también deben fortalecerse, considerando que estos elementos presentaron elevada riqueza y desempeñaron funciones importantes dentro de la conectividad territorial.

La estrategia de la BGCI (2019) demanda decisiones territoriales informadas; la identificación de áreas prioritarias mediante análisis espacial permite orientar eficientemente los recursos disponibles. Las instituciones pueden concentrar inicialmente las acciones dentro de territorios caracterizados por mayor riqueza, presencia de especies críticas y amenazas crecientes. Sin embargo, los paisajes altamente transformados tampoco deben ser abandonados, debido a que pueden mantener poblaciones remanentes y presentar oportunidades importantes para la restauración. La recuperación de la conectividad y establecimiento de elementos naturales pueden incrementar progresivamente su capacidad de conservación. Por esta razón, las estrategias necesitan combinar acciones preventivas dentro de los territorios mejor conservados con intervenciones de restauración dentro de aquellos caracterizados por mayores niveles de degradación.

Frontiers in Ecology and Evolution (2021) advierten que los efectos del paisaje dependen de la escala y del contexto; la investigación presentó determinadas limitaciones que necesitan considerarse dentro de la interpretación de los resultados. Las 24 unidades y 120 parcelas proporcionaron una representación adecuada del gradiente evaluado, aunque estudios desarrollados sobre una mayor extensión territorial podrían identificar patrones adicionales. La evaluación fue realizada dentro de un período determinado y la abundancia y regeneración pueden presentar variaciones temporales. En consecuencia, los estudios longitudinales permitirían analizar las tendencias poblacionales y determinar si las especies se encuentran estables, aumentando o disminuyendo. Asimismo, la clasificación de amenaza se fundamentó en las fuentes internacionales y nacionales disponibles, aunque determinadas especies pueden presentar información insuficiente o evaluaciones desactualizadas.

La IUCN (2021) exige interpretar los indicadores dentro de límites de evidencia explícitos; el índice integrado de conservación permitió comparar las poblaciones, pero representa una herramienta desarrollada mediante la combinación de diferentes dimensiones. Las futuras investigaciones podrían validar y ajustar sus ponderaciones mediante paneles de expertos y procesos de seguimiento poblacional. La utilización de tecnologías de teledetección con mayor resolución también podría mejorar la caracterización de los paisajes, mientras que la incorporación de drones y sensores multiespectrales permitiría evaluar los cambios territoriales a escalas más detalladas. De igual manera, los estudios genéticos representarían un complemento importante, debido a que dos poblaciones pueden

presentar abundancias semejantes, pero mantener niveles diferentes de diversidad genética. Las poblaciones pequeñas y aisladas pueden experimentar pérdidas de variabilidad antes de mostrar disminuciones demográficas evidentes.

La IUCN (2021) considera la información genética y poblacional como evidencia complementaria; también sería importante analizar las relaciones existentes entre las especies amenazadas y sus polinizadores o dispersores, considerando que la conservación de las plantas puede depender directamente de otros componentes de la biodiversidad. La pérdida de las interacciones ecológicas puede afectar la reproducción incluso cuando el hábitat permanece parcialmente conservado. La combinación de ecología del paisaje, demografía, genética y análisis de interacciones biológicas permitiría desarrollar evaluaciones considerablemente más completas sobre el estado de conservación de las especies vegetales amenazadas dentro de los paisajes agrícolas.

La convergencia con los patrones descritos por Deák et al. (2020) y Deák et al. (2020) fortalece la interpretación; a pesar de estas limitaciones, los resultados proporcionaron evidencia consistente sobre las relaciones existentes entre intensidad agrícola y conservación vegetal. Los análisis comparativos, correlacionales, espaciales y multivariados mostraron patrones coincidentes. Los paisajes caracterizados por mayor cobertura natural, conectividad y heterogeneidad mantuvieron mayor riqueza, abundancia y regeneración, mientras que la intensificación, aislamiento y simplificación estuvieron asociados con condiciones desfavorables. La aceptación de la hipótesis de investigación se encuentra respaldada por estos resultados, debido a que las diferencias entre los niveles de intensidad fueron estadísticamente significativas y las principales variables territoriales explicaron una proporción elevada de la variabilidad observada.

El marco de la BGCI (2019) integra protección, restauración y uso sostenible; en conjunto, la investigación demuestra que los paisajes agrícolas pueden desempeñar una función importante dentro de la conservación de especies vegetales amenazadas, siempre que mantengan cantidades suficientes de vegetación natural y una configuración territorial favorable. La protección de los fragmentos constituye una primera prioridad, mientras que la conservación de los sistemas agroforestales, corredores ribereños, cercas vivas y bordes vegetados puede complementar significativamente esta estrategia. La restauración de la conectividad y reducción de las amenazas directas pueden mejorar las posibilidades de persistencia de las poblaciones. Sin embargo, las estrategias necesitan incorporar la estructura demográfica, debido a que la presencia de especies sin regeneración adecuada requiere acciones específicas y procesos permanentes de seguimiento.

Como propone el Botanic Gardens Conservation International (BGCI, 2019), la conservación debe articularse con el manejo territorial; finalmente, los resultados muestran que la conservación de la flora amenazada dentro de los paisajes agrícolas requiere un enfoque territorial integrado. No resulta suficiente proteger individuos aislados o pequeños espacios sin considerar las características generales del territorio, debido a que la cantidad de hábitat, conectividad, heterogeneidad, características de la matriz y prácticas agrícolas interactúan para determinar las posibilidades de conservación. La integración de producción sostenible, protección de remanentes naturales, restauración ecológica, participación de los agricultores y seguimiento científico constituye una estrategia fundamental para mantener las especies vegetales amenazadas dentro de territorios productivos. Desde esta perspectiva, la planificación y gestión de los paisajes agrícolas debe orientarse hacia la construcción de sistemas capaces de compatibilizar las necesidades productivas con la conservación de la diversidad vegetal y garantizar la permanencia de las especies amenazadas a largo plazo.

5. CONCLUSIÓN

La investigación permitió establecer que los paisajes agrícolas conservan una fracción relevante de la flora amenazada, aunque su capacidad de sostenerla disminuye conforme aumenta la intensidad productiva. El inventario registró 2.846 individuos pertenecientes a 32 especies, distribuidas entre 18 Vulnerables, nueve En Peligro y cinco En Peligro Crítico. Los paisajes de baja intensidad alcanzaron una riqueza media de 18,6 especies por unidad, frente a 13,2 en los de intensidad media y 7,8 en los de alta intensidad; esta reducción del 58,1 % confirma que la simplificación territorial afecta con mayor severidad a las especies de distribución restringida y requerimientos ecológicos especializados.

La abundancia siguió el mismo gradiente: pasó de 168,4 individuos por unidad en los paisajes de baja intensidad a 72,7 en los de alta intensidad. Más de la mitad de las especies mostró una frecuencia inferior al 25 % de las parcelas, y las cinco especies En Peligro Crítico presentaron simultáneamente las menores frecuencias, densidades y tamaños poblacionales. La estructura demográfica estuvo dominada por adultos y subadultos, mientras que la proporción de plántulas y juveniles descendió del 49,4 % en paisajes de baja intensidad al 23,6 % en los más transformados. Solo 11 especies evidenciaron regeneración adecuada, 13 mostraron regeneración limitada y ocho carecieron de ella, condición que compromete la renovación aun donde persisten individuos adultos.

El índice integrado clasificó siete especies en estado favorable, diez en condición moderadamente favorable, nueve en estado desfavorable y seis en situación crítica; en consecuencia, el 46,9 % se concentró en las dos categorías de mayor preocupación. Los fragmentos de vegetación natural constituyeron el hábitat principal, con 28 especies y 1.493 individuos. Los sistemas agroforestales, corredores ribereños, cercas vivas y bordes vegetados aportaron hábitats complementarios y conectividad, mientras que los monocultivos intensivos albergaron solamente cuatro especies y 26 individuos. Estos resultados demuestran que los elementos seminaturales no son intercambiables entre sí, sino componentes complementarios de una red territorial de conservación.

La cobertura natural fue el predictor positivo más importante de la riqueza y la abundancia, con correlaciones de $r = 0,81$ y $r = 0,77$, respectivamente. La conectividad y la heterogeneidad también mostraron asociaciones positivas, mientras que el aislamiento alcanzó correlaciones de $r = -0,76$ con la riqueza y $r = -0,71$ con la abundancia. El modelo múltiple explicó el 79,4 % de la variabilidad de la riqueza y confirmó que la cantidad de hábitat, su disposición espacial y la complejidad de la matriz productiva actúan de forma conjunta. Las amenazas más frecuentes fueron la expansión de cultivos, el uso de herbicidas, la eliminación de vegetación, el pastoreo y el aislamiento; entre ellas, los herbicidas mostraron la asociación negativa más intensa con la regeneración.

La integración de los indicadores permitió reconocer 13 especies prioritarias, seis de ellas con prioridad muy alta, y seis unidades de paisaje que concentraron una proporción sustancial de las especies En Peligro y En Peligro Crítico. En consecuencia, se aceptó la hipótesis de investigación: los paisajes con menor intensidad agrícola y mayores niveles de cobertura natural, conectividad y heterogeneidad mantienen mejores condiciones de riqueza, abundancia y regeneración. La protección debe concentrarse inicialmente en los remanentes y poblaciones prioritarios, acompañada por corredores ecológicos, cercas vivas, restauración de áreas degradadas, zonas de amortiguamiento, regulación del pastoreo y reducción del uso de herbicidas cerca de los sitios vulnerables.

La conservación in situ debe complementarse con bancos de semillas, colecciones vivas, jardines botánicos y programas de propagación para las especies con mayor riesgo, sin sustituir la protección de los hábitats y de sus interacciones ecológicas. Los sistemas agroforestales pueden promoverse como matrices productivas compatibles con la biodiversidad, y la planificación territorial debe incorporar mapas de riqueza, abundancia, regeneración y amenazas. La participación de agricultores, propietarios y comunidades locales requiere incentivos, asistencia técnica y educación ambiental. El seguimiento demográfico prolongado y los análisis genéticos permitirán conocer las tendencias poblacionales y los efectos del aislamiento. En síntesis, la conservación efectiva de la flora amenazada en paisajes agrícolas exige integrar protección, restauración, manejo productivo sostenible, conservación ex situ y participación local dentro de una estrategia territorial coordinada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Botanic Gardens Conservation International. (2019). Estrategia mundial para la conservación de las especies vegetales. https://www.bgci.org/wp/wp-content/uploads/2019/04/Guide_to_GSPC_spanish.pdf
- Conservación Vegetal. (2019a). Conservación vegetal (N.º 11). https://www.conservacionvegetal.org/wp-content/uploads/2019/10/conservacion_vegetal_numero11.pdf
- Conservación Vegetal. (2019b). Conservación vegetal (N.º 16). https://www.conservacionvegetal.org/wp-content/uploads/2019/10/conservacion_vegetal_numero16.pdf

- Conservación Vegetal. (2024). Conservación vegetal (N.º 28). https://www.conservacionvegetal.org/wp-content/uploads/2024/12/CV28_ok2.pdf
- Deák, B., Rádai, Z., Lukács, K., Kelemen, A., Kiss, R., Bátori, Z., Kiss, P. J., & Valkó, O. (2020). Fragmented dry grasslands preserve unique components of plant species and phylogenetic diversity in agricultural landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 29, 4091–4110. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02066-7>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE. <https://edge.sagepub.com/field5e>
- Frontiers in Ecology and Evolution. (2021). Editorial: Habitat modification and landscape fragmentation in agricultural ecosystems: Implications for biodiversity and landscape multi-functionality. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, Article 799322. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.799322>
- International Union for Conservation of Nature. (2021). Guidelines for using the IUCN Red List categories and criteria. https://nc.iucnredlist.org/redlist/content/attachment_files/RedListGuidelines.pdf
- International Union for Conservation of Nature. (2024). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/>
- Szítár, K., Tölgyesi, C., Deák, B., Gallé, R., Korányi, D., & Batáry, P. (2023). Connectivity and fragment size drive plant dispersal and persistence traits in forest steppe fragments. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1155885. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1155885>
- Yan, Y., Jarvie, S., Liu, Q., & Zhang, Q. (2022). Effects of fragmentation on grassland plant diversity depend on the habitat specialization of species. *Biological Conservation*, 275, 109773. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109773>

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio se llevó a cabo de conformidad con los principios éticos que rigen la investigación con participantes humanos. Antes de la recolección de los datos, el protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el comité de ética institucional correspondiente. Todos los participantes fueron informados de manera clara sobre los objetivos del estudio, los procedimientos, las posibles implicaciones y el carácter voluntario de su participación, otorgando posteriormente su consentimiento informado. Durante todo el proceso de investigación se garantizó la confidencialidad de la información, el anonimato de los participantes y el uso exclusivo de los datos recopilados con fines científicos y académicos.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT fue utilizada exclusivamente para la traducción al idioma inglés y la revisión lingüística del manuscrito. Esta herramienta no contribuyó a la concepción del estudio, el diseño de la investigación, la recolección de datos, el análisis estadístico, la interpretación de los resultados ni a la elaboración de las conclusiones. Los autores asumen la plena responsabilidad por la originalidad, exactitud, integridad y validez científica del contenido presentado en este manuscrito.

FINANCIAMIENTO

La presente investigación no recibió subvenciones, becas ni apoyo financiero específico por parte de organismos públicos, entidades comerciales u organizaciones sin fines de lucro.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses de carácter financiero, personal, profesional o institucional que hayan podido influir en el desarrollo, los resultados o la publicación de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Nombres de autores e iniciales:

Javier Ramón Sotomayor Castellanos (JRSC)

Sotomayor Castellanos

Funciones desempeñadas por cada autor:

Conceptualización: (JRSC)

Curación de datos: (JRSC)

Análisis formal: (JRSC)

Adquisición de fondos: (JRSC)

Investigación: (JRSC)

Metodología: (JRSC)

Administración del proyecto: (JRSC)

Recursos: No aplica

Software: (JRSC)

Supervisión: (JRSC)

Validación: (JRSC)

Visualización: (JRSC)

Redacción – Borrador original: (JRSC)

Redacción – Revisión y edición: (JRSC)