

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación de los cambios de usos y coberturas en tres fincas
ganaderas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera
del Rio Plátano, Honduras

Estudiante

Jeansy Graciela Cáceres Ruiz

Asesores

Alexandra Manueles, Mtr.

Jeffrey Díaz, M.Sc.

Honduras, agosto 2025

Autoridades

KEITH ANDREWS

Rector i.a.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

VICTORIA ALEJANDRA CORTÉS

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

JULIO NAVARRO

Secretaría General

Agradecimientos

Agradezco al proyecto MiBiosfera por el financiamiento para el desarrollo de esta investigación. En especial al equipo técnico del proyecto y a los productores que me atendieron en la visita de campo.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros	7
Índice de Figuras	9
Índice de Anexos	11
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
Metodología	17
Área de Estudio	17
Diseño del Estudio	18
Evaluación de los Cambios y Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas	18
Métodos de Recolección de Datos	18
Procesamiento de Imágenes: ortomosaicos e índice de vegetación	19
Clasificación de Usos y Coberturas	19
Evaluación de Cambios de Usos y Coberturas	20
Conteo de Árboles y Arbustos	21
Evaluación de Indicadores de Fragmentación en las Tres Fincas Ganaderas	22
Indicadores de Fragmentación	22
Resultados y Discusión	26
Evaluación de los Cambios de Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas	26
Procesamiento de Imágenes: Ortomosaicos	26
Procesamiento de Imágenes: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	28
Análisis NDVI para Finca La Llorona 2025	29

Análisis NDVI para Finca la Llorona 2023.....	30
Variación de vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de la Finca La Llorona	31
Análisis NDVI para Finca Las Arenas 2025	34
Análisis NDVI para Finca Las Arenas 2023	35
Variación de Vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de Finca Las Arenas	36
Análisis NDVI de Finca Los Mangos 2025.....	38
Análisis NDVI para Finca Los Mangos 2023	40
Variación de Vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de Finca Los Mangos.	42
Clasificación de Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas en el 2025	44
Evaluación de Cambios en los Usos y Coberturas del Suelo: Pérdidas y Ganancias (2023–2025).	48
Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca La Llorona.....	55
Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca Las Arenas	56
Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca Los Mangos	58
Evaluación de Indicadores de Fragmentación en las Tres Fincas Ganaderas	59
Indicadores de Fragmentación de la Finca La Llorona.....	59
Comparación del Número y la Densidad de Parches por Clase de Cobertura (2023 vs. 2025) en la Finca La Llorona	64
Indicadores de Fragmentación de la Finca Las Arenas	65
Comparación del Número y la Densidad de Parches por Clase de Cobertura (2023 vs. 2025) en la Finca La Llorona	70
Indicadores de Fragmentación de la Finca Los Mangos	71
Comparación del número y la densidad de parches por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca Los Mangos	77
Conclusiones	79
Recomendaciones.....	81

Referencias..... 82

Anexos..... 85

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Nomenclatura de clasificación de usos y coberturas	20
Cuadro 2 Valores NDVI para diferentes tipos de objetos espaciales.....	29
Cuadro 3 Superficie utilizada por clase de variación de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca La Llorona.....	33
Cuadro 4 Superficie utilizada por clase de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Las Arenas	38
Cuadro 5 Superficie utilizada por clase de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Los Mangos.....	44
Cuadro 6 Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total.....	45
Cuadro 7 Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total.....	47
Cuadro 8 Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total.....	48
Cuadro 9 Matriz de cambios de uso del suelo 2023-2025 de finca La Llorona.....	49
Cuadro 10 Matriz de cambios de uso del suelo 2023-2025 de finca Las Arenas.....	51
Cuadro 11 Matriz de cambios de uso del suelo 2023-2025 de finca Los Mangos	53
Cuadro 12 Cambios de cobertura entre 2023 y 2025 para los usos de praderas, cercas vivas y bosque latifoliado en las fincas La Llorona, Las Arenas y Los Mangos.	55
Cuadro 13 Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca La Llorona	60
Cuadro 14 Índices de fragmentación a nivel de finca La Llorona	61
Cuadro 15 Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca Las Arenas	66
Cuadro 16 Índices de fragmentación a nivel de clase de finca Las Arenas.....	67
Cuadro 17 Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca Los Mangos.....	72

Cuadro 18	Índices de fragmentación a nivel de clase de finca Los Mangos	73
Cuadro 19	Conteo de copas de arbóreas en la finca La Llorona para los años 2023 y 2025	56
Cuadro 20	Conteo de copas arbóreas en la finca Las Arenas para los años 2023 y 2025	57
Cuadro 21	Conteo de copas arbóreas en la finca Los Mangos para los años 2023 y 2025	59

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de fincas ganaderas en la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, Honduras.	17
Figura 2 Proceso metodológico para la clasificación y comparación de usos y coberturas (2025) de las fincas ganaderas Las Arenas, La Llorona y Los Mangos del proyecto MiBiosfera	21
Figura 3 Proceso metodológico para la aplicación de indicadores de fragmentación de las fincas ganaderas Las Arenas, La Llorona y Los Mangos del proyecto MiBiosfera	23
Figura 4 Ortomosaicos RGB generados para las fincas La Llorona (a), Las Arenas (b) y Los Mangos (c)	27
Figura 5 Ortomosaicos multiespectrales generados para las fincas La Llorona (a), Las Arenas (b) y Los Mangos (c).	28
Figura 6 Mapa NDVI INDEX de finca La Llorona	30
Figura 7 Mapa NDVI INDEX de finca La Llorona 2023	31
Figura 8 Variación de vigor de la cobertura vegetal NDVI 2023-2025 de finca La Llorona.....	33
Figura 9 Mapa NDVI INDEX de finca Las Arenas 2025	35
Figura 10 Mapa NDVI INDEX de finca Las Arenas 2023	36
Figura 11 Mapa de variación de vigor en la cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Las Arenas	38
Figura 12 Mapa NDVI INDEX de finca Los Mangos.....	40
Figura 13 Mapa NDVI INDEX de finca Los Mangos 2023.....	41
Figura 14 Mapa de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Los Mangos	43
Figura 15 Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca La Llorona	45
Figura 16 Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca Las Arenas.....	46
Figura 17 Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca Los Mangos.....	47

Figura 18 Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca La Llorona	62
Figura 19 Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca La Llorona	63
Figura 20 Relación entre número (NP) y densidad de parches (DP) de finca La Llorona.....	64
Figura 21 Comparación del número y densidad de parches por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en finca La Llorona	65
Figura 22 Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca Las Arenas.....	68
Figura 23 Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca Las Arenas	69
Figura 24 Relación entre el área de la clase (CA) y el número de parches (NP) en la finca Las Arenas.	70
Figura 25 Comparación del número (NP) y densidad de parches (DP) por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca Las Arenas.....	71
Figura 26 Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca Los Mangos.....	74
Figura 27 Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca Los Mangos	75
Figura 28 Relación entre el área de la clase (CA) y número de parches (NP) en la finca Los Mangos	76
Figura 29 Comparación del número (NP) y densidad de parches (DP) por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca los Mangos	78
Figura 30 Mapa de copas de árboles de finca La Llorona en 2025	56
Figura 31 Mapa de copas de árboles de finca Las Arenas 2025.....	57
Figura 32 Mapa de copas de árboles de finca Los Mangos 2025.....	58

Índice de Anexos

Anexo A Recolección de datos en campo en fincas ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Rio Plátano.....	85
Anexo B Mapa de plan de manejo 2025 de finca La Llorona.....	86
Anexo C Plan de manejo 2025 de finca Las Arenas	87
Anexo D Mapa de plan de manejo de finca 2025 de finca Los Mangos	88

Resumen

Este estudio caracterizó los cambios de usos y coberturas durante el periodo 2023-2025 de tres fincas ganaderas: La Llorona (20,47 ha), Las Arenas (17,07 ha) y Los Mangos (49,6 ha) ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, Honduras. Se emplearon imágenes RGB y multiespectrales captadas con dron E-bee Ag y DJI®, procesadas con Pix4D®, análisis NDVI y clasificación basada en la jerarquía del Corine Land Cover (nivel 3) en QGIS®, complementados con métricas de fragmentación calculadas en Fragstats®. Los resultados mostraron que la pradera sigue siendo la cobertura dominante, aunque disminuyó ligeramente tras la implementación de potrerización rotacional: -1,31 ha en La Llorona, -0,69 ha en Las Arenas y -1,58 ha en Los Mangos. Esa superficie se transformó principalmente en cercas vivas, cuya cobertura aumentó en +1,31 ha, +0,69 ha y +1,58 ha respectivamente, reforzando la conectividad ecológica del paisaje. El análisis NDVI indicó que entre el 62 y el 75% de la superficie se mantuvo estable; las disminuciones moderadas (23–38 %) coincidieron con zonas de pastoreo más intensivo, mientras que los aumentos de vigor fueron (<1 %). Las métricas de fragmentación revelan complejidad espacial: La Llorona presentó la mayor densidad de parches (PD = 261,83 parches/100 ha) y el índice de borde más alto (ED = 318 m/ha); Las Arenas mostró una fragmentación intermedia (PD = 159,93); y Los Mangos, la menor (PD = 53,18), aunque con mayor heterogeneidad de bosques (bosque mixto 29% bosques latifoliado y conífero 18%). Se concluye que la expansión de cercas vivas, combinada con el pastoreo rotacional, contribuye a reducir la fragmentación y a diversificar las coberturas, mientras que la permanencia de parches forestales en la finca Los Mangos ofrece oportunidades para corredores biológicos.

Palabras clave: Ganadería sostenible, fragmentación de hábitats, uso del suelo

Abstract

This study characterized the biophysical conditions of three cattle farms—La Llorona (20.47 ha), Las Arenas (17.07 ha), and Los Mangos (49.6 ha)—located in the buffer zone of the Río Plátano Biosphere Reserve, Honduras, during the 2023–2025 period. RGB and multispectral images were captured using E-bee Ag and DJI drones, processed with Pix4D®, and analyzed through NDVI and Corine Land Cover (Level 3) classification in QGIS®, complemented with fragmentation metrics calculated using Fragstats®. The results showed that grassland remained the dominant land cover, although it slightly decreased following the implementation of rotational grazing: –1.31 ha in La Llorona, –0.69 ha in Las Arenas, and –1.58 ha in Los Mangos. This area was mainly transformed into live fences, whose coverage increased by +1.31 ha, +0.69 ha, and +1.58 ha respectively, enhancing the ecological connectivity of the landscape. The NDVI analysis indicated that between 62 and 75% of the surface remained stable; moderate declines (23 – 38%) coincided with more intensively grazed areas, while increases in vegetative vigor were marginal (< 1%). Fragmentation metrics revealed spatial complexity: La Llorona had the highest patch density (PD = 261.83 patches/100 ha) and the highest edge density (ED = 318 m/ha); Las Arenas showed intermediate fragmentation (PD = 159.93); and Los Mangos, the lowest (PD = 53.18), although with greater forest heterogeneity (mixed forest 29% and broadleaf/coniferous forest 18%). It is concluded that the expansion of live fences, combined with rotational grazing, contributes to reducing fragmentation and diversifying land cover, while the persistence of forest patches in Los Mangos offers opportunities for biological corridors.

Keywords: Habitat fragmentation, land use, sustainable livestock farming

Introducción

La creciente degradación ambiental y sus impactos en la biodiversidad han generado preocupación global (Hossain et al., 2020). En este contexto, las prácticas agrícolas sostenibles representan una oportunidad para equilibrar la producción económica con la conservación del medio ambiente, ya que la conservación de la biodiversidad depende en gran medida de la protección adecuada de los ecosistemas (Capó et al., 2016).

Las actividades económicas humanas, como la ganadería, han invadido extensas áreas de bosques a través de la deforestación, lo que ha tenido graves consecuencias ambientales (Cárceles Rodríguez et al., 2022). La expansión de la ganadería a menudo implica la tala de grandes extensiones de bosques para crear pastizales, lo que resulta en la pérdida de biodiversidad y la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono almacenado en los árboles. Esta deforestación no solo destruye hábitats críticos, sino que también altera los ciclos climáticos y reduce la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono (Rojas Briceño et al., 2019).

Ante esta situación, la regulación de las actividades agrícolas es necesaria para la conservación de los bosques y la mitigación del cambio climático. Los bosques actúan como sumideros de carbono, absorbiendo grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera. Sin embargo, la deforestación y la degradación forestal, a menudo causadas por la expansión agrícola, liberan este carbono almacenado, contribuyendo al calentamiento global. La adopción de prácticas sostenibles como la división de potreros, el pastoreo rotacional y las cercas vivas no solo protege los bosques, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola al mejorar la productividad del suelo y reducir la necesidad de insumos químicos (Fahrig, 2017).

Las cercas vivas son parte integral de los sistemas agroforestales y silvopastoriles, promoviendo la gestión sostenible de la tierra. Cumplen múltiples funciones, como dividir los pastos, proporcionar forraje y proporcionar sombra, lo que puede reducir la necesidad de insumos externos como fertilizantes y madera (Layza R. et al., 2018).

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar y monitorear los impactos ambientales y el estado de diversas zonas geográficas. Los SIG permiten la recolección, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la gestión ambiental. Por ejemplo, los SIG se utilizan para mapear y analizar variables como usos del suelo, cobertura vegetal e indicadores de fragmentación, proporcionando un panorama de las características biofísicas de una región (Sundaram B. et al., 2018).

El análisis de los usos y coberturas del suelo es fundamental para comprender las transformaciones en el paisaje y su impacto en los ecosistemas. Este parámetro permite identificar la extensión de áreas naturales, agrícolas y ganaderas, así como evaluar los cambios provocados por la actividad humana. Por ejemplo, la cobertura forestal está directamente asociada con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, mientras que la expansión de áreas agrícolas puede fragmentar el hábitat y disminuir la conectividad ecológica (Lamine et al., 2018).

La fragmentación de las explotaciones ganaderas en zonas de amortiguamiento se ha convertido en un problema crítico en los paisajes agrícolas, con importantes implicaciones para la estructura, función y biodiversidad de los ecosistemas. Las zonas de amortiguamiento, establecidas generalmente para mitigar los impactos ambientales de la agricultura, suelen fragmentarse debido a los cambios en el uso del suelo, lo que genera una dispersión de áreas pequeñas y aisladas (Tayari. E et al., 2015).

El análisis de indicadores como el área de parches (AREA), densidad de parches (PD), porcentaje del paisaje (PLAND) y densidad de bordes (ED) proporciona información sobre la estructura y conectividad biológica, los cuales son datos importantes para la toma de decisiones en el manejo productivo (McGarigal y Marks, 1995).

Este estudio se sitúa en la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, ubicada en el noreste de Honduras, es una de las áreas protegidas más importantes del país. Esta reserva abarca

aproximadamente 830,000 ha y se distribuye en tres zonas principales: la zona núcleo, la zona de amortiguamiento y la zona cultural. La zona núcleo cubre alrededor de 375,000 ha y está destinada a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales. La zona de amortiguamiento comprende aproximadamente 225,000 ha en la que se permiten actividades humanas. La zona cultural incluye áreas habitadas por comunidades indígenas y locales, abarca 230,000 ha y se enfoca en la preservación de las tradiciones y modos de vida de estas. La altitud de la reserva varía desde el nivel del mar hasta los 1,326 msnm, y la precipitación promedio anual oscila entre 2,500 y 3,000 mm, lo que contribuye a su rica biodiversidad (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF], 2015).

La presente investigación tiene como objetivo general: Evaluar los cambios en el uso y cobertura del suelo y los indicadores de fragmentación del paisaje en tres fincas ganaderas ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, mediante el análisis de imágenes de dron entre 2023 y 2025. Como objetivos específicos, están: a) Evaluar los cambios de usos y coberturas de tres fincas ganaderas ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Río Plátano entre el año 2023 y 2025; y, b) Evaluar los indicadores de fragmentación de tres fincas ganaderas de la Reserva de la Biosfera para la actualización de los planes de manejo de finca.

Metodología

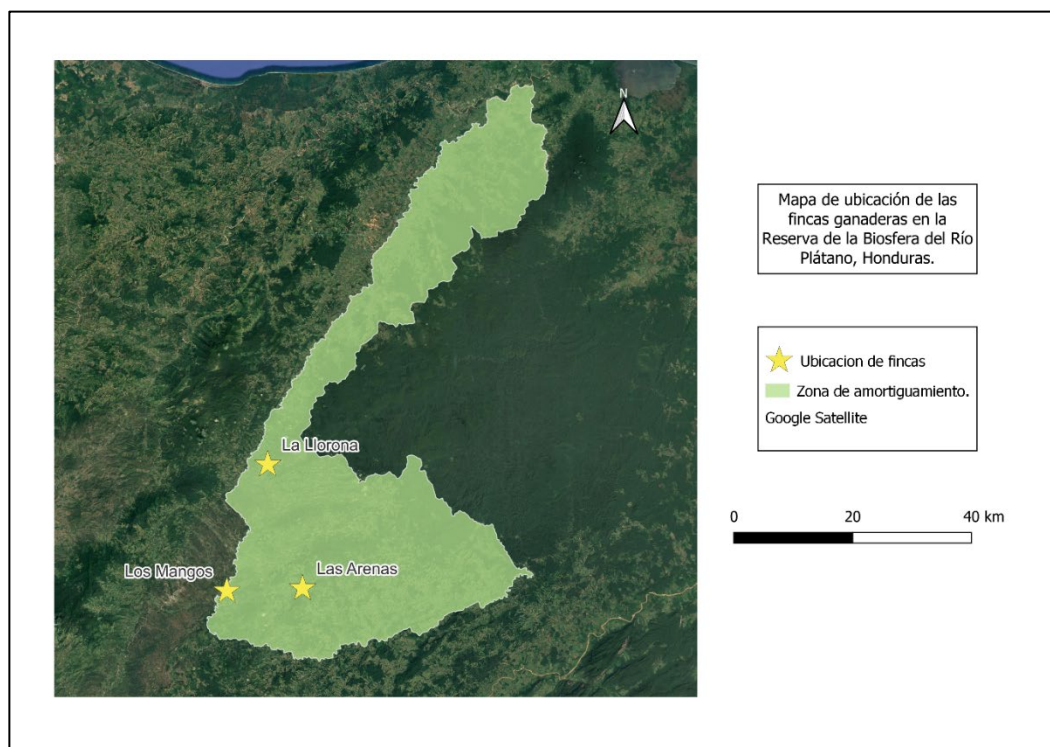
Área de Estudio

La Biosfera del río Plátano se encuentra en el noreste de Honduras, entre los departamentos de Gracias a Dios, Olancho y Colón. La altitud de la reserva varía desde el nivel del mar hasta los 1,326 msnm, y la precipitación promedio anual oscila entre 2,500 y 3,000 mm.

El objeto de estudio de esta investigación se centra en tres fincas ganaderas ubicadas dentro del proyecto MiBiosfera en la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, Honduras. Estas fincas representan un modelo de manejo sostenible de la ganadería en áreas protegidas del proyecto MiBiosfera. Se evaluaron los cambios de usos y coberturas en las fincas de la Llorona, Las Arenas y Los Mangos (Figura 1); mismas que fueron objeto de estudio en el 2023.

Figura 1

Mapa de ubicación de fincas ganaderas en la Reserva de la Biosfera del Río Plátano, Honduras



Diseño del Estudio

El diseño de la investigación es descriptivo, no experimental. No se manipularon las variables independientes, sino que se observaron y registraron tal como se presentan en su entorno natural en un momento específico del tiempo. En este caso, el estudio se basó en el análisis de imágenes de dron del 2023 y 2025 para únicamente tres fincas ganaderas del proyecto MiBiosfera. Primero, se inició por una evaluación de los cambios de usos y coberturas y finalmente se concluyó con un análisis de fragmentación para las tres fincas ganaderas. A continuación, se explica el procedimiento seguido para lograr cada uno de los objetivos del estudio.

Evaluación de los Cambios y Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas

Métodos de Recolección de Datos

Inicialmente se realizó la planificación del vuelo por medio de la aplicación E-Motion®, la cual fue diseñada por AgEagle Aerial Systems Inc®. La metodología de planificación incluyó la creación del plan de vuelo, la captura autónoma de datos geoetiquetados y el procesamiento post-vuelo. Primero, se dibujó el área a cartografiar (área de las fincas) en el programa QGIS® y luego en el programa E-Motion® se generó automáticamente el plan de vuelo, ajustando parámetros como la altitud y el solapamiento de las imágenes según las necesidades del proyecto. Durante el vuelo, la aplicación E-Motion® proporcionó información en tiempo real sobre el estado del dron, incluyendo el nivel de batería y las condiciones del viento. Finalmente, las imágenes capturadas fueron geoetiquetadas automáticamente (Ihtimanski et al., 2024 - 2024).

El plan de vuelo fue ejecutado a través del dron E-bee Ag, el cual fue diseñado por senseFly®. Este equipo posee características avanzadas como una estructura ligera, una autonomía de vuelo de hasta 50 minutos y una capacidad de cobertura de grandes áreas en un solo vuelo. Además, estuvo equipado con una cámara Sequoia+ de infrarrojo cercano, lo cual permitió la captura de imágenes multispectrales de las fincas, mismas que fueron almacenadas en la memoria de la cámara.

Procesamiento de Imágenes: ortomosaicos e índice de vegetación

La descarga de las imágenes y el preprocesamiento se realizó mediante el programa PIX4Dmapper®. El producto obtenido fue un ortomosaico del visible o RGB (“Red”, “Green” y “Blue”), que es una imagen compuesta de alta resolución que representa la superficie terrestre sin distorsiones. Además, se generó un ortomosaico con las imágenes del infrarrojo cercano, las cuales fueron esenciales para el análisis. El procesamiento digital de las imágenes se realizó por medio de la aplicación QGIS®, este programa permitió la visualización, análisis y corrección de imágenes digitales, así como la realización de las clasificaciones supervisadas. Además, se utilizó el “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI, por sus siglas en inglés) que combinó las bandas del rojo visible e infrarrojo cercano para identificar la densidad y el vigor de la vegetación (Murat et al., 2015). El NDVI se realizó previo a la clasificación de usos y coberturas con el fin de evaluar las variaciones en el vigor y aumento de la cobertura vegetal. El procesamiento digital de las imágenes se realizó por medio de la aplicación QGIS®, este programa permitió la visualización, análisis y corrección de imágenes digitales, así como la realización de las clasificaciones supervisadas de usos y coberturas.

Clasificación de Usos y Coberturas

La clasificación de los usos y coberturas del suelo en las fincas se llevó a cabo utilizando la jerarquía del “Corine Land Cover”, específicamente en el nivel 3. Esta metodología proporciona una clasificación detallada basada en el análisis de imágenes satelitales y datos geoespaciales, lo que permitió identificar y distinguir distintos tipos de cobertura y uso del suelo, como zonas urbanas, áreas agrícolas, superficies forestales y cuerpos de agua (Cuadro 1). En concordancia con la estructura jerárquica de los criterios de interpretación visual, se implementó una clasificación supervisada que incorporó diferentes tipos de criterios. Entre ellos se incluyeron criterios espectrales (como el color y el brillo), criterios simples (relacionados con la forma), así como criterios complejos, tales como el tamaño, la textura, las sombras, el contexto espacial y las relaciones de asociación entre objetos geográficos (Chuvieco, 1996). La inclusión de estos criterios contribuyó a mejorar la precisión en la

identificación de las coberturas del suelo y facilitó el seguimiento de los cambios en el uso del territorio a lo largo del tiempo. Por otro lado, el conocimiento de campo fue crucial en la identificación de las categorías de usos.

Cuadro 1

Nomenclatura de clasificación de usos y coberturas

Clases	Descripción
Pradera	Es un tipo de cultivo de origen natural o seminatural compuesto por varias especies, principalmente gramíneas y leguminosas.
Cercas vivas	elementos naturales (árboles o arbustos) que funcionan como división de áreas de pastoreo, cultivos o parches de bosque.
Bosque latifoliado	Ecosistema dominado por árboles de hoja ancha (latifoliadas)
Bosque conífero	Ecosistema forestal dominado por árboles gimnospermas
Bosque de galería	Tipo de bosque que se desarrolla a lo largo de los márgenes de ríos y quebradas.
Bosque mixto	Ecosistema natural compuesto por una combinación de especies de árboles latifoliados y de coníferas, estos coexisten en distintas proporciones.
Cuerpo de agua natural	Acumulación de agua de origen no artificial.
Cuerpo de agua artificial	Acumulación de agua creada por intervención humana.
Tejido urbano discontinuo	Presencia de construcciones dispersas o agrupadas de forma no continua.
Cultivo anual	Cultivo agrícola que completa su ciclo de vida en menos de un año, desde la siembra hasta la cosecha, y debe ser replantado cada temporada.
Cultivo permanente	Cultivo agrícola que permanece en el suelo por varios años sin necesidad de replantarse tras cada cosecha.
Pasturas	Áreas cubiertas con especies forrajeras sembradas o manejadas, utilizadas para alimentar ganado mediante pastoreo.

Evaluación de Cambios de Usos y Coberturas

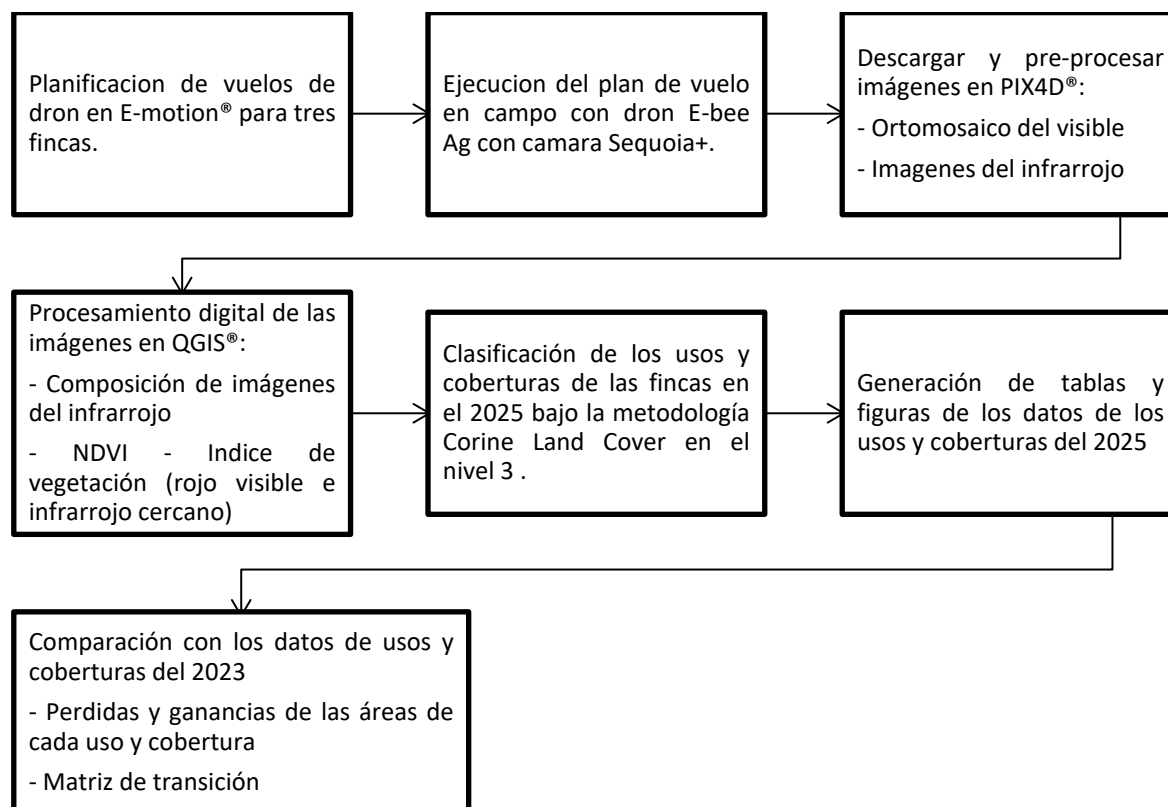
Para realizar la comparación de los datos de usos y coberturas se llevó a cabo un análisis comparativo entre los datos del tiempo 2 y los del tiempo 1 (Lainez. A, 2023). Este análisis incluyó la evaluación de las pérdidas y ganancias en las áreas de cada uso y cobertura. Para ello, se utilizó una matriz de transición, la cual permitió identificar y cuantificar los cambios en las categorías de uso y cobertura del suelo entre ambos los periodos evaluados (Juárez et al., 2022).

La metodología antes descrita para la clasificación y evaluación de los cambios usos y coberturas del suelo se resume en la Figura 2. La cual parte de un vuelo de dron por finca y finaliza

con la generación de datos de usos y coberturas para la comparación entre el año 2023 y 2025 por medio de matrices de transición.

Figura 2

Proceso metodológico para la clasificación y comparación de usos y coberturas (2025) de las fincas ganaderas Las Arenas, La Llorona y Los Mangos del proyecto MiBiosfera



Conteo de Árboles y Arbustos

Además de evaluar los cambios de usos y coberturas, se realizó un conteo de copas de árboles y arbustos en las tres fincas para el 2023 y 2025, esto con el fin de evaluar el aumento de cobertura arbórea. Para estimar el número de árboles y arbustos en la finca se utilizó el complemento “Deepness” en QGIS®, configurado para aplicar el modelo “Tree Tops Detection”, basado en redes neuronales de tipo YOLO entrenadas para imágenes aéreas. Este modelo identificó automáticamente las copas de los árboles generando objetos vectoriales tipo polígonos circulares cada vez que detectó un centro de copa de árboles o arbustos en la imagen, los polígonos resultantes fueron revisados y

corregidos manualmente mediante inspección visual para discriminar o agregar copas de árboles y arbustos. Finalmente se realizó un conteo total de número de copas y del área cubierta por estas en cada finca su análisis comparativo entre el 2023 y 2025. Esta metodología combina automatización con verificación local, lo cual mejora la precisión del conteo de vegetación arbórea y arbustiva (Ruiz et al., 2025). Una vez concluida la evaluación de los cambios de usos y coberturas de las fincas (objetivo 1) se procedió a la evaluación de las métricas de fragmentación, siendo este el segundo objetivo del presente estudio.

Evaluación de Indicadores de Fragmentación en las Tres Fincas Ganaderas

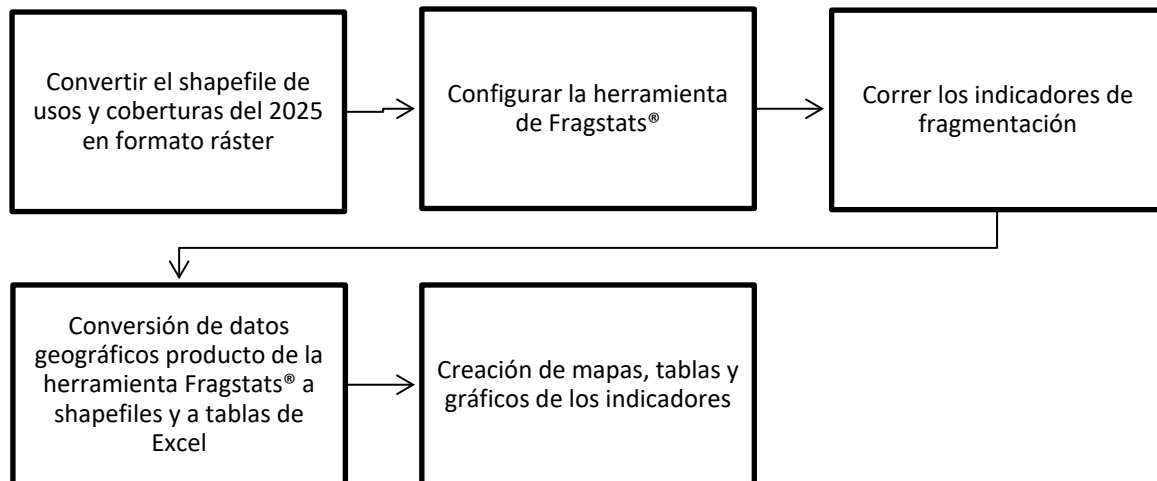
Indicadores de Fragmentación

Para el análisis de fragmentación del paisaje, se utilizó el mapa de las clases de usos y coberturas de cada una de las fincas para el 2023 y 2025. Los usos y coberturas del estudio de ya se encontraban en formato “shapefile”, mientras que los usos del 2025 se convirtieron a este mismo formato. Las capas de usos y coberturas fueron procesadas y analizadas utilizando el programa Fragstat®, el cual permitió la cuantificación de métricas de fragmentación como el tamaño de los parches, la densidad de bordes y la conectividad del paisaje. En la Figura 3 se presenta un resumen de los pasos ejecutados para este análisis. Los indicadores evaluados se encuentran detallados más adelante.

Figura 3

Proceso metodológico para la aplicación de indicadores de fragmentación de las fincas ganaderas

Las Arenas, La Llorona y Los Mangos del proyecto MiBiosfera



Área de Parches (AREA): es un indicador que mide el tamaño total de un parche específico dentro de un paisaje. Un parche se define como un área homogénea que se diferencia de su entorno, como un bosque dentro de una zona agrícola . Este concepto sirve para entender la estructura y función de los paisajes. El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 1 en su algoritmo de procesamiento.

$$\text{Área (ha)} = a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad [1]$$

Donde:

A_{ij} = Área (m²) del parche ij de referencia

Número de Parches (NP): es un indicador utilizado para contar cuántos parches hay en un paisaje determinado. Un mayor número de parches se asocia con un paisaje más fragmentado . El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 2 en su algoritmo de procesamiento.

$$NP = n_i \quad [2]$$

Donde:

N_i = Número de parches

Densidad de Parches (PD): indica cuántos parches hay por unidad de área. Una mayor densidad de parches puede indicar un paisaje más fragmentado (McGarigal y Marks, 1995). El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 3 en su algoritmo de procesamiento.

$$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100) \quad [3]$$

Donde:

N_i = número de parches

A = Área total en hectáreas

Índice de Parche Mayor (LPI): es un indicador que mide el tamaño del parche más grande en el paisaje en relación con el área total del paisaje. Un valor alto del LPI indica que un solo parche domina el paisaje (McGarigal y Marks, 1995). El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 4 en su algoritmo de procesamiento.

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100) \quad [4]$$

Porcentaje del Paisaje (PLAND): es un indicador que muestra el porcentaje del área total del paisaje que está ocupado por un tipo específico de parche. Este indicador es útil para cuantificar la abundancia proporcional de cada tipo de fragmento del paisaje (McGarigal y Marks, 1995). El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 5 en su algoritmo de procesamiento.

$$PLAND = P = \frac{\sum a_{ij}}{A} (100) \quad [5]$$

Donde:

A_{ij} = Área (m^2) del parche ij

J = Área del parche más grande

A = Área total

Densidad de Borde Área de Clase (ED): es un indicador que mide la longitud total de los bordes de los parches de una clase específica (por ejemplo, todos los bosques) en relación con el área total de esa clase (McGarigal y Marks, 1995). El valor fue generado por Fragstat®, el cual incorpora la Ecuación 6 en su algoritmo de procesamiento.

$$ED = \frac{m' \sum_{k=1}^{K-1} e_{ik}}{A} (100) \quad [6]$$

Donde:

m' = # de tipos de parches

e_{ik} = Longitud total del borde del paisaje

A = Área total

Finalmente, los datos de cada uno de los indicadores de fragmentación se presentaron en gráficos de barras elaborados en "Microsoft Excel®". Las métricas o indicadores de Numero de Parches (NP) y Densidad de Parches (PD) se compararon entre el año base 2023 y 2025 para cada una las fincas, siendo estos indicadores de la conectividad estructural.

Resultados y Discusión

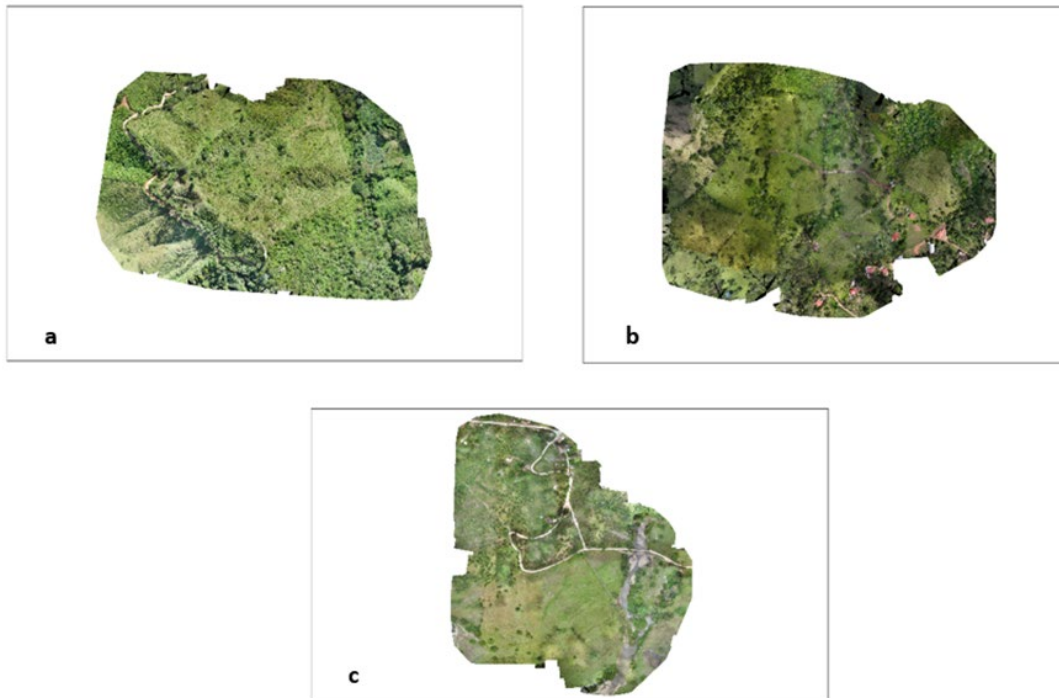
Evaluación de los Cambios de Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas

Procesamiento de Imágenes: Ortomosaicos

En total, se obtuvieron 234 imágenes RGB para la generación del ortomosaico general mediante el programa PIX4D®, alcanzando una resolución espacial de 0.04 m (Figura 4a). Para la finca Las Arenas, se capturaron 252 imágenes RGB, también con una resolución de 0.04 m, las cuales fueron procesadas en PIX4D® para la generación del ortomosaico correspondiente (Figura 4b). En el caso de la finca Los Mangos, se obtuvieron 286 imágenes RGB, utilizadas igualmente como insumo en PIX4D® para producir el ortomosaico de esta finca (Figura 4c). En total se procesaron alrededor de 3,000 imágenes de dron.

Figura 4

Ortomosaicos RGB generados para las fincas La Llorona (a), Las Arenas (b) y Los Mangos (c)

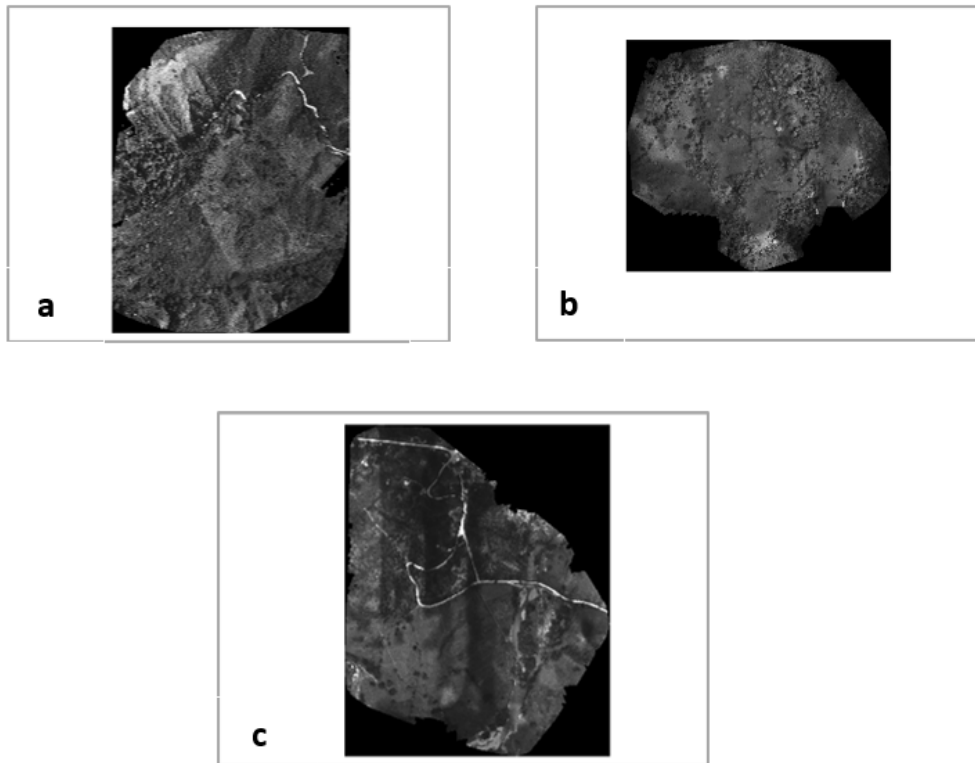


Para la generación de los ortomosaicos multiespectrales, se capturó un total de 920 imágenes en la finca La Llorona (Figura 5a), 1,232 imágenes en la finca Las Arenas (Figura 5b) y 2,270 imágenes en la finca Los Mangos (Figura 5c). Estas imágenes fueron obtenidas mediante vuelos programados con dron y procesadas en el programa PIX4D®.

Figura 5

Ortomosaicos multiespectrales generados para las fincas La Llorona (a), Las Arenas (b) y Los Mangos

(c)



Procesamiento de Imágenes: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI es utilizado para conocer el estado, presencia y densidad de la vegetación, utilizando imágenes de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED). Este índice se calculó usando la Ecuación 7, en este estudio se usaron las bandas NIR y “Red Edge” capturadas con el drone Ebe-Ag. Los valores de este índice permitieron identificar los usos y coberturas del suelo de cada finca (Cuadro 2).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad [7]$$

Cuadro 2

Valores NDVI para diferentes tipos de objetos espaciales

Tipo de objeto	Valor NDVI
Vegetación alta y densa (bosque)	0.7 - 1.0
Vegetación escasa (arbustos, pastos)	0.2 - 0.7
Suelo abierto	0.01 - 0.2
Nubes	0
Nieve, hielo, polvo, rocas	-0.2
Agua	-0.1 - -0.19
Materiales artificiales (hormigón, asfalto)	-0.5 - -0.2

Nota. Recuperado de Korchagina et al. (2020)

A continuación, se explican los valores de NDVI obtenidos para cada una de las fincas ganaderas, iniciando por la finca La Llorona y finalizando con la finca Los Mangos. Los NDVI se explican y discuten para cada año objeto de estudio, iniciando por el 2025, 2023 y finalizando con una comparación entre ambos años por finca; esto con el objeto de evaluar los cambios en vigorosidad y aumento/disminución de la cobertura vegetal.

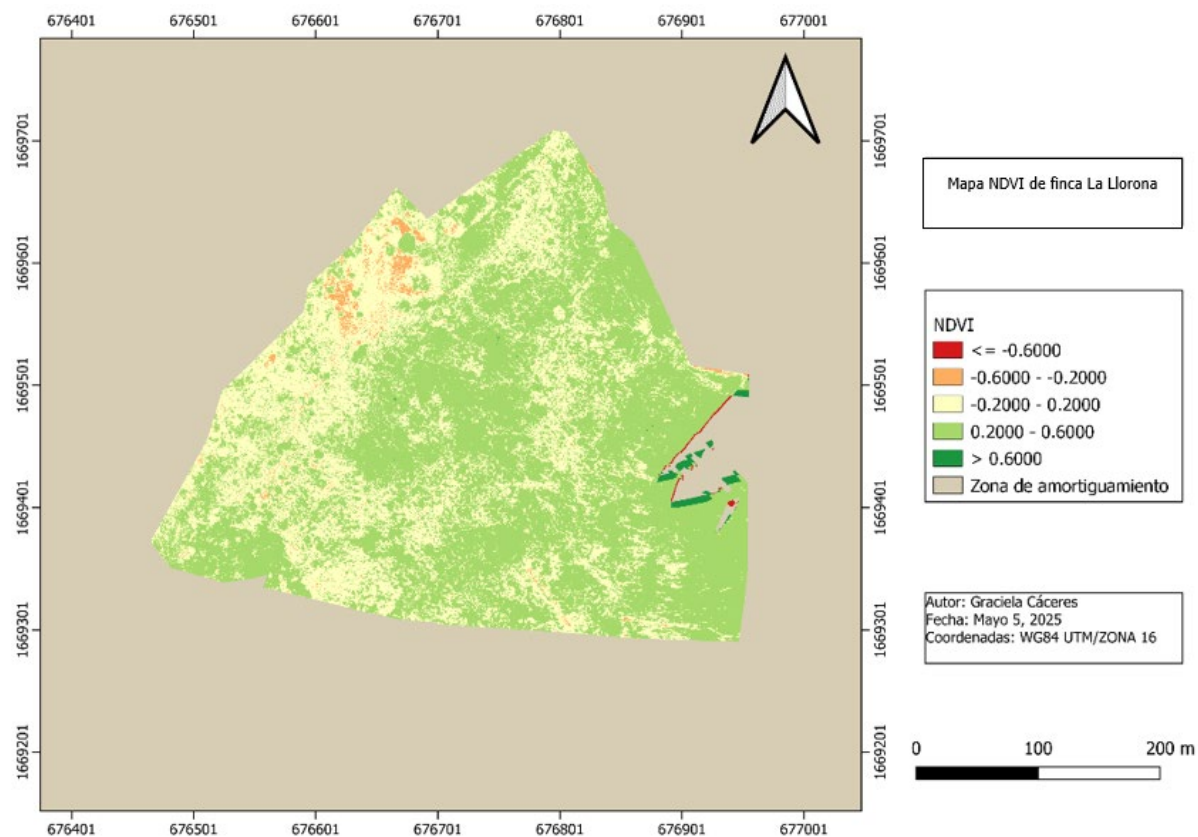
Análisis NDVI para Finca La Llorona 2025

Los valores del NDVI obtenidos para la finca La Llorona (Figura 6) evidencian variaciones espaciales que permiten caracterizar la cobertura vegetal presente en el área de estudio. En la parte central y sur de la finca se identifican valores mayoritarios entre 0.20 y 0.60, lo cual, de acuerdo con la clasificación propuesta por Korchagina et al. (2020) se asocian estos valores principalmente a vegetación escasa como arbustos y pastizales. Esta condición es coherente con el uso predominante del suelo en la finca.

Por otro lado, se identificaron sectores puntuales en la zona sureste, donde los valores de NDVI superan 0.60, alcanzando rangos característicos de vegetación densa o bosque latifoliado. En contraste, el extremo noroeste de la finca presenta concentraciones de valores bajos, entre -0.20 y 0.20, los cuales son indicativos de suelos abiertos o áreas degradadas con poca o nula cobertura vegetal.

Figura 6

Mapa NDVI de finca La Llorona 2025

**Análisis NDVI para Finca la Llorona 2023**

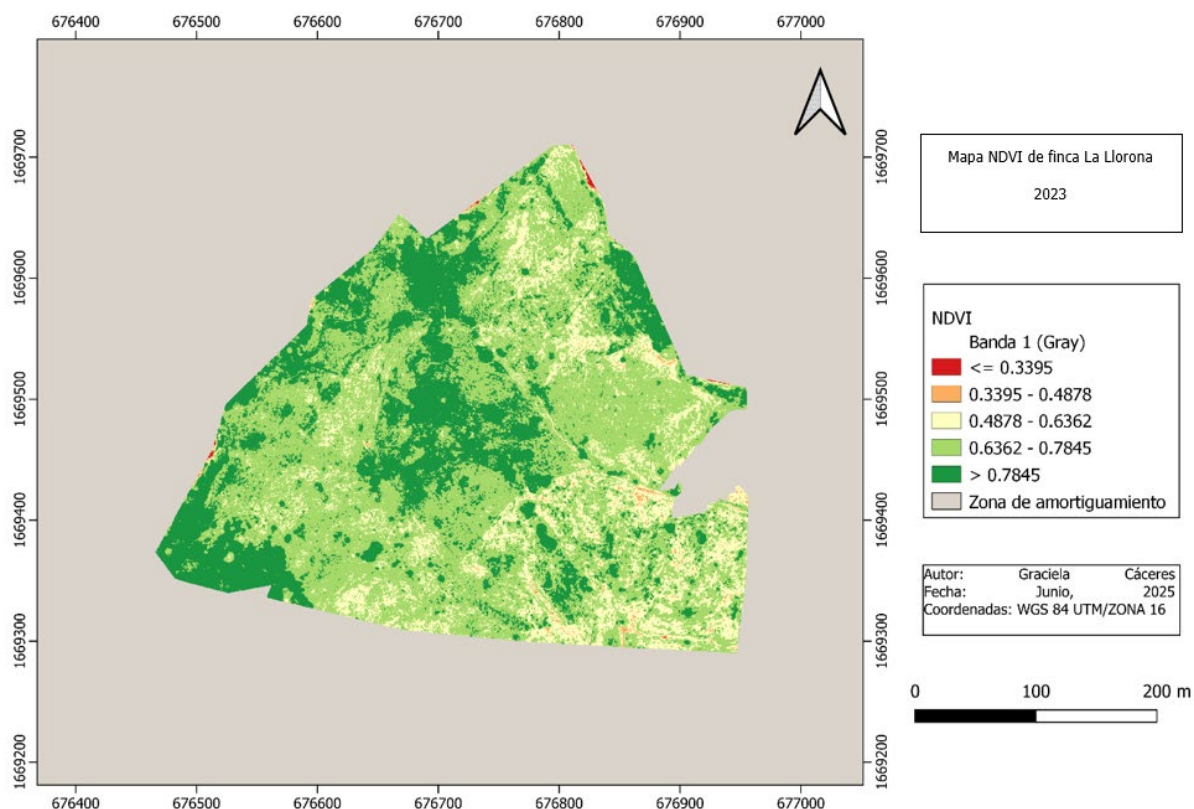
Los valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenidos para la finca La Llorona (Figura 7) revelan una marcada heterogeneidad en la condición de la cubierta vegetal. La porción nor-central del predio exhibe predominantemente valores comprendidos entre 0.6362 y 0.7845, con núcleos que incluso superan 0.7845. De acuerdo con la clasificación de Korchagina et al. (2020) estos rangos son característicos de vegetación densa (bosque latifoliado secundario o rodales agroforestales maduros) y reflejan altos niveles de biomasa y vigor clorofílico.

En la zona sur-oriental y en franjas dispersas hacia el suroeste predominan valores intermedios (0.4878 - 0.6362), propios de pastizales bien establecidos, matorrales en sucesión o cultivos perennes con cobertura parcial del suelo. Finalmente, los valores bajos de NDVI (≤ 0.3395) se localizan en pequeñas manchas lineales a lo largo de caminos y linderos, así como en claros aislados

al este y sureste del lote. Estas áreas sugieren presencia de suelo desnudo, intervención antrópica reciente o cuerpos de agua someros, y constituyen puntos críticos a vigilar para evitar procesos de degradación.

Figura 7

Mapa NDVI de finca La Llorona 2023



Variación de vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de la Finca La Llorona

Durante el periodo 2023-2025, la finca La Llorona mostró en su mayoría estabilidad en la cobertura vegetal (Figura 8). La clase "Sin cambio", correspondiente a los valores NDVI entre -1 y 1, abarcó 9.85 ha, representando aproximadamente el 75.4% del área total analizada (13.07 ha). Esta estabilidad sugiere que, a pesar de las dinámicas del paisaje, la vegetación se mantuvo en condiciones similares durante los dos años evaluados.

Por otro lado, se identificó una disminución moderada de la vegetación (valores NDVI entre -3 y -1) en 3.07 ha (23.5% del área), lo que podría estar relacionado con una pérdida parcial de

cobertura vegetal o cambios en el vigor de la vegetación, como la reducción en densidad foliar o estrés hídrico.

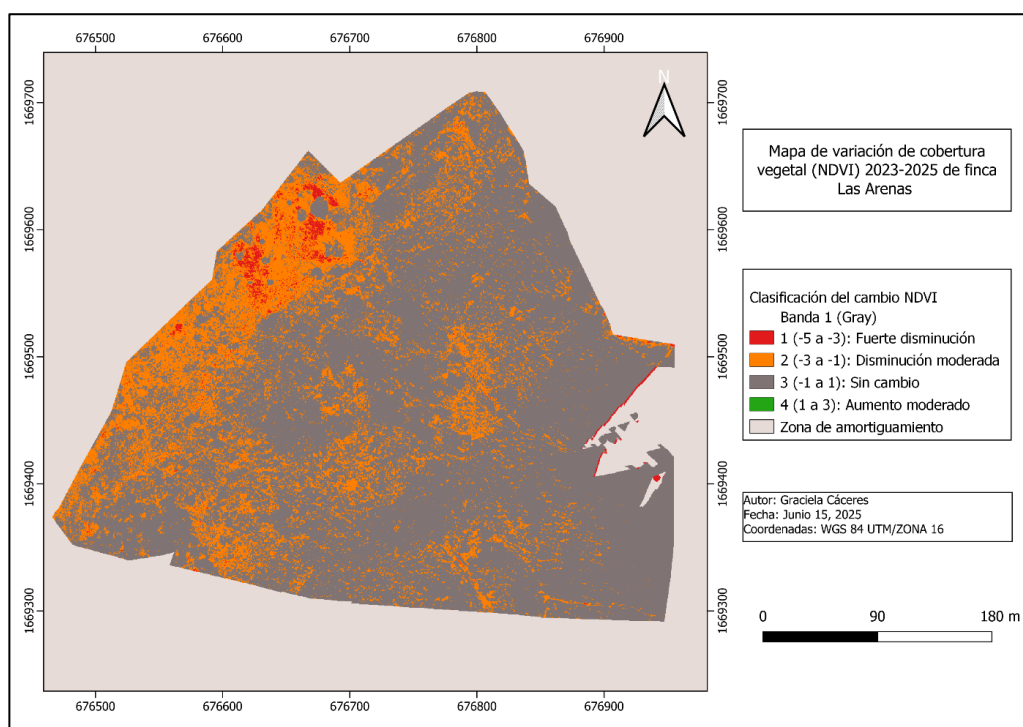
En menor proporción, se detectó una fuerte disminución (valores NDVI entre -5 y -3) en 0.15 ha (1.1% del área), principalmente en pequeñas zonas concentradas al norte y sur de la finca. Esta categoría refleja áreas donde la cobertura vegetal fue significativamente reducida, posiblemente por actividades antrópicas intensas, sequía severa o remoción del suelo vegetal.

El mapa también muestra que no hubo áreas clasificadas en las categorías de aumento moderado ni aumento fuerte, lo que indica que no se observaron mejoras significativas en la cobertura vegetal durante el periodo evaluado.

Estos resultados permiten inferir que, aunque se mantienen zonas estables de vegetación, existen sectores puntuales donde se requiere atención para evitar una mayor degradación, especialmente en zonas con disminución moderada o fuerte.

Figura 8

Variación de vigor de la cobertura vegetal NDVI 2023-2025 de finca La Llorona



En el Cuadro 3 se detalla la superficie utilizada por clase de variación de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 correspondiente a la finca La Llorona, en 0.96 ha se mostró una fuerte disminución del vigor de cobertura vegetal, en 11.44 ha se tuvo una disminución moderada, mientras que en 26.30 ha no se presentó ningún cambio en los años comparados. Estas variaciones pueden estar influenciadas por factores como las condiciones climáticas, el calendario de toma de datos y las prácticas de manejo agrícola aplicadas en la finca.

Cuadro 3

Superficie utilizada por clase de variación de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca La Llorona

Valor	Clase	Número de píxeles	Área (m ²)	Área (ha)
1	Fuerte Disminución	50,8706	9,619.12	0.96
2	Disminución moderada	6,048,578	114,372.6	11.44
3	Sin cambio	13,908,482	262,995.5	26.30
4	Aumento moderado	326	6.16	0.00
Total	0	20,466,092	386,993.4	38.70

Análisis NDVI para Finca Las Arenas 2025

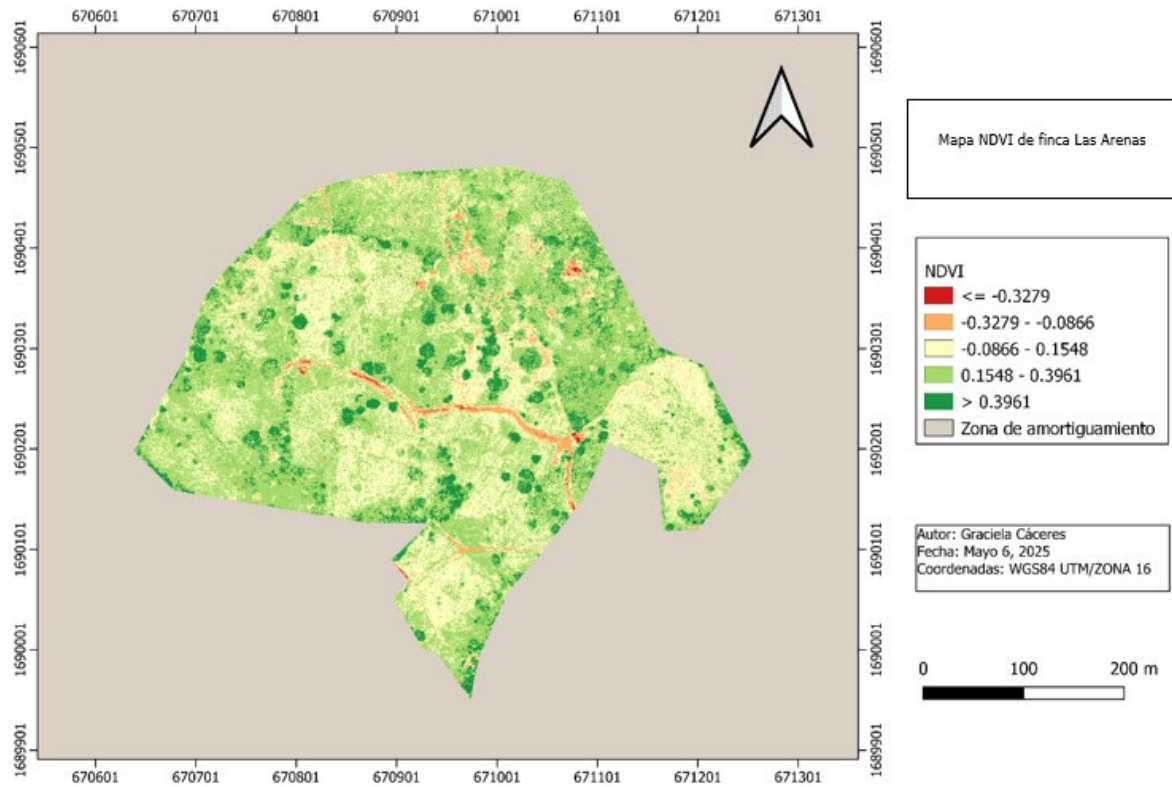
Los valores del índice de vegetación NDVI obtenidos para la finca Las Arenas evidencian variaciones espaciales que permiten caracterizar la cobertura vegetal presente en el área de estudio (Figura 9). En la mayor parte del centro y suroeste de la finca se identifican valores que oscilan entre 0.15 y 0.40, lo cual, de acuerdo con la clasificación de referencia, corresponde a vegetación escasa como arbustos y pastizales. Esta condición es coherente con el uso agropecuario predominante observado en la zona, donde la cobertura vegetal se mantiene fragmentada pero aún funcional.

Por otro lado, se identificaron sectores con valores superiores a 0.40, principalmente en áreas del centro-norte y extremo sureste de la finca, los cuales se asocian a vegetación más densa, posiblemente árboles aislados o parches de bosque secundario. Estos sectores presentan condiciones más favorables de cobertura vegetal, lo que podría indicar un menor grado de intervención antrópica o zonas con mejores prácticas de manejo.

En contraste, áreas localizadas en el centro-este y parte de los caminos internos presentan valores negativos o cercanos a cero (entre -0.32 y -0.08), los cuales se relacionan con suelos abiertos, zonas compactadas o posibles cuerpos de agua. Estas zonas podrían estar asociadas a infraestructura, tránsito de maquinaria o sectores degradados con escasa capacidad de regeneración vegetal.

Figura 9

Mapa NDVI de finca Las Arenas 2025

**Análisis NDVI para Finca Las Arenas 2023**

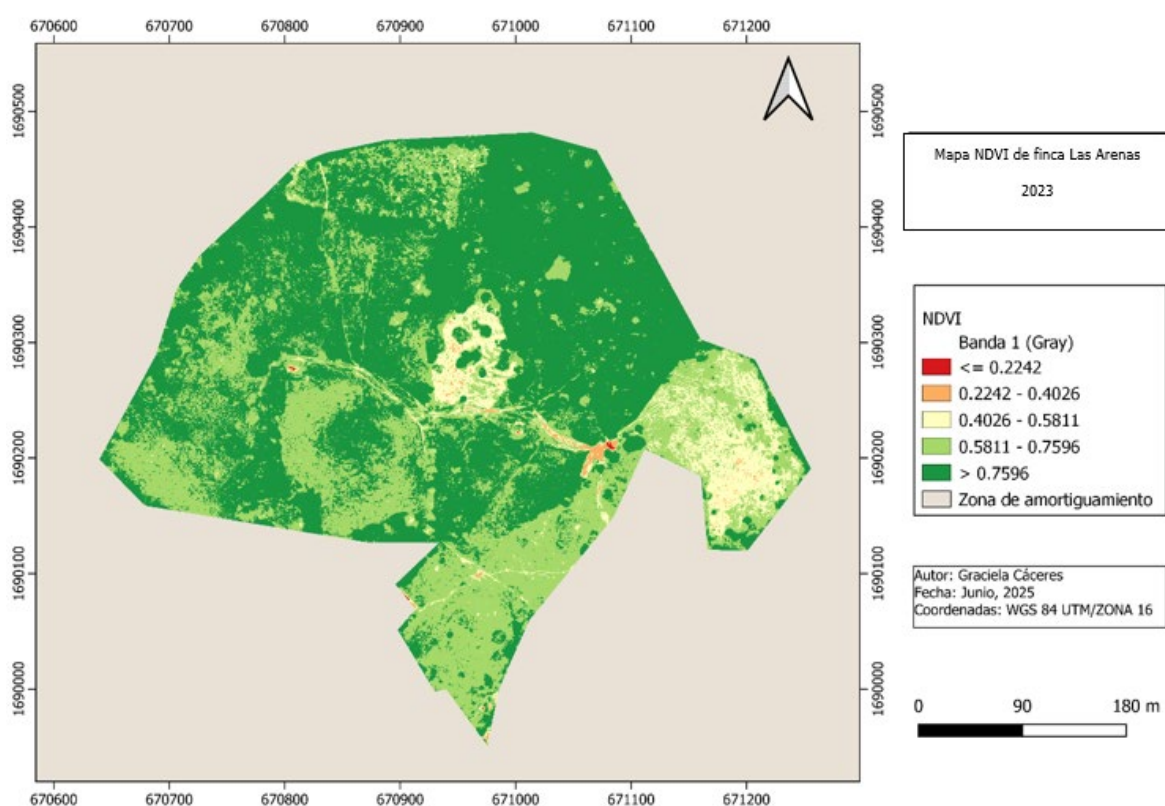
El análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la finca Las Arenas (Figura 10) revela un predominio de coberturas con alto vigor clorofílico. La franja nor-central y gran parte del sector occidental exhiben valores superiores a 0.7596, rangos que, según la clasificación de (Korchagina et al., 2020) corresponden a vegetación densa y reflejan una biomasa aérea significativa.

Hacia el suroeste y en el apéndice meridional del predio se observan valores intermedios (0.5811 - 0.7596), propios de pastizales bien establecidos o cultivos perennes con cobertura homogénea. Entre estos parches destacan corredores lineales con valores de 0.4026 - 0.5811, coincidentes con caminos internos y claros agrícolas, donde la cobertura vegetal es menos densa pero aún funcional.

Las zonas con NDVI bajo (0.2242 - 0.4026) y muy bajo (≤ 0.2242) son puntuales. Se concentran en las inmediaciones del centro-este y en nodos de infraestructura (bodegas, corrales o cruces de caminos), así como en pequeños claros asociados a suelos desnudos o actividad pecuaria intensiva. Estas áreas representan focos de intervención antrópica reciente y, por su baja capacidad fotosintética, conviene monitorearlas para prevenir procesos de erosión y compactación.

Figura 10

Mapa NDVI de finca Las Arenas 2023



Variación de Vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de Finca Las Arenas

El análisis de la variación del NDVI en la finca Las Arenas entre los años 2023 y 2025 evidencia que una gran parte del área evaluada se mantuvo estable en términos de cobertura vegetal (Figura 11), mientras que ciertas zonas experimentaron una disminución en su vigor vegetativo. Los resultados indican que aproximadamente 10.37 ha (61.78%) del área total permanecieron sin cambios significativos, lo que sugiere que en estas zonas la cobertura vegetal se ha conservado con niveles

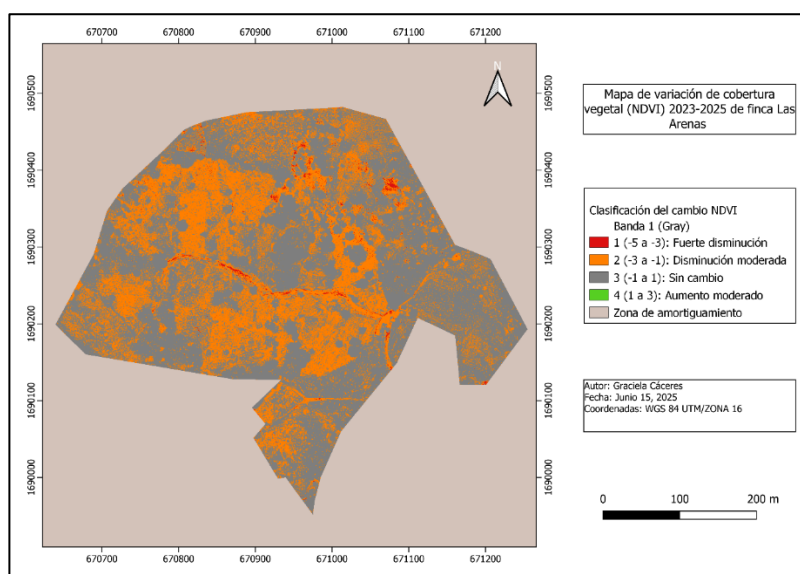
similares de densidad y salud durante el periodo de análisis. Este comportamiento corresponde a cobertura como cercas vivas, pasturas permanentes o cultivos perennes sin disturbios recientes.

Por otro lado, se identificó que 6.30 ha (37.56%) presentaron una disminución moderada del índice NDVI, lo que podría reflejar una pérdida parcial de follaje o degradación progresiva del suelo. Esta categoría está distribuida de forma dispersa en varias zonas de la finca, especialmente en los sectores central y sur, lo que puede estar vinculado a cambios presión sobre el suelo por prácticas intensivas. Además, un área muy reducida de 0.11 ha (0.66%) fue clasificada como fuerte disminución, destacando puntos específicos donde la pérdida de cobertura vegetal fue más severa. Estas áreas podrían corresponder a actividades de remoción total de vegetación, establecimiento de infraestructura o afectaciones por factores externos.

En conjunto, los resultados sugieren que, aunque la mayoría del terreno ha mantenido su cobertura vegetal, existe una proporción significativa con señales de deterioro que deberían ser monitoreadas para evitar una degradación más profunda.

Figura 11

Mapa de variación de vigor en la cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Las Arenas



En el Cuadro 4 se detalla la superficie utilizada por clase de variación de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 correspondiente a la finca Las Arenas. En 0.11 ha se observó una fuerte disminución del vigor de la cobertura vegetal, en 6.30 ha se registró una disminución moderada, mientras que en 10.37 ha no se presentó ningún cambio entre los años comparados.

Cuadro 4

Superficie utilizada por clase de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Las Arenas

Valor	Clase	Número de píxeles	Área (m ²)	Área (ha)
1	Fuerte Disminución	278,746	1,109.85	0.11
2	Disminución moderada	15,811,097	62,953.62	6.30
3	Sin cambio	26,032,264	103,650.3	10.37
Total	0	42,122,107	167,713.8	16.77

Análisis NDVI de Finca Los Mangos 2025

Los valores del índice de vegetación NDVI obtenidos para la finca Los Mangos evidencian variaciones espaciales que permiten caracterizar la cobertura vegetal dentro del área evaluada (Figura 12). En gran parte de la zona central y norte de la finca predominan valores entre 0.20 y 0.60, los

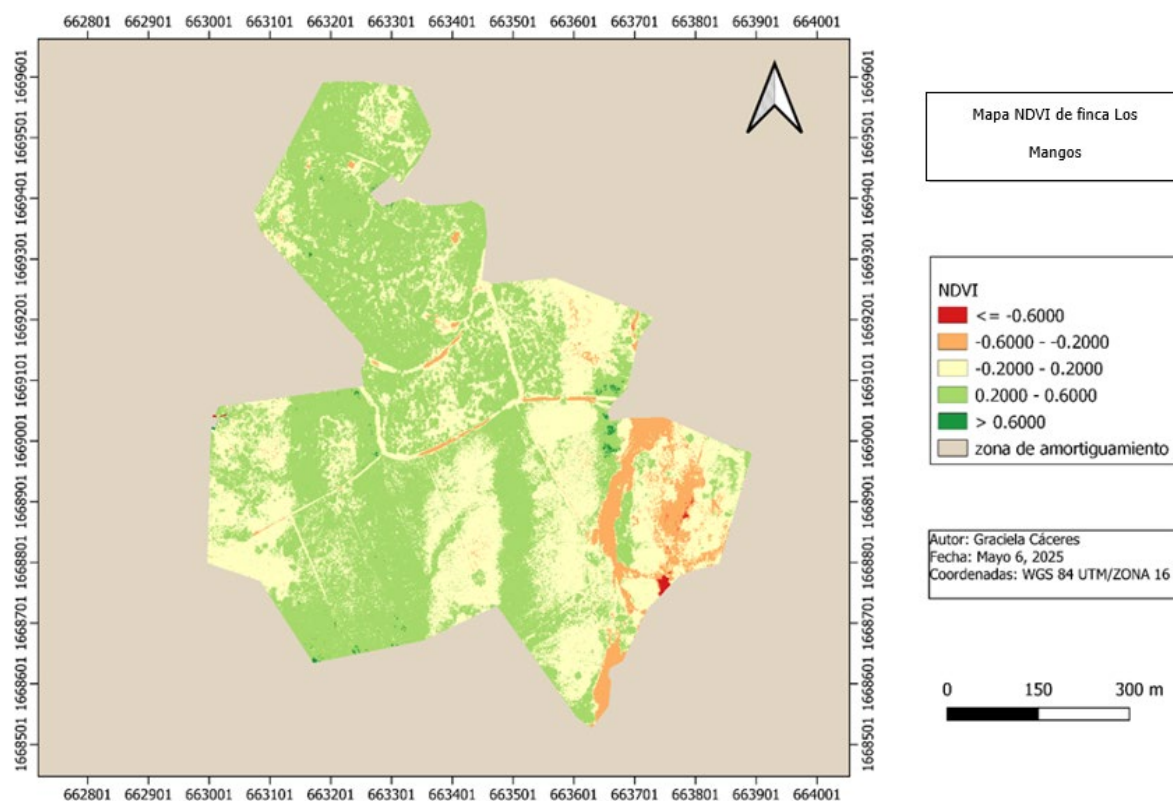
cuales, según la clasificación de referencia, se asocian a vegetación escasa a moderadamente densa, principalmente compuesta por pastizales o arbustos. Esta condición es coherente con un uso agropecuario extensivo, donde se mantiene una cobertura vegetal intermedia.

Por otro lado, en el sector suroeste y en pequeñas manchas dispersas al norte, se identifican áreas con valores superiores a 0.60, los cuales son característicos de vegetación densa como parches de bosque o árboles en buen estado de salud. Estas zonas podrían representar áreas de conservación, bordes de caminos menos intervenidos o cercas vivas más desarrolladas.

En contraste, la zona sureste de la finca presenta una concentración significativa de valores bajos, entre -0.60 y 0.20, que abarcan desde suelos abiertos hasta zonas posiblemente degradadas o compactadas, asociadas a la presencia de infraestructura, caminos, o cuerpos de agua estacionales. Específicamente, los valores menores a -0.20 podrían estar indicando superficies sin cobertura vegetal, materiales artificiales o zonas con alta exposición del suelo.

Figura 12

Mapa NDVI de finca Los Mangos 2025

**Análisis NDVI para Finca Los Mangos 2023**

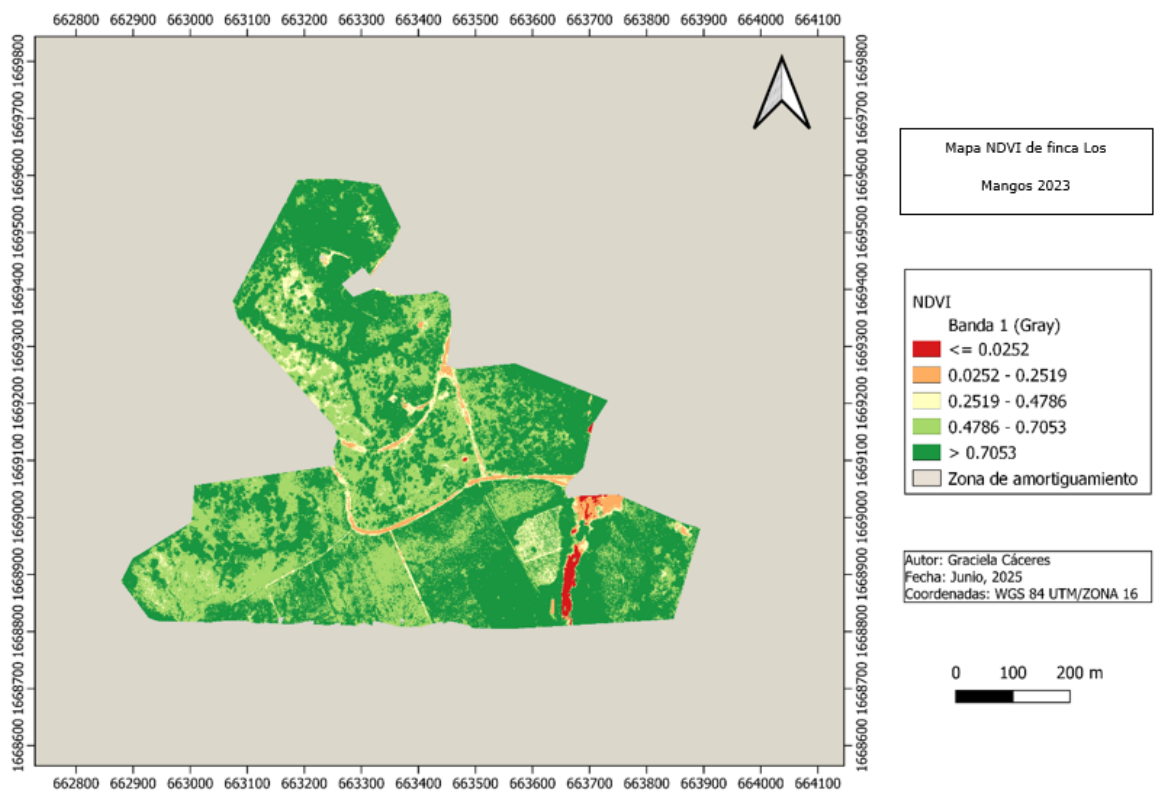
El análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la finca Los Mangos (Figura 13) muestra un mosaico de coberturas con distintos grados de vigor clorofílico. El bloque norte y el cuadrante centro-este presentan valores predominantemente superiores a 0.7053, rango que, según la clasificación de Korchagina et al. (2020) corresponde a vegetación densa y denota elevada biomasa aérea y actividad fotosintética.

En la porción central y sur-occidental del predio se observa una matriz de valores intermedios (0.4786 – 0.7053) con enclaves de 0.2519 – 0.4786. Estos rangos son característicos de pastizales bien establecidos, cultivos perennes en etapa productiva o arbustales en sucesión temprana, lo que sugiere un manejo agropecuario extensivo, pero con cobertura vegetal funcional.

Contrasta con lo anterior la franja sureste del predio, donde se concentran valores bajos y muy bajos (≤ 0.2519), incluidas zonas puntuales con NDVI negativo que delinear caminos internos y zonas de escorrentía. Estos valores se asocian a suelo desnudo, compactación, infraestructura o cuerpos de agua estacionales, indicando áreas de perturbación reciente o limitada capacidad de regeneración vegetal. Su localización sugiere una influencia directa de prácticas operativas (tránsito de maquinaria, corrales o zonas de acopio).

Figura 13

Mapa NDVI de finca Los Mangos 2023



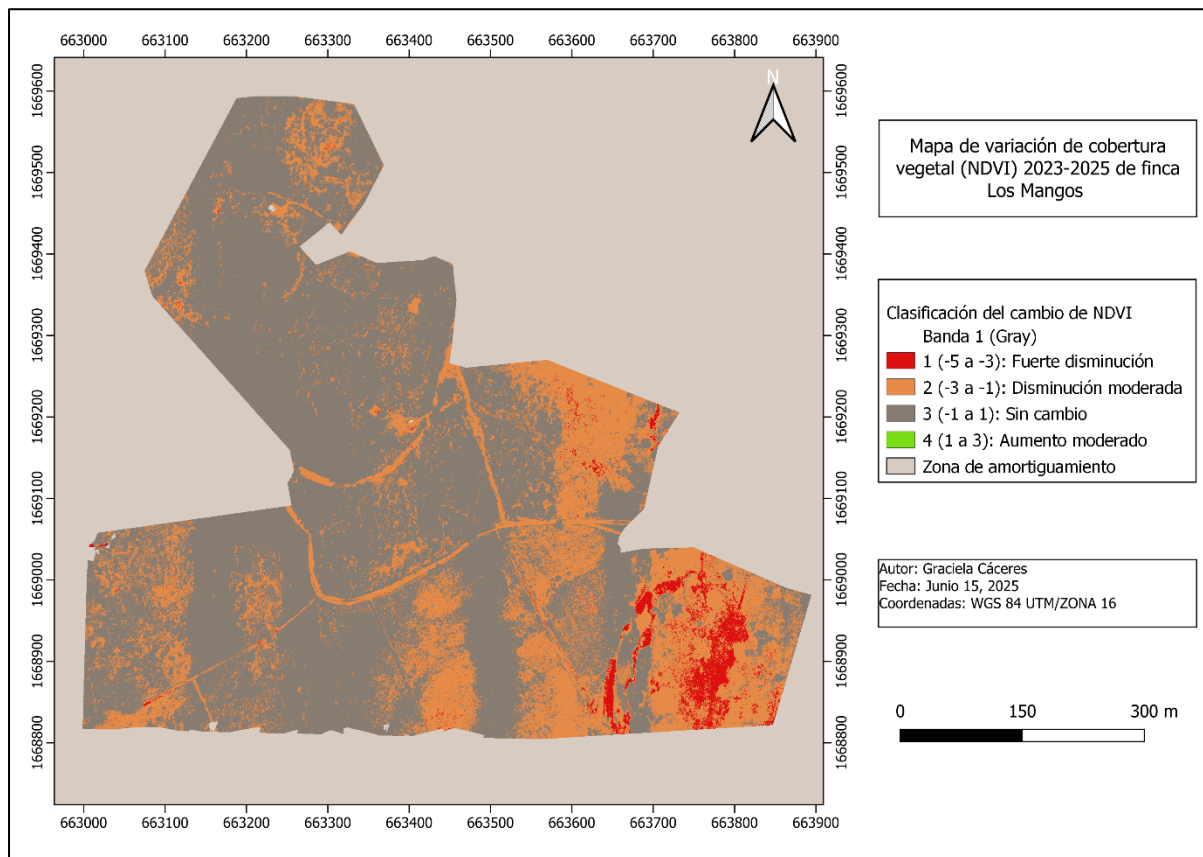
Variación de Vigor de Cobertura Vegetal (NDVI) 2023-2025 de Finca Los Mangos.

Durante el periodo 2023-2025, la finca Los Mangos presentó estabilidad en su cobertura vegetal, aunque con alteraciones significativas en un tercio del área total (Figura 14). La clase "Sin cambio" (NDVI entre -1 y 1) abarcó 26.30 ha, representando el 67.96% de las 38.70 ha analizadas, lo que indica que la mayor parte de la vegetación mantuvo su vigor y densidad foliar sin cambios significativos. Sin embargo, se identificó una disminución moderada (NDVI: -3 a -1) en 11.44 ha (29.56% del total), asociada posiblemente a estrés hídrico, reducción de biomasa o prácticas agropecuarias intensivas. Adicionalmente, se registró una fuerte disminución (NDVI: -5 a -3) que cubrieron 0.96 ha (2.48%), equivalente a 9,619 m², zonas que reflejan alteraciones severas como remoción de cobertura vegetal o degradación del suelo.

La categoría de aumento moderado (NDVI: 1 a 3) fue insignificante (0.0006 ha), confirmando que no hubo procesos perceptibles de regeneración vegetal durante el periodo evaluado. En conjunto, las áreas con disminución (moderada y fuerte) suman 12.40 ha (32% de la finca), sugiriendo vulnerabilidad en la resiliencia ecosistémica. Estos resultados destacan la importancia de implementar medidas de monitoreo y restauración focalizadas, particularmente en las 11.44 ha de disminución moderada y en los núcleos críticos de fuerte disminución.

Figura 14

Mapa de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca Los Mangos



En el Cuadro 5 se presenta la superficie por clase de variación de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 correspondiente a la finca Los Mangos. Se observó una fuerte disminución del vigor de la cobertura vegetal en 0.96 ha, una disminución moderada en 11.44 ha, y en 26.30 ha no se presentó ningún cambio entre los años evaluados. Estas variaciones reflejan posibles efectos del clima, el momento de adquisición de imágenes y el manejo diferenciado dentro de la finca.

Cuadro 5

Superficie utilizada por clase de variación de vigor de cobertura vegetal (NDVI) 2023-2025 de finca

Los Mangos

Valor	Clase	Número de píxeles	Área (m ²)	Área (ha)
1	Fuerte Disminución	508,706	9,619.12	0.96
2	Disminución moderada	6,048,578	114,372.6	11.44
3	Sin cambio	13,908,482	262,995.5	26.30
4	Aumento moderado	326	6.16	0.00
Total	0	20,466,092	386,993.4	38.70

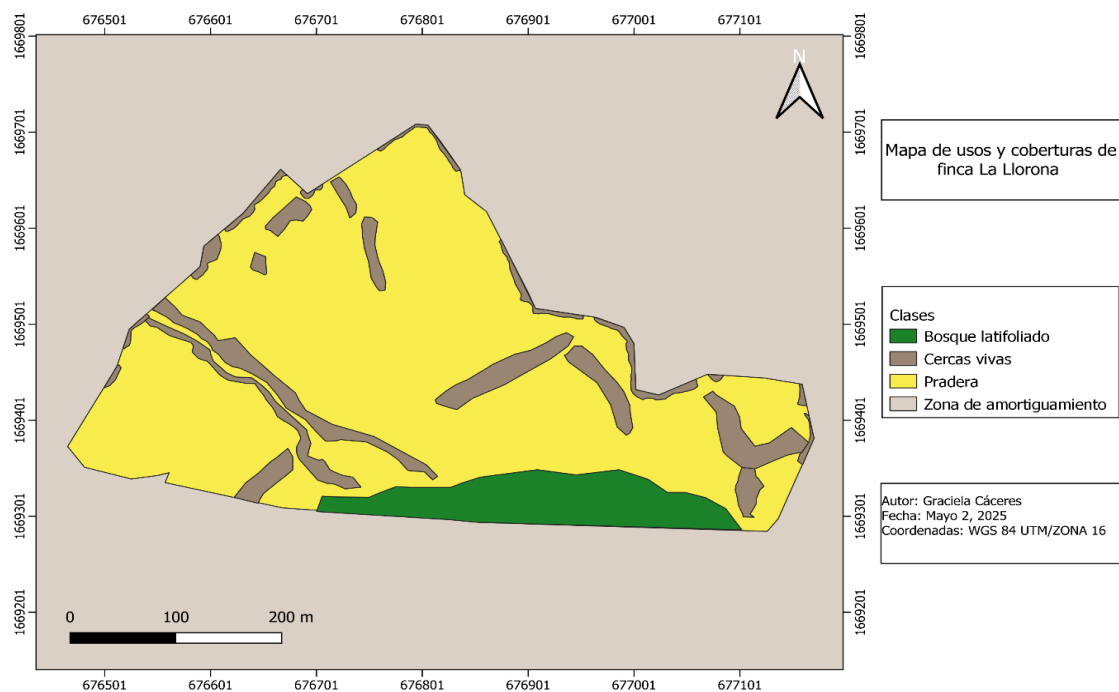
Luego de obtener los valores de NDVI para cada una de las fincas y de realizar una clasificación previa de los usos y coberturas conforme a este índice, se obtuvieron los datos de usos y coberturas según la clasificación jerárquica del Corine Land Cover para cada una de las fincas para el año 2025.

Clasificación de Usos y Coberturas en las Tres Fincas Ganaderas en el 2025

Para el análisis de los usos y coberturas de la finca La Llorona (Figura 15), se consideró solamente un área aproximada de 20.47 ha, distribuida en distintas coberturas y usos del suelo que incluyen tanto elementos naturales como productivos. En su territorio se identificaron principalmente tres tipos de cobertura: bosque latifoliado, cercas vivas y praderas.

Figura 15

Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca La Llorona en el 2025



En la finca La Llorona, 16.76 ha están destinadas a pradera, lo que representa el 81.86 % del área total de la finca. En esta zona se emplea un sistema de pastoreo rotacional, por lo que 2.16 ha están ocupadas por cercas vivas utilizadas para la división de potreros, representando un 10.55% del total. Además, 1.55 ha corresponden a bosque latifoliado, lo que equivale al 7.58% del área total de la finca (Cuadro 6).

Cuadro 6

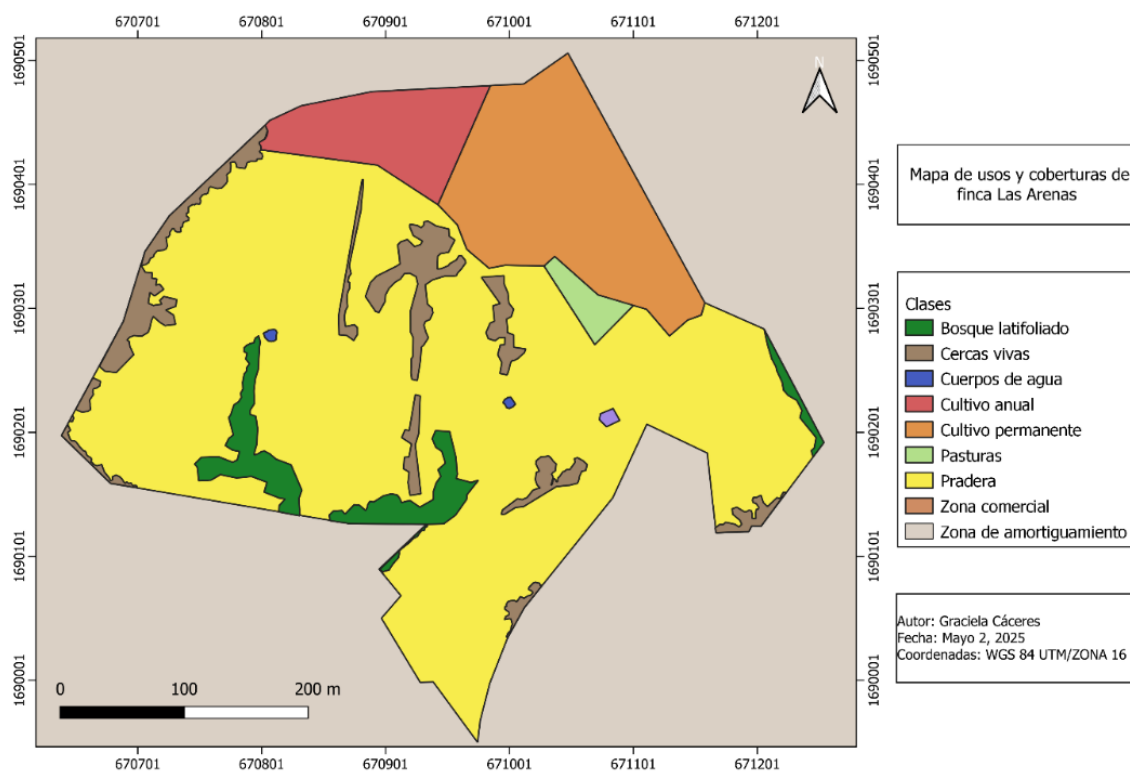
Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total de finca La Llorona en el 2025

Clases	Hectárea	Porcentaje (%)
Pradera	16.76	81.86
Cercas vivas	2.16	10.55
Bosque Latifoliado	1.55	7.58
Total	20.47	100

La finca Las Arenas cuenta con una extensión de 17.07 ha. En su territorio se identificaron los siguientes usos y coberturas: Bosque latifoliado, cercas vivas, cuerpos de agua artificial, cultivo anual, cultivo permanente, pasturas, pradera y zona comercial (Figura 16).

Figura 16

Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca Las Arenas en el 2025



En la finca Las Arenas, 11.81 ha están ocupadas por pradera, lo que corresponde al 69.2% del área total de la finca, siendo este el principal uso. La finca opera bajo un sistema de pastoreo rotacional, por lo que 0.96 ha están destinadas a cercas vivas utilizadas para la delimitación de los potreros, representando el 5.62% del área total. El bosque latifoliado cubre 0.46 ha, equivalente al 2.70%. Asimismo, 0.02 ha fueron clasificadas como cuerpos de agua artificiales utilizados como bebederos para el ganado, lo que corresponde al 0.12% del área total de la finca. La zona comercial ocupa 0.09 ha, representando un 0.53%. Además, 2.48 ha se destinan a cultivos permanentes como caña de azúcar y cacao, lo que equivale al 14.53%, mientras que 1.07 ha se utilizan para cultivos

anuales como maíz y frijol, representando el 6.27%. Finalmente, las pasturas abarcan 0.177 ha, lo que corresponde al 1.04% del área total de la finca (Cuadro 7).

Cuadro 7

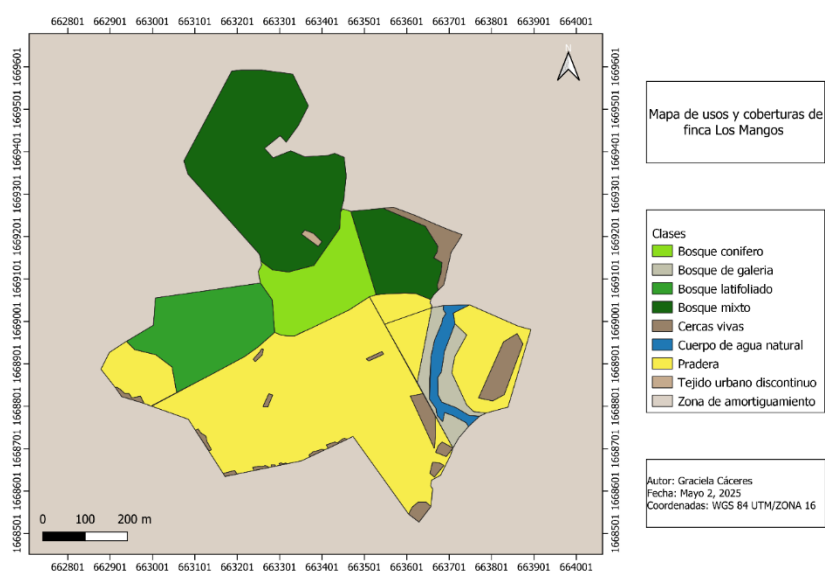
Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total de finca Las Arenas en el 2025

Clases	Hectárea	Porcentaje (%)
Pradera	11.81	69.20
Cercas vivas	0.96	5.62
Bosque latifoliado	0.46	2.70
Cuerpos de agua	0.02	0.12
Zona comercial	0.09	0.53
Cultivo permanente	2.48	14.53
Cultivo anual	1.07	6.27
Pasturas	0.177	1.04
Total	17.07	100

La finca los Mangos cuenta con una extensión de 49.6 ha. Los principales usos son: Bosque latifoliado, bosque conífero, bosque mixto, bosque de galería, cercas vivas, cuerpos de agua pradera y tejido urbano discontinuo (Figura 17).

Figura 17

Mapa de clasificación de usos y coberturas de finca Los Mangos en el 2025



En la finca Los Mangos, 22.30 ha están destinadas a pradera, lo que representa el 44.96% del área total de la finca, constituyéndose como el uso predominante del suelo. Esta finca posee además un porcentaje considerable de cobertura boscosa, conformada por distintos tipos de bosque. Un total de 14.41 ha corresponde a bosque mixto, lo que equivale al 29.05% del área total; 5.24 ha pertenecen a bosque latifoliado, representando el 10.56%; y 3.99 ha corresponden a bosque conífero, lo cual representa el 8.04% del total de la finca. Como parte de su manejo productivo, la finca cuenta con una división de potreros para pastoreo, por lo que 2.75 ha están ocupadas por cercas vivas, equivalentes al 5.54% del área total. Además, 0.10 ha corresponden a tejido urbano discontinuo, lo que representa un 0.20% de la superficie de la finca. Finalmente, se identifican 0.81 ha de cuerpos de agua, correspondientes a un curso natural, lo cual representa el 1.63% del área total de la propiedad (Cuadro 8).

Cuadro 8

Distribución del uso y cobertura del suelo en función de la superficie en hectáreas y porcentaje del total de finca Los Mangos en el 2025

Clases	Hectárea	Porcentaje (%)
Pradera	22.30	44.96
Bosque mixto	14.41	29.05
Bosque latifoliado	5.24	10.56
Bosque conífero	3.99	8.04
Cercas vivas	2.75	5.54
Tejido urbano discontinuo	0.10	0.20
Cuerpos de agua	0.81	1.63
Total	49.60	100

Una vez obtenidos los resultados de los usos y coberturas por finca para el 2025 se realizó la comparación de las pérdidas, ganancias y transiciones tomando como base los datos del estudio previo de Lainez. A (2023).

Evaluación de Cambios en los Usos y Coberturas del Suelo: Pérdidas y Ganancias (2023–2025).

Para representar cómo ha cambiado el paisaje entre 2023 y 2025, se analizaron los usos y coberturas del suelo utilizando matrices de pérdidas y ganancias. Este análisis permitió observar qué

tipos de cobertura se han mantenido, cuáles se han transformado y en qué medida. Así, fue posible identificar patrones importantes de cambio que ayudan a comprender mejor el impacto de las actividades humanas y naturales sobre el territorio.

Durante el periodo comprendido entre 2023 y 2025 se observaron cambios en el uso de la tierra dentro de la finca La Llorona (Cuadro 9). El uso de pradera, que en 2023 ocupaba un total de 18.07 ha, se redujo a 16.76 ha en 2025, lo que representa una pérdida de 1.31 ha. Este cambio corresponde a una ganancia en la cobertura de cercas vivas, que pasó de 0.85 ha en 2023 a 2.16 ha en 2025, es decir, un incremento de 1.31 ha. Esta ganancia en la cobertura de cercas vivas se debe al manejo implementado en 2023 en la finca por el proyecto MiBiosfera, en el cual, al dividir los potreros para funcionar bajo un sistema de pastoreo rotacional, se hizo uso de los árboles ya existentes en la finca, que pasaron a cumplir la función de cercas vivas. Anteriormente, estas áreas eran consideradas parte de la pradera, ya que constituían un solo potrero.

El bosque latifoliado se mantuvo sin cambios durante el periodo analizado, conservando una superficie de 1.55 ha, lo que indica la permanencia de esta cobertura y la ausencia de procesos de degradación en esta clase.

Cuadro 9

Matriz de cambios de uso del suelo 2023-2025 de finca La Llorona

T. 2023 \ T. 2025	Pradera	Cercas Vivas	Bosque Latifoliado	Total T1	Pérdidas
Pradera	16.76	1.31	0	18.07	1.31
Cercas Vivas	0	0.85	0	0.85	0
Bosque latifoliado	0	0	1.55	1.55	0
Total T2	16.76	2.16	1.55	20.47	
Ganancias	0	1.31	0		

Durante el periodo 2023–2025 se identificaron cambios puntuales en el uso de la tierra dentro de la finca Las Arenas (Cuadro 10). La clase Pradera mostró una reducción en su superficie, pasando de 12.5 ha en 2023 a 11.81 ha en 2025, lo que representa una pérdida de 0.69 ha. Esta reducción se debe a una ganancia equivalente para la cobertura de cercas vivas, la cual incrementó de 0.27 a 0.96

ha en el mismo periodo. Este registro de ganancia en cobertura de cercas vivas debido al manejo anteriormente mencionado por el proyecto MiBiosfera. Las demás coberturas (bosque latifoliado, cuerpos de agua, zona comercial, cultivo permanente, cultivo anual y pasturas) no presentaron variaciones entre 2023 y 2025, lo que indica una estabilidad en estas clases de uso de suelo y la ausencia de procesos de conversión o degradación significativos.

Durante el período de estudio 2023-2025 en la finca Los Mangos se identificaron cambios puntuales (Cuadro 11), la clase de uso de suelo correspondiente a pradera disminuyó de 23.24 ha en 2023 a 21.66 ha en 2025, lo que representa una pérdida de 1.58 ha. Esta superficie fue reclasificada como cobertura de cercas vivas, cuya extensión aumentó de 1.17 ha en 2023 a 2.75 ha en 2025. Este incremento evidencia el impacto positivo del manejo implementado en la finca a través del proyecto MiBiosfera. Las demás clases de uso de suelo (bosque mixto, bosque latifoliado, bosque de coníferas, cuerpos de agua y tejido urbano discontinuo) no presentaron cambios durante el período analizado.

En las tres fincas analizadas se puede observar una ganancia en la cobertura por cercas vivas. Estas contribuyen a la biodiversidad al proporcionar hábitat y conectividad para diversas especies. Por ejemplo, en Centroamérica, se sabe que las cercas vivas mejoran la cobertura arbórea y la conectividad estructural en paisajes agrícolas, albergando a más de 170 especies de aves, murciélagos, escarabajos peloteros y mariposas (Muhammad et al., 2003). De igual manera, en las zonas tropicales de Latinoamérica, las cercas vivas actúan como corredores para la fauna silvestre, conectando bosques fragmentados y parcelas aisladas de árboles, lo cual es crucial para mantener la diversidad de la avifauna (Lacayo, 2013).

Algunas de las especies presentes en las cercas vivas de estas fincas incluyen madreño (*Gliricidia sepium*), indio desnudo (*Bursera simaruba*), izote (*Yucca guatemalensis*) y gualiqueme (*Albizia niopoides*). Estas especies fueron identificadas de forma conjunta con los productores, basándose en su abundancia y representatividad en el paisaje. Cabe destacar que no se trata de un inventario exhaustivo de especies, sino de una caracterización orientada a reconocer aquellas más comunes y relevantes en el contexto local.

El Cuadro 12 muestra los cambios de cobertura entre 2023 y 2025 para los usos de praderas, cercas vivas y bosque latifoliado en las fincas La Llorona, Las Arenas y Los Mangos. En los tres casos, el bosque latifoliado se conserva sin pérdidas, lo que evidencia una estabilidad en esta cobertura de alto valor ecológico. Las principales transiciones corresponden a la conversión de praderas hacia cercas vivas, reflejando una tendencia hacia prácticas más sostenibles. Las cercas vivas presentan ganancias netas en todas las fincas, mientras que las praderas muestran las mayores pérdidas relativas, lo cual sugiere un cambio positivo hacia usos con mayor valor ambiental y funcional.

Cuadro 12

Cambios de cobertura entre 2023 y 2025 para los usos de praderas, cercas vivas y bosque latifoliado en las fincas La Llorona, Las Arenas y Los Mangos

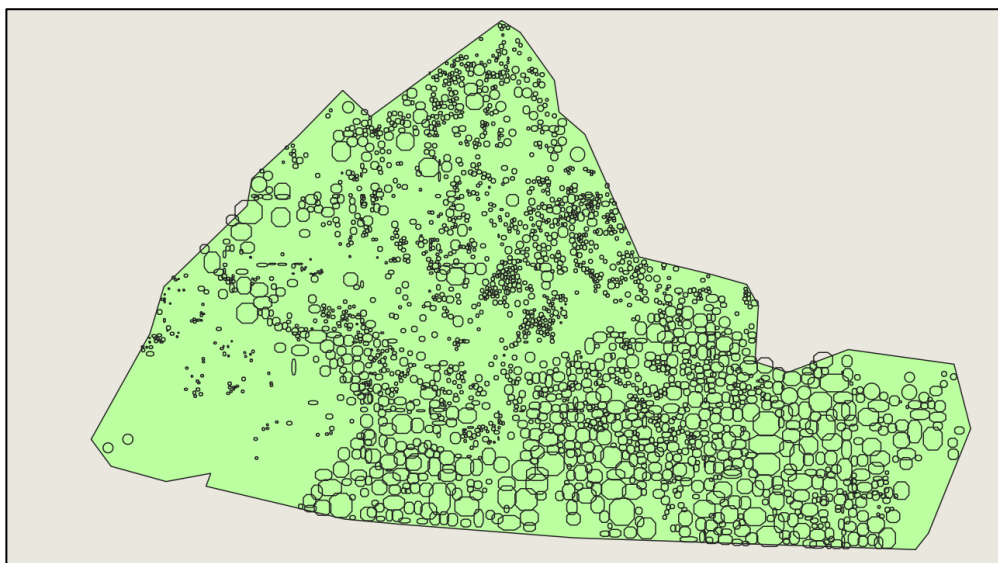
T. 2023 \ T. 2025		Pradera	Cercas Vivas	Bosque Latifoliado	Total T1	Pérdidas
La Llorona	Pradera	16.76	1.31	0	18.07	1.31
	Cercas Vivas	0	0.85	0	0.85	0
	Bosque latifoliado	0	0	1.55	1.55	0
	Total T2	16.76	2.16	1.55	20.47	
	Ganancias	0	1.31	0		
Las Arenas	Pradera	11.81	0.69	0	12.5	0.69
	Cercas vivas	0	0.27	0	0.27	0
	Bosque latifoliado	0	0	0.46	0.46	0
	Total T2	11.81	0.96	0.46	13.23	
	Ganancias	0	0.69	0		
Los Mangos	Pradera	21.66	0	0	23.24	1.58
	Cercas vivas	1.58	1.17	0	2.75	0
	Bosque latifoliado	0	0	5.24	5.24	0
	Total T2	21.66	2.75	5.24	31.23	
	Ganancias	0	1.58	0		

Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca La Llorona

Se evaluaron los cambios en la cobertura arbórea en las fincas estudiadas, se realizaron conteos sistemáticos de árboles en los años 2023 y 2025. La Figura 30 muestra el mapa de conteo de árboles correspondiente al año 2025 en la finca La Llorona. Este mapa permite observar la distribución y densidad de los árboles presentes en el área, representados por círculos cuyo tamaño es proporcional al diámetro de cada individuo. La cobertura vegetal se visualiza de forma detallada, destacando las zonas con mayor concentración arbórea, lo que facilita el análisis espacial del bosque y la planificación de estrategias de manejo sostenible.

Figura 18

Mapa de copas de árboles de finca La Llorona en 2025



En el Cuadro 19 se presentan los resultados del conteo de copas arbóreas en la finca La Llorona para los años 2023 y 2025. Se observa un aumento significativo tanto en el número total de copas como en el área cubierta por ellas, lo que se traduce en una mayor densidad de árboles por hectárea. Este incremento podría estar asociado a procesos de regeneración natural y prácticas implementadas como cercas vivas.

Cuadro 13

Conteo de copas arbóreas y arbustos en la finca La Llorona para los años 2023 y 2025

Año	2023	2025
Número de copas	4,741	5,148
Área en hectárea cubierta por copas	3.10	7.31
Árboles por hectárea	140.27	302.82

Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca Las Arenas

En la Figura 31 se presenta el mapa de conteo de árboles correspondiente al año 2025 en la finca Las Arenas. Este mapa refleja la distribución espacial de los árboles presentes en toda la extensión de la finca, permitiendo visualizar tanto la densidad como el tamaño relativo de los

individuos arbóreos mediante círculos proporcionados a su diámetro. La representación geoespacial empleada facilita la identificación de zonas con alta concentración arbórea, así como áreas de menor densidad

Figura 19

Mapa de copas de árboles de finca Las Arenas 2025



En el Cuadro 20 se muestran los resultados de conteo de copas arbóreas en la finca Las Arenas para los años 2023 y 2025, en donde se evidenció una reducción en el número de copas arbóreas entre 2023 y 2025, acompañada de una disminución en la densidad de árboles por hectárea. No obstante, el área total cubierta por copas aumentó, lo que sugiere la presencia de árboles de mayor tamaño o expansión del follaje, posiblemente como resultado del crecimiento natural de individuos remanentes.

Cuadro 14

Conteo de copas arbóreas y arbustos en la finca Las Arenas para los años 2023 y 2025

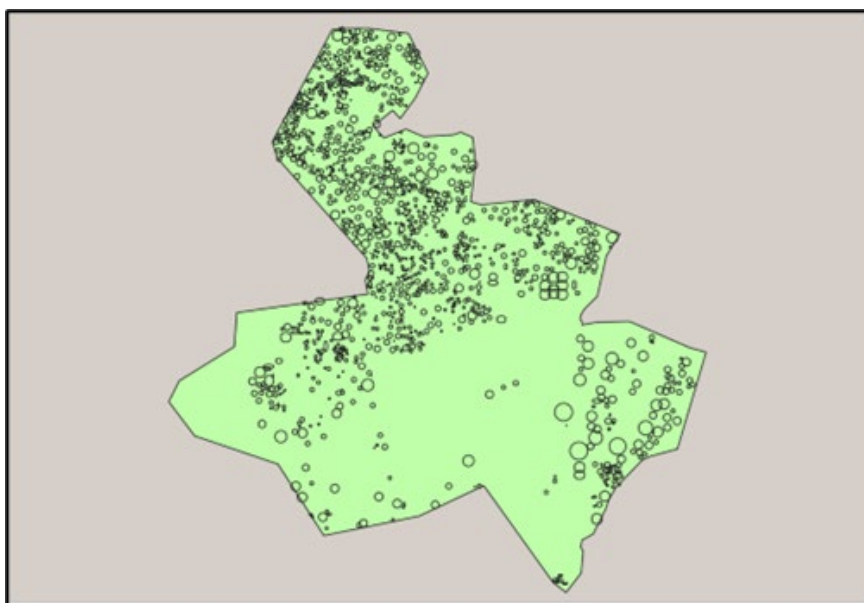
Año	2023	2025
Número de copas	1,062	622
Área en hectárea cubierta por copas	2.10	3.13
Árboles por hectárea	62.84	36.80

Conteo de Árboles y Arbustos en la Finca Los Mangos

La Figura 32 representa el mapa de conteo de árboles del año 2025 en la finca Los Mangos. En esta cartografía se visualiza la distribución espacial de los árboles mediante círculos cuya dimensión refleja el diámetro de cada ejemplar, permitiendo evaluar visualmente la densidad arbórea a lo largo de la finca.

Figura 20

Mapa de copas de árboles de finca Los Mangos 2025



En el Cuadro 21 se presentan los resultados de conteo de copas arbóreas en la finca Los Mangos para los años 2023 y 2025, en donde se registró un notable incremento en el número de copas arbóreas y en la densidad de árboles por hectárea entre 2023 y 2025. Sin embargo, el área total cubierta por copas disminuyó, lo que podría indicar la incorporación de árboles jóvenes o de menor tamaño el tipo de especies que no presentaban follajes de copas más pronunciados en el tiempo 2.

Cuadro 15

Conteo de copas arbóreas y arbustos en la finca Los Mangos para los años 2023 y 2025

Año	2023	2025
Número de copas	567	1,372
Área en hectárea cubierta por copas	13.708	7.3
Árboles por hectárea	11.16	27.00

Una vez finalizada la evaluación de cambios de usos y coberturas en las tres fincas ganaderas se realizó un análisis de fragmentación con el fin de evaluar la conectividad y estructura del paisaje de las fincas. Esto en respuesta al objetivo 2 de este estudio. Además, los indicadores sirvieron de insumo para la actualización de los planes de manejo de fincas.

Evaluación de Indicadores de Fragmentación en las Tres Fincas Ganaderas

La estructura de los ecosistemas se refiere a la organización física de los hábitats y la distribución de las especies dentro de un paisaje. La fragmentación altera esta estructura al dividir los hábitats contiguos en fragmentos más pequeños y aislados. En el contexto de las zonas de amortiguamiento, esto puede provocar varios cambios estructurales.

Algunos estudios integran datos satelitales y observaciones a nivel de finca, han demostrado que las decisiones de uso del suelo están fuertemente influenciadas por factores socioeconómicos locales, lo que incrementa la presión sobre áreas naturales fragmentadas. Asimismo, investigaciones en otras regiones de América Latina y Europa evidencian que la fragmentación no solo impacta la biodiversidad, sino también la eficiencia productiva y el acceso equitativo a los recursos (Di Falco et al., 2010). Por tanto, analizar la estructura espacial de las fincas ganaderas en esta zona resulta esencial para comprender las dinámicas de fragmentación y diseñar estrategias sostenibles de manejo del paisaje (Wilson et al., 2016).

Indicadores de Fragmentación de la Finca La Llorona

El análisis de fragmentación a nivel de paisaje en la finca La Llorona (Cuadro 13), revela un patrón de alta fragmentación estructural. Se identificaron 44 parches distribuidos en el área, lo cual,

considerando la pequeña escala del paisaje, representa una elevada subdivisión del terreno. Esta fragmentación se ve reforzada por la alta densidad de parches (261.83 parches/100 ha), que supera ampliamente los umbrales típicos para paisajes agropecuarios y sugiere un entorno altamente fragmentado. No obstante, el índice del parche mayor (LPI = 77.86%) indica la existencia de un parche dominante que ocupa más de tres cuartas partes del área, correspondiente a áreas de pradera, usado como alimento del ganado. Por otro lado, la densidad de borde (ED = 317.85 m/ha) muestra un alto grado de exposición a bordes, lo cual puede generar pérdida de conectividad funcional y mayor vulnerabilidad de la vegetación. Finalmente, el tamaño medio de los parches (0.38 ha) confirma que la mayoría de los parches son pequeños y, por lo tanto, limitados en su capacidad de sostener biodiversidad o procesos ecológicos estables.

Cuadro 16

Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca La Llorona

Nombre de la métrica	Sigla en inglés	Total	Unidades
Área total	TA	16.80	hectárea
Número de parches	NP	44.00	Ninguno
Densidad de parches	PD	261.83	Número/100 ha
Índice de parche mayor	LPI	77.86	Porcentaje
Densidad de Borde	ED	317.85	metro/hectárea
Media del Área	AREA_MN	0.38	hectárea

Nota. TA: Área Total, NP: Número de parches, PD: Densidad de parches, LPI: índice de parche mayor, ED: Densidad de Borde, AREA_MN: media del área

A nivel de clase, los resultados de fragmentación en la finca La Llorona (Cuadro 14) muestran una clara diferenciación entre las coberturas analizadas: cercas vivas (CV), pradera (PDR) y bosque latifoliado (BL). La clase de pradera (PDR) domina el paisaje, ocupando el 77.94% del área total (PLAND), con 24 parches y una densidad de parches (PD) de 142.82 parches/100 ha, lo que indica una fragmentación moderada. Aunque es la clase más extensa, su índice de parche mayor (LPI = 7.86%) sugiere que el área de pradera está subdividida en varios parches medianos, con una media de área por parche (0.55 ha) que respalda una configuración relativamente estable pero dispersa. La clase de cercas vivas (CV) representa solo el 2.15% del paisaje, pero presenta una alta fragmentación, evidenciada por su densidad de parches (PD = 113.06) y su baja área media (0.11 ha). Esto indica que

las cercas vivas están presentes como elementos lineales del paisaje, pero poco conectados, lo que limita su funcionalidad ecológica como corredores biológicos. Finalmente, el bosque latifoliado (BL) representa solo el 1.55% del área, y se concentra en un único parche continuo (NP = 1) con un área media de 1.55 ha y baja densidad de borde (33.89 m/ha), lo cual refleja una cobertura relativamente íntegra pero aislada. Su índice de parche mayor (LPI = 9.25 %) indica que, aunque no es extenso, el bosque se mantiene como un bloque consolidado dentro de un paisaje predominantemente agropecuario, lo que lo convierte en un componente clave para la conservación local.

Cuadro 17

Índices de fragmentación a nivel de finca La Llorona

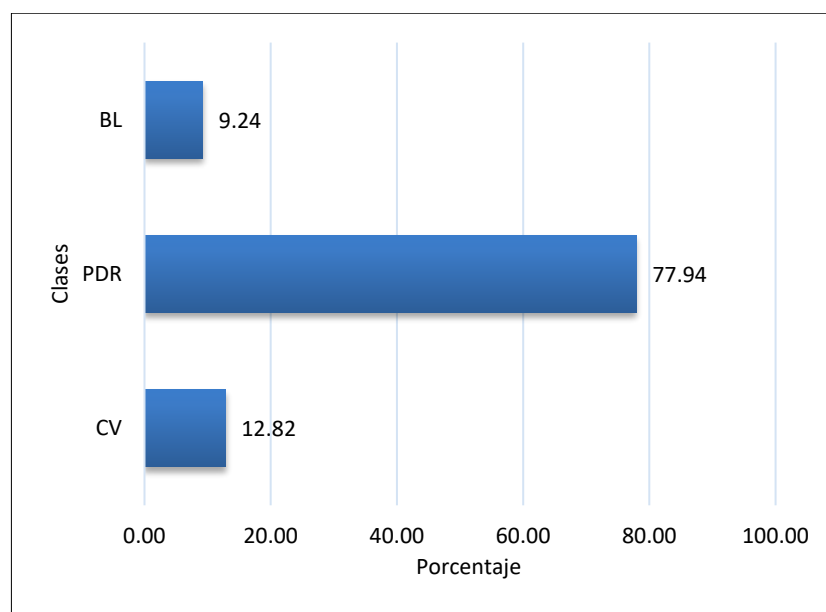
Clase	CA	PLAND	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN
CV	2.15	12.82	19	113.06	3.90	283.96	0.11
PDR	13.10	77.94	24	142.82	7.86	317.85	0.55
BL	1.55	9.2	1	5.95	9.25	33.89	1.55

Nota. CA: Área de clase, PLAND: Porcentaje del Paisaje, NP: Número de Parches, PD: Densidad de Parches, LPI: Índice de Parche Mayor, ED: Densidad de Borde, AREA:MN: Media del Área

Con base en la métrica PLAND (Porcentaje del Paisaje), que representa la proporción del área total ocupada por cada clase de uso del suelo en relación con el paisaje evaluado, la Figura 18 muestra que en la finca La Llorona predominan las praderas (78%), seguidas por las cercas vivas (13%) y el bosque latifoliado (9%). Esta distribución refleja un paisaje altamente fragmentado, con una marcada presencia de áreas abiertas destinadas a la ganadería. Aunque las cercas vivas representan un elemento con potencial para mejorar la conectividad ecológica, su cobertura sigue siendo limitada frente a la baja proporción de bosque conservado.

Figura 21

Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca La Llorona

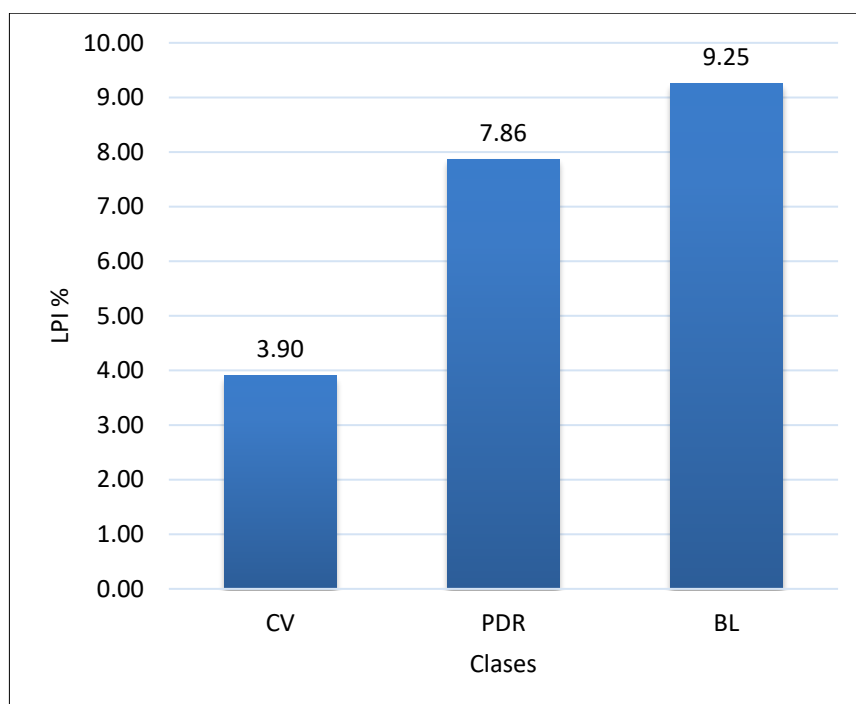


Nota. BL: Bosque Latifoliado, PDR: Pradera, CV: Cercas Vivas

El análisis del Índice de Parche Mayor (LPI, por sus siglas en inglés: (“Largest Patch Index”)) en la finca La Llorona revela que el bosque latifoliado presenta el valor más alto (9.25%), seguido por las praderas (7.86%) y las cercas vivas (3.90%). Un valor alto de LPI indica menor fragmentación y mayor continuidad espacial (Figura 19). El LPI es útil para identificar qué tipo de cobertura tiene mayor influencia estructural en el paisaje. En este caso, aunque el bosque tiene la mayor área continua dentro de su clase, su valor sigue siendo bajo, lo que confirma que la cobertura forestal está altamente fragmentada (McGarigal y Marks, 1995).

Figura 22

Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca La Llorona

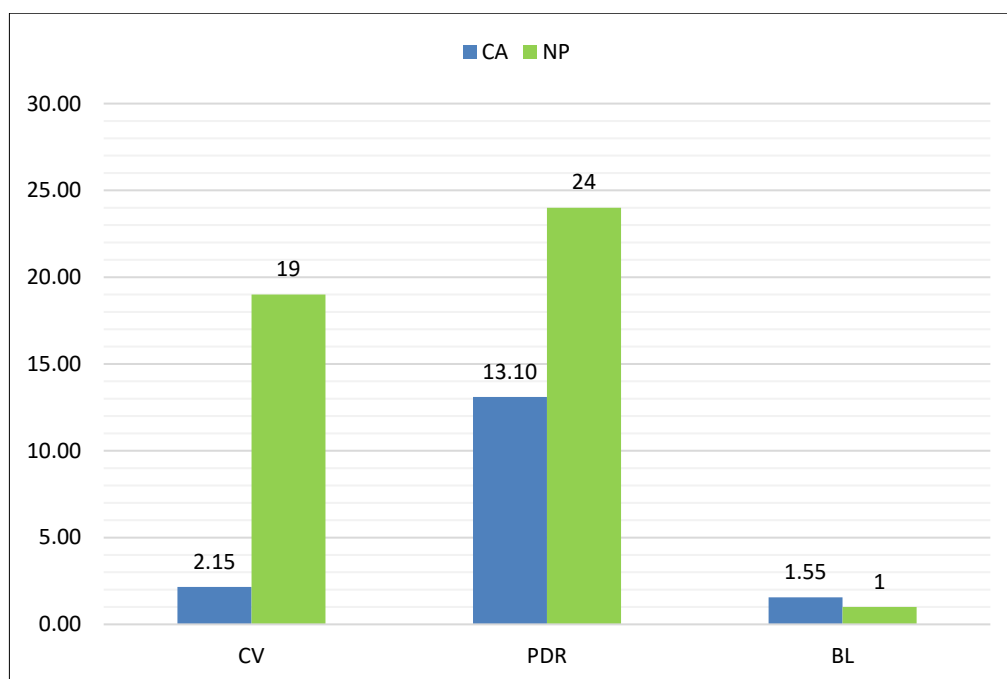


Nota. CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, BL: Bosque Latifoliado

La relación entre las métricas de Área de Clase (CA) y Número de Parches (NP) permite identificar no solo la extensión territorial de cada cobertura, sino también su grado de fragmentación. En la finca La Llorona (Figura 20), las praderas (PDR) presentan la mayor superficie (13.10 ha) y el mayor número de parches (24), lo que indica una cobertura dominante pero fragmentada. Por su parte, las cercas vivas (CV) abarcan 2.15 ha con 19 parches, lo que refleja su naturaleza lineal y discontinua, común en bordes de parcelas. En contraste, el bosque latifoliado (BL) representa apenas 1.55 ha y se concentra en un solo parche, lo que sugiere una cobertura reducida pero continua, aunque vulnerable si se pierde por completo. Esta configuración evidencia una estructura del paisaje donde predomina el uso ganadero, con remanentes forestales aislados y escasa conectividad entre elementos naturales.

Figura 23

Relación entre número (NP) y densidad de parches (DP) de finca La Llorona



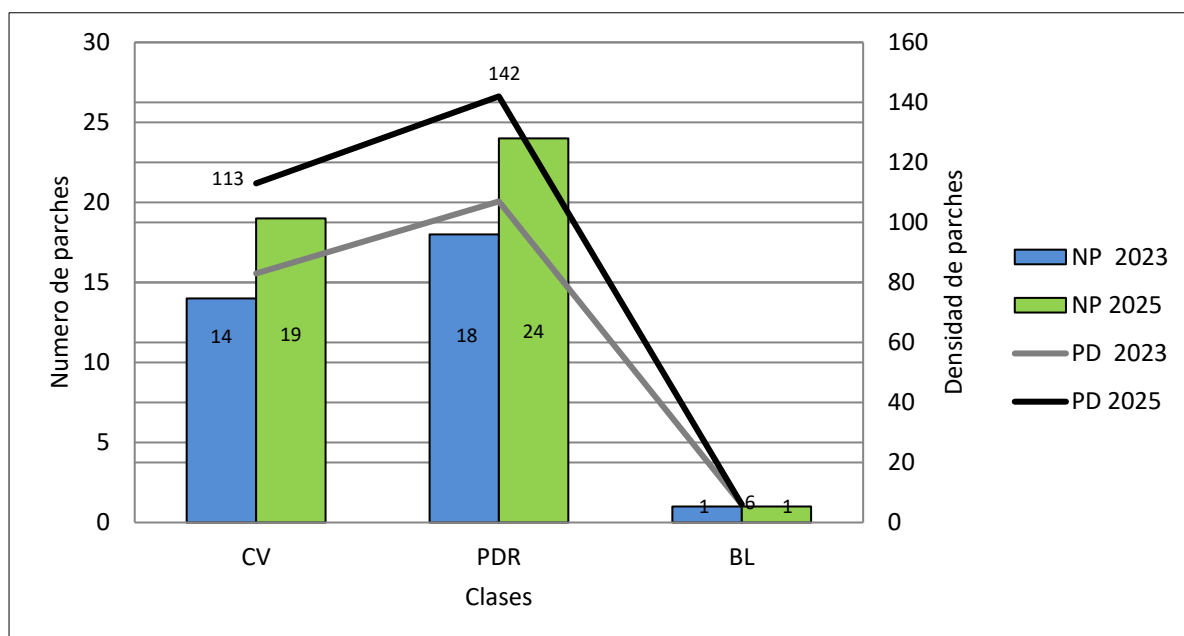
Nota. CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, BL: Bosque Latifoliado

Comparación del Número y la Densidad de Parches por Clase de Cobertura (2023 vs. 2025) en la Finca La Llorona

En la finca La Llorona se observa un incremento en el número de parches en la clase cercas vivas, que pasa de 14 en 2023 a 19 en 2025 (Figura 21). Asimismo, la densidad de parches en esta clase aumenta de 83 a 113, lo que refleja una mayor fragmentación o expansión lineal del paisaje. En la clase pradera, también se registra un aumento tanto en el número como en la densidad de parches: de 18 parches con una densidad de 107 en 2023, a 24 parches con una densidad de 142 en 2025. Por otro lado, la clase bosque se mantiene sin cambios, con un solo parche y una densidad constante de 1, lo que indica estabilidad en esa cobertura. Estos resultados fueron incorporados en el Plan de Manejo de Finca 2025, sirviendo como base para la delimitación de zonas destinadas al establecimiento de cercas vivas que actuarán como corredores biológicos, la implementación de nuevos sistemas silvopastoriles y la designación de áreas de conservación (Anexo B).

Figura 24

Comparación del número y densidad de parches por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en finca La Llorona



Nota. CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, BL: Bosque Latifoliado

Indicadores de Fragmentación de la Finca Las Arenas

Los resultados de fragmentación a nivel del paisaje en la finca Las Arenas (Cuadro 15), indican que la finca tiene una superficie total de 16.88 ha, con una estructura espacial moderadamente fragmentada. Se identificaron 27 parches, lo que, para un área de esta escala, representa una subdivisión del paisaje que, si bien no es extrema, sí indica una fragmentación estructural intermedia. Esta interpretación es respaldada por la densidad de parches ($PD = 159.93$ parches/100 ha), un valor que se encuentra dentro del rango considerado como moderadamente alto según parámetros de referencia en contextos agropecuarios tropicales. El índice del parche mayor ($LPI = 68.49\%$) indica que existe un parche dominante que ocupa más de dos tercios del área total, correspondiente a un área de pastura, lo que puede favorecer cierta conectividad interna del paisaje. No obstante, la densidad de borde ($ED = 277.84$ m/ha) señala una considerable exposición a transiciones entre coberturas, lo cual puede generar efectos de borde moderados que afecten la estabilidad ecológica de los parches

más pequeños. La media del área de los parches (0.50 ha) sugiere que, aunque existe un parche grande, el resto de los parches tienen una dimensión intermedia, lo que puede limitar su funcionalidad ecológica de forma aislada, pero también ofrecer oportunidades para su integración si se conectan adecuadamente. En conjunto, estos resultados indican que Las Arenas mantiene una configuración espacial menos fragmentada que la finca La Llorona, con mayor continuidad en la cobertura principal

Cuadro 18

Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca Las Arenas

Nombre de la métrica	Sigla en inglés	Total	Unidades
Área total	TA	16.88	hectárea
Número de parches	NP	27.00	Ninguno
Densidad de parches	PD	159.93	Número/100ha
Índice de parche mayor	LPI	68.49	Porcentaje
Densidad de Borde	ED	277.84	metro/ hectárea
Media del Área	AREA_MN	0.50	hectárea

Nota. TA: Área total, NP: Número de Parches, PD: Densidad de Parches, LPI: Índice de Parche Mayor, ED: Densidad de Borde, AREA_MN: Media del Área.

A nivel de clase, los resultados de fragmentación en la finca Las Arenas reflejan una clara dominancia del uso de pradera (PDR), que cubre el 68.49% del paisaje y se distribuye en solo tres parches, lo que implica baja fragmentación estructural dentro de esta categoría. Este resultado se confirma con el alto valor de LPI (68.49%) y una media de área de parche (3.85 ha), lo que sugiere que la pradera está bien consolidada como el uso principal del terreno. En contraste, las cercas vivas (CV), aunque representan apenas el 6.36% del área, muestran un patrón altamente fragmentado con 15 parches, una alta densidad de parches (88.85/100 ha) y un área media por parche de apenas 0.07 ha, lo cual indica que están presentes como elementos lineales y discontinuos, limitando su funcionalidad como corredores ecológicos.

El bosque latifoliado (BL), que ocupa un modesto 3.96% del área, también presenta cierta fragmentación, con cuatro parches distribuidos en pequeñas extensiones (área media = 0.17 ha), lo cual indica que estos fragmentos forestales son reducidos y aislados, con una baja capacidad para sostener biodiversidad o procesos ecológicos a escala de finca. Otras clases como cultivo permanente

(CP) y cultivo anual (CA) cubren áreas pequeñas (14.30 y 5.77% respectivamente) y están representadas por un solo parche cada una, lo cual sugiere usos puntuales pero continuos. La clase pastura (PSTR), con apenas el 1.04% del área, y los cuerpos de agua artificiales (CAN), con un 0.08%, también aparecen en proporciones marginales y sin un patrón espacial relevante (Cuadro 16).

En conjunto, los resultados muestran que Las Arenas es una finca con una matriz principal de pradera continua y pocos elementos naturales conectados. La vegetación secundaria (BL) y las cercas vivas representan oportunidades importantes de restauración y reconexión del paisaje, pero en su estado actual permanecen altamente fragmentadas, lo que limita su rol ecológico.

Cuadro 19

Índices de fragmentación a nivel de clase de finca Las Arenas

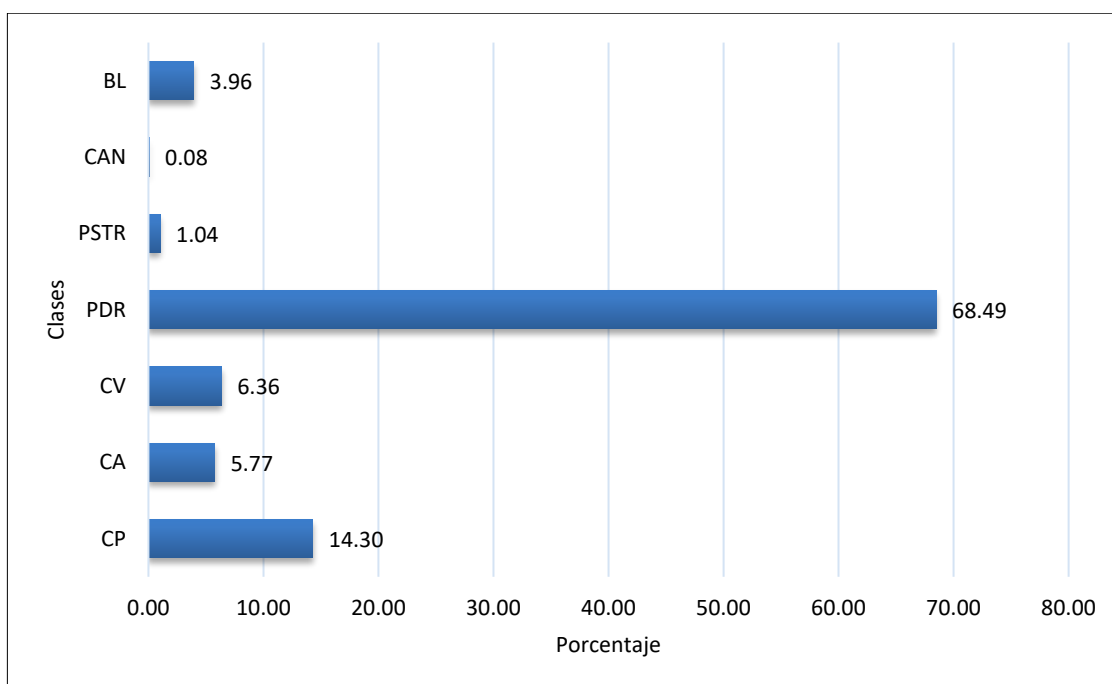
Clase	CA	PLAND	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN
CP	2.41	14.30	1	5.92	14.30	29.84	2.41
CA	0.97	5.77	1	5.92	5.77	20.72	0.97
CV	1.07	6.36	15	88.85	1.73	155.73	0.07
PDR	11.56	68.49	3	17.77	68.49	261.42	3.85
PSTR	0.17	1.04	1	5.92	1.04	16.68	0.17
CAN	0.01	0.08	2	11.85	0.05	4.69	0.01
BL	0.67	3.96	4	23.69	1.92	66.59	0.17

Nota. CA: Área de la Clase, PLAND: Porcentaje del Paisaje, NP: Número de Parches, PD: Densidad de Parches, LPI: Índice de Parche Mayor, ED: Densidad de Borde, AREA_MN: Media del Área.

La métrica PLAND (“Percentage of Landscape”) aplicada a la finca Las Arenas muestra una fuerte dominancia del uso de suelo tipo pradera, que abarca el 68% del paisaje, lo que evidencia un sistema productivo centrado en la ganadería extensiva (Figura 22). En segundo lugar, destacan los cultivos permanentes (14.3%), seguidos por los cultivos anuales (5.77%), lo que sugiere cierta diversificación agrícola. La presencia de cercas vivas (6.36%) representa un aporte positivo hacia la conectividad ecológica, aunque su distribución fragmentada puede limitar su funcionalidad. El bosque latifoliado (3.96%) y las pasturas (1.04%) no tienen una influencia dominante, al igual que los cuerpos de agua naturales (0.08%), lo cual resalta la necesidad de fortalecer las áreas de conservación y los elementos naturales en el paisaje para mejorar su equilibrio ecológico. En conjunto, los resultados reflejan un predominio ganadero y limitada cobertura de vegetación natural.

Figura 25

Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca Las Arenas

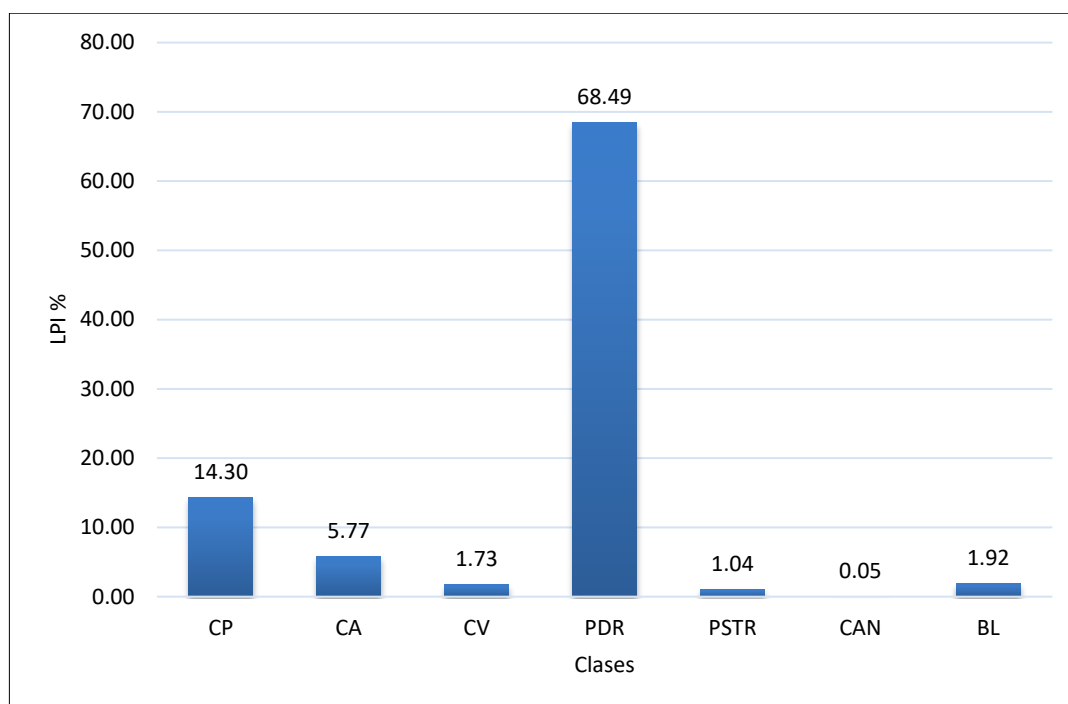


Nota. BL: Bosque Latifoliado, CAN: Cuerpo de Agua Natural, PSTR: Pasturas, PDR: Pradera, CV: Cercas Vivas, CA: Cultivo Anual, CP: Cultivo Permanente.

La métrica LPI (“Largest Patch Index”) indica el porcentaje del paisaje ocupado por el parche más grande dentro de cada clase de uso de suelo, proporcionando una medida de dominancia espacial. En la finca Las Arenas, el valor más alto corresponde a la clase pradera (68%), lo que evidencia un parche dominante de este uso que estructura significativamente el paisaje y reafirma la hegemonía del sistema ganadero. Los cultivos permanentes (14%) y los cultivos anuales (5.77%) presentan parches relevantes, aunque considerablemente menores, lo cual sugiere su distribución en áreas más delimitadas o dispersas. En contraste, las cercas vivas (1.73%), el bosque latifoliado (1.92%), las pasturas (1.04%) y los cuerpos de agua naturales (0.05%) muestran una representación mínima en cuanto a tamaño de sus parches (Figura 23), reflejando una fragmentación considerable y una limitada capacidad para sostener procesos ecológicos continuos.

Figura 26

Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca Las Arenas



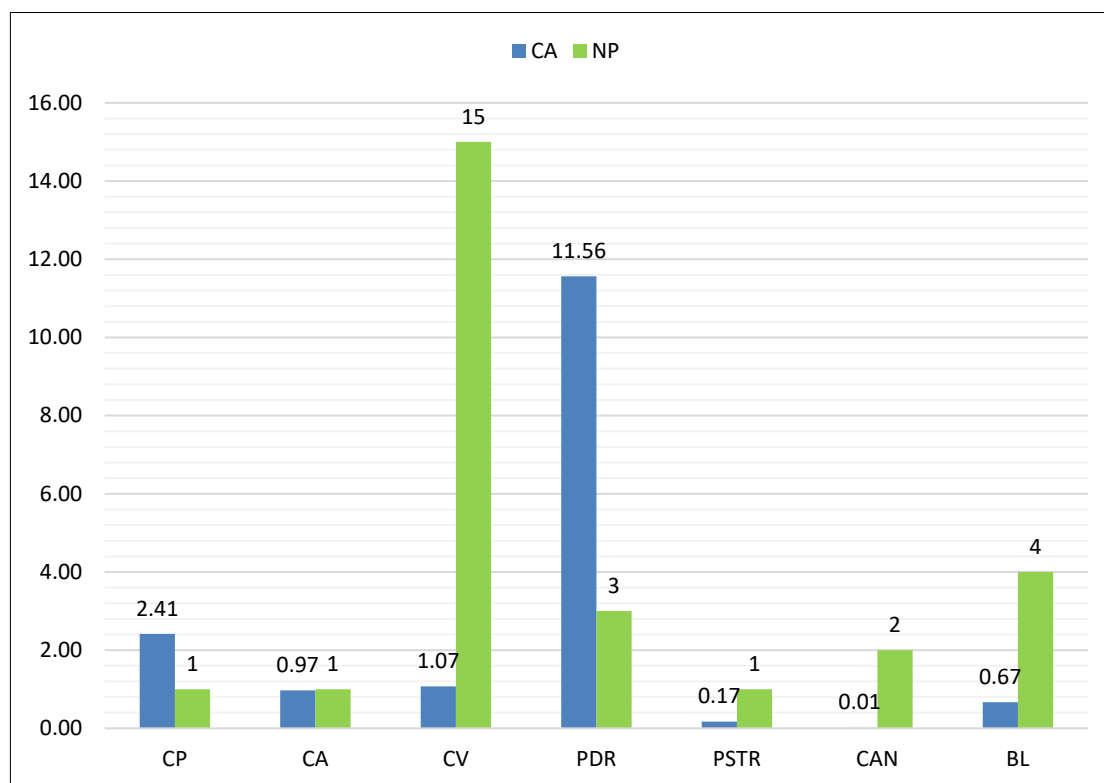
Nota. CP: Cultivo Permanente, CA: Cultivo Anual, CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, PSTR: Pasturas, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BL: Bosque Latifoliado.

La relación entre las métricas de Área de Clase (CA) y Número de Parches (NP) en la finca Las Arenas revela patrones importantes de distribución espacial y fragmentación del uso del suelo (Figura 24). La clase Pradera (PDRA) presenta la mayor área (11.56 ha) distribuida en solo tres parches, lo que indica una cobertura extensa y relativamente continua. En contraste, las Cercas Vivas (CV) muestran una baja superficie total (1.07 ha), pero fragmentada en 15 parches, evidenciando su función lineal y dispersa en el paisaje. Los Cultivos Permanentes (CP) y los Cultivos Anuales (CA) mantienen una cobertura moderada (2.41 y 0.97 ha, respectivamente), cada uno representado por un único parche, lo que sugiere una distribución más consolidada. El Bosque Latifoliado (BL), aunque con un área reducida (0.67 ha), se encuentra fragmentado en cuatro parches, lo que podría reflejar procesos de pérdida o fragmentación ecológica. Finalmente, los Cuerpos de Agua Naturales (CAN) tienen una representación mínima (0.01 ha) en dos parches, posiblemente correspondiendo a pequeñas fuentes

aisladas. En conjunto, los resultados indican una fuerte dominancia de áreas productivas y una alta fragmentación de elementos naturales clave para la conectividad ecológica.

Figura 27

Relación entre el área de la clase (CA) y el número de parches (NP) en la finca Las Arenas



Nota. CP: Cultivo Permanente, CA: Cultivo Anual, CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, PSTR: Pasturas, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BL: Bosque Latifoliado.

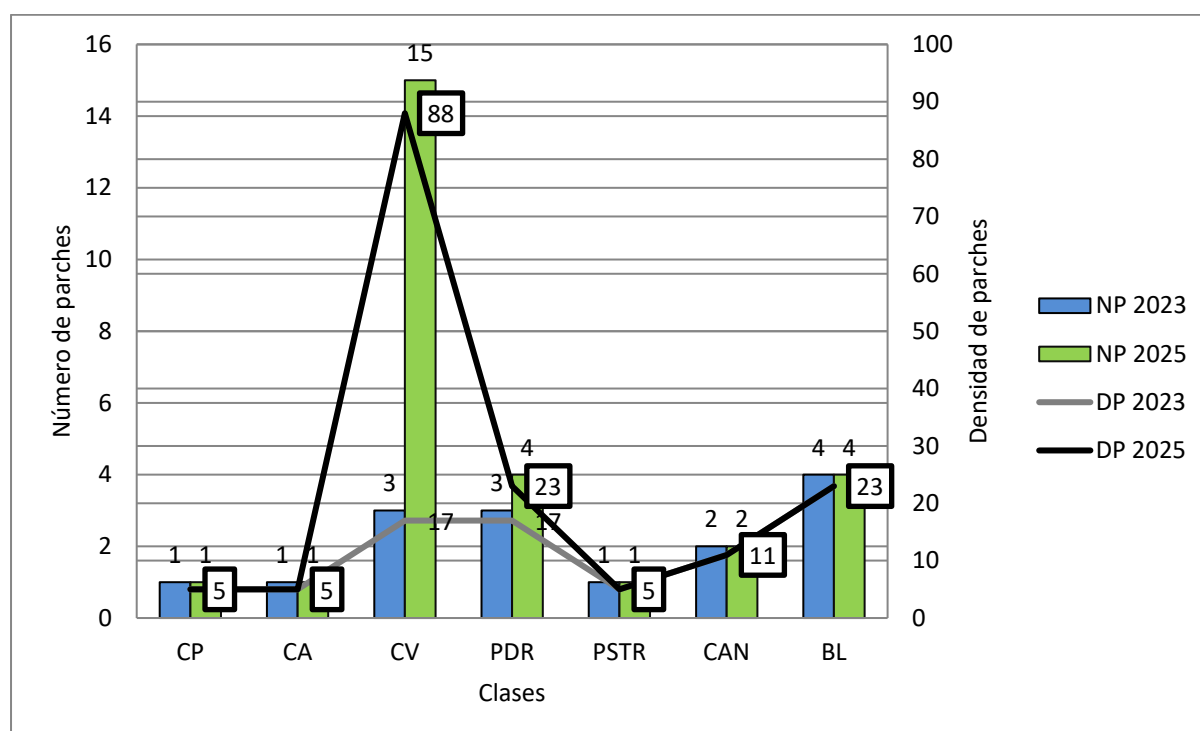
Comparación del Número y la Densidad de Parches por Clase de Cobertura (2023 vs. 2025) en la Finca La Llorona

En la finca Las Arenas, se observa un aumento significativo en la clase Cercas Vivas, pasando de 3 parches con una densidad de 17 en 2023, a 15 parches con una densidad de 88 en 2025, lo que indica la expansión de esta cobertura lineal. En la clase Pradera, también se registra un leve incremento, de 3 a 4 parches, y un aumento en la densidad de parches de 17 a 23 en el mismo periodo (Figura 25). Por otro lado, las clases de Cultivo Permanente, Cultivo Anual, Cuerpo de Agua y Bosque Latifoliado mantienen tanto el número como la densidad de parches constantes entre 2023 y 2025, lo que indica una relativa estabilidad en estas coberturas. Los resultados obtenidos fueron considerados

en la formulación del Plan de Manejo de la finca, permitiendo identificar y delimitar las zonas destinadas a la implementación de cercas vivas con función de corredores biológicos, el desarrollo de nuevos sistemas silvopastoriles y la asignación de áreas de conservación (Anexo C).

Figura 28

Comparación del número (NP) y densidad de parches (DP) por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca Las Arenas



Nota. CP: Cultivo Permanente, CA: Cultivo Anual, CV: Cercas Vivas, PDR: Pradera, PSTR: Pasturas, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BL: Bosque Latifoliado.

Indicadores de Fragmentación de la Finca Los Mangos

El análisis de fragmentación del paisaje en la finca Los Mangos, con una extensión total de 50.77 ha, muestra una estructura moderadamente fragmentada, pero con una configuración más estable que la observada en otras fincas de menor tamaño (Cuadro 17). Se identificaron 27 parches, lo que representa una subdivisión relativamente baja considerando la escala del paisaje. Esto se ve reflejado en la densidad de parches (PD = 53.18 parches/100 ha), valor que se encuentra dentro del rango considerado bajo, según los criterios para paisajes rurales, lo que indica una fragmentación

estructural limitada. El índice del parche mayor (LPI = 39.11%) revela que existe un parche dominante, aunque no extenso, lo cual sugiere una distribución de coberturas más equilibrada en comparación con fincas fuertemente dominadas por un solo uso.

La densidad de borde (ED = 113.38 m/ha) también es baja, lo que implica una menor proporción de áreas expuestas a efectos de borde. Además, la media del área de los parches (AREA_MN = 1.88 ha) indica que los parches son, en promedio, grandes y posiblemente funcionales desde el punto de vista ecológico, lo que favorece procesos internos como el movimiento de fauna y la permanencia de coberturas vegetales estables.

Cuadro 20

Índices de fragmentación a nivel de paisaje de finca Los Mangos

Nombre de la métrica	Sigla en inglés	Total	Unidades
Área total	TA	50.77	hectárea
Número de parches	NP	27.00	Ninguno
Densidad de parches	PD	53.18	Número/100ha
Índice de parche mayor	LPI	39.11	Porcentaje
Densidad de Borde	ED	113.38	metro/hectárea
Media del Área	AREA_MN	1.88	hectárea

Nota. TA: Área Total, NP: Número de Parches, PD: Densidad de Parches, LPI: Índice de Parche Mayor, ED: Densidad de Borde, AREA:MN: Media del Área.

A nivel de clase, los resultados de fragmentación en la finca Los Mangos reflejan un paisaje diversificado, con presencia significativa de coberturas vegetales y áreas productivas (Cuadro 18). La clase dominante es la pradera (PDR), que ocupa el 44.04% del paisaje, distribuida en dos parches de gran tamaño (área media = 11.18 ha) y un LPI de 39.11%, lo cual indica una cobertura extensiva, pero no dominante, favoreciendo una distribución equilibrada del uso del suelo. Le sigue el bosque mixto (BM), que representa el 28.34% del área, también dividido en solo dos parches grandes (área media = 7.20 ha), con un LPI de 22.09%, lo que sugiere una buena conservación estructural de esta clase, potencialmente importante para la biodiversidad.

El bosque latifoliado (BL) y el bosque conífero (BC), aunque cubren áreas menores (10.32 y 7.85%, respectivamente), están representados por un solo parche cada uno, lo que implica baja fragmentación en esas clases, con grandes bloques continuos que pueden jugar un papel ecológico

relevante. En cambio, las cercas vivas (CV), aunque ocupan solo el 4.56% del paisaje, están altamente fragmentadas, con 18 parches, una alta densidad de parches (35.45/100 ha) y un área media muy baja (0.13 ha), lo que refleja su función como elementos lineales de bajo volumen que podrían reforzarse como conectores funcionales entre otras coberturas.

Las clases de cuerpos de agua (CAN) y barbecho o gramínea secundaria (BG) representan proporciones menores del paisaje (1.71 y 3.19% respectivamente), pero están presentes en pocos parches de tamaño pequeño a mediano, sin una fragmentación significativa. En conjunto, el paisaje de Los Mangos presenta baja fragmentación generalizada en la mayoría de las clases, especialmente en praderas y bosques, lo que sugiere una estructura espacial estable, con oportunidades de reforzar la conectividad funcional mediante la mejora del sistema de cercas vivas y el mantenimiento de parches forestales como núcleos de conservación.

Cuadro 21

Índices de fragmentación a nivel de clase de finca Los Mangos

Clase	CA	PLAND	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN
BM	14.39	28.34	2	3.94	22.09	21.89	7.20
CV	2.31	4.56	18	35.45	1.48	46.92	0.13
BC	3.98	7.85	1	1.97	7.85	21.40	3.98
BL	5.24	10.32	1	1.97	10.32	14.54	5.24
PDR	22.36	44.04	2	3.94	39.11	74.78	11.18
CAN	0.87	1.71	1	1.97	1.71	17.12	0.87
BG	1.62	3.19	2	3.94	1.70	30.1204	0.81

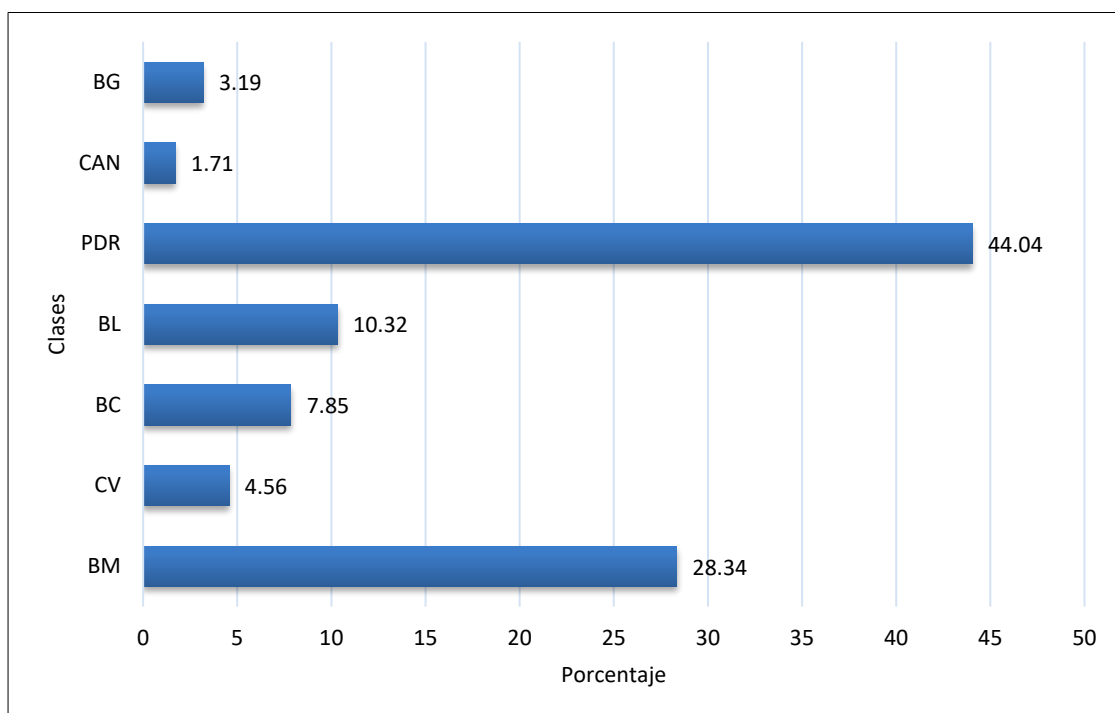
Nota. CA: Área de la clase, PLAND: Porcentaje del Paisaje, NP: Número de Parches, PD: Densidad de Parches, LPI: Índice de Parche Mayor, ED: Densidad de Borde, AREA_MN: Media del Área.

Según la métrica PLAND (Porcentaje del Paisaje), en la finca Los Mangos predomina el uso del suelo como pradera (44.04%), seguido por bosque mixto (28.34%) y bosque latifoliado (10.32%). Estas tres categorías concentran más del 80% del área, reflejando una combinación de cobertura agropecuaria y remanentes forestales. Las demás clases, como bosques de coníferas (7.85%), cercas vivas (4.56%), bosque de galería (3.19%) y cuerpos de agua naturales (1.71%), representan proporciones menores (Figura 26). Aunque se conserva una importante proporción de bosque, el

predominio de praderas sugiere un paisaje transformado, posiblemente vinculado a actividades ganaderas.

Figura 29

Porcentaje del paisaje (PLAND) por clase de uso del suelo en la finca Los Mangos

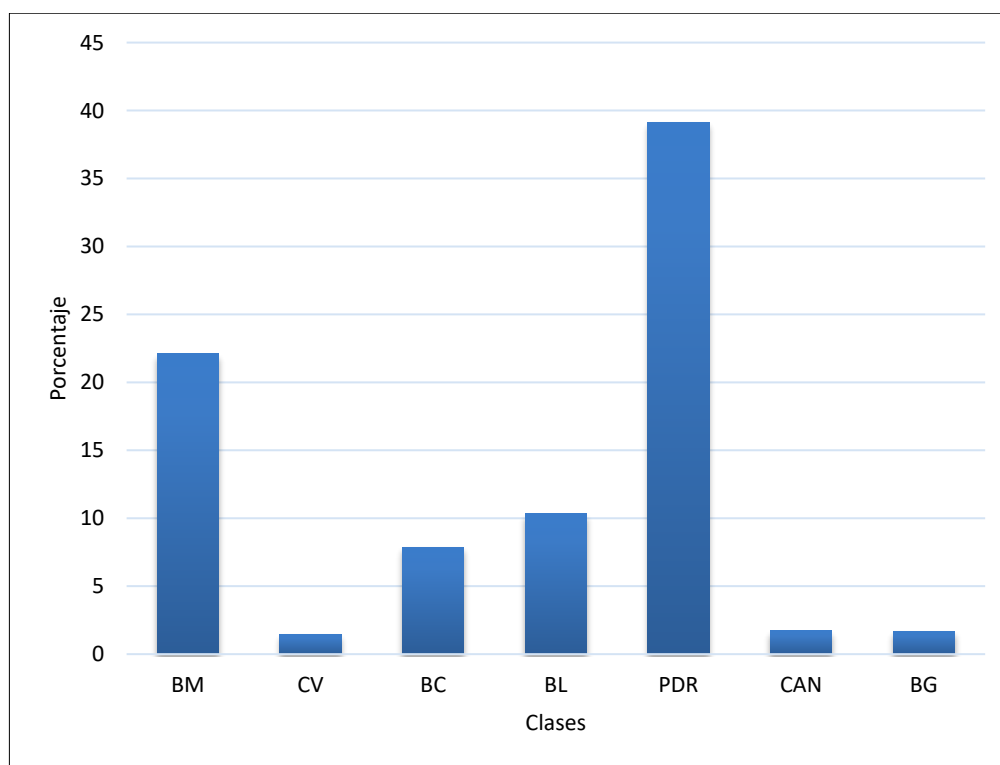


Nota. BG: Bosque de Galería, CAN: Cuerpo de Agua Natural, PDR: Pradera, BL: Bosque Latifoliado, BC: Bosque Conífero, CV: Cercas Vivas, BM: Bosque Mixto.

El análisis del Índice de Parche Mayor (LPI) para la finca Los Mangos muestra que la clase de uso dominante corresponde a las praderas (PDR), con el mayor valor de LPI cercano al 39%, lo que indica que esta cobertura presenta el parche continuo más extenso del paisaje. Le sigue el bosque mixto (BM), con un valor de aproximadamente 22%, lo cual sugiere una presencia relevante, aunque más fragmentada. Las demás clases, incluyendo el bosque latifoliado (BL), bosque de coníferas (BC), y las coberturas menores como cercas vivas (CV), cuerpos de agua naturales (CAN) y bosque de galería (BG), presentan valores significativamente más bajos, reflejando parches pequeños y dispersos (Figura 27). Esta configuración sugiere una baja conectividad ecológica y una matriz dominada por actividades ganaderas, con fragmentos forestales aislados.

Figura 30

Índice de parche mayor (LPI) por clase de uso del suelo en la finca Los Mangos

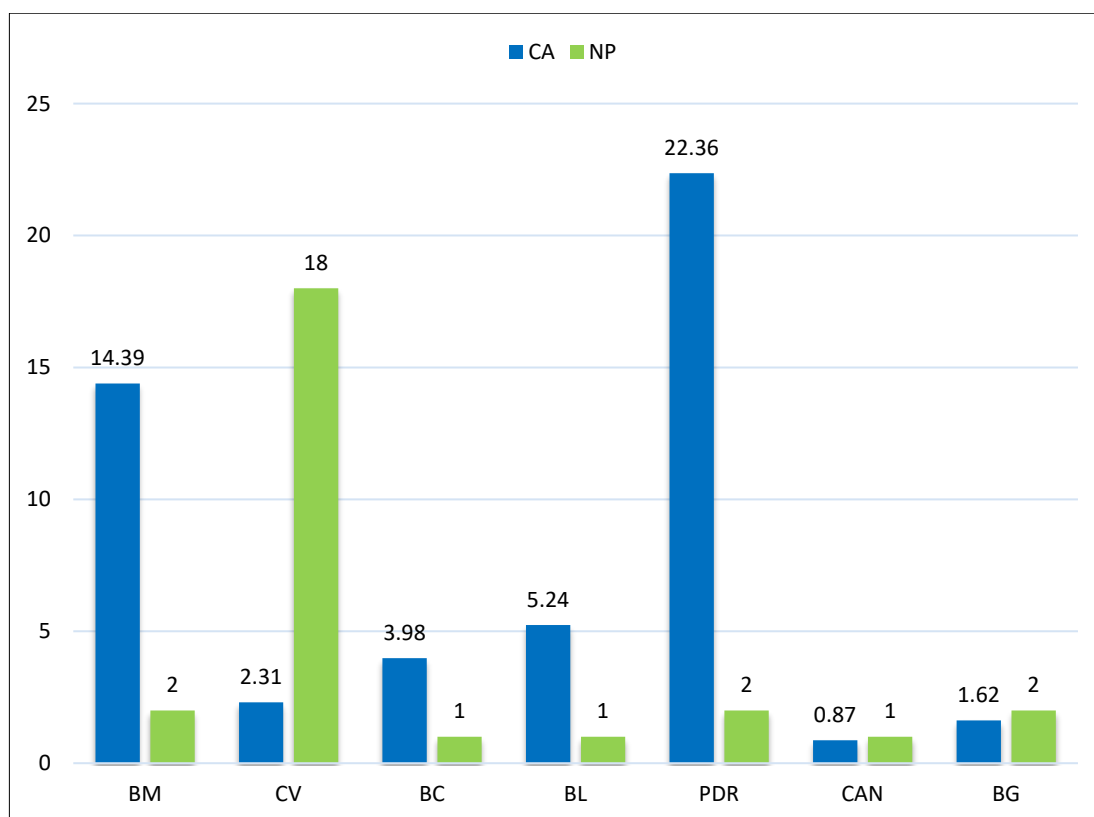


Nota. BM: Bosque Mixto, CV: Cercas Vivas, BC: Bosque Conifero, BL: Bosque Latifoliado, PDR: Pradera, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BG: Bosque de Galería.

La comparación entre el Área de Clase (CA) y el Número de Parches (NP) en la finca Los Mangos evidencia que las praderas (PDR) presentan la mayor extensión territorial (CA) con 22 unidades, pero con un número reducido de parches, lo que indica dominancia y cierta continuidad espacial. En contraste, las cercas vivas (CV) tienen una superficie baja, pero destacan por su alto número de parches (18), reflejando su función como elementos lineales y fragmentados en el paisaje. El bosque mixto (BM) posee un área considerable (14) con pocos parches, mientras que las demás coberturas como BC, BL, CAN y BG muestran valores menores tanto en área como en fragmentación (Figura 28). Estos resultados sugieren un paisaje agrícola-ganadero, con fragmentos de vegetación natural aislados y una red de vegetación secundaria dispersa.

Figura 31

Relación entre el área de la clase (CA) y número de parches (NP) en la finca Los Mangos



Nota. BM: Bosque Mixto, CV: Cercas Vivas, BC: Bosque Conifero, BL: Bosque Latifoliado, PDR: Pradera, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BG: Bosque de Galeria.

De acuerdo con los resultados presentados, podemos observar que la finca La Llorona, posee la cantidad más alta de parches en relación con su pequeño tamaño, refleja un paisaje fragmentado y vulnerable, mientras que Los Mangos mantiene una configuración más estable, con parches amplios que favorecen la conectividad. Las Arenas se ubica en un punto intermedio, con grandes áreas dedicadas a la ganadería y algunos fragmentos naturales dispersos.

Esta fragmentación, caracterizada por un aumento en el número de parches y su reducción en tamaño, conlleva a una pérdida progresiva de hábitat y al aislamiento de áreas naturales, limitando el desplazamiento de especies y la disponibilidad de recursos esenciales para su supervivencia (Zou, 2024). Estas condiciones se evidencian particularmente en la finca La Llorona, donde se identificó una alta densidad de parches y una cobertura arbórea mínima.

Adicionalmente, los efectos de borde derivados de esta fragmentación, como la mayor exposición a radiación solar, viento o especies invasoras, pueden alterar los microclimas locales y disminuir la calidad del hábitat, afectando negativamente a las especies más sensibles (Ojija, 2024). Estos fenómenos no solo comprometen la biodiversidad local, sino que también ponen en riesgo el funcionamiento de los ecosistemas, incluyendo procesos fundamentales como el ciclo de nutrientes, la polinización y la dispersión de semillas (Ojija, 2024).

En este contexto, los resultados obtenidos en este estudio fueron fundamentales para la actualización de los planes de manejo de finca del proyecto MiBiosfera, ya que permitieron identificar áreas críticas de fragmentación y priorizar acciones como la restauración de conectividad y el fortalecimiento de las cercas vivas. Estas estrategias, alineadas con propuestas de restauración ecológica y creación de corredores biológicos, han demostrado ser efectivas para mitigar el aislamiento de parches y mantener la viabilidad de poblaciones silvestres (Kormann, 2014).

Diagrama de los diferentes factores en un paisaje fragmentado que impactan varios procesos ecológicos, con influencia en la biodiversidad de insectos, interacciones planta-insectos y resistencia de especies exóticas invasoras.

Comparación del número y la densidad de parches por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca

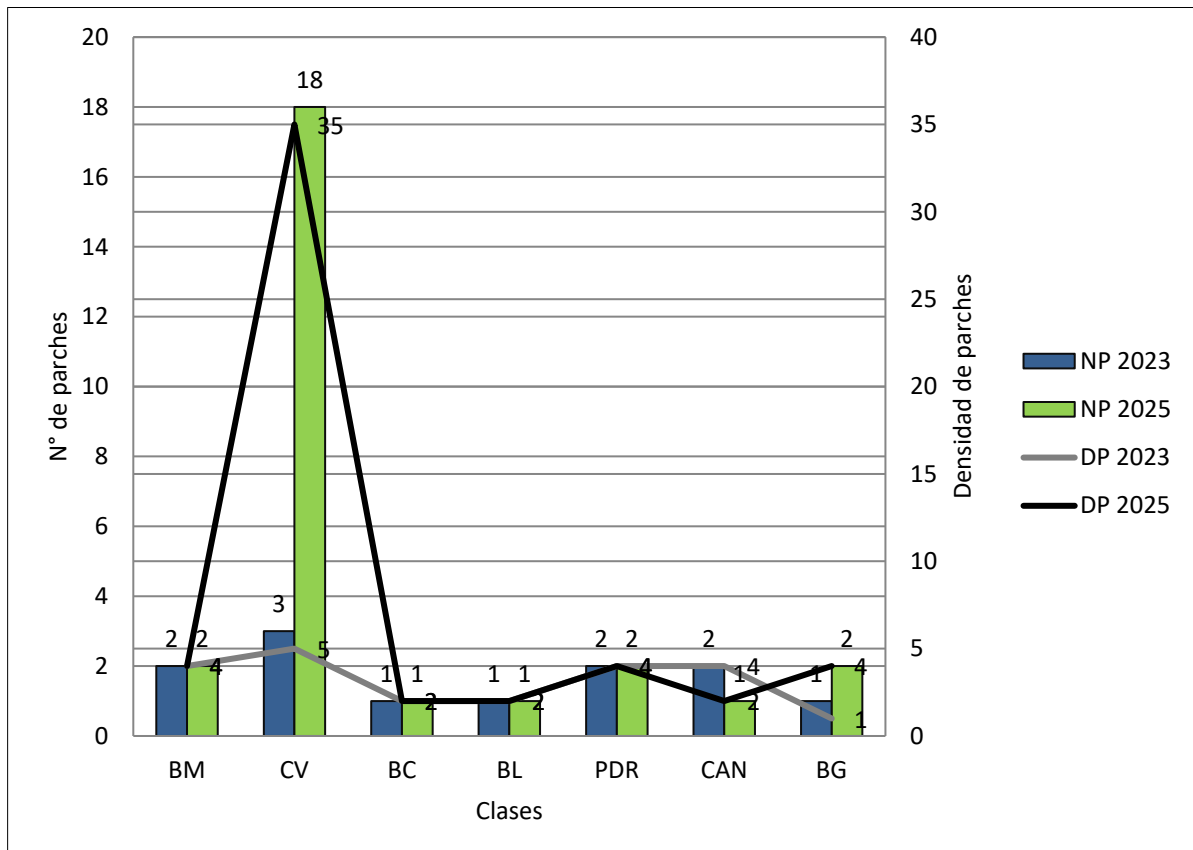
Los Mangos

En la finca Los Mangos, se observa un incremento significativo en la clase cercas vivas, pasando de 3 parches con una densidad de 5 en 2023, a 18 parches con una densidad de 35 en 2025. Por otro lado, la clase cuerpo de agua natural muestra una leve disminución, pasando de 2 parches con una densidad de 4, a 1 parche con una densidad de 2 en 2025 (Figura 29). Las demás clases de cobertura se mantienen constantes tanto en número como en densidad de parches durante el periodo evaluado, lo que indica estabilidad en su configuración espacial. Estos resultados fueron tomados en cuenta para el Plan de Manejo de la otra finca, delimitando las zonas en las que se establecerán cercas

vivas que funcionarán como corredores biológicos, nuevos sistemas silvopastoriles y áreas de conservación (Anexo D).

Figura 32

Comparación del número (NP) y densidad de parches (DP) por clase de cobertura (2023 vs. 2025) en la finca los Mangos



Nota. BM: Bosque Mixto, CV: Cercas Vivas, BC: Bosque Conifero, BL: Bosque Latifoliado, PDR: Pradera, CAN: Cuerpo de Agua Natural, BG: Bosque de Galeria.

Conclusiones

La caracterización biofísica realizada en las tres fincas ganaderas atendidas por el proyecto MiBiosfera mostraron el estado actual de sus coberturas, uso del suelo, vegetación y fragmentación del paisaje a través del uso de herramientas tecnológicas como drones, programas de análisis espacial como E-Motion[®], PIX4D[®], QGIS[®] y métricas de fragmentación en Fragstat[®], para entender cómo las prácticas ganaderas pueden convivir con los objetivos de conservación en una zona tan importante como la Reserva de la Biosfera del Río Plátano. Los resultados muestran que el establecimiento de cercas vivas y la rotación de potreros no solo ayudan a diversificar el paisaje, sino que también fortalecen su conectividad ecológica. Estas transformaciones, aunque sutiles en algunos casos, representan un paso importante hacia una ganadería sostenible y consciente del entorno. En ese sentido, este estudio aporta información para orientar decisiones técnicas y fueron insumo para nuevos planes de manejo, de modo que la producción y la conservación puedan caminar de la mano.

La evaluación de los cambios en el uso y cobertura del suelo entre los años 2023 y 2025 en las tres fincas muestra una tendencia compartida: la disminución de la superficie destinada a praderas y el aumento en la cobertura de cercas vivas. En La Llorona, por ejemplo, la pradera se redujo en 1.31 ha, mientras que las cercas vivas crecieron exactamente en esa proporción. Esta misma dinámica se repitió en Las Arenas (-0.69 ha de pradera, +0.69 ha de cercas vivas) y en Los Mangos (-1.58 ha de pradera, +1.58 ha de cercas vivas), reflejando una estrategia de manejo coherente y replicada en las tres propiedades. Este cambio responde directamente a la implementación de sistemas de pastoreo rotacional promovidos por MiBiosfera, donde los árboles preexistentes y la implementación de postes vivos en los potreros han sido aprovechados como divisiones naturales. A nivel ecológico, este tipo de conversión favorece la conectividad del paisaje, aporta sombra y refugio para la fauna, y mejora la resiliencia de los sistemas productivos. Además, no se observaron pérdidas en la cobertura de bosque en ninguna de las fincas, lo cual indica un manejo conservacionista de los remanentes forestales.

El análisis de los indicadores de fragmentación permitió identificar diferencias en la estructura espacial del paisaje en cada finca. La finca La Llorona presentó el mayor grado de fragmentación, con una densidad de 261.83 parches por cada 100 hectáreas y una alta exposición de bordes ($ED = 317.85$ m/ha), lo que sugiere un entorno fuertemente subdividido. En contraste, Los Mangos mostró una configuración menos fragmentada ($PD = 53.18$), con una mayor diversidad de coberturas forestales, incluyendo bosque mixto (29.05%), latifoliado (10.56%) y conífero (8.04%), que fortalecen la heterogeneidad del paisaje. Las Arenas, por su parte, se ubicó en un nivel intermedio de fragmentación ($PD = 159.93$), con un paisaje dominado por praderas y elementos naturales aún dispersos. En todas las fincas, las cercas vivas se presentaron como elementos lineales con alta fragmentación interna, aunque su incremento en número y superficie representa un avance hacia la mejora de la conectividad funcional.

El análisis comparativo del conteo de copas arbóreas y arbustivas entre los años 2023 y 2025 en las fincas La Llorona, Las Arenas y Los Mangos evidencia aumento en la cobertura y densidad de la vegetación. La Llorona muestra un notable incremento en el número de copas, área cubierta y árboles por hectárea, lo que sugiere procesos de regeneración o reforestación activa. En cambio, Las Arenas experimenta una disminución significativa en el número de copas, lo que podría asociarse a especies de menor tamaño incorporadas en el tiempo 2. Por su parte, Los Mangos registra un aumento en el número de copas y en la densidad de árboles por hectárea, a pesar de una reducción en el área cubierta, lo cual podría indicar una transición hacia vegetación más joven o arbustiva.

Recomendaciones

Dado que los cambios de cobertura entre 2023 y 2025 mostraron avances hacia prácticas sostenibles, se recomienda establecer un sistema de monitoreo periódico que permita evaluar de forma continua la evolución del uso del suelo en las fincas, una vez finalizado el proyecto. Esto facilitará la toma de decisiones informadas, permitirá detectar retrocesos y contribuirá a medir el impacto de las estrategias impulsadas por el proyecto MiBiosfera en cada finca.

Aunque las cercas vivas han incrementado su presencia en todas las fincas, su efectividad como elementos de conectividad depende no solo de su ubicación y densidad, sino también de su composición y continuidad. Se recomienda trabajar en la conectividad funcional de estos elementos, la interconexión con parches forestales existentes y la alineación de su trazado con rutas de fauna y flujos ecológicos. Esto permitirá que las cercas vivas no solo cumplan una función estructural, sino que también actúen como corredores biológicos efectivos.

Para futuras intervenciones de proyectos de ganadería sostenible en paisajes degradados es importante realizar los análisis de usos y fragmentación previamente y en función de los resultados establecer medidas de manejo del paisaje asociadas a la productividad y a la conservación.

Referencias

- Capó, E. A., Aguilar, R. y Renison, D. (2016). Livestock reduces juvenile tree growth of alien invasive species with a minimal effect on natives: a field experiment using exclosures. *Biological Invasions*, 18(10), 2943–2950. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1185-3>
- Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., García-Tejero, I. F., Gálvez Ruiz, B. y Cuadros Tavira, S. (2022). Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review. *Soil Systems*, 6(4), 87. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6040087>
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial, 1–568. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/23090>
- Di Falco, S., Bezabih, M. y Yesuf, M. (2010). Seeds for livelihood: Crop biodiversity and food production in Ethiopia. *Ecological Economics*, 69(8), 1695–1702. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.024>
- Fahrig, L. (2017). Ecological Responses to Habitat Fragmentation Per Se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>
- Hossain, A., Krupnik, T. J., Timsina, J., Mahboob, M. G., Chaki, A. K., Farooq, M., Bhatt, R., Fahad, S. y Hasanuzzaman, M. (2020). Agricultural Land Degradation: Processes and Problems Undermining Future Food Security. En S. Fahad, M. Hasanuzzaman, M. Alam, H. Ullah, M. Saeed, I. Ali Khan y M. Adnan (Eds.), *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* (pp. 17–61). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_2
- Ihtimanski, I., Dimitrov, S. y Petrov, S. (2024, abril - 2024, abril). UAS based remote sensing for rapid large-scale mapping of urbanized territories for sustainable urban planning: the case of Burgas and Stara Zagora, Bulgaria. En S. C. Michaelides, D. G. Hadjimitsis, C. Danezis, N. Kyriakides, A. Christofe, K. Themistocleous y G. Schreier (Eds.), *Tenth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2024)* (p. 3). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3034277>
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre (2015). Informe del estado de conservación del sitio de patrimonio mundial natural No. 196 Reserva del hombre y la Biosfera Río Plátano(196). https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-RHBRP_SITIO-DE-PATRIMONIO_UNESCO-2015-FINAL.pdf
- Juárez, L., Linares, G., Sandoval, M. y Cigarroa, K. (2022). Cambio de uso de suelo y vegetación asociado a la carencia de servicios públicos y políticas públicas en Atoyatempan, Puebla. *Nexo Revista Científica*, 34(06), 1611–1622. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i06.13122>
- Korchagina, I. A., Goleva, O. G., Savchenko, Y. Y. y Bozhikov, T. S. (2020). The use of geographic information systems for forest monitoring. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515(3), 32077. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032077>
- Kormann, G. (2014). Scale-dependent management of biodiversity and ecosystem processes in fragmented landscapes. <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-0023-9639-3>

- Lacayo, A. (2013). Cercas Vivas Y Su Importancia Ambiental En La Conservación De Avifauna Nativa. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*, 5(1), 171–193. <https://doi.org/10.24188/recia.v5.n1.2013.483>
- Lainez, A. (2023). *Classification of land use and land cover on three cattle farms within the buffer zone of the Río Plátano Biosphere Reserve, Honduras* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://hdl.handle.net/11036/7640>
- Lamine, S., Petropoulos, G. P., Singh, S. K., Szabó, S., Bachari, N. E. I., Srivastava, P. K. y Suman, S. (2018). Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS[®]. *Geocarto International*, 33(8), 862–878. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1307460>
- Layza R., Gonzales F. y Terán J. (2018). La deforestación y el cambio climático en la provincia de San Martín periodo: 1973 al 2014. *Ciencia Y Tecnología*, 14(2), 19–30. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2072/1973>
- McGarigal, K. y Marks, B. (1995). *Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. United States Department of Agriculture (USDA). <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- Muhammad, I., Celia, H., Jaime, V., Mario, C., Diego Muñoz, Marlon López, René Gómez, Rachel Taylor y Jorge Martinez (2003). Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5963>
- Murat, Ö., Cemil, B. y Aylin, S. (2015). Determination-of-vegetation-changes-with-NDVI-method. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16(1), 264–273. https://www.researchgate.net/publication/284981527_Determination_of_vegetation_changes_with_NDVI_method
- Ojija, F. (2024). Biodiversity and plant-insect interactions in fragmented habitats: A systematic review. *CABI Reviews*, 19. <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2024.0044>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S. M. y Salas López, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Ruiz, H., Andres, F., Bolaños, J. P., Arrechea-Castillo, D. A. y Cardoso, J. A. (2025). TreeEyed: A QGIS plugin for tree monitoring in silvopastoral systems using state of the art AI models. *SoftwareX*, 29, 102071. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102071>
- Sundaram B., Sowjanya S., Andavar V. y Reddy R. (2018). Effectiveness-of-Geographic-Information-System-and-Remote-Sensing-Technology-as-a-Decision-Support-Tool-in-Land-Administration-the-Case-of-Yeka-Sub-City-Addis-Ababa. *International Journal of Innovative Research in Science*, Artículo 7(3). <https://doi.org/www.researchgate.net/publication/345496063>
- Tayari, E, Jamshid, A y Goodarzi, H (2015). Role of GPS and GIS in precision agriculture. *Journal of Scientific Research and Development*, 2(3), 157–162. https://www.researchgate.net/profile/Nirmala-Svsg/post/Any_peer-

reviewed_research_papers_articles_related_to_use_of_Geographic_Information_System_in_agronomy_agriculture/attachment/59d649b679197b80779a4275/AS%3A472255508553728%401489605895083/download/Role%2Bof%2BGPS%2Band%2BGIS%2Bin%2Bprecision%2Bagriculture.pdf

- Wilson, M. C., Chen, X.-Y., Corlett, R. T., Didham, R. K., Ding, P., Holt, R. D., Holyoak, M., Hu, G., Hughes, A. C., Jiang, L., Laurance, W. F., Liu, J., Pimm, S. L., Robinson, S. K., Russo, S. E., Si, X., Wilcove, D. S., Wu, J. y Yu, M. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*, 31(2), 219–227. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0312-3>
- Zou, Y. (2024). Land Cover Change and Habitat Fragmentation in Protected Landscape Areas: Analyzing the Impact of Ecological Management on Environmental Sustainability and Species Diversity. *Advances in Social Behavior Research*, 13(1), 59–63. <https://doi.org/10.54254/2753-7102/2024.18297>

Anexos

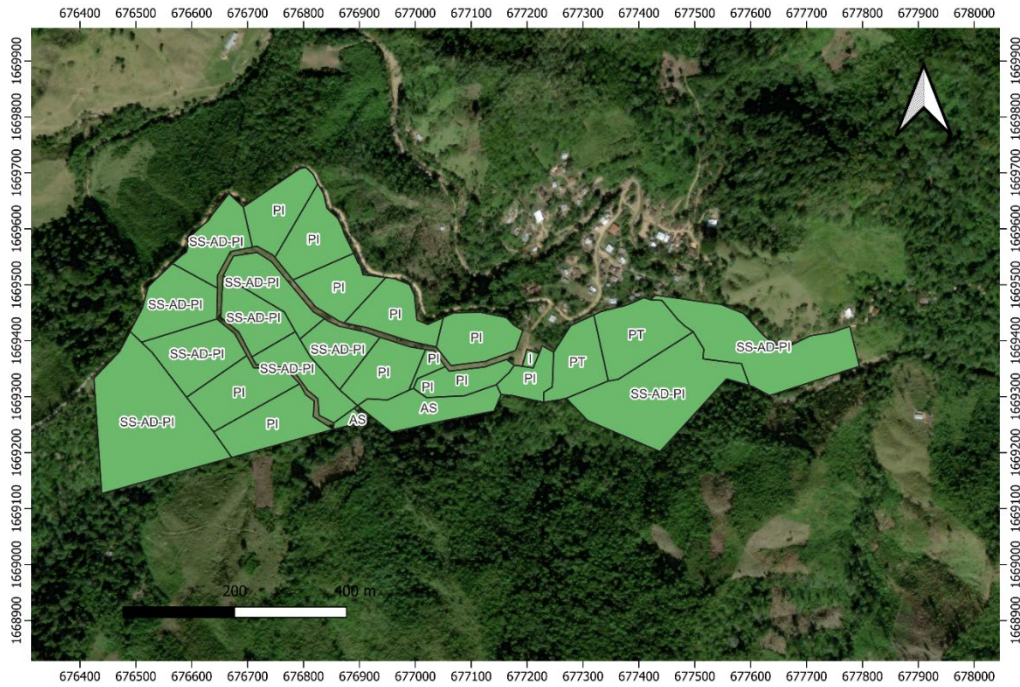
Anexo A

Recolección de datos en campo en fincas ubicadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Rio Plátano



Anexo B

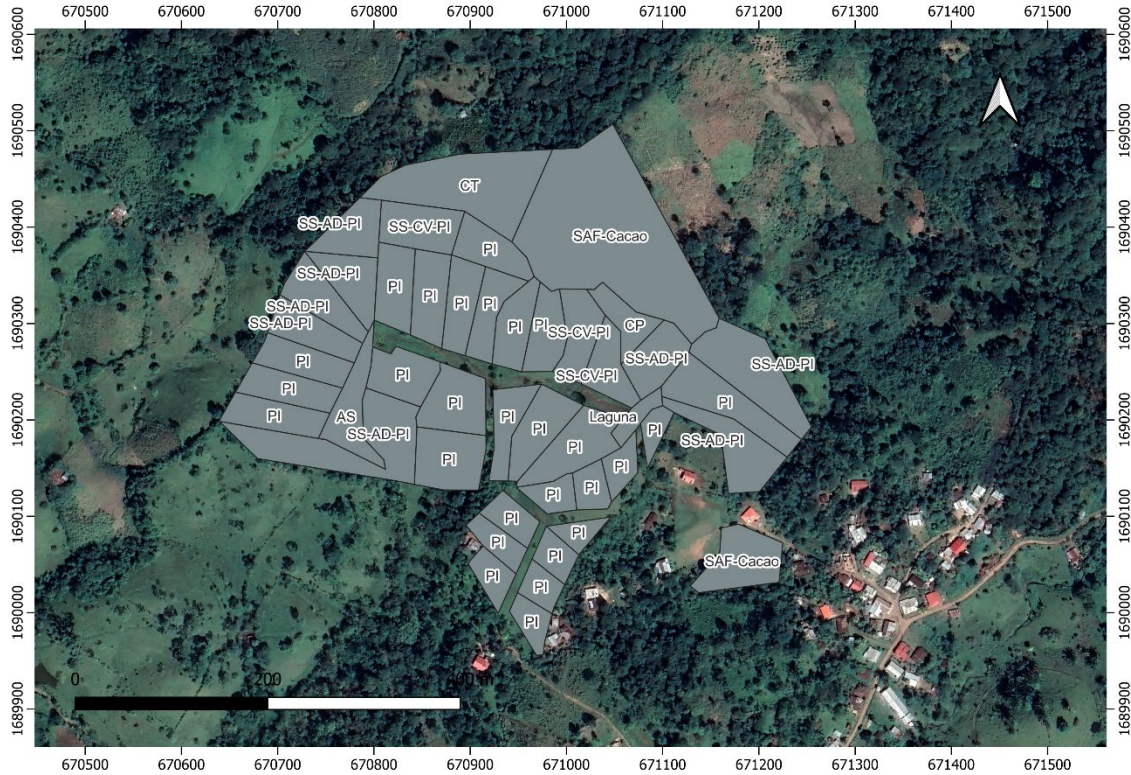
Mapa de plan de manejo 2025 de finca La Llorona



Nota. El mapa muestra el nuevo plan de manejo de finca propuesto para el año 2025, las divisiones internas representan la distribución del crecimiento de las cercas vivas. Las siglas mencionadas representan lo siguiente, PI: Pastoreo intensivo, PT: Potrero en Transición, SS-AD-PI: Sistema Silvopastoril-Área en descanso-Pastoreo intensivo, AS: Área Social.

Anexo C

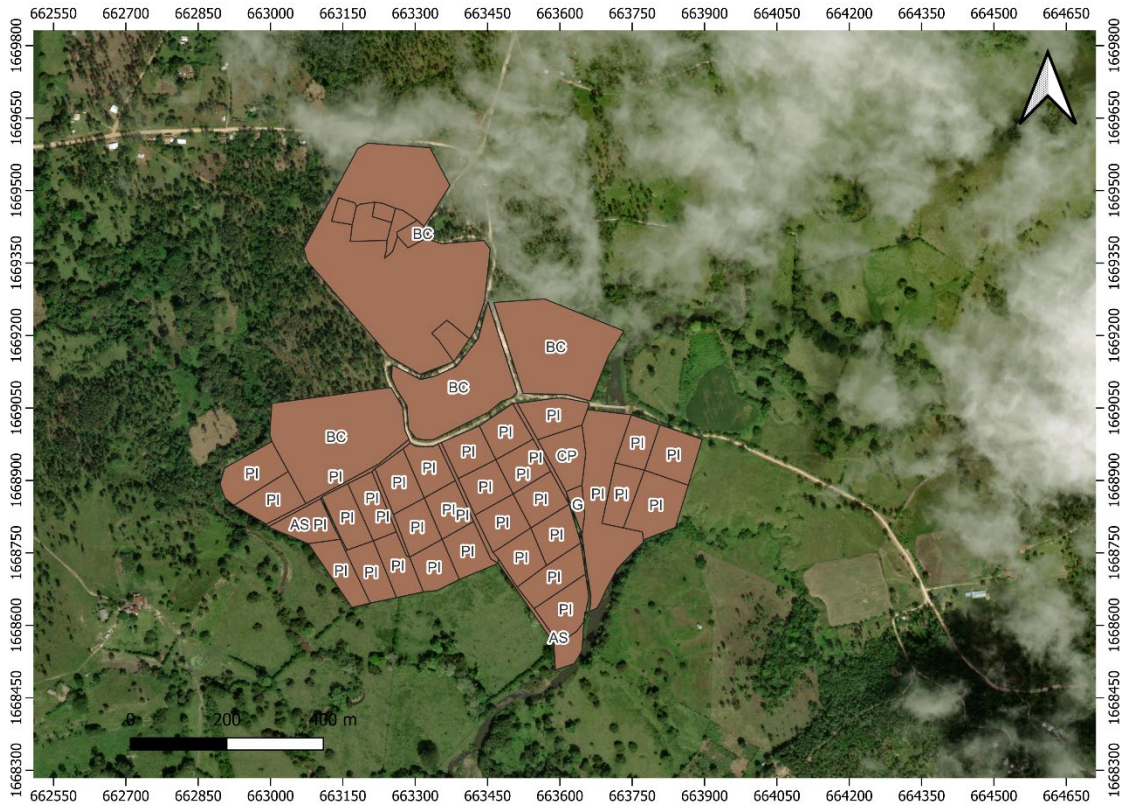
Plan de manejo 2025 de finca Las Arenas



Nota. El mapa muestra el nuevo plan de manejo de finca propuesto para el año 2025, las divisiones internas representan la distribución del crecimiento de las cercas vivas. Las siglas mencionadas representan lo siguiente, PI: Pastoreo intensivo, PT: Potrero en Transición, SS-AD-PI: Sistema Silvopastoril-Área en descanso-Pastoreo intensivo, AS: Área Social, SAF-Cacao: Sistema Agroforestal-Cacao.

Anexo D

Mapa de plan de manejo de finca 2025 de finca Los Mangos



Nota. El mapa muestra el nuevo plan de manejo de finca propuesto para el año 2025, las divisiones internas representan la distribución del crecimiento de las cercas vivas. Las siglas mencionadas representan lo siguiente, PI: Pastoreo intensivo, PT: Potrero en Transición, SS-AD-PI: Sistema Silvopastoril-Área en descanso-Pastoreo intensivo, AS: Área Social, BC: Bosque Conifero, G: guamil.