

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA PROFESIONAL EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
CON ENFÁSIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Diseño de estrategias ambientales para la planificación y el control de la expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina, Limón, Costa Rica

Proyecto profesional sometido a la consideración del Tribunal Examinador del Programa de Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar por el grado de *Magíster* con énfasis en gestión ambiental

Mónica Salas Chaverri

Directora del proyecto profesional: Paola Brenes Rojas, paolarjs@gmail.com
Lector del proyecto profesional: Benjamín Álvarez Garay, balvarez@uned.ac.cr
Lector del proyecto profesional: Leonel Córdoba Gamboa, lcordobar@uned.ac.cr

San José, Costa Rica

Julio, 2025

Tribunal Examinador

Este proyecto profesional ha sido aceptado y aprobado en su forma presente por el Tribunal Examinador del Programa de Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Estatal a Distancia, como requisito parcial para optar por el grado de Master en Manejo los Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental.

XXXXXX, Título.

Representante

Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales

XXXXX, Título.

Representante

Profesores de la Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales

Zaidett Barrientos Llosa, Ph. D.

Coordinadora

Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales

Paola Brenes Rojas, M. Sc.

Directora del Proyecto Profesional

Benjamín Álvarez Garay, M. Sc.

Lector del Proyecto Profesional

Leonel Córdoba Gamboa, Ph. D.

Lector del Proyecto Profesional

San José, Costa Rica, (día, julio, 2025)

Dedicatoria

A papá, mamá y mis hermanos por su amor incondicional.

A mi abue por su sabiduría compartida.

A mi compañero de vida, gracias por ser mi maestro. Gracias siempre.

A las personas trabajadoras y comunidades afectadas por los agronegocios.

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Palabras Clave:	1
Abstract.....	2
Key Words:.....	2
Introducción.....	3
Justificación	6
Planteamiento del Problema	8
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos	10
Marco Teórico	12
Antecedentes.....	12
El Ordenamiento Territorial	15
Los Cambios sobre la Cobertura y Uso del Suelo (CCUS)	19
La Conectividad Estructural.....	21
Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.....	22
El Monocultivo de Banano como Motor de la Expansión Agrícola	25
Materiales y Métodos	27
Sitio de Estudio.....	27
Estado del Plan Regulador	29
Elaboración de los mapas de cobertura del suelo (1998 y 2024)	30
Cambios en las Coberturas del Suelo	32
Cambios en la Conectividad Estructural del Paisaje.....	33
Estrategias de Conservación Ambiental.....	34
Resultados	37
Cambios en los Usos de Suelo Ocasionados por la Expansión de las Fronteras Agrícolas.....	37
<i>Cobertura y Uso del Suelo para el Año 1998</i>	<i>37</i>
<i>Cobertura y Uso del Suelo para el Año 2024</i>	<i>39</i>
<i>Detección de Cambios</i>	<i>41</i>
<i>Balance de Pérdidas y Ganancias</i>	<i>43</i>
<i>Expansión de las Fronteras Agrícolas</i>	<i>44</i>

Alteraciones en la Conectividad Estructural del Paisaje	44
Enriquecimiento del Reglamento del Plan Regulador	46
<i>Marco Legal: Potestad Municipal para la Conservación Ambiental</i>	46
<i>Recomendaciones Técnicas</i>	48
Discusión	55
Cambios	55
Alteraciones en la Conectividad Estructural del Paisaje	58
Propuestas para el Reglamento del Plan Regulador en Contextos de Expansión Bananera	59
Conclusiones y Recomendaciones	62
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Propuesta de Estrategias Ambientales para el Reglamento del Plan Regulador Municipal	66
Introducción	66
Clasificación de Uso de Suelo Agrícolas y Estrategias Ambientales	67
Tiempos de Ejecución y Puesta en Marcha	69
Articulación Interinstitucional	70
Participación Comunitaria	71
Referencias	73
Anexos	86
Anexo 1: Cesión de Derechos	86

Diseño de estrategias ambientales para la planificación y el control de la expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina, Limón, Costa Rica

Resumen

El crecimiento de las actividades humanas ha generado cambios significativos en la cobertura y uso del suelo, especialmente en regiones con alta actividad agrícola como el cantón de Matina, Limón, Costa Rica. En este territorio, la expansión del monocultivo de banano provocó transformaciones significativas en la cobertura del suelo, particularmente en la pérdida de bosques densos y fragmentados, así como una disminución en la conectividad estructural del paisaje. Estos cambios ejercieron una presión creciente sobre los ecosistemas locales, en un contexto marcado por la ausencia de un plan regulador aprobado que limite y oriente adecuadamente el ordenamiento territorial. El estudio tuvo como objetivo diseñar estrategias ambientales para planificar y controlar la expansión de las fronteras agrícolas en Matina, con el fin de ser incluidas en el reglamento del Plan Regulador Municipal. La investigación se desarrolló en los 772,64 km² que conforman el total del cantón de Matina y analizó los cambios en la cobertura y uso del suelo entre 1998 y 2024. Para ello, se emplearon técnicas de teledetección y análisis geoespacial mediante el uso de imágenes satelitales Landsat y sistemas de información geográfica (SIG), con el fin de clasificar los cambios en la cobertura y uso del suelo. Se utilizó un enfoque de clasificación supervisada para generar mapas de cobertura, calcular las pérdidas y ganancias por categoría, y evaluar la conectividad estructural del paisaje mediante métricas de fragmentación. Los resultados revelaron un aumento del 32% en el área destinada al cultivo de banano, con una pérdida significativa de cobertura arbórea, tanto en forma de bosques densos como fragmentados. También se identificó una expansión de otros cultivos, como la palma aceitera, y una redistribución significativa de áreas dedicadas a pastos y ganadería. La conectividad estructural del paisaje se redujo, lo cual evidencia una mayor fragmentación de la cobertura arbórea, y, por tanto, una presión sobre los ecosistemas naturales. Como recomendación principal, se planteó la necesidad de incorporar estrategias ambientales en el reglamento del Plan Regulador Municipal. Entre estas se propusieron la reforestación de zonas prioritarias con especies autóctonas, el establecimiento de zonas de intervención prioritarias para aumentar la conectividad estructural en el corredor biológico, la implementación de barreras vivas y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Estas acciones permitirían avanzar hacia un modelo de desarrollo territorial más conservacionista y resiliente para el cantón.

Palabras Clave: cobertura, suelo, monocultivo, teledetección, conectividad, fragmentación, planificación.

Abstract

The growth of human activities has led to significant transformations in land cover and land use, particularly in regions with intensive agricultural activity such as in Matina, Limón, Costa Rica. In this territory, the expansion of banana monoculture caused considerable loss of dense and fragmented forests, as well as a decline in the structural connectivity of the landscape. These changes exerted increasing pressure on local ecosystems, within a context marked by the absence of an approved regulatory plan to guide territorial development. The objective of this study was to design environmental strategies to plan and control the expansion of agricultural frontiers in Matina, with the aim of incorporating them into the regulation of the municipal regulatory plan. The research was conducted in Matina, analyzing land cover and land use changes between 1998 and 2024. Remote sensing techniques and geospatial analysis were applied using Landsat satellite imagery and geographic information systems (GIS). A supervised classification approach was used to generate land cover maps, calculate gains and losses in each category, and assess landscape structural connectivity through fragmentation metrics. The results revealed a 32% increase in the area allocated to banana cultivation, along with a significant loss of tree cover, both in dense and fragmented forest forms. An expansion of other crops, such as oil palm, and a notable redistribution of areas used for pasture and livestock were also identified. Landscape structural connectivity decreased, indicating greater fragmentation of arboreal cover and growing pressure on natural ecosystems. The main recommendation was to incorporate environmental strategies into the Municipal Regulatory Plan. These included reforestation of priority areas with native species, the creation of biological corridors, the implementation of living barriers, and the promotion of sustainable agricultural practices. These actions would contribute to guiding territorial development toward a more conservation-oriented and resilient model for this region.

Key Words: land cover, monoculture, remote sensing, connectivity, fragmentation, planning.

Introducción

La transformación del uso del suelo ha sido uno de los principales motores de cambio en los paisajes terrestres, al modificar de forma profunda la estructura ecológica, la cobertura vegetal y la funcionalidad de los ecosistemas. Este fenómeno no solo refleja dinámicas socioeconómicas, sino también relaciones de poder que subordinan el territorio a los intereses del capital, comprometiendo la diversidad biológica, la calidad del suelo y los ciclos ecológicos esenciales (Dupuy *et al.*, 2012). El crecimiento demográfico de los últimos siglos y la intensificación de las actividades humanas han acelerado estos procesos, convirtiendo al ser humano en un agente geológico de primer orden, cuyas acciones están directamente ligadas a la conversión de la cobertura del suelo, su degradación y explotación intensiva (Roy y Roy, 2010; Vázquez *et al.*, 2016).

Proteger el ambiente y recuperar zonas naturales es crucial para garantizar la sostenibilidad de los recursos que sustentan la vida humana. Ecosistemas sanos actúan como sumideros de carbono, reguladores hídricos, barreras naturales ante desastres y hábitats para la biodiversidad (Arguedas *et al.*, 2020). Su pérdida o degradación pone en riesgo no solo la estabilidad ecológica, sino también el bienestar social y económico de las comunidades, por lo que analizar la distribución y magnitud del cambio de los usos del suelo, originados en patrones irregulares del aprovechamiento y de la utilización de los recursos según las necesidades de la población, constituye un componente clave para promover la sostenibilidad de los recursos naturales y para formular políticas que permitan controlar la pérdida del capital natural (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016; Montejó *et al.*, 2022).

En este contexto, la expansión de la frontera agrícola se ha convertido en una de las principales causas de presión sobre los ecosistemas, fragmentando la cobertura vegetal y reduciendo su capacidad de regeneración. Estos cambios en los usos de suelo generados por la expansión agrícola contribuyen al fenómeno de degradación de la diversidad que albergan los bosques (Lambin *et al.*, 2001).

Si bien la cobertura y el uso del suelo son dos fenómenos relacionados, representan dimensiones distintas: la cobertura refiere a los elementos físicos y biológicos presentes en la superficie terrestre, mientras que el uso del suelo implica los fines sociales y económicos para los cuales se gestiona ese territorio (Guhl, 2008; Sarathi y Roy, 2010). Los cambios en cobertura y uso del suelo (CCUS) reflejan tanto procesos naturales como impactos humanos, y afectan directamente los sistemas ecológicos, económicos y culturales (Vázquez *et al.*, 2016). Comprender los CCUS es vital para conocer las trayectorias de procesos asociados con la deforestación, la erosión y la degradación del suelo y la pérdida de conectividad ecológica,

siendo insumos claves para la formulación de políticas públicas y la planificación territorial (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015; Llamas *et al.*, 2015).

Los usos productivos de la tierra constituyen la base de los modos de vida de muchas sociedades, pero sus dinámicas suelen competir entre sí, siendo la agricultura una de las fuerzas más influyentes en la transformación del suelo (Lambin *et al.*, 2001; Peralvo y Bastidas, 2014). La conversión de ecosistemas en agroecosistemas implica la simplificación de la vegetación con fines productivos, lo que reduce la biodiversidad y afecta los servicios ecosistémicos esenciales para el mantenimiento de la vida (Vazquez *et al.*, 2016). Esta priorización responde a decisiones políticas que favorecen modelos agroexportadores y monocultivos, producto de una interacción compleja entre factores tecnológicos, culturales y económicos, generalmente sin considerar los límites ecológicos de los territorios (Nene *et al.*, 2017). El avance de estas fronteras amenaza la continuidad de ecosistemas claves como los bosques (Silvetti y Cáceres, 2015).

Costa Rica, a pesar de su reconocida biodiversidad, ha estructurado parte de su economía alrededor de la producción de monocultivos agrícolas orientada al mercado internacional, lógica que ha favorecido la expansión de las fronteras agropecuarias y ha convertido a la agricultura intensiva en una actividad protagonista en la transformación del suelo. La combinación de factores ambientales, demográficos, económicos y sociales, así como la disponibilidad de agua, han posicionado al país como un escenario ideal para ciertos cultivos (Quesada, 2008; Obando, 2020). Las políticas neoliberales impulsadas desde los años ochenta promovieron las exportaciones de productos no tradicionales bajo el objetivo de insertar la economía nacional en los principales mercados mundiales (Blanco, 2018), lo que logró consolidar un modelo extractivista agrícola, con el banano como principal producto agrícola de exportación en los últimos años (INEC, 2022).

En particular, la región Caribe ha sido históricamente marcada por la expansión del cultivo del banano, cuya producción a gran escala ha implicado la remoción intensiva de recursos naturales y una alta presión sobre los ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2018; Blanco, 2018). Desde su consolidación en el siglo XIX, esta actividad ha causado la destrucción de vastas extensiones de bosque, especialmente en la provincia de Limón (Viales y Montero, 2013), alcanzando más de 37 180 hectáreas nuevas entre 1963 y 2014 (Blanco, 2018).

En su primera etapa (1870–1930), la producción bananera en Limón configuró un paisaje dominado por este monocultivo, implicando la destrucción de bosques primarios. Aunque esta etapa finalizó por enfermedades y agotamiento del suelo (Municipalidad de Matina, 2020), a partir de la década de 1960 la actividad se reactivó, impulsada por infraestructura, apoyo estatal e incentivos económicos, lo que generó la pérdida de más de 166 000 ha de bosque en la provincia

(Viales y Montero, 2013). La consolidación del cultivo continuó hasta posicionar al banano como el principal producto de exportación en la región Huetar Caribe (Blanco, 2018).

Según la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA, 2023, p.28), en el año 2021 el cantón de Matina se posicionó como el principal territorio del país en términos de superficie cultivada y producción de banano, con un total de 11368 ha sembradas y una producción de 651210 toneladas métricas. Esta expansión ha tenido consecuencias ambientales significativas, entre ellas la modificación en los usos del suelo y la fragmentación del paisaje. Este último fenómeno se refiere a la pérdida de continuidad de la vegetación natural o de los ecosistemas, lo cual genera remanentes de menor tamaño llamados parches o fragmentos. Esta situación afecta tanto la estructura como la diversidad del paisaje, y para mitigar sus efectos ecológicos negativos, es fundamental mantener la conectividad estructural del territorio, evitando el aislamiento de estos parches de vegetación (Salazar *et al.*, 2016; Lejía y Mendoza, 2021).

Pese a la magnitud de la actividad bananera en el cantón, Matina carece de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) aprobado, lo que agrava los impactos ambientales de dicha expansión al no existir una política pública que regule adecuadamente el uso del suelo ni limite el avance de la frontera agrícola. Si bien se ha iniciado la elaboración del plan regulador y se cuenta con diagnósticos territoriales que identifican las potencialidades, restricciones, necesidades e impactos del territorio (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo [INVU], 2017), el análisis del eje físico-espacial desarrollado hasta el momento no aborda específicamente la dinámica temporal ni espacial de la expansión bananera. Por tanto, no permite comprender cómo esta actividad agrícola ha impactado los recursos disponibles en el cantón, su vocación territorial ni su capacidad de soporte frente a este uso del suelo.

Frente a este panorama, se propone llevar a cabo un diagnóstico físico-espacial centrado en la expansión de las fronteras agrícolas bananeras en Matina, durante el período comprendido entre 1998 y 2024, a partir del uso de teledetección y sistemas de información geográfica. Lo anterior permitirá identificar los cambios en la cobertura y el uso del suelo y generar insumos para el diseño de estrategias ambientales orientadas a regular dicha expansión. Asimismo, se buscará integrar estrategias ambientales en las decisiones sobre los usos del suelo destinados al cultivo de banano, considerando las limitaciones ecológicas del cantón. Los resultados podrán enriquecer el futuro reglamento del plan regulador municipal, promoviendo una planificación territorial que priorice usos de suelo más conservacionistas y menos invasivos, y que fomente la recuperación de zonas naturales. Estas acciones deberán complementarse con un monitoreo

ambiental posterior que permita dar seguimiento a los impactos y ajustar las medidas implementadas.

Justificación

El monitoreo de la cobertura y los usos del suelo en diferentes escalas temporales y espaciales, en relación con las actividades humanas, resulta fundamental para comprender con claridad la dinámica natural de un territorio y la influencia de las actividades humanas sobre su estructura (Llamas *et al.*, 2015). Los autores Friedel *et al.*, (2022) explican que esta herramienta permite conocer el estado y predecir la dinámica de sucesión de los ecosistemas, lo que facilita el análisis de los cambios en la cobertura vegetal de una región, el diagnóstico del impacto y la formulación de estrategias para revertir la pérdida de masa forestal o mitigar las consecuencias.

La actividad bananera costarricense representa un sector clave dentro de la agroindustria nacional. El cantón de Matina destaca por tener el mayor grado de participación en la producción de banano, aportando un 28,2 % del total de las exportaciones de esta fruta (SEPSA, 2023). En este contexto, resulta fundamental generar información que permita analizar la relación entre los CCUS y la expansión de las fronteras agrícolas destinadas al cultivo de banano. Particularmente, se busca obtener datos cuantitativos y geoespaciales que permitan identificar las áreas que han permanecido sin cambios, así como aquellas que han experimentado transformaciones significativas en un período determinado (Santibañez-Andrade *et al.*, 2023). Esta investigación se plantea como un insumo científico que aportará al diagnóstico del plan regulador del cantón de Matina, específicamente en el eje físico-espacial, al estudiar la evolución de las plantaciones bananeras y los CCUS asociados, entre los años 1998 y 2024.

La cobertura arbórea desempeña un papel fundamental para el país desde perspectivas culturales, económicas y sociales; ya que provee servicios vitales para la supervivencia del ecosistema, y de las comunidades locales, regionales y nacionales, conocidos como servicios ecosistémicos (Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional, 2017). La Ley Forestal N°7575 de Costa Rica establece disposiciones fundamentales para la conservación y protección de los recursos forestales en el país; en su artículo 19 se prohíbe el cambio de uso del suelo en terrenos cubiertos de bosque (Ley Forestal, 1996). Sin embargo, la expansión de monocultivos, según declaraciones de la Fiscalía Adjunta Ambiental, pone en peligro el ecosistema boscoso costarricense (Pomareda, 2023). Por ende, persiste como un reto para las autoridades responsables del cuidado, conservación y manejo de los recursos naturales, el diseño de estrategias que contribuyan al mantenimiento y restauración

de estos ecosistemas forestales (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015). Esta investigación permitirá determinar si la transición en el uso del suelo ha impulsado procesos de deforestación y la disminución de zonas con cobertura arbórea, asociada al crecimiento de la frontera agrícola en áreas con vocación forestal. Además, se evaluará la posible existencia de conflictos espaciales entre la ubicación de los cultivos de banano con ecosistemas de bosque. A través del monitoreo de los CCUS, se podrán registrar los cambios en la cobertura arbórea del cantón de Matina, lo que proporcionará información crucial para establecer prioridades en la asignación de recursos humanos y financieros destinados a la prevención de la degradación medioambiental (Santibañez-Andrade *et al.*, 2023).

En principio, el control del uso del suelo debe organizar las actividades humanas para balancearlas y cumplir con el objetivo máximo de asegurar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado según lo determina la Constitución Política en su artículo 50 (Mejías, 2018). Este control se refleja en los certificados de uso de suelo, cuya emisión son de competencia municipal. Por lo tanto, la Municipalidad de Matina debe determinar, a través de su propio reglamento de zonificación, los usos permitidos y no permitidos para los terrenos dentro de su territorio (Mejías, 2018). Sin embargo, la falta de un plan regulador y su respectiva zonificación, aunque se está en proceso de su elaboración, dificulta la toma de decisiones para regular la utilización del suelo agrícola en el cantón. La elaboración de información cartográfica actualizada será un insumo valioso, desde la perspectiva del conocimiento metodológico y práctico, para la formulación de políticas de diseño de la gestión territorial y definición de la zonificación para el otorgamiento de usos del suelo.

Ante la ausencia de un diagnóstico histórico en términos físico-espaciales, específicamente dirigido a la expansión bananera, el gobierno local se enfrenta a una falta de claridad respecto a la magnitud real de esta expansión y las posibles amenazas futuras que podría enfrentar el territorio. Disponer de un diagnóstico dinámico sobre el cambio en la estructura de tenencia de la tierra resulta esencial, especialmente en lo que concierne a los procesos de concentración, ya que la prevalencia de una estructura de latifundio empresarial ha fomentado la expansión del modelo monocultivista, cuyos efectos han contribuido significativamente al deterioro de los ecosistemas (Llaguno *et.al*, 2014; Blanco, 2018). Además, la falta de directrices ambientales para regular esta actividad y garantizar prácticas de uso del suelo más conservacionistas agrava la situación. En este contexto, los resultados de esta investigación servirán como base para la formulación del reglamento del plan de ordenamiento territorial, lo que permitirá a la Municipalidad desarrollar respuestas efectivas frente a las presiones que ejerce la expansión agrícola.

La metodología usada en esta investigación podrá replicarse en otros territorios del país, facilitando a las personas responsables de la elaboración de políticas públicas contar con una metodología de identificación de cambios en el uso de suelo. Los resultados obtenidos se compartirán con el interés público en el marco del desarrollo del plan de ordenamiento territorial de la Municipalidad de Matina y servirán como referencia para la toma de decisiones relacionadas con el uso del suelo agrícola a nivel cantonal.

Planteamiento del Problema

Los cambios en la cobertura y uso del suelo (CCUS) son una consecuencia directa de las actividades humanas, motivadas por diversos factores entre los que destacan las presiones productivistas, como la intensificación de la agricultura (Montero y Viales, 2016). Estos procesos de transformación del territorio suelen estar vinculados a políticas ambientales y de desarrollo (Lambin *et al.*, 2001). Los estudios que abordan este fenómeno buscan cuantificar los cambios e identificar las causas en distintas escalas de análisis, las cuales dependen de los distintos contextos específicos debido a sus variadas consecuencias en procesos ecológicos, culturales y socioeconómicos (Montejo *et al.*, 2022; Vazquez *et al.*, 2016).

En las últimas décadas, se ha dado un aumento significativo en los cambios en el uso del suelo en las regiones de bosques tropicales (Leija *et al.*, 2021). Entre los factores que explican esta transformación destaca la expansión de siembras de monocultivos, impulsada por un contexto de globalización que busca satisfacer el creciente mercado, a costa del impacto que genera, lo cual conlleva a una deforestación extensa (Furumo y Aide, 2017). Aunque estas prácticas se consideran ambientalmente insostenibles por las fuertes presiones que generan sobre los recursos naturales (Lambin *et al.*, 2001), en muchas regiones ha ocurrido una transición de una economía de subsistencia a una economía comercial, donde la relación entre la agricultura y la evolución del uso del suelo no puede entenderse sin considerar el papel del mercado (Montero y Viales, 2016).

Este patrón de acumulación de capital, reforzado por la lógica neoliberal, ha deteriorado las estructuras productivas tradicionales en Costa Rica, y ha impulsado y posicionado al sector privado como protagonista, fomentando la producción a gran escala y el establecimiento de monocultivos, lo que ha provocado alteraciones en el paisaje y en las relaciones sociales en torno a estos espacios (Obando, 2020). La producción bananera para la exportación se ha visto favorecida por las políticas económicas de libre comercio instauradas en la década de 1980, orientadas a la promoción de las exportaciones (Blanco, 2018). Es relevante señalar que el

Estado ha respaldado la adopción de estos sistemas agrícolas, a pesar del agotamiento del suelo que generan, y el capital ha sido determinante en la concentración de tierras de mejor calidad. Esta situación ha fomentado el uso irracional de los recursos naturales y ha dado lugar a la continuidad de la siembra y exportación de banano como parte del modelo agroexportador costarricense, en detrimento de los CCUS (Llaguno *et al.*, 2014).

Esta actividad agrícola se ha asentado en diferentes partes del territorio costarricense, con la región caribeña como protagonista desde finales del siglo XIX (Montero, 2014), y es actualmente la región con mayor cobertura de plantaciones de banano en el país (Vargas *et al.*, 2017). Las repercusiones de la actividad de monocultivos extensivos en esta localidad se reflejan en las modificaciones de los usos del suelo y en la pérdida de cobertura arbórea, transformando un paisaje boscoso en un entorno de plantación humanizado (Montero y Viales, 2013). Señalan estas autoras que esto conduce a la pérdida de conjuntos ecosistémicos boscoso-tropicales, pero también a la aparición de nuevos conjuntos ecosistémicos vinculados a las plantaciones. La eliminación de la cobertura arbórea y los patrones de cambio en el uso del suelo ejercen un efecto significativo sobre la biodiversidad y sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, afectando la provisión de bienes y servicios ambientales (Nene *et al.*, 2017).

La disminución de los recursos forestales conduce a fragmentación, desertificación y pérdida de corredores biológicos; que se traduce a su vez en conflictos ecológicos distributivos, ya que los impactos que se generan sobre los servicios ecosistémicos que brinda el bosque involucran a diversos actores con diferentes niveles de intereses y poder, que terminan compitiendo por el acceso y uso de los recursos del suelo y los bosques de una región (Rodríguez-Labajos, 2019). La producción bananera se desarrolla en un contexto económico que, desde una perspectiva ecológica, es cada vez menos sostenible, y en ocasiones, vulnera el patrimonio natural costarricense que pertenece a la sociedad en su conjunto (Viales y Montero, 2013).

En algunas regiones, como el cantón de Matina, que posee la mayor extensión de terrenos dedicados al cultivo de banano del país (SEPSA, 2023), el modelo agroexportador ha ejercido una fuerte presión sobre el suelo por la expansión de las fronteras productivas. Además, la Municipalidad de Matina carece de un plan regulador aprobado y la desactualización de la información espacial sobre la presión que ejerce la expansión de las fronteras agrícolas sobre los cambios en los usos del suelo en el territorio limita la toma de decisiones en materia de planificación y ordenamiento territorial. Estos instrumentos son vitales para la búsqueda de sustentar un desarrollo equilibrado entre los diversos actores presentes en el territorio (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016).

En este contexto, la responsabilidad de definir y ejecutar políticas de ordenamiento territorial recae en las municipalidades y otras instituciones estatales (Astorga-Gattgen, 2018). Los planes reguladores cantonales son instrumentos que permiten ordenar y planificar el uso del suelo, así como para identificar fragilidades ambientales (Quesada-Thompson, 2022). El control del uso de suelo posibilita organizar las actividades humanas que en principio deben balancearse para así cumplir con el objetivo máximo de brindar a la población un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (Mejías, 2018). En este marco, el gobierno local enfrenta dificultades para contener la presión que ejercen las fincas bananeras sobre los CCUS, así como en su función reguladora para exigirles compromisos ambientales durante la operación, de acuerdo con las fragilidades ambientales de su territorio. Por consiguiente, el gobierno local ve comprometida su capacidad para garantizar el artículo 50 constitucional.

En este marco, se propone un análisis basado en imágenes satelitales y técnicas de teledetección para estudiar los CCUS provocados por la expansión de las fronteras agrícolas bananeras en Matina. Este conocimiento científico busca aportar insumos para orientar los procesos de planificación del cantón desde una perspectiva que busque satisfacer la sustentabilidad ambiental (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016). A partir de un abordaje físico-espacial y temporal, que permita comprender las dinámicas territoriales asociadas a la expansión del monocultivo del banano y sus efectos sobre la cobertura arbórea, el presente trabajo final de graduación se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué estrategias ambientales podrían implementarse a nivel del Reglamento del Plan Regulador municipal para planificar y controlar la expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina, Limón, Costa Rica?

Objetivo General

Diseñar estrategias ambientales mediante la planificación y el control de la expansión de las fronteras agrícolas que sirvan de base para el plan de ordenamiento territorial del cantón de Matina, Limón, Costa Rica.

Objetivos Específicos

1. Diagnosticar los cambios en las coberturas y usos de suelo en el cantón de Matina, ocasionados por la expansión de las fronteras agrícolas entre 1998 y 2024, mediante análisis físico-espacial.

2. Comparar las alteraciones en la conectividad estructural del paisaje en el cantón de Matina provocadas por la expansión agrícola en el período 1998 - 2024.
3. Proponer estrategias de conservación ambiental orientadas a la planificación de los usos de suelo agrícolas para el fortalecimiento de las políticas locales de la Municipalidad de Matina.

Marco Teórico

Antecedentes

Los abordajes en torno a los cambios en la cobertura y uso del suelo (CCUS) se incorporaron a la agenda de investigación sobre el cambio ambiental global hace varias décadas, al reconocerse que los procesos que modifican la superficie terrestre tienen una incidencia directa en el clima global (Lambin *et al.*, 2003). La cobertura del suelo, en particular, desempeña un papel fundamental en la elaboración de modelos climáticos, al proveer capas de información esenciales para el diseño de herramientas predictivas sobre su transformación (Llamas *et al.*, 2015). Este interés inicial impulsó una serie de estudios orientados a mejorar las mediciones del cambio en la cobertura del suelo, comprender sus causas y desarrollar modelos que permitan anticipar sus dinámicas futuras (Lambin *et al.*, 2003).

En diferentes investigaciones a nivel mundial el CCUS se ha utilizado para analizar el tema de la conservación, la planificación y el ordenamiento del territorio (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016). En Etiopía se usó para examinar los impactos socioambientales de estas dinámicas, mediante la integración de datos de teledetección, sistemas de información geográfica (SIG), conjuntos de datos socioeconómicos y climáticos, utilizando los paisajes frágiles y dinámicos de la región para reducir los efectos adversos y diseñar intervenciones políticas adecuadas (Bekele *et al.*, 2018). En una de las zonas costeras críticas de Egipto, se utilizó este enfoque, mediante el análisis comparativo de imágenes de teledetección producidas de manera independiente de la misma área en diferentes fechas, y monitorear sistemas de humedales (Donia y Farag, 2019).

En América Latina, esta metodología ha sido ampliamente usada para investigar cambios a diferentes escalas temporales-espaciales, indicar el estado o condición de un ecosistema, y demostrar la manifestación de cambios sobre paisajes naturales, por lo que ha constituido como una herramienta fundamental para cuantificar transformaciones tanto en espacios urbanos como rurales (Friedel *et al.*, 2022). Por ejemplo, el uso de imágenes satelitales para mapear las plantaciones de palma aceitera en América Latina y determinar los usos previos de la tierra, permitió identificar la dirección de la expansión de este cultivo y los impulsores subyacentes de este crecimiento (Furumo y Aide, 2017). En la zona cafetalera de Colombia, el análisis del CCUS reveló que los procesos de intensificación agrícola conllevaron la sustitución de áreas boscosas por inversiones de capital destinadas a aumentar la producción y comercialización agrícola (Guhl, 2008).

Diversos estudios muestran cómo las técnicas de teledetección y los SIG se emplean para mapear y caracterizar la naturaleza, el alcance y la velocidad de los cambios en el uso y cobertura del suelo. Por ejemplo, para analizar los cambios en la cobertura forestal y los cambios de uso de suelo en sistemas agroforestales de café en Chiapas, se utilizaron imágenes satelitales del Landsat 5 y del Sentinel 2, a las cuales se les hicieron correcciones atmosféricas y se obtuvieron valores de reflectancia aplicando la corrección de Substracción de Objetos Oscuros (DOS1) con el complemento de Clasificación Semiautomática (SCP, por sus siglas en inglés) del software QGis, permitiendo determinar las tres clases de cobertura de interés en el estudio (Montejo *et al.*, 2022). Así mismo, Rojas *et al.* (2019), utilizando los métodos de clasificación supervisada de máxima probabilidad e interpretación visual interdependiente de imágenes del satélite Landsat, lograron determinar y calcularon las tasas e índices anuales de cambio de la cobertura boscosa en una región del Amazonas, demostrando las tasas de deforestación y las actividades causantes. Estas metodologías resultan especialmente pertinentes para la presente investigación, ya que permitirán identificar las coberturas del suelo correspondientes a los años de interés.

El estudio de los CCUS se han usado para asistir a los tomadores de decisiones en la formulación de estrategias científicas e la implementación de herramientas para apoyar la planificación territorial orientada a la conservación de los ecosistemas (Agudelo-Hz *et al.*, 2023). Por ejemplo, mediante el uso de métodos de teledetección se identificaron los principales usos y coberturas de la tierra de los cantones Upala, Guatuso y Los Chiles de la provincia Alajuela, resultados que se usaron como diagnóstico básico de los usos del suelo en los cantones y su distribución, y para la elaboración de una propuesta de ordenamiento territorial (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016).

En Costa Rica hay instituciones que tienen la competencia y la responsabilidad de elaborar información para conocer el estado y manejo sobre el uso y cobertura de la tierra y su relación con los ecosistemas (Centro Nacional de Información GeoAmbiental, 2020). Específicamente, en el 2015 se creó el Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE), el cual es una plataforma que facilita la gestión y distribución del conocimiento e información en materia de cobertura y uso del suelo y ecosistemas, y que tiene como objetivo dar a conocer el estado actual y los CCUS, así como de los ecosistemas mediante el monitoreo, para proporcionar información periódica que permita evaluar el estado de los recursos del ambiente (Decreto No. 42886, 2021). El SIMOCUTE publicó en el 2023 un Sistema de Clasificación de la Cobertura y Uso de la Tierra para Costa Rica (SIMOCUTE, 2023), que podrá usarse para la clasificación a usar en esta investigación. También el Ministerio de

Agricultura y Ganadería (MAG) cuenta con un manual de interpretación de imágenes y fotografías aéreas, donde se hace una descripción pictórico-morfológica detallada de los principales usos de la tierra en Costa Rica (Rosales, 2013).

La mayoría de las investigaciones relacionadas CCUS dependen en gran medida de la modelación, que requiere recopilar y analizar mapas de coberturas de diferentes momentos a lo largo del tiempo, por lo que las fotografías aéreas y los mapas satelitales se han convertido en herramientas esenciales (Montero y Viales, 2016). La utilización de imágenes satelitales y procesos de teledetección, son herramientas ampliamente aceptadas para la generación de información cartográfica relacionada con los CCUS (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016) y para la etapa de diagnóstico del Ordenamiento Territorial, en la cual se avanza hacia la comprensión de la estructura y funcionamiento de un territorio (Baxendale y Buzai, 2011).

En Costa Rica, cabe destacar que el cultivo del café fue el principal impulsor de la expansión de la frontera agrícola y la privatización de la tierra en Costa Rica, este cultivo representó el inicio del capitalismo agrario en el país y se extendió más allá de las fincas, ya que en la Meseta Central, contribuyó al crecimiento tanto en términos de infraestructura como de actividad comercial de las principales ciudades (Montero, 2014). Por su lado Viales y Montero del Centro de investigaciones Históricas de América Central, han usado este modelo para explicar la historia ambiental costarricense, asociada a los cambios en el paisaje en el Atlántico Caribe en el primer ciclo (1870-1930) y segundo ciclo (1960-2010) bananero.

Estos autores demostraron como el bosque sufrió una transformación histórica a partir de la plantación de banano en el primer ciclo bananero, generándose nuevos paisajes en la región y la creación de disputas por recursos y servicios ambientales (Montero y Viales, 2013). Luego con el inicio del segundo ciclo del banano en 1962 regresó nuevamente un paisaje de plantación y la actividad bananera en Limón mantuvo una tendencia al crecimiento de las hectáreas de cultivos desde 1962 hasta el 2010, provocando un significativo daño ambiental debido a la apropiación de extensos terrenos con cobertura vegetal para producir las demandas del mercado (Blanco, 2018). En cuanto a los impactos de este monocultivo sobre la cobertura arbórea, existen conflictos alrededor de la tenencia de la tierra y los monocultivos en el caribe de Costa Rica, por ejemplo las áreas de protección naturales a pesar de verse amenazadas por la expansión, también han permitido disminuir las posibilidades de avance ya que ejercen una presión sobre la disponibilidad de la tierra (Llaguno *et al.*, 2014).

El programa de Monitoreo de Cambio de Uso de Paisajes Productivos (MOCUPP) mediante el uso de tecnología satelital, realiza el monitoreo de cambios en el uso del suelo y el análisis de los procesos de deforestación asociados a la dinámica agrícola en el país.

Actualmente, el MOCUPP monitorea tres cultivos para mejorar la toma de decisiones de producción y conservación, a saber: piña, palma aceitera y pasturas. A través de este monitoreo se ha logrado la detección de cambios basados en la pérdida, ganancia y no cambio de cobertura arbórea asociado a estos paisajes productivos (Manrow *et al.*, 2022).

En cuanto al Plan Regulador de Matina, existe un equipo Coordinador del Plan Regulador el cual cuenta con un avance del diagnóstico territorial, sin embargo, no se ha aprobado todavía el eje físico-espacial. Además, el documento existente no hace un estudio histórico sobre la evolución del área sembrada de banano, solamente cuenta con un mapa del uso de suelo del año 2022. Actualmente, el área total sembrada pertenece a un número de ocho grandes productores, donde el principal productor controla un 70% del área cultivada distribuida en un número de 29 fincas, que son propiedad de Grupo Acón (MINAE y PNUMA, 2021). Esta concentración de la tenencia de la tierra es producto de complicadas relaciones estructurales y funcionales de actores dentro del cantón, que se reflejan en la prioridad que se da a las demandas de los diferentes grupos de interés desde locales hasta internacionales.

El Ordenamiento Territorial

Las formas particulares de la planificación territorial o de la regulación de los usos de suelo son formas concretas aplicadas que adquiere el ordenamiento de un territorio desde una óptica jurídico-política (Arrieta, 2010). El ordenamiento territorial (OT) se configura como un proceso integral de función central del Estado, destinado a asegurar el bienestar de sus habitantes. En Costa Rica, este proceso resulta de una compleja integración de diversas políticas de conservación, sectoriales y territoriales; que en términos de planificación y conservación se superponen varias herramientas. Por ejemplo, existe una planificación nacional, una planificación municipal para cada cantón, que suele ser muy limitada, y otras formas de planificación específicas, como la planificación de las áreas de conservación (Saenz *et al.*, 2011). A nivel jurídico, la Ley de Planificación Urbana (1968) reconoce tres ámbitos en los que se lleva a cabo la planificación: el local, el regional y el nacional, correspondiendo el ámbito local a los cantones.

Los procesos de OT y las distintas formas de planificación del espacio geográfico involucran tres componentes esenciales: El Estado, La Sociedad y La Naturaleza (Arrieta, 2010), el INVU lo define como un proceso administrativo a través del cual el Estado, los gobiernos municipales y demás entes públicos regulan, orientan y promueven diversas acciones en el territorio a través de la herramienta denominada Plan Regulador (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo [INVU], 2017). La Ley Orgánica del Ambiente establece claramente que las políticas

de OT buscan lograr la armonía entre el mayor bienestar de la población, el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del ambiente (Ley N°7575, 1995). Por su parte, la Sala Constitucional ha reconocido la facultad de los gobiernos locales para establecer su propia ordenación territorial a través de los planes reguladores, pero sujetos a la legislación tutelar ambiental, es decir, que en el ejercicio del ordenamiento del suelo de su cantón las municipalidades quedan sometidas al artículo 50 constitucional (Ulate, 2009).

El territorio se ordena fijando o determinando el uso del suelo (Jurado, 2012) y corresponde al Estado regular el uso del suelo como factor productivo, mediante la imposición de límites y limitaciones sobre la propiedad privada (Mejías, 2018). Para cumplir con este propósito, se diseñan los planes reguladores cantonales que son instrumentos de planificación para permitir la gestión del territorio de manera ordenada, en consonancia con la preservación del ambiente (Jurado, 2012). Estos Planes Reguladores junto con los Reglamentos de Desarrollo Urbano conexos, que establecen las reglas procesales necesarias para el debido acatamiento del Plan Regulador y contienen normas para promoverlo, se definen como los instrumentos a disposición de los gobiernos municipales para planificar y gestionar el desarrollo urbano del cantón (INVU, 2017). Estos instrumentos son competencia primaria de las municipalidades, a quienes les corresponde establecer la funcionalidad técnica y práctica de su territorio para la determinación de los usos del suelo (Mejías, 2018). Sin embargo, no sólo las municipalidades son responsables, también recae sobre otros entes públicos, definir y ejecutar las políticas asociadas al OT, que están orientadas a regular y promover los asentamientos humanos, las actividades económicas y sociales, así como el desarrollo físico-espacial, con el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del ambiente (Astorga-Gattgens, 2018). Por lo tanto, el carácter interdisciplinario es fundamental para la elaboración, diseño y seguimiento de los planes reguladores (Arrieta, 2010).

Para asegurar el control efectivo de las actividades en cada inmueble específico, los certificados de uso de suelo son evaluados por las autoridades municipales con el fin de determinar la viabilidad o no de llevar a cabo una actividad sobre estos (Mejías, 2018), en concordancia con las zonificaciones establecidas en los planes reguladores. La zonificación facilita la definición de la localización de las actividades socioeconómicas, considerando la sustentabilidad ecológica y la corrección, prevención y mitigación de los efectos negativos de las actividades sobre el ambiente (Barrantes, 2022). Por su parte, el tema de la tenencia de la tierra, usada para la producción de banano debe tratarse en relación con otras variables en la expansión de la frontera, sobre todo el marco ecológico de esa expansión; el tipo de producción que tendrá

la zona; la organización social y económica que se considera posible; y la cantidad de población que la trabajará.

De acuerdo con lo establecido por el INVU (2017), el procedimiento para la elaboración de un Plan Regulador cantonal y los Reglamentos de Desarrollo Urbano se divide en cuatro etapas concretas: preparación preliminar, diagnóstico territorial, formulación de la propuesta y asesoría, revisión y adopción del Plan Regulador. Durante la segunda etapa, conocida como diagnóstico territorial, se lleva a cabo la identificación de hallazgos relacionados con las potencialidades, limitantes, necesidades e impactos territoriales. Esto se logra mediante una caracterización del estado actual del cantón, resultado de un análisis exhaustivo de varios ejes, incluyendo el eje físico-espacial. Este análisis específico, definido como contemplativo, abarca tanto los aspectos naturales como artificiales que caracterizan el sistema territorial actual. Esto incluye la consideración de diversas unidades, elementos y procesos que lo componen, tales como los procesos de apropiación, ocupación y uso del territorio. Además, este análisis abarca el uso actual del suelo, que constituye uno de los temas principales del diagnóstico territorial.

Es esencial considerar la presencia de áreas protegidas y de patrimonio natural del Estado en este proceso de diagnóstico, las cuales están reguladas y administradas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), así como las reservas indígenas. Por ejemplo, los bosques están protegidos por la Ley Forestal, que prohíbe el cambio de uso del suelo (Ley N°7575, 1996). Del mismo modo, las áreas silvestres protegidas cuentan con un uso específico del suelo destinada a la conservación y protección de la biodiversidad, el suelo, el recurso hídrico, los recursos culturales y los servicios ecosistémicos en general (Ley N°7788, 1998). A través de esta segunda etapa del procedimiento, se logra identificar fragilidades ambientales, tanto existentes como potenciales, permitiendo que el municipio establezca las condiciones necesarias para la conservación de los recursos naturales y garantizar que el desarrollo se produzca en equilibrio con el ambiente (Quesada-Thompson, 2022).

Por su parte, la Ley Indígena define las reservas indígenas como inalienables, imprescriptibles, no transferibles y de uso exclusivo para las comunidades indígenas que las habitan; además, los terrenos dentro de estas reservas que tengan vocación forestal deben conservar ese carácter con el fin de mantener inalterado el equilibrio hidrológico de las cuencas hidrográficas y de conservar la vida silvestre de la región (Ley N°6172, 1977). Por ello, es imprescindible que el gobierno local tome en cuenta estas disposiciones al realizar sus zonificaciones, garantizando que cualquier planificación territorial respete los derechos de las comunidades indígenas y la integridad ambiental de sus territorios.

En Costa Rica, sólo el 50% de los gobiernos municipales cuentan con un plan de ordenamiento territorial parcial o completo aprobado, y de estos, únicamente el 10% incorpora una variable ambiental aprobada; además, en ocasiones estos planes no se utilizan de manera efectiva como instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio (Molina, 2022). La ausencia del ordenamiento territorial impide un control efectivo del territorio y no garantiza el correcto aprovechamiento y conservación de los recursos naturales (Rodríguez *et al.*, 2018). Según señala Quesada-Thompson (2022), esto abre la puerta para otorgar usos de suelo a proyectos con actividades no compatibles con su ubicación, lo que puede provocar discontinuidades de los ecosistemas y cambios drásticos en las coberturas de uso de suelo destinadas a bosque.

En el país existen regiones donde se aprueban usos de suelo para actividades que ejercen presión sobre ecosistemas y áreas frágiles, lo que provoca degradación de paisajes y espacios naturales, así como la reducción de áreas con calidad de vida para especies de flora y fauna (Obando, 2020). Por ejemplo, se ha evidenciado que hay una serie de sistemas productivos de monocultivos que invaden los bosques, vulnerando el patrimonio natural tanto en la zona invadida como en el área circundante (González, 2019). La expansión de las fronteras agrícolas y las estructuras de tenencia de la tierra para producir monocultivos representan formas de subordinar el suelo al capital; como menciona Arrieta (2010) desde la imposición del modelo neoliberal en el país, se ha debilitado la capacidad de las instituciones del Estado para invertir en el desarrollo de programas de ordenamiento urbano y territorial, actuando, en mayor o menor medida, sin rumbo y con recursos limitados, mientras que se ha fortalecido la participación privada. Matina se configura como un espacio subregional en que históricamente han predominado las empresas bananeras, una mayor concentración de la propiedad y de la riqueza, es decir, un cantón donde se ha utilizado el poder sobre el espacio (Arrieta, 2007).

La ausencia de una planificación y gestión del territorio sostenidas en el tiempo, debido a la carencia de Planes Reguladores y sus respectivos Reglamentos, impide que los gobiernos locales tengan el criterio técnico necesario para rechazar solicitudes de empresas agroindustriales que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente. Esta carencia constituye uno de los problemas principales relacionados a los proyectos de expansión de monocultivos, los cuales se establecen en zonas donde el gobierno local no tiene los mecanismos formales para regular y administrar el territorio (Obando, 2020). Así, uno de los mayores retos de la planeación territorial es diseñar estrategias de conservación y mantenimiento ecológico dentro de políticas de desarrollo y programas en los que la conservación no es el objetivo central (Ramírez, Cruz *et al.*; 2016).

Los gobiernos locales desempeñan un papel fundamental en la aprobación de proyectos extractivos al otorgar permisos de uso de suelo, siendo actores clave en el proceso de expansión de los monocultivos (Rodríguez *et al.*, 2018). No obstante, la ausencia del mapeo de los suelos que indique cuáles son más aptos para determinadas actividades o cuáles presentan mayor vulnerabilidad a nivel local, se genera un desconocimiento de las potencialidades y limitaciones del territorio (Quesada-Thompson, 2022). Por otra parte, incluso cuando se cuenta con un Plan Regulador aprobado, las municipalidades enfrentan dificultades para su manejo y control por falta de recursos humanos y financieros disponibles (Sáenz *et al.*, 2011).

La implementación de un ordenamiento territorial con un enfoque ecológico permite diseñar un instrumento de planeación que regule el emplazamiento de las actividades productivas agrícolas; este enfoque promueve un desarrollo sustentable a partir de los usos del suelo y criterios ambientales para el aprovechamiento del territorio municipal, sentando las bases para la restauración y recuperación de los recursos naturales, en consonancia con los lineamientos de la política ambiental municipal (Ramírez *et al.*, 2016).

Los Cambios sobre la Cobertura y Uso del Suelo (CCUS)

El enfoque de estudio de los CCUS define tres áreas de investigación principales, a saber: la dinámica del uso y cobertura del suelo y la modelización regional (Montero y Viales, 2016). A modo de ejemplo, al analizar la dinámica de cambios de las coberturas vegetales y los usos del suelo de un determinado territorio en una dimensión temporal de interés, se logra identificar y predecir las áreas más susceptibles a continuar cambiando, a estudiar los procesos que conllevan a los cambios y a modelar los procesos de cambio para la construcción de escenarios prospectivos (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015).

La evolución en el uso del suelo es un proceso complejo, en el que participan fuerzas ambientales, sociales, económicas, políticas e institucionales en escalas diversas; las cuales influyen en las decisiones de los usuarios de la tierra, quienes finalmente son los transformadores de su uso (Montero y Viales, 2016). Es decir, que son diferentes las causas que promueven el cambio de uso de suelo y estas a su vez, difieren en su origen, extensión geográfica, duración o intensidad; pueden ser acciones humanas que influyen de manera inmediata en el cambio del paisaje a escala local o estar relacionadas con procesos sociales, como la demanda de recursos naturales por mercados internacionales (Galicia y Rodríguez, 2016).

Aunque el uso y la cobertura del suelo son fenómenos relacionados, no se refieren a lo mismo. La cobertura del suelo es el estado biofísico de la superficie de la tierra o de las

características del terreno, por lo que un cambio de la cobertura del suelo se refiere a la transformación de la apariencia física de un paisaje determinado (Montero y Viales, 2016). El uso del suelo se define como la manera en que la sociedad utiliza este recurso para el desarrollo de las actividades económicas, y por tanto, un cambio en su uso representa los cambios en el manejo de la tierra y sus atributos (Guhl, 2008).

Por lo que el análisis de los CCUS en cualquier territorio conlleva a comprender cómo interactúan los diversos factores socioeconómicos y biofísicos que en él se encuentran, y conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio que existen sobre el suelo en determinado territorio (Camacho *et al.*, 2019). Estos cambios son, en mayor o menor medida, consecuencia del resultado de las acciones antrópicas sobre el medio natural, y los problemas ambientales que surgen como consecuencia de estas, son impulsados entre otros factores por el deseo de utilizar la tierra como un insumo para la producción de bienes agrícolas (Rojas *et al.*, 2019; Walker y Solecki, 2004). Por ejemplo, ante la implementación de programas de subsidio para actividades agropecuarias, se dan CCUS como resultado de las interacciones complejas relacionadas con cambios ambientales, tecnológicos, de desarrollo económico y de políticas públicas (Nene *et al.*, 2017).

El monitoreo de CCUS, a diferentes escalas espaciotemporales, permite indicar el estado o condición de un ecosistema, por lo que su análisis resulta en una herramienta de valor para cuantificar transformaciones, estudiar cambios sobre la cobertura vegetal y así establecer estrategias para mitigar los impactos causados por dichos cambios (Friedel *et al.*, 2022). Esta herramienta también se ha utilizado como apoyo para la planificación territorial y la toma de decisiones en regiones de bosques tropicales con el propósito de proteger la biodiversidad y controlar la deforestación; ya que a través de su interpretación se obtienen escenarios que permiten visualizar y analizar el efecto de las actividades que se dan en una región, permitiendo a los tomadores de decisiones a formular estrategias para proteger los ecosistemas (Agudelo-Hz *et al.*, 2023). La eliminación de la cobertura vegetal de uso del suelo o su transformación ejerce un efecto importante sobre la biodiversidad y sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, pudiendo potenciar los procesos de deterioro de la fertilidad de suelo, de la calidad del agua y la pérdida del hábitat, que, en consecuencia, afectan la provisión de bienes y servicios ambientales, además de modificar el transporte de materia y energía de un ecosistema (Nene *et al.*, 2017).

La evaluación de la cobertura del suelo desde una perspectiva temporal puede compararse con la toma de una fotografía en un momento específico, la cual, al contrastarse con otra imagen equivalente capturada en un tiempo posterior, permite cuantificar las pérdidas o

ganancias de paisaje, así como identificar a los agentes responsables de dichos cambios (Muñoz-Pedrerros, 2004). Este enfoque resulta especialmente útil en proyectos que emplean fotografías aéreas, mapas de cobertura en distintos periodos, imágenes satelitales obtenidas mediante teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), herramientas que se han consolidado como fundamentales para el análisis de los CCUS (Donia y Farag, 2019).

La Conectividad Estructural

La intensificación de la deforestación y la fragmentación de los ecosistemas, originadas por los procesos de CCUS, son fenómenos impulsados por múltiples factores ambientales y sociales. Entre estos se destacan la expansión de las fronteras agrícolas y el aumento de la actividad ganadera, que ocasionan efectos de borde y aislamiento entre fragmentos de paisaje, modificando la dinámica de las poblaciones de organismos y aumentando el riesgo de extinción de especies (Lejía y Mendoza, 2021).

La fragmentación hace referencia a la pérdida de continuidad de la vegetación natural o de los ecosistemas, dejando remanentes de menor tamaño conocidos como parches o fragmentos, lo cual afecta tanto la estructura como la diversidad de un paisaje (Salazar *et al.*, 2016). Este fenómeno reduce la dispersión e intercambio de los procesos de inmigración de las poblaciones de flora y fauna, afectando aves, mamíferos, reptiles, anfibios, invertebrados y plantas (Lejía y Mendoza, 2021). Por lo tanto, uno de los principales retos para conservar la biodiversidad es garantizar la conectividad del paisaje, a fin de mantener la estabilidad de los procesos ecológicos, la dispersión y el flujo genético, lo cual resulta indispensable para la conservación y planificación territorial (Correa, Mendoza y Granados, 2014).

La conectividad estructural del paisaje es un concepto fundamental para entender cómo se organizan y relacionan los elementos naturales dentro de un ecosistema. Este tipo de conectividad se refiere a la continuidad física de los fragmentos de hábitat que permite el desplazamiento de especies y el flujo de recursos a través de un paisaje dado (Lejía y Mendoza, 2021). A diferencia de la conectividad funcional, que se enfoca en los flujos ecológicos, la conectividad estructural se basa en la proximidad y disposición espacial de los fragmentos naturales, siendo efectiva cuando estos fragmentos están cercanos entre sí, y su evaluación se realiza mediante métricas calculadas con sistemas de información geográfica (Correa, Mendoza y Granados, 2014). Según Salazar *et al.* (2016) la conectividad estructural existe cuando dos o más fragmentos están conectados por una franja de hábitat similar y su ausencia aumenta la fragmentación del paisaje, mientras que la conectividad funcional evalúa el grado de

permeabilidad que presenta un paisaje para ser atravesado por organismos de una misma especie.

Dado que la conservación de la biodiversidad no debe limitarse únicamente a las áreas protegidas, es esencial considerar la conectividad estructural a través de elementos fragmentados del paisaje, como bosques ribereños, árboles aislados, cercas vivas y áreas verdes urbanas, que sirven como conectores de hábitats, proveedores de recursos y como refugios, siendo cruciales en paisajes agrícolas y humanizados (Estrada, 2013). Por ejemplo, las cercas vivas, comunes en áreas agrícolas, representan una cobertura arbórea importante que contribuye tanto a la conservación de hábitats como a la mejora de la conectividad entre fragmentos de vegetación natural. Además de su valor ecológico, las cercas vivas aportan funciones agronómicas y se alinean con los objetivos de sostenibilidad y conservación de biodiversidad en contextos agrícolas (Harvey *et al.*, 2003).

Para minimizar los efectos ecológicos negativos de la fragmentación causada por la deforestación, es necesario conservar la conectividad del paisaje mediante la preservación de las relaciones espaciales entre elementos como árboles, que, a su vez, pueden ser usados como parte de un corredor ecológico para mantener la conectividad entre fragmentos boscosos y áreas silvestres protegidas (Estrada, 2013 y Salazar *et al.*, 2016). Dicha mejora en la conectividad puede abordarse mediante acciones de restauración, rehabilitación y recuperación, que mejoren la estructura del paisaje; estrategias que también pueden incluir la reconversión de sistemas productivos y la reducción de presiones humanas sobre los ecosistemas (Isaacs-Cubides, Trujillos y James, 2017).

El análisis temporal y geoespacial de la conectividad estructural permite identificar patrones de cambio en la configuración espacial de los elementos presentes en el paisaje, como la matriz, los fragmentos y los corredores ecológicos, información esencial para comprender el nivel de intervención humana, evaluar la integridad ecológica y planificar la conservación de la biodiversidad de un territorio (Correa, Mendoza y Granados, 2014). Continúan diciendo estos autores que la conectividad estructural es analizada mediante la aplicación de índices o métricas del paisaje calculadas por medio de un sistema de información geográfica.

Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado la geografía al proporcionar herramientas eficaces para la generación y análisis de información cartográfica y numérica, esenciales en la planificación territorial y en la modelización de la evolución del espacio

geográfico. En particular, su aplicación en el estudio de los CCUS ha resultado metodológicamente fundamental para comprender la dinámica espacial (Humacata, 2018). Estas capacidades se potencian aún más mediante su integración con la Teledetección, conformando un enfoque robusto y rentable para el monitoreo y análisis de los fenómenos territoriales (Rojas *et al.*, 2019).

La teledetección se basa en la adquisición remota de datos de la superficie terrestre, mediante el uso de satélites o aeronaves; esta disciplina estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, permitiendo la identificar materiales y coberturas terrestres mediante la interpretación de dichas variaciones (Humacata, 2018). Específicamente, los sensores capturan la radiación que es reflejada por los objetos sobre la tierra, lo que posibilita detectar transformaciones en el suelo a lo largo del tiempo (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016). Así, las imágenes satelitales se han convertido en instrumentos clave para la observación y análisis de cambios ambientales, al facilitar el monitoreo de los recursos naturales y del medio ambiente en general (Karandikar y Agrawal, 2023).

Un aspecto fundamental en teledetección es la resolución espacial, que comúnmente se refiere al tamaño del píxel, es decir, al área de terreno representada por cada unidad de imagen. Este parámetro determina la escala de observación y modelización del paisaje, y condiciona tanto la precisión como el nivel de detalle del análisis. En líneas generales, las imágenes de baja resolución se emplean para monitorear grandes áreas geográficas —por ejemplo, en estudios a escala nacional o global— mediante sensores con resolución gruesa como MODIS. Para estudios regionales, son comunes los análisis basados en píxeles con imágenes de resolución media, como las del programa Landsat. En contraste, los estudios a escala local requieren imágenes de muy alta resolución espacial, como las proporcionadas por satélites QuickBird o IKONOS, que permiten captar cambios más sutiles en la cobertura del suelo (Hussain *et al.*, 2013).

El análisis de estas imágenes requiere de algoritmos o clasificadores que permiten identificar patrones o coberturas específicas. Una de las metodologías más extendidas es el análisis basado en píxeles, que extrae información a partir de las características espectrales de cada unidad de imagen (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016). Esta técnica posibilita la comparación de información del mundo real a partir de una fotografía satelital observada, proporcionando valiosa información sobre las posibles transformaciones experimentadas por un escenario a lo largo del tiempo (Rosales, 2013). Sin embargo, el enfoque por píxeles enfrenta desafíos en imágenes de muy alta resolución, como la mayor variabilidad espectral y la presencia de píxeles mixtos, que pueden dificultar la clasificación precisa (Hussain *et al.*, 2013).

Mediante el uso de múltiples datos en diferentes periodos temporales, conformados por una serie de imágenes satelitales, es posible estudiar de manera cualitativa y cuantitativa los efectos de los fenómenos de cambio del suelo (Hussain *et al.*, 2013). No obstante, existen limitaciones en el uso de estas imágenes satelitales, ya que muchas veces estas presentan una resolución baja o media, lo que dificulta estimar con certeza el uso correcto o determinar si lo observado corresponde a algún tipo de cobertura forestal, cultivo perenne, bosque u otra cobertura que se pudiera confundirse con la cobertura de estudio (González, 2019). En el caso de Costa Rica, donde la vegetación es densa y la topografía compleja, estas limitaciones se acentúan, ya que patrones visuales difusos pueden generar ambigüedades por la semejanza de tonos y formas entre los objetos (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016).

En ese contexto, los SIG han permitido determinar la evolución de los patrones de distribución espacial de las coberturas del suelo y pueden utilizarse para la obtención de modelar aspectos evolutivos del espacio geográfico (Humacata, 2018). Su combinación con los datos de teledetección proporciona una plataforma adecuada para el análisis, actualización y recuperación de datos geoespaciales; siendo estos sistemas útiles por su cobertura repetitiva y adquisición de datos en tiempo real, lo que permite analizar los CCUS en poco tiempo, con un bajo coste y con una alta precisión (Rojas *et al.*, 2019). Estos autores señalan que la creciente demanda del uso de software SIG de código abierto permite garantizar la reproducibilidad, fiabilidad, seguridad y rápida disponibilidad de la información (Rojas *et al.*, 2019).

Para efectos de la planificación territorial en Costa Rica, el Decreto Ejecutivo No. 32967 establece que estudios locales en fincas específicas o las propuestas técnicas de planificación deben trabajarse a una escala que debe estar en un rango de 1:5000 y 1:50000, es decir, un tamaño de píxel de 2 m a 15 m, para garantizar una adecuada representación cartográfica de las coberturas del suelo (Barrantes-Sotela y Sandoval-Murillo, 2016). Por su parte, el INVU (2017) establece que la representación cartográfica del mapa base debe usar coordenadas geográficas utilizando CRTM05 a una escala recomendada de 1:10000 ó 1:25000, para asegurar que la información contenida sea legible. El MAG, mediante el uso de estas herramientas, publicó un manual con el objetivo de producir cartografía básica temática, que incluye levantamientos de cobertura y usos del suelo, y sirve como herramienta para interpretar las imágenes satelitales y fotografías aéreas asociándolas a determinadas descripciones pictórico-morfológicas (Rosales, 2013). Además, el SIMOCUTE publicó un manual que incluye un sistema de clasificación de la cobertura y uso del suelo para Costa Rica, lo que permite estandarizar la metodología y las clasificaciones a nivel nacional (SIMOCUTE, 2023).

El Monocultivo de Banano como Motor de la Expansión Agrícola

Desde la década de 1980, en Costa Rica se establecieron condiciones políticas y de mercado que desincentivaron la producción agrícola para el consumo interno, mientras se promovía la expansión de cultivos destinados a la exportación, como las frutas tropicales (Blanco, 2020). Este modelo se intensificó con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio entre Estados Unidos, Centroamérica y República Dominicana (CAFTA-DR) en 2008 (Llaguno et al., 2014), y se mantiene vigente dentro de un contexto global que continúa favoreciendo la agroexportación. En este marco, el Estado costarricense ha otorgado múltiples incentivos a grandes empresas —principalmente transnacionales— para expandir la frontera agropecuaria mediante la producción de monocultivos (Obando, 2020), siendo el banano uno de los principales cultivos que ocupa vastas extensiones del territorio nacional.

La región del Caribe costarricense ha sido uno de los principales escenarios de esta transformación, debido a su ubicación estratégica como punto de conexión con los mercados internacionales gracias a sus puertos en la costa atlántica, característica que la convierte en uno de los principales centros de circulación de capital del país (Blanco, 2018). Cabe mencionar que esta relación entre la región Caribe y los mercados capitalistas mundiales se desarrolló desde finales del siglo XIX con la lógica de plantación de banano (Llaguno *et al.*, 2014). Es una región que estuvo históricamente ligada a la actividad bananera, la construcción del ferrocarril y el desarrollo del puerto Limón, y Matina, junto con Siquirres y Limón, configuran un espacio subregional en el que predominan históricamente las grandes empresas bananeras y una mayor concentración de la propiedad (Arrieta, 2007).

La economía de plantación bananera se consolidó en 1899 con la fundación de la United Fruit Company (UFCo), que operó bajo un modelo de enclave, aprovechando la disponibilidad de tierras fértiles en el Caribe (Viales y Montero, 2011). Durante el primer ciclo bananero (1870–1930), estimulado por las reformas liberales, la producción fue extensiva y transformó profundamente el paisaje: los bosques tropicales fueron sustituidos por amplios sembradíos de banano, generando procesos de apropiación de fuentes de agua y nutrientes del suelo (Montero y Viales, 2014). Aunque la UFCo se retiró a mediados del siglo XX, la actividad bananera no desapareció. Por el contrario, la implementación del Plan de Fomento Bananero en 1985, que otorgó exenciones fiscales a las empresas exportadoras, impulsó un segundo ciclo de expansión bananera, esta vez vinculado a la Revolución Verde. Este periodo se caracterizó por la modernización agrícola mediante el uso de maquinaria, semillas mejoradas y fertilizantes (Viales y Montero, 2013).

No obstante, este modelo de producción intensiva, basado en la homogeneidad genética y la maximización de la rentabilidad, genera un mayor riesgo biológico y ha conllevado múltiples impactos ambientales, entre ellos destacan la deforestación acelerada, la contaminación de fuentes de agua y suelos por agroquímicos, la pérdida de biodiversidad, la erosión de suelos y la transformación de ecosistemas (Silvetti y Cáceres, 2015; Arrieta, 2007; Blanco, 2018). La conversión de ecosistemas boscosos en terrenos de cultivo ha producido una alteración significativa en los flujos de energía, los ciclos de nutrientes y la composición de la biodiversidad y en la modificación de diferentes conjuntos ecosistémicos (Arrieta, 2007; Montero y Viales, 2014).

Se han producido cambios significativos en el uso del suelo en vastas hectáreas que anteriormente estaban destinadas a la protección de bosques, esto se debe a que esta actividad agrícola intensiva requiere grandes extensiones de terreno para producir a cielo abierto, lo que implica la transformación completa de ecosistemas en terrenos productivos para poder realizar las plantaciones, generando a su vez daños erosivos al suelo (Acuña, 2006). Bajo esta lógica, la apropiación social de los bienes y de los servicios ambientales se traduce en su explotación sistemática (Montero y Viales, 2014), y la apropiación de grandes extensiones de tierra en manos de exportadores disminuye la posibilidad de acceso a la tenencia de tierra por parte de la población local, lo que refuerza la importancia de los recursos naturales en las regiones rurales, aún en contextos donde estos han sido degradados (Ramírez et. al, 2016).

La intensificación de las prácticas agrícolas demanda aumentar la productividad de la tierra, lo que implica una transición de una economía de subsistencia a una economía comercial globalizada, de modo que la relación entre agricultura y evolución de la cobertura del suelo no se puede comprender al margen del mercado (Montero y Viales, 2016). Como establece Arrieta (2007) la cuestión ambiental en el proceso de planificación del uso del suelo integra a la población, los recursos naturales y el desarrollo tecnológico, y hasta ahora esto se ha llevado a cabo en función del mercado. Una revisión crítica de esta perspectiva resalta la importancia de incorporar, como parte de una planificación territorial integral, consideraciones ambientales.

La expansión bananera también evidencia la debilidad del Estado en la protección de los ecosistemas. Como señala Aravena (2005), “no hay nadie que se haga responsable por la pérdida de bosque y no es suficiente la denuncia por parte de las comunidades, la situación es preocupante y la deforestación continuará mientras los monocultivos sigan expandiéndose”. Cabe destacar que las problemáticas alrededor del monocultivo no se generan por la producción de la fruta como tal, sino por el tipo de modelo de producción, que se describe como un modelo intensivo orientado a la exportación y basado en la lógica extractivista (Obando, 2020).

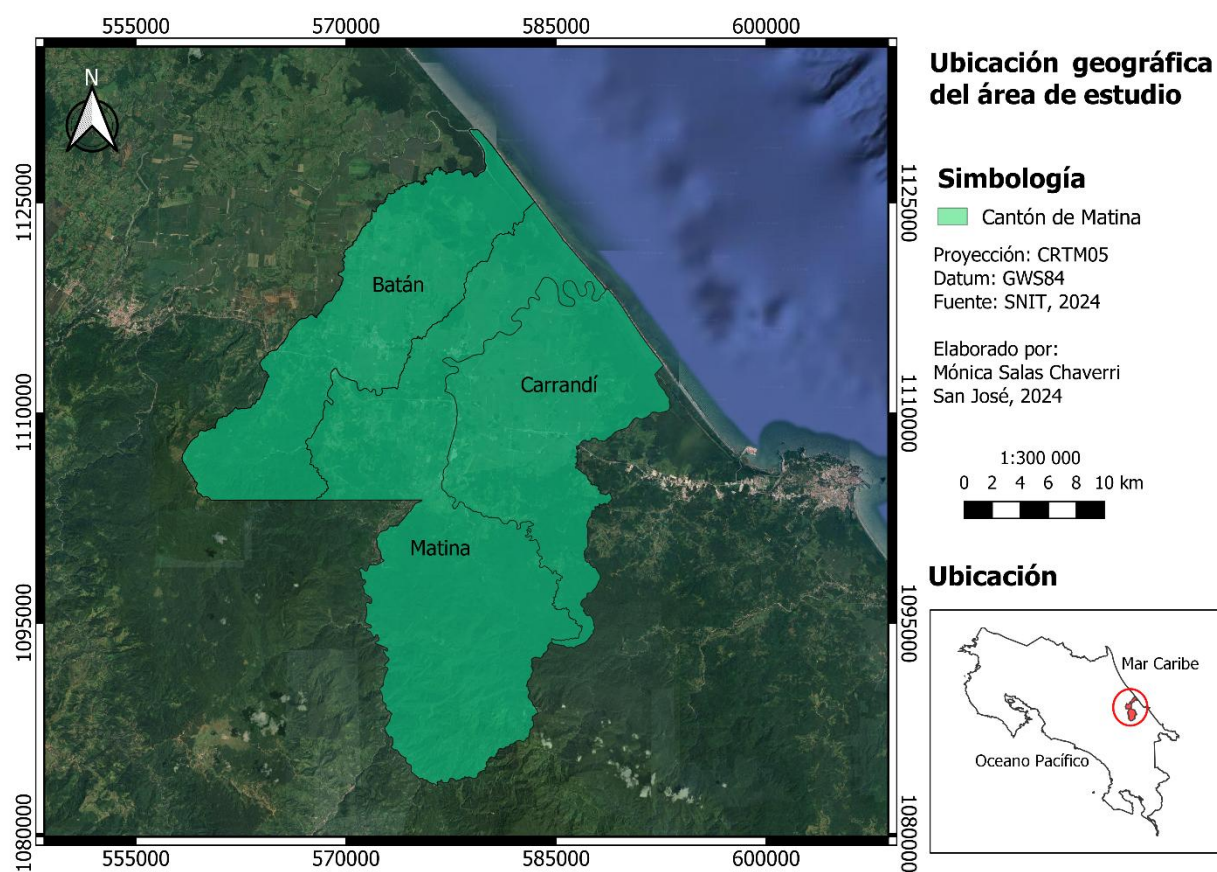
Materiales y Métodos

Sitio de Estudio

La investigación se sitúa en todo el cantón de Matina, provincia de Limón, Costa Rica. Este cantón tiene un área total de 772,64 km² (IGN, 2023) y se ubica entre las coordenadas planas CRTM05 1080000-1125000 metros Norte y 555000-600000 metros Este. Los tres distritos que componen la división administrativa del cantón son Batán, Carrandí y Matina (Fig. 1).

Figura 1

Ubicación geográfica del área de estudio, cantón de Matina, Limón, Costa Rica



Nota: Elaborado a partir de base de datos del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) del Registro Nacional y Sistemas de Información Geográfica.

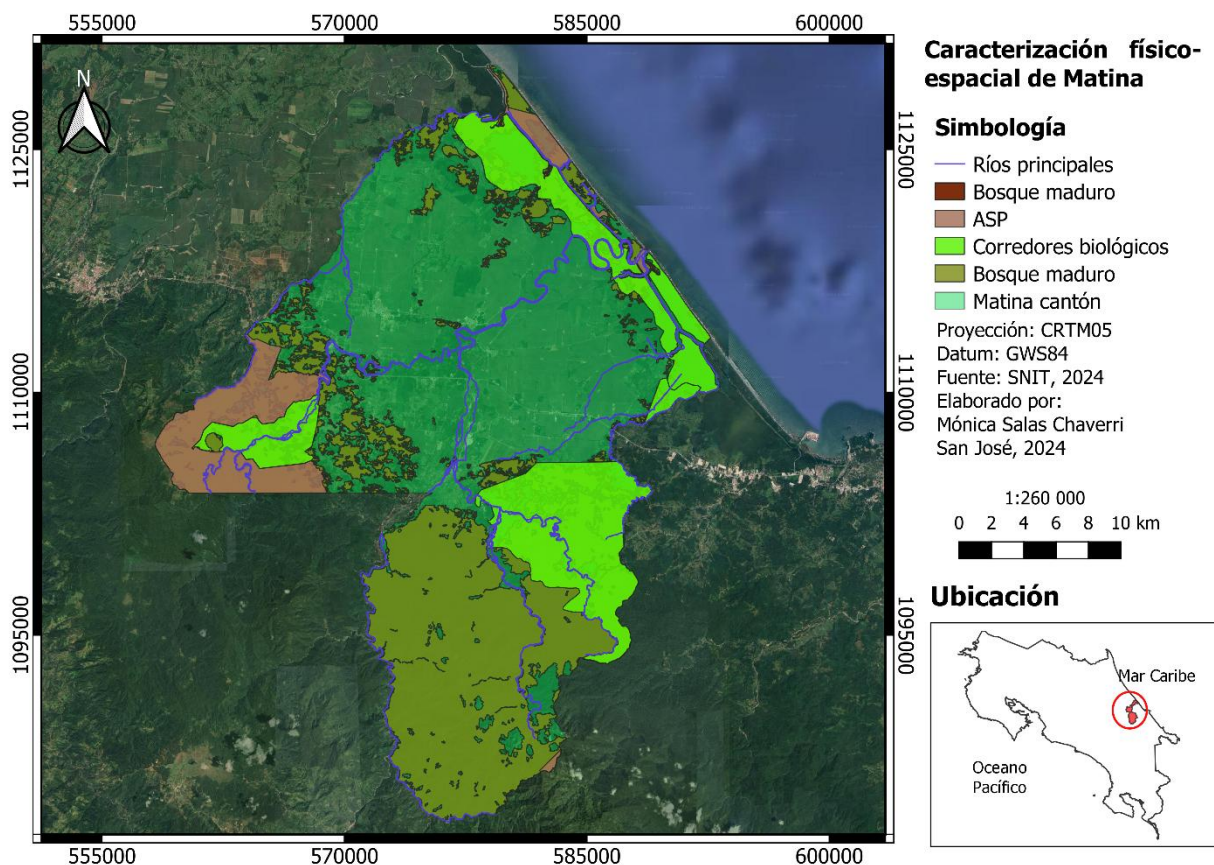
Matina posee un clima tropical húmedo debido a la influencia de vientos del noreste y del norte que arrastran humedad del Mar Caribe hacia la cordillera, esta importante influencia del mar resulta en la presencia de ecosistemas marino-costeros y humedales tipo Palustre cercanos

a la costa (Instituto de Desarrollo Rural [INDER], 2016). En esta parte noroeste del cantón los suelos son inundables y pedregosos, lo que limita su uso comercial o agrícola y se destinan a la vida silvestre o áreas de esparcimiento (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2016). Esta se encuentra cubierta por bosque secundario y se ubica la reserva forestal Pacuare-Matina que se categoriza como reserva forestal (INDER, 2016). También se encuentra el ASP Nacional Cariari, que es de categoría de manejo Humedal (Rojas, 2011) y el corredor biológico Moin Tortuguero, que a su vez conecta con el corredor biológico Cordillera a Cordillera.

El área de llanura posee tierras aptas para cultivos y en esta se ubican los asentamientos humanos y las zonas de producción de banano, estas áreas registran inundaciones periódicas asociadas con los patrones de precipitación estacionales o ante eventos climáticos. En el sector suroeste se encuentran zonas de protección, como la Reserva Forestal Río Pacuare, el Parque Nacional Barbilla y el Refugio Nacional de Vida Silvestre de propiedad privada Río Dantas, y el corredor biológico Volcánica Central Talamanca, según las capas disponibles del SINAC en el SNIT. Por su lado, la parte alta del territorio posee suelos con capacidad de uso forestal, con excesiva humedad, característicos por sus fuertes pendientes y, por tanto, con alta susceptibilidad a la erosión (SINAC, 2016).

El sistema fluvial del cantón se caracteriza por la presencia de importantes ríos como son: río Matina, que nace de la confluencia de los ríos Chirripó y Barbilla, el río Madre de Dios, el río Zent, el río Toro, el río Dantas, el río Cuba y sus respectivos afluentes; y por la presencia de los canales de Tortuguero (Fig. 2).

Figura 2
Caracterización físico-espacial del área de estudio



Nota: Elaborado a partir de base de datos del SNIT del Registro Nacional y Sistemas de Información Geográfica.

Situación actual del Plan Regulador Cantonal

Con el objetivo de comprender el estado del Plan Regulador cantonal al inicio de esta investigación, se contactó por medio de correo electrónico al Departamento de Gestión Ambiental Municipal y a la Comisión Planificadora del Plan Regulador, la cual será contactada a través de su coordinador, el Lic. Malaquías Castillo Díaz.

Considerando que la Comisión Planificadora cuenta con información relacionada con el diagnóstico territorial del Plan Regulador, abarcando dimensiones sociales, económica, físico-espacial, político-institucional y jurídica, y que, aunque parte de esta información ya había sido aprobada por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) y refrendada por el Concejo Municipal, aún están pendientes de aprobación los componentes vinculados a los ejes físico-espacial y político-institucional. Como parte del presente estudio, se analizó el mapa de uso de

suelo incluido en el documento no oficial del diagnóstico físico-espacial (M Castillo, comunicación personal, 19 de febrero del 2024). Dicho documento contiene estimaciones preliminares sobre el área actualmente dedicada al cultivo de banano. Aunque esta información no ha sido oficialmente aprobada, se empleó como una referencia inicial para orientar el análisis físico-espacial relacionado el área sembrada y las distintas categorías de coberturas del suelo definidas por esta Comisión.

Elaboración de los mapas de cobertura del suelo (1998 y 2024)

Se realizó un análisis multitemporal de los cambios en la cobertura y uso del suelo en el cantón de Matina, con el objetivo de comparar la situación territorial en los años 1998 y 2024. Para ello, se integraron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales y fotografías aéreas, con el fin de clasificar las diferentes coberturas del suelo en ambos periodos. El procesamiento y análisis de los datos se efectuó mediante el software QGIS, versión 3.16.5. Este trabajo fue complementado con capas vectoriales y bases de datos geoespaciales suministradas por el SNIT, incluyendo información proveniente del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

Para la elaboración del mapa correspondiente a 1998, se llevó a cabo un estudio retrospectivo mediante la interpretación de un mosaico de ortofotografías aéreas de ese año, disponibles a través del SNIT. Estas imágenes fueron generadas a partir del sensor Landsat 8 y descargadas de la plataforma en formato .tif. Posteriormente, se incorporaron al entorno de QGIS utilizando la herramienta de georreferenciación de archivos ráster, en la cual se introdujeron manualmente coordenadas X y Y asociadas a puntos de control obtenidos de las mismas imágenes. Este proceso permitió ajustar las imágenes al sistema de referencia geoespacial del proyecto, empleando como mapa base una capa de Google Satellite del cantón de Matina. En total, se utilizaron 12 imágenes satelitales tipo Terra, las cuales cubrieron completamente la superficie del cantón.

Para la elaboración del mapa de cobertura del suelo correspondiente al año 2024, se utilizó la técnica de fotointerpretación, empleando como base cartográfica la imagen satelital de Google Satellite. Esta fue incorporada en QGIS como una capa ráster mediante el protocolo XYZ, el cual permite visualizar un mosaico de imágenes satelitales. Dichas imágenes provienen del sensor Landsat 8 y están proyectadas en el sistema de coordenadas oficial de Costa Rica, CRTM05 (EPSG:5367).

Ambas imágenes, correspondientes a los años de estudio, fueron procesadas mediante una metodología de clasificación supervisada basada en píxeles, con una resolución espacial de 30 metros. A través de técnicas de fotointerpretación, se generaron coberturas vectoriales en QGIS que permitieron identificar y delimitar las distintas clases de cobertura del suelo presentes en cada periodo. La categorización de estas coberturas se realizó con base en la tipología definida por el diagnóstico físico-espacial elaborado por la Municipalidad de Matina, el cual, si bien no cuenta con aprobación oficial por parte del INVU, fue utilizado como referencia técnica en esta investigación. Asimismo, se aplicaron los criterios metodológicos establecidos por la versión costarricense de la metodología *CORINE Land Cover* (CLC-CR), desarrollada por el MAG (Rosales, 2015).

Tabla 2

Categorías de las coberturas del suelo identificadas y descripción de sus características pictórico morfológicas

Categoría de cobertura	Características comunes de las imágenes con sensores remotos
Cauces y costa	De formas irregulares, el color puede variar de acuerdo con la calidad del agua. Puede ser azul cuando el agua tiene muchas partículas de suelo en suspensión, o azul oscuro a negro cuando el agua es clara. En esta se incluye no solo es espejo de agua, sino también las huellas de los cauces de los ríos que son de color marrón, con formas irregulares contiguo a los flujos de agua. En esta categoría también se incluya la arena de la costa caribeña.
Cobertura boscosa densa	Se ve un manto homogéneo de un solo color y variaciones por el efecto de sombreado en las zonas montañosas, típicamente de color verde intenso. Cobertura constituida por elementos típicamente arbóreos, normalmente abarcan grandes áreas.
Cobertura arbórea fragmentada	Irregular, asociado a la presencia de claros que normalmente representan terrenos dedicados a pasturas o cultivos, los cuales pueden o no tener formas regulares, y no representan más del 30% del área de la unidad de bosque natural. Se ve un manto similar al que presenta la cobertura boscosa densa, pero con la presencia intercalada de claros y otros elementos que denotan la presencia del impacto antrópico.
Cultivo de banano	Son terrenos en formas geométricas, principalmente rectangulares, atendiendo la distribución de los lotes de siembra. Se ve un manto homogéneo con algunas líneas tenues denotando la orientación de los lotes de siembra y los caminos internos. Normalmente abarcan grandes áreas que incluyen algo de infraestructura como la planta empacadora y poblados muy pequeños ubicados dentro de los lotes de siembra, así como canales de riego.
Otros cultivos	Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos y otras materias primas agroindustriales; se incluirán

	todos aquellos que no sean coberturas de banano. Se pueden distinguir por los rasgos geométricos del patrón de siembra, con presencia de vías entre los lotes y las vías de acceso; en el área de estudio principalmente se encuentra la presencia de palma aceitera, la cual se caracteriza por la forma de estrella de sus copas.
Pastos y ganadería	Formas irregulares, comprende tierras cubiertas con gramíneas. El color puede variar dependiendo de la variedad del pasto, puede ir desde color verde claro hasta naranja o marrón. En las fotos aéreas se distinguen las infraestructuras asociadas como corrales o caminos internos. Pueden tener presencia de árboles o no. Estas son dedicadas al pastoreo permanente casi siempre.
Tejido urbano discontinuo	Son espacios conformados por edificaciones, vías e infraestructura que cubren la superficie. Los techos de las viviendas o edificios muestran un mosaico de colores rojos, blancos y grises, sobre la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierto por vegetación o zonas verdes. Las vías o carreteras se muestran como tramos lineales rectos y de color negro o gris.

Fuentes: Rosales, 2013; Rosales, 2015.

Cambios en las Coberturas del Suelo

Se utilizaron los mapas de coberturas y usos del suelo obtenidos para cada año de estudio para hacer una superposición de estos, generando así, la superficie por las categorías identificadas en la Tabla 2. Se construyó una matriz de tabulación cruzada la cual representa el procedimiento más usado en los estudios de detección de cambios (López y Plata, 2009), entre el tiempo 1 T1 (año 1998) y el tiempo 2 T2 (año 2024) de la cobertura y uso del suelo (Tabla 3). Se calcularon la cantidad de hectáreas transformadas de cada categoría de cobertura a otra, y así determinar pérdidas, ganancias, cambios netos e intercambios entre las categorías.

En la matriz se registran las categorías de las coberturas en el tiempo 1 en las filas y las categorías de coberturas del tiempo 2 en las columnas. Las zonas estables (persistencias) entre T1 y T2, se presentan en la diagonal principal de la tabla (P_{ii}); y los elementos fuera de la diagonal principal corresponden a las transiciones ocurridas entre categorías (P_{ij}); la fila Total T2 indica el área total que ocupa cada clase en T2, mientras que la columna Total T1 representa el área total de cada categoría en el tiempo T1. Mientras que la columna de pérdidas muestra las categorías de las diferentes categorías que sufrieron pérdidas entre 1998 y 2024, y la fila de las ganancias muestra la categoría de cobertura que experimentó un aumento entre los dos años de estudio (López y Plata, 2009; Sandoval y Barrantes, 2021). Esto permitió conocer los cambios de para cada categoría de cobertura y determinar en qué proporción la expansión de las fronteras

agrícolas ha afectado el resto de las coberturas de suelo, principalmente la cobertura arbórea fragmentada o boscosa.

Tabla 3

Ejemplo de la matriz de tabulación cruzada para dos tiempos con pérdidas y ganancias

		Cambio de cobertura T2			Total T1	Pérdidas
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría n		
Cambio de cobertura T1	Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
						
	Categoría n	P_{n1}	P_{n2}	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
	Total T2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+n}	P	
	Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

A pesar de que los valores que se obtuvieron en la Tabla 3 del cambio neto dan una aproximación a la interpretación de los cambios producidos, estos datos no son suficientes para tener una visión clara sobre la dinámica territorial del paisaje en el sentido de que no se capturan las áreas de intercambio producidas entre coberturas, ni tampoco el cambio total que se produjo en el periodo de estudio; es decir, que se puede saber cuánta superficie cambió con respecto al año de origen y en qué sentido, pero no se puede saber si esa cobertura presentó modificaciones espaciales al interrelacionarse con otras, ni a cuánto ascendió el valor total de ese cambio al final del periodo de estudio (López y Plata, 2009).

Por dicha razón, para realizar un análisis completo de la dinámica espacial, se realizó también el cálculo de la ganancia, la pérdida y el intercambio para cada categoría, utilizando una hoja de cálculo de Excel. El cambio total se calculó sumando las ganancias y las pérdidas, mientras que el cambio neto se calculó con la diferencia de coberturas entre un año y otro.

Cambios en la Conectividad Estructural del Paisaje

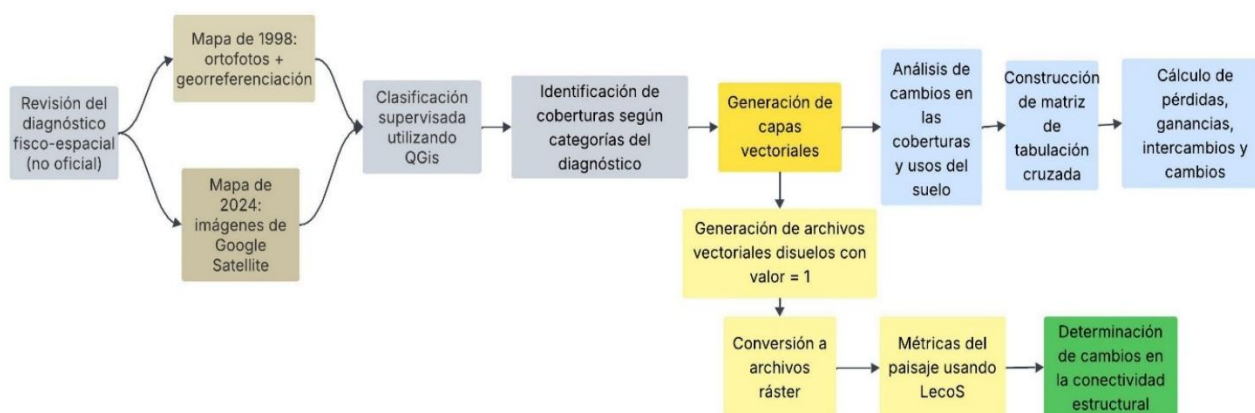
Para calcular la conectividad estructural del paisaje en los dos años de interés, se consideraron las coberturas de bosque denso y bosque arbóreo fragmentado como parte del paisaje natural que promueve la conectividad estructural. La pérdida de estas coberturas genera lo que se conoce como fragmentación del paisaje, lo que implica una reducción en las conexiones naturales entre los ecosistemas (Isaacs-Cubides *et al.*, 2017).

Para el análisis, se utilizaron las capas vectoriales obtenidas para ambas categorías en los dos años de estudio, asignándoles un valor numérico de 1 con el fin de generar un archivo vectorial disuelto. Las cuatro capas vectoriales resultantes se convirtieron en archivos ráster mediante la función *rasterizar* del programa QGis, estableciendo un valor de uno y una resolución

de 3000 píxeles de ancho y alto. Con los cuatro archivos ráster ya clasificados, se calcularon las métricas del paisaje utilizando el complemento LecoS (*Landscape Ecology Statistics*). Este complemento emplea bibliotecas científicas de Python, como SciPy y NumPy, para realizar análisis estadísticos y cálculos de métricas del paisaje (Jung, 2013).

Desde la perspectiva de la pérdida de cobertura arbórea, y con base en su relevancia ecológica para evaluar la conectividad estructural en cada periodo de tiempo, se calcularon cuatro índices del paisaje con un tamaño de celda de 999: (i) Número de parches que indica cuántas áreas discontinuas o parches conforman la categoría, proporcionando una medida del grado de fragmentación; (ii) el Índice de cohesión de parches que mide la cohesión entre los parches, valores más altos indican una mayor cohesión, lo que sugiere parches más grandes y continuos; (iii) el Índice de división que evalúa el nivel de fragmentación dentro de una categoría, valores más bajos reflejan menor fragmentación. (iv) la densidad de parches es un valor relativo que expresa el número de fragmentos por unidad de superficie, específicamente por cada 100 ha; paisajes con mayor densidad de fragmentos son más heterogéneos, es decir, son más fragmentados (Matteucci, 2004). Los resultados de las métricas calculadas a través de LecoS se compararon entre los diferentes años de estudio para determinar los cambios en la conectividad estructural del cantón de Matina. Cada uno de los procesos desarrollados se resumen en la Figura 3.

Figura 3
Diagrama de los procesos desarrollados



Estrategias de Conservación Ambiental

Para establecer las estrategias de conservación ambiental orientadas a la planificación de usos del suelo agrícola y su inclusión en el Reglamento de Desarrollo Urbano de Matina, se

abordaron tres enfoques principales: primero, la revisión del marco jurídico y normativo nacional, que es el que respalda a la municipalidad como gobierno local para definir y controlar dichas estrategias. Segundo, el estudio de recomendaciones técnicas existentes en Costa Rica relacionadas con estrategias de conservación en usos de suelos agrícolas bananeros. Y tercero, la revisión de planes reguladores vigentes de otros cantones, con énfasis en aquellos que incluyen medidas relacionadas con la regulación ambiental de la actividad agrícola o agropecuaria.

El objetivo de esta propuesta es incorporar las estrategias formuladas como artículos dentro del reglamento mencionado, durante su proceso de elaboración por parte de la Comisión Planificadora del Plan Regulador Municipal. Su propósito es asegurar que, a nivel cantonal, los usos del suelo agrícola sean más conservacionistas y menos invasivos, contribuyendo a un ordenamiento territorial ecológico. Este enfoque busca garantizar una productividad sostenible en el tiempo, salvaguardando los recursos naturales y la biodiversidad de Matina (Ramírez *et al.*, 2016). Asimismo, se pretende facilitar la integración y aplicación práctica de un enfoque ambiental en la planificación del cantón, con énfasis en la expansión agrícola.

Para los tres enfoques definidos, se realizó una investigación que incluyó una búsqueda en el SINALEVI del Sistema Costarricense de Información Jurídica, y revisión de literatura y documentación institucional sobre buenas prácticas ambientales usadas en la actividad agrícola. Se revisaron planes reguladores aprobados a partir de 1998, incluyendo sus respectivas modificaciones. Se incluyeron solo aquellos que contuvieran una zonificación agrícola o agropecuaria que regulara la actividad agrícola, que se caracterizaran por tener actividad agrícola en sus territorios, excluyendo para ese último caso principalmente a cantones urbanizados centrales, y que establecieran estrategias ambientales sobre la actividad agrícola o agropecuaria.

Se construyó una matriz comparativa que incluyó: estado de aprobación del plan regulador, identificación de los reglamentos de desarrollo urbano asociados acordes al tema en cuestión, verificación de la existencia de la regulación de zonificación del suelo agrícola, y anotación de medidas implementadas para regular la actividad agrícola o agropecuaria. Los planes reguladores incluidos fueron los de los cantones de: Cartago, Buenos Aires, Grecia, Paraíso, La Unión, San Isidro y Siquirres. En la Figura 4 se resumen los pasos anteriormente señalados.

Figura 4

Diagrama de los procesos para definir las estrategias de conservación ambiental



Resultados

Cambios en los Usos de Suelo Ocasionados por la Expansión de las Fronteras Agrícolas

Producto de la metodología aplicada de clasificación supervisada con imágenes de satélite y el programa QGIS versión 3.16.5, se obtuvieron dos mapas con las coberturas de suelo para 1998 y 2024, los cuales fueron la base para el análisis de cambios ocurridos en las coberturas y usos del suelo por efecto de la expansión de las fronteras agrícolas. En estos se encontraron siete clasificaciones de coberturas y usos del suelo: cobertura boscosa densa, cobertura arbórea fragmentada, cultivo de banano, otros cultivos, pastos y ganadería, tejido urbano discontinuo y cuerpos de agua. Estos mapas se utilizaron para determinar la eliminación de la cobertura arbórea del cantón, en forma de bosque denso o en forma de cobertura arbórea fragmentada, a causa de la expansión de la actividad agrícola.

Cobertura y Uso del Suelo para el Año 1998

Se obtuvo el mapa de uso y cobertura del suelo para el año 1998 para el cantón de Matina, y se calcularon las hectáreas de cobertura para cada categoría identificada. Durante este periodo, se observa que el suelo está predominantemente ocupado por extensos territorios de cobertura arbórea fragmentada, distribuidos desde el noreste hacia el centro del cantón, representando un total de 13218,72 ha; y por áreas con cobertura de bosque denso que abarcan 39678,97 ha, localizadas en tres principales regiones: al sur del cantón, colindante con el Parque Nacional La Amistad; al sureste, por la presencia del Parque Nacional Barbilla y el ASP Río Pacuare; y al norte, colindante con el ASP Pacuare Matina.

Se identifican también extensas áreas agrícolas dedicadas al cultivo de banano, para un total de 11471,68 ha, mientras que las áreas destinadas a otros cultivos agrícolas apenas abarcan 45,05 ha, representando menos del 0,1% del territorio. Las coberturas con pastos y ganadería se distribuyen de manera fragmentada a lo largo de todo el cantón, totalizando 10404,29 ha. Además, se observa la presencia de pequeños fragmentos de tejido urbano discontinuo, principalmente en el centro del cantón representando apenas el 1,85% del porcentaje total de cobertura.

Se calcularon los porcentajes de cobertura correspondientes para cada una de las categorías de cobertura del suelo mencionadas anteriormente para el año 1998, las cuales se ordena de mayor a menor (Tabla 4). Se evidencia que la cobertura arbórea, incluyendo bosque denso y arbórea fragmentada, tiene las áreas de mayor extensión, representando ambas el 68,46% del total del área de estudio.

Tabla 4

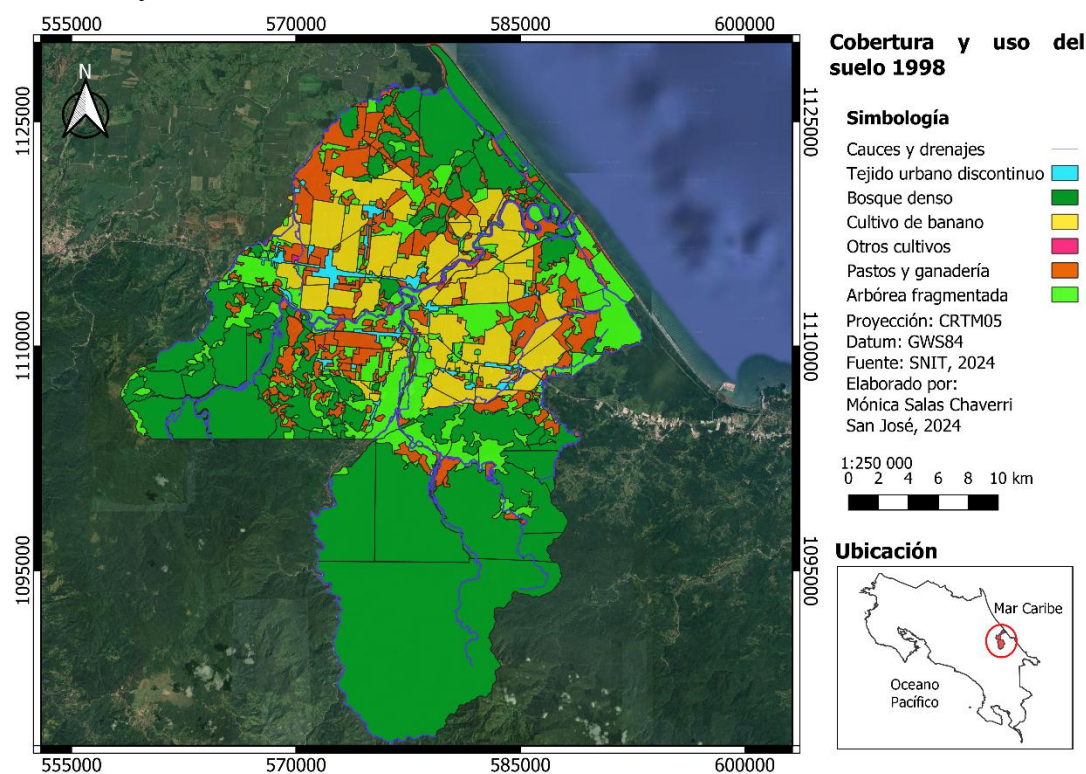
Clasificación de la cobertura y uso del suelo cantón de Matina año 1998

Categoría de cobertura	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)
Cobertura boscosa densa	39678,97	51,36
Cobertura arbórea fragmentada	13218,72	17,11
Cultivo de banano	11471,68	14,85
Pastos y ganadería	10404,29	13,47
Tejido urbano discontinuo	1429,13	1,85
Cauces y costa	1016,15	1,32
Otros cultivos	45,05	0,06

Las coberturas confinadas para producción de banano se ubicaron principalmente en la parte intermedia, conocidas como las llanuras del cantón, cubriendo un 14,85% de la cobertura del suelo total; ejerciendo presión agrícola en las áreas de protección boscosa y sobre coberturas arbóreas fragmentadas, en esta región del cantón (Fig. 5).

Figura 5

Cobertura y uso del suelo cantón de Matina en el año 1998



Cobertura y Uso del Suelo para el Año 2024

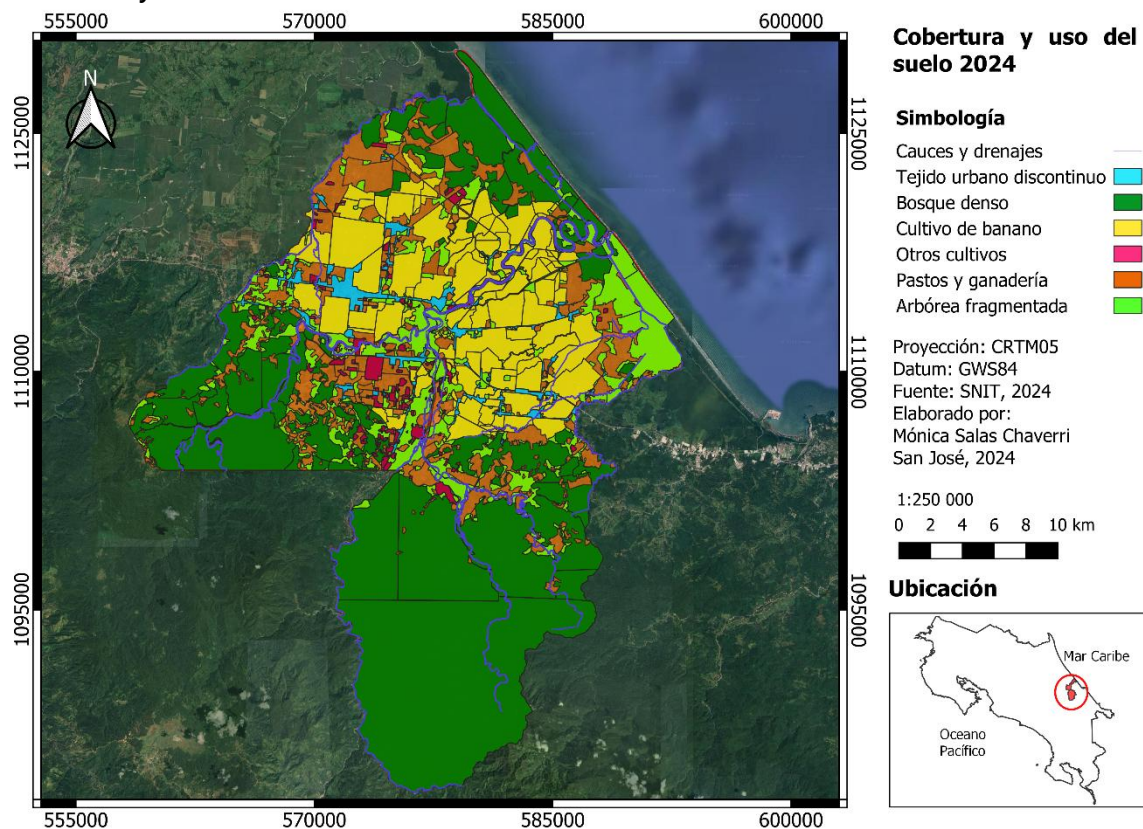
Para el año 2024 se obtuvo un mapa de cobertura y uso del suelo donde se observa que continúa predominando la cobertura arbórea, tanto en forma de bosque denso como de manera fragmentada. Estas categorías representan una cobertura del 48.61% del territorio, sumando 37559,45 ha y 9957,76 ha respectivamente. Las hectáreas dedicadas al cultivo de banano aumentaron, alcanzando para el 2024 las 15166,33 ha del cantón dedicadas a esta actividad agrícola. A diferencia del mapa de 1998, se aprecia un mayor uso del suelo dedicado a otros cultivos, específicamente asociado a la producción de palma aceitera en pequeña escala, ubicada al suroeste de la llanura (Fig. 6).

La categoría de pastos y ganadería se extiende 10590,92 ha en el cantón, mientras que el tejido urbano discontinuo creció a 176,00 ha. En la Tabla 5 se ordenan las categorías de cobertura de mayor a menor para el año 2024 y se muestran los porcentajes de cobertura correspondientes para cada una. En esta se refleja de manera evidente el incremento en la superficie destinada al cultivo de banano y la introducción de la palma aceitera como un nuevo cultivo agrícola relevante en la región.

Tabla 5

Clasificación de la cobertura y uso del suelo cantón de Matina año 2024

Categoría de cobertura	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)
Cobertura boscosa densa	37559,45	48,61
Cobertura arbórea fragmentada	9957,76	12,89
Cultivo de banano	15166,33	19,63
Pastos y ganadería	10590,92	13,71
Tejido urbano discontinuo	1786,00	2,31
Otros cultivos	1187,39	1,54
Cauces y costa	1016,15	1,32

Figura 6*Cobertura y uso del suelo cantón de Matina en el año 2024*

Como punto de partida para identificar las señales de CCUS, es útil calcular los cambios netos. Se demostró que, en comparación con 1998, la superficie dedicada al cultivo de banano aumentó en un 32%, expansión que se ha concentrado principalmente en la zona central del cantón, ocupando la llanura y generando una mancha casi continua de color amarillo, que representa el cultivo de banano, según el mapa de cobertura para el 2024. Se observó una expansión de este cultivo hacia el noreste, lo que aumenta la presión sobre el área de protección del SINAC y el corredor biológico que colindan con la costa caribeña.

En paralelo, el tejido urbano también creció en un 25%, aunque siempre manteniéndose dentro de los mismos núcleos de población, los cuales han extendido sus límites. En contraste, el bosque denso y la cobertura arbórea fragmentada en conjunto han experimentado una disminución del 30%. Las áreas de pastos y ganadería se han mantenido prácticamente sin cambios en cuanto a cobertura neta, con una ligera ganancia del 1,8%, mientras que los otros cultivos superan un crecimiento por encima del 100%.

Estos valores proporcionan una aproximación inicial para interpretar los cambios producidos, pero no son suficientes para ofrecer una visión clara sobre la dinámica de

cambios en las coberturas y usos del suelo. Con esos valores no se logran visualizar las áreas de intercambio entre coberturas, ni el cambio total producido durante el periodo de estudio, es decir, que se puede saber cuánta superficie cambió respecto al año de origen, pero no se puede determinar si esa cobertura presentó modificaciones espaciales al interrelacionarse con otras, ni a cuánto ascendió el valor total de ese cambio al final del periodo.

Detección de Cambios

A partir de los mapas y las coberturas obtenidos para 1998 y 2024, se generó una matriz de tabulación cruzada que permitió un análisis detallado de los cambios territoriales en el cantón de Matina (Tabla 6), en esta tabla se ofrece una comprensión profunda al desglosar los cambios en la cobertura y uso del suelo a un nivel específico. En un análisis sólo de las superficies descritas en la sección anterior, podría concluirse que la categoría de pastos y ganadería ha sufrido cambios menores. No obstante, la matriz reveló que, aunque esa categoría mantuvo una cobertura aproximada de 10500 ha entre 1998 y 2024, hubo una significativa redistribución interna. Específicamente, se perdió una superficie de 4135,08 ha en una zona, la cual fue compensada casi completamente por una ganancia de 4321,71 ha en otra. Esta redistribución sugiere que los CCUS son más complejos de lo que se podría haber asumido inicialmente.

La creación de la matriz de tabulación cruzada permitió cuantificar la superficie ocupada por cada categoría en las dos fechas de estudio, identificar las persistencias temporales de estas categorías (mostradas en la diagonal de la Tabla 6), y analizar los intercambios entre las diferentes coberturas, así como las ganancias y pérdidas totales de cada una. A partir de esta matriz, se determinó en qué medida la expansión de las zonas agrícolas ha impactado los usos del suelo con cobertura arbórea. En Matina se registraron 24 transiciones entre categorías (ganancias y pérdidas), observándose intercambios en todas las categorías, lo que evidencia una dinámica de cambio territorial considerable durante el periodo de estudio.

Es importante destacar que la categoría de cauces y costa no fue incluida en el análisis, ya que se mantuvo inalterada en ambos periodos, y que el total del área del cantón es de 77264 ha. La cobertura de bosque denso se vió afectada principalmente por la expansión de pastos y ganadería, que redujo 1684,27 ha de bosque, seguido por el cultivo de banano que modificó 549,34 ha. Adicionalmente, 419,16 ha de bosque denso se

transformaron en cobertura arbórea fragmentada. La cobertura arbórea fragmentada también fue mayormente impactada por la expansión de pastos y ganadería, y por el cultivo de banano, con 2581,98 ha y 1538,77 ha transformadas respectivamente. Esto resultó en una pérdida total de 7842,83 ha entre ambas categorías, aunque se registraron ganancias en el mismo período de 626,78 ha de bosque y 1835,55 ha de bosque fragmentado.

El cultivo de banano experimentó una expansión significativa en el cantón de Matina, incrementando su superficie en 3908,02 ha adicionales para el año 2024, expansión que se realizó a expensas de cambios en las coberturas de bosque, bosque fragmentado y pastos y ganadería. De forma similar, otros cultivos también se expandieron en detrimento del bosque denso, la cobertura arbórea fragmentada y los pastos y ganadería, registrando una ganancia total de 1144,85 ha. En cuanto al tejido urbano, aunque su crecimiento fue relativamente modesto en comparación con otras coberturas, con una ganancia de 433,68 ha, este aumento no debe subestimarse, ya que conlleva la expansión de infraestructura y servicios asociados al desarrollo urbano, lo cual puede generar impactos significativos en el uso del suelo.

Tabla 6
Matriz de tabulación cruzada (datos en hectáreas)

1998	2024						Total 1998	Pérdidas	Pérdidas (%)
	Bosque denso	Arbórea fragmentado	Banano	Tejido urbano	Otros cultivos	Pastos y ganadería			
Cobertura boscosa densa	36932,67	419,16	549,34	9,26	84,28	1684,27	39678,97	2746,31	6,92
Cobertura arbórea fragmentada	305,79	8122,20	1538,77	144,14	525,85	2581,98	13218,72	5096,52	38,56
Cultivo de banano	0	132,01	11258,30	53,65	0	27,72	11471,68	213,38	1,86
Tejido urbano discontinuo	0	9,15	26,34	1352,32	13,57	27,74	1429,13	76,80	5,37
Otros cultivos	1,48	1,03	0	0	42,54	0	45,05	2,51	5,37
Pastos y ganadería	319,51	1274,21	1793,58	226,63	521,15	6269,21	10404,29	4135,08	39,74
Total 2024	37559,45	9957,76	15166,33	1786,00	1187,39	10590,92			

Ganancias	626,78	1835,55	3908,02	433,68	1144,85	4321,71			
Ganancias (%)	1,67	18,43	25,77	24,28	96,42	40,81			

Balance de Pérdidas y Ganancias

Se realizó un balance de pérdidas y ganancias totales para cada categoría de cobertura, determinando así el cambio total (real) y comparándolo con el cambio neto. En las categorías de bosque denso y bosque arbóreo fragmentado, se observó que el cambio total fue mayor al cambio neto. Esto se debe a que el cambio total considera la suma de todas las ganancias y pérdidas, mientras que el cambio neto únicamente refleja la diferencia entre las superficies de 1998 y 2024, sin detallar las transiciones espaciales. Un caso destacado es el de la cobertura de pastos y ganadería, donde el cambio total superó considerablemente al cambio neto. Aunque la superficie total de esta categoría permaneció casi constante entre ambas fechas (según el cambio neto), el intercambio de áreas con otras categorías—resultado de ganancias y pérdidas—mostró una variación espacial significativa. Esta cobertura fue la que presentó mayor dinamismo en el territorio, seguida por el bosque arbóreo fragmentado.

En contraste, la cobertura de otros cultivos mostró únicamente ganancias, sin intercambio de superficie con otras categorías, lo que resultó en valores de cambio neto y total muy similares. De manera similar, la cobertura de banano tuvo bajas pérdidas en comparación con sus ganancias, lo que también explica la proximidad entre ambos indicadores (Tabla 7).

Tabla 7

Valores de transición entre categorías de coberturas (datos en hectáreas)

Coberturas	Área 1998	Área 2024	Diferencia 1998-2024	Ganancias	Pérdidas	Cambio neto	Cambio total
Cobertura boscosa densa	39678,97	37559,45	-2119,52	626,78	2746,31	2119,53	3373,09
Cobertura arbórea fragmentada	13218,72	9957,76	-3260,96	1835,55	5096,52	3260,97	6932,07

Cultivo de banano	11471,68	15166,33	3694,65	3908,02	213,38	3694,64	4121,40
Tejido urbano discontinuo	1429,13	1786,00	356,87	433,68	76,80	356,88	510,48
Otros cultivos	45,05	1187,39	1142,34	1144,85	2,51	1142,34	1147,36
Pastos y ganadería	10404,29	10590,92	186,63	4321,71	4135,08	186,63	8456,79

Expansión de las Fronteras Agrícolas

Los datos fuera de la diagonal principal de la Tabla 6 permiten identificar patrones dominantes presentes en los análisis de cambios en las coberturas del suelo. Durante el período de estudio, se observó que el fenómeno de expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina se mantiene vigente, acompañado de cambios en las coberturas y usos del suelo. La producción de banano experimentó un incremento significativo, ganando 3694,64 ha de suelo en el cantón en los 26 años de estudio, para alcanzar las 15166,33 ha destinadas a la producción de banano en 2024. Paralelamente, el uso del suelo dedicado a otros cultivos también aumentó, con un incremento de 1144,85 ha. Este cambio implicó la conversión de 549,34 ha de bosque y la modificación de 1538,77 ha de cobertura del suelo que en 1998 estaban dominadas por arborea fragmentada. Como resultado, se talaron un total de 2088,11 ha de suelo que anteriormente estaban cubiertas con árboles.

No obstante, la mayor transformación de cobertura de uso de suelo se dio en las áreas cubiertas con pastos y ganadería, con un total de 2314,73 ha que se convirtieron en tierras agrícolas. Esta actividad también registró un impacto directo sobre los cambios en las coberturas de bosque denso y arbóreas fragmentadas en el período de estudio, afectando también directamente los cambios en la conectividad estructural del cantón.

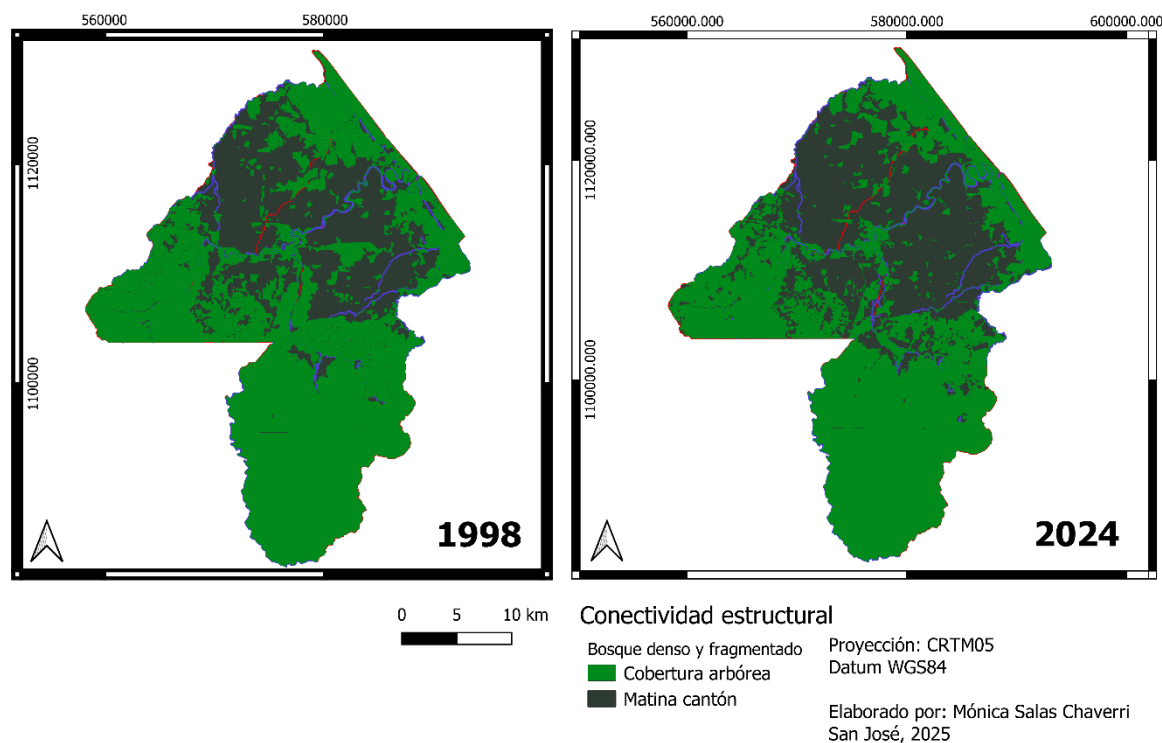
Alteraciones en la Conectividad Estructural del Paisaje

Las coberturas de bosque denso y arbóreo fragmentado desempeñan un papel clave en la conectividad estructural del paisaje. Para analizar su evolución, se compararon cuatro métricas del paisaje obtenidas a partir de archivos ráster de dichas coberturas en los dos años de estudio, a saber: número de parches, densidad de parche, índice de cohesión de parches, índice de división y la densidad de borde. Con las cuales se determinó la modificación en cuanto a la fragmentación de las coberturas arbóreas y, en consecuencia, la conectividad estructural del paisaje en el cantón. En los mapas obtenidos se muestra a

simple vista que, en 1998, la cobertura arbórea era más extensa en la zona central del cantón, mientras que en 2024 se observa una mayor fragmentación en esta llanura (Fig. 5).

Figura 5

Mapas de cambio temporal de la cobertura arbórea en Matina. Años 1998 y 2024



Los datos mostrados en la Tabla 8 demuestran los cambios entre 1998 y 2024 en las métricas del paisaje. La cobertura arbórea fragmentada pasó de 180 parches a 362, lo que indica un aumento en la fragmentación. La densidad de parches también aumentó de 2,26 a 5,18, lo que sugiere una mayor subdivisión de este paisaje en pequeñas áreas aisladas. El bosque denso, aunque también aumentó su número de parches, de 26 a 49, muestra una reducción en la densidad de parches, de 9,55 a 1,94. Esto sugiere que, aunque existan más parches de bosque denso en 2024, estos pueden estar más conglomerados y por ende más conectados que en 1998.

Para la cobertura de arbórea fragmentada, el índice de cohesión disminuyó levemente de 9,90 a 9,83, indicando que los parches están menos conectados entre sí, reflejando un aumento en la fragmentación. Mientras que el índice de división aumentó drásticamente de 5,12 a 12,76, lo que confirma que la fragmentación se ha intensificado, ya que los parches están más divididos y dispersos. En cuando al bosque denso, el índice de cohesión se mantuvo prácticamente estable, lo que sugiere que, a pesar del aumento

en el número de parches, estos aún presentan un grado de conexión similar al de 1998. Mientras que el índice de división pasó de 2,43 a 2,34, lo que indica una muy ligera reducción en la fragmentación, posiblemente debido a la conectividad de algunos parches.

Tabla 8

Métricas del paisaje para las categorías de cobertura de boscosa densa y arbórea fragmentada

Tipo de cobertura, año	Número de parches	Densidad de parche (n° frag/100 ha)	Índice de cohesión de parches	Índice de división
Cobertura arbórea fragmentada, 1998	180	2,26	9,90	5,12
Cobertura boscosa densa, 1998	26	9,55	9,96	2,43
Cobertura arbórea fragmentada, 2024	362	5,18	9,83	12,76
Cobertura boscosa densa, 2024	49	1,94	9,96	2,34

Enriquecimiento del Reglamento del Plan Regulador

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de fortalecer el marco normativo municipal para garantizar un equilibrio entre el desarrollo territorial y la conservación ambiental, especialmente en un contexto donde la presión sobre los recursos naturales es cada vez mayor. Para enriquecer el reglamento del plan regulador con criterios de conservación ambiental, se abordaron tres ejes fundamentales: se examinó el respaldo legal que la normativa vigente otorga a los gobiernos locales para la implementación de medidas de protección ambiental dentro de su jurisdicción, se revisaron recomendaciones técnicas desarrolladas en Costa Rica para la aplicación de estrategias de conservación en la producción de banano, y se revisaron las experiencias de otros cantones que han incorporado estrategias ambientales en sus reglamentos de zonificación.

Se identificaron estrategias concretas para la gestión sostenible del territorio, con un enfoque en la protección de ecosistemas clave, la regulación del uso del suelo en áreas donde se desarrolla la actividad agrícola y la mitigación de los impactos ambientales derivados de dicha actividad. Las estrategias proporcionan un insumo clave para la actualización y mejora del reglamento del plan regulador, promoviendo un modelo de ordenamiento territorial que integre la conectividad estructural como eje central.

Marco Legal: Potestad Municipal para la Conservación Ambiental

Según el marco legal y normativo vigente, las municipalidades tienen competencias ambientales, entendiendo estas como aquellas relacionadas con la salud de sus habitantes,

el equilibrio ecológico del cantón y la protección de la cobertura arbórea en sus territorios, actuando de manera coordinada con otras entidades nacionales.

La Constitución Política de Costa Rica, en su artículo 169, otorga a las municipalidades la facultad de administrar los intereses y servicios locales de cada cantón, lo que abarca la planificación y el ordenamiento territorial. Esto les permite tomar decisiones para optimizar el uso del territorio, incluyendo la conservación ambiental. Por su parte, el artículo 170 establece que las corporaciones municipales son autónomas. Sin embargo, la autonomía no equivale a soberanía, ya que implica cierto grado de subordinación a un poder superior, en este caso, el Estado. Aunque las municipalidades gozan de autonomía en la gestión de sus asuntos, siguen sujetas al marco legal estatal (Peña, 2008).

La Ley Orgánica del Ambiente N°7554, en su artículo 2 establece que el Estado debe velar por la utilización racional de los elementos ambientales, y se encuentra obligado a propiciar un desarrollo económico y ambientalmente sostenible; de esta manera las municipalidades están obligadas a promover modelos de desarrollo sostenibles a nivel local. También, reconoce en su artículo 28 que es función de las municipalidades, junto con el Estado y otros entes públicos, definir y ejecutar políticas nacionales de ordenamiento territorial, que regulen y promuevan los asentamientos humanos y las actividades económicas y sociales de la población, y el desarrollo físico-espacial, con el fin de lograr la armonía entre el mayor bienestar de la población, el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del ambiente. En su artículo 32, define que, aunque el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) administra las áreas silvestres protegidas, las municipalidades tienen el deber de colaborar en su preservación, apoyando acciones para proteger espacios como reservas forestales, zonas protectoras, parques nacionales, humedales y otros.

La Ley Forestal N°7575 en su artículo 6, inciso f, que la Administración Forestal del Estado tiene dentro de sus competencias, coordinar el control forestal y fiscal con las municipalidades y otros entes. Y en su artículo 45 se establece que las municipalidades están autorizadas para incluir, en sus presupuestos, las partidas anuales que estimen convenientes para contribuir a los proyectos de la Administración Forestal del Estado; y que prestarán su colaboración al MINAE para cumplir con los fines de la Ley Forestal. Por otro lado, el artículo 19 y el artículo 20 de la Ley de Planificación Urbana N°4240, cada municipalidad emitirá y promulgará las reglas procesales necesarias para el debido acatamiento del plan regulador y para la protección de los intereses de la salud, seguridad, comodidad y bienestar de la comunidad, reglamentos que contendrán normas y condiciones

para promover una relación armónica entre los diversos usos de la tierra; y rehabilitación de áreas y prevención de su deterioro.

La Ley de Biodiversidad N°7788, establece en su artículo 8, que las propiedades privadas deben cumplir con una función ambiental como parte de su función económica y social. Este principio refuerza la capacidad municipal para exigir medidas que protejan el entorno natural, incluida la cobertura arbórea, en propiedades dentro de su jurisdicción. Y en su numeral 52, define que los planes o las autorizaciones de uso y aprovechamiento de recursos minerales como el suelo y otros recursos naturales, así como la ubicación de desarrollos agrícolas, emitidos por los municipios, considerarán particularmente en su elaboración, aprobación e implementación, la conservación de la biodiversidad y su empleo sostenible, en especial cuando se trate de planes o permisos que afecten la biodiversidad de las áreas silvestres protegidas.

La Sala Constitucional en su voto 519-97 estableció la obligación de las municipalidades de adoptar medidas razonables y proporcionales con el fin de preservar el medio ambiente, y en su voto 644-99 sentenció que los gobiernos locales deben asumir la tarea de dictar medidas que permitan cumplir con los requerimientos constitucionales. A su vez, las sentencias constitucionales No. 14560-2008 y 18471-2008 dicen que:

Las municipalidades, como parte integrante del todo que es el Estado, tienen dentro del ámbito de sus competencias y obligaciones una alta dosis de responsabilidad en materia ambiental... a los gobiernos locales les alcanza la obligación de coordinación y prevención en materia ambiental dentro del ámbito de su jurisdicción territorial, de donde resulta que ciertamente las municipalidades son actores importantes en la tarea de protección al ambiente.

Por lo tanto, las municipalidades y sus controles territoriales deben estar alineados con el derecho que tiene la ciudadanía costarricense de disfrutar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, tal como lo establece la Constitución Política.

Recomendaciones Técnicas

En Costa Rica, diversas investigaciones han definido un conjunto de recomendaciones técnicas para el manejo del cultivo de banano, con un enfoque en la conservación del suelo y la mitigación del impacto ambiental asociado a su producción.

Una de las estrategias fundamentales es la incorporación de árboles en las fincas a través de la implementación de barreras de vegetación. Estas consisten en hileras o franjas de diversas especies arbóreas sembradas en sitios estratégicos, particularmente en zonas

cercanas a caminos y cuerpos de agua, con el propósito de fortalecer la estabilidad del suelo y reducir la erosión. Además, estas barreras funcionan como rompevientos, lo que contribuye a disminuir la velocidad del viento y a prevenir la pérdida de fertilidad del suelo causada por la erosión eólica (MAG y MINAE, 2022). Otra medida clave es la implementación de sistemas de drenaje adecuados, los cuales ayudan a evitar la acumulación excesiva de agua y a prevenir la compactación del suelo, un problema recurrente en la producción intensiva de banano (Vargas *et al.*, 2017).

El establecimiento de barreras vegetativas no solo representa una estrategia eficaz de conservación del suelo, sino que también es una forma de reforestación con múltiples beneficios ambientales. La implementación de estas barreras varía según los objetivos específicos de cada finca y puede ubicarse en áreas estratégicas como caminos, ecosistemas acuáticos o zonas de infraestructura, como viviendas y centros de procesamiento. En particular, cuando se establecen cerca de ríos, estas barreras favorecen la regeneración del bosque ribereño, la protección de la fauna y la conservación del recurso hídrico (GIZ, 2019).

En el marco de las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA por sus siglas en inglés) agropecuarias, se han desarrollado estrategias con una base técnica sólida y un enfoque práctico para el sector productor de musáceas. Aunque estas medidas están principalmente orientadas a la mitigación de gases de efecto invernadero y a la adaptación a la variabilidad climática con el fin de promover una producción baja en carbono, también incluyen elementos aplicables a la planificación territorial y al reglamento del plan regulador.

Entre las acciones propuestas se encuentra el incremento de la cobertura arbórea en zonas urbanas e industriales dentro de las fincas, así como en áreas colindantes con caminos y ríos, con el objetivo de establecer barreras protectoras. Asimismo, se ha identificado que muchas fincas mantienen áreas sin uso agrícola debido a limitaciones relacionadas con la calidad del suelo, el drenaje o la ubicación. En estos terrenos, se sugiere la siembra de árboles con una meta de al menos dos hectáreas por finca, con una densidad de 250 árboles por hectárea, lo que representaría la plantación de 500 árboles nuevos por finca. Esta práctica contempla no solo la siembra, sino también el mantenimiento, la identificación y el seguimiento de cada árbol para garantizar su desarrollo (MAG y MINAE, 2022).

Es fundamental la implementación de planes de manejo de bosques dentro de las fincas para garantizar la protección y el mantenimiento continuo de las áreas reforestadas.

Dichos planes deben considerar las especies vegetales más adecuadas según su compatibilidad con el ecosistema circundante, con el fin de maximizar los beneficios ambientales con estas iniciativas.

Zonificación Agrícola y Estrategias Ambientales en Planes Reguladores Vigentes

La Municipalidad debe considerar la planificación no como una estructura estática y predefinida, sino como un proceso dinámico y flexible con posibilidades de modificación e incorporación de nuevos objetivos, e incluso, en algunos casos, de reversión total de objetivos, para lograr una reformulación apropiada al ambiente y a la situación real, principalmente después de medir el cumplimiento de sus indicadores y según las características de que les fije la coyuntura económica y social.

A partir de la revisión de siete planes reguladores cantonales se generó la Tabla 9 donde se incluye el nombre del cantón, la aprobación del plan regulador por parte del INVU y el año oficial de publicación, los reglamentos del plan regulador asociados a la temática de interés sobre usos del suelo y zonas agrícolas o agropecuarios, los tipos de zonificación asociadas a usos agrícolas definidos en cada plan regulador o en cada reglamento y la existencia de estrategias ambientales para los usos agrícolas de suelo que permitan regular o controlar estas actividades.

Tabla 9

Matriz comparativa de información contenida en siete planes reguladores vigentes

Cantón: Cartago	
Aprobación INVU y año de publicación	Sí, 2024.
Reglamentos asociados	Reglamento de Zonificación. Reglamento de desarrollo sostenible.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zonas agropecuarias: estarán destinadas al desarrollo productivo y turístico. Se establecen vínculos con el recurso agrícola, avícola, pecuario, piscicultura y la reforestación bajo las buenas prácticas ambientales en el entendido que son zonas de protección agropecuaria. Dentro de sus objetivos es cumplir funciones de contención del crecimiento urbano y zonas de amortiguamiento entre las zonas de protección, así como del fortalecimiento del paisaje natural y la calidad ambiental del cantón. Se permitirá, de manera condicionada, el desarrollo de agroindustrias bajo el juicio de sostenibilidad.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Se establecen distintos lineamientos ambientales generales para uso agropecuario del Reglamento de Desarrollo Sostenible. Reservorio de aguas pluviales en zonas agrícolas: La construcción de reservorios de aguas pluviales con fines de riego requiere tramitar el respectivo permiso de construcción y de previo se debe obtener

	certificado de uso de suelo de acuerdo con el Reglamento de Zonificación.
Cantón: Buenos Aires	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2004.
Reglamentos asociados	Reglamento de zonificación.
Zonificación asociada a usos agrícolas	-Zona Agrícola Industrial: El propósito de la zona es permitir el cultivo intensivo de la piña y otros cultivos que son determinantes para el desarrollo de la zona del cantón de Buenos Aires, definiendo las áreas de extensión agrícolas, de acuerdo a las necesidades de expansión del cultivo de los mismos. Usos Permitidos: Agrícola extensivo de la piña y otros cultivos. -Zona "Retiro Agrícola": El propósito de esta zona es proteger la población civil en resguardo de las áreas de producción agrícola de piña donde eventualmente se deben de irrigar con funguicidas u algún otro elemento nocivo para la salud. En este sentido se ha consultado al Ministerio de Salud para efectos de crear un "colchón" de amortiguamiento entre las zonas urbanas y las zonas de siembras. Estas deberán ser habilitadas por la compañía encargada de la siembra de la piña en sus terrenos. Usos Permitidos: Se permitirá solamente el uso de reforestación forestal en las zonas de retiro. Retiro de 8,0 m paralelos a la línea límite de desarrollo de la población urbana.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	No.
Cantón: Grecia	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2006.
Reglamentos asociados	Reglamento de Zonificación.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zona Agrícola y Desarrollo Condicionado: Son aquellos sectores con características agrícolas y condición rural, pero que por situación geográfica presenta potencial para el desarrollo urbano. Zona Agroforestal: Área de carácter rural, destinada para el uso agrícola y las actividades forestales con la finalidad de preservar la captación hídrica y favorecer algunas actividades agrícolas sostenibles, agropecuaria intensiva y forestal existente o futura. Cumple funciones de amortiguamiento con la Reserva Forestal de Grecia, así como al fortalecimiento del paisaje y de la calidad ambiental del cantón. Estas son áreas muy restrictivas para ser urbanizadas. Zona Agropecuaria: Zona de carácter rural, que se reserva para el uso agropecuario con la finalidad de preservar y consolidar la actividad agrícola y agropecuaria existente. Cumple funciones de contención del

	crecimiento urbano. Estas son áreas muy restrictivas para ser urbanizadas.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Establece para el Uso de suelo Agropecuario una serie de Mitigación de impactos: -Planes de Gestión: Se solicitará copia de los Planes de Gestión de desechos sólidos, líquidos y gaseosos. -Tecnologías limpias: Las actividades deberán hacer uso de tecnologías limpias y promover la protección del medio ambiente.
Cantón: Paraíso	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2023.
Reglamentos asociados	Reglamento de zonificación. Reglamento de desarrollo sostenible.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zona Agropecuaria: Zona destinada a la producción agropecuaria que presenta diferentes características en cuanto a la capacidad de uso de la tierra... la Municipalidad de Paraíso podrá requerir al interesado la presentación de un estudio de uso, manejo y conservación de suelos y aguas emitido de conformidad con la legislación nacional.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Sí. Lineamientos ambientales generales para las zonas de uso agropecuario. Por la extensión del texto no se incluye en esta Tabla, pero se puede revisar en el Reglamento de desarrollo sostenible de Paraíso.
Cantón: La Unión	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2023.
Reglamentos asociados	Reglamento de Zonificación.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zona agroforestal: comprende terrenos característicos por la belleza del paisaje, la existencia de bosque, tomas de agua, caminos pintorescos, zonas de uso agrícola y pecuario, terrenos de pendientes onduladas, quebradas y muy quebradas y muy bajas densidades de desarrollo. Zona de amortiguamiento de zonas protegidas: comprende terrenos paralelos a los límites de las áreas silvestres protegidas. El propósito es el de prevenir, contener y/o mitigar el impacto directo e indirecto del desarrollo de actividades humanas sobre los límites de las Zonas Protegidas, por medio de un espacio que mitigue el efecto de borde.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Cuenta con una política ambiental y una estrategia de conservación que establece la realización de programas y proyectos de: <i>Reforestación y recuperación natural de la cobertura vegetal en las zonas de protección forestal, y la Implementación de las zonas de amortiguamiento.</i> Incentivos para protección ambiental: "...la aplicación de incentivos fiscales mediante procedimientos previamente reglamentados, entre ellos una disminución en los montos de los impuestos por bienes inmuebles." i. Para el caso de fincas que resulten restringidos en su cabida o en cuanto al uso del suelo por estar afectados, total o parcialmente, por zonas de conservación o protección de recursos

	naturales. ii. Para el caso de fincas en las cuales existan y se mantengan, amplíen o desarrollen procesos de reforestación y/o conservación de la cobertura forestal. iii. Para el caso de fincas donde existan o se quieran implementar proyectos de agricultura ecológica, conforme a lo establecido para tales efectos por la Ley Orgánica del Ambiente.
Cantón: San Isidro	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2005.
Reglamentos asociados	Reglamento de Zonificación.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zona Agropecuaria: Por medio esta se pretende mantener las actividades agropecuarias en la zona, cautelares terrenos para mantenerlos al margen de la urbanización y desarrollar espacios de amortiguamiento en aras de un desarrollo humano y natural sustentable. Se divide en Zona Agropecuaria Regular donde prevalece el uso agropecuario, pero se permite actividades de otra índole, y en Zona Agropecuaria Especial que prevista como una alternativa para el desarrollo residencial futuro.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Se definen normas generales para la protección del recurso hídrico superficial y subterráneo, y normas generales para protección de recursos naturales donde se incluyen: -Para la conservación de los suelos agrícolas del cantón, deberán implementarse las normas establecidas en los siguientes artículos del Reglamento a la Ley de Uso Manejo y Conservación de Suelo No. 7779.
Cantón: Siquirres	
Aprobación INVU y año de publicación	Si, 2022.
Reglamentos asociados	Reglamento de Zonificación del Uso del Suelo.
Zonificación asociada a usos agrícolas	Zona Agrícola 1, 2 y 3: Las zonas agrícolas se clasificarán de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra y los niveles de fragilidad establecidos por el Índice de Fragilidad Ambiental, las tres zonas planteadas presentan diferentes niveles de ocupación antrópica y condiciones de usos dictaminadas por sus cualidades ambientales. El primer nivel tiene una condición de mayor restricción de ocupación debido a su fragilidad acuífera y a su cercanía con las zonas con humedales y zonas bajas; el segundo con niveles de fragilidad intermedios, pero en zonas con mayores pendientes y mayor cobertura boscosa, especialmente al sur de la ruta 32; el tercero más general tiene niveles de fragilidad intermedios, asociados con áreas de producción agropecuarias cercanas a la infraestructura instalada, en especial caminos de orden nacional.
Estrategias ambientales para uso suelo agrícola	Se establecen recomendaciones ambientales para las diferentes zonas agrícolas: 1. Conservar los potreros con árboles, las zonas de protección de ríos. Se recomienda en la medida de lo posible conservar estos agro paisajes

	con fines culturales y biológicos, siempre implementando medidas de conservación de suelo y agua. Implementación de proyectos de reforestación en los pastizales de fuerte pendiente para fomentar los corredores biológicos dentro del cantón, con las áreas ribereñas. 2. Se recomienda prácticas de conservación de suelo y agua en las diferentes actividades agropecuarias aun cuando estos suelos presentan pocas limitantes agroecológicas. 3. Promover la estructuración de zonas verdes y reforestaciones para favorecer los procesos de infiltración. Aplicar la ley de aguas, política de buenas prácticas agrícolas y agricultura orgánica. 4. Fortalecer el Corredor Biológico Moín-Tortuguero y Volcánica Central-Talamanca. Fomentar la presencia de cercas vivas en las propiedades de tal forma que se favorezca la diversidad de especies. A través de pagos de servicios ambientales a propietarios privados por la conservación de bosques secundarios y por terrenos con proceso de regeneración natural, creación de proyectos de reforestación con especies nativas y pioneras con fines de conservación, Fomentar la presencia de cerca vivas en las propiedades de tal forma que se favorezca la diversidad de especies. Estos proyectos deben ser realizados en común acuerdo con los propietarios privados de la zona. Limitar las construcciones en estas zonas debido a la alta probabilidad de deslizamiento. Establecer un monitoreo de las obras civiles existentes con el fin de prevenir deterioros. 5. Promover la rehabilitación de las zonas de protección de ríos y quebradas Elaborar una caracterización hidrogeológica de este sitio mediante un estudio detallado. Realizar un estudio de recarga acuífera mediante un balance hídrico de suelos. Proteger el recurso hídrico superficial y subterráneo de la zona mediante: conservación de la zona de protección de ríos y quebradas, conservación y ampliación de la cubierta boscosa actual. 6. Limitar el espacio para la construcción, debido a la predominancia de relieves altos a muy pronunciados y la estabilidad de ladera sumamente reducida ya que terrenos de esta categoría se califican como zonas con altas limitaciones para la ocupación humana permanente por riesgo de deslizamiento. Establecer un plan de monitoreo de los deslizamientos usando mediciones geodésicas y estudios geotécnicos de campo.
--	---

Discusión

Cambios en las Coberturas y Usos de Suelo en el Cantón de Matina

El análisis de los cambios en la cobertura y uso del suelo (CCUS) en el cantón de Matina, a partir de la metodología aplicada con imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica (SIG), reveló que el cultivo de banano ocupa una proporción considerable del territorio, constituyéndose como el tercer tipo de cobertura con mayor extensión en la región. Entre 1998 y 2024, se identificaron transformaciones significativas en la estructura paisajística que implicaron una reducción en la cobertura boscosa y un aumento en las áreas destinadas al monocultivo, configurando un patrón de cambio ambiental que refleja la falta de regulación efectiva sobre la actividad agrícola en el cantón.

El decrecimiento de la cobertura boscosa densa, que pasó de representar el 51,36% del territorio en 1998 al 48,61% en 2024, así como la reducción drástica de la cobertura arbórea fragmentada, que disminuyó de 17,11% en 1998 a 12,89% en 2024, evidenció que existe una presión constante sobre los ecosistemas forestales. En paralelo, la expansión del monocultivo de banano representó uno de los cambios más notorios, con un incremento del 4,78% en la cobertura territorial dedicada a este monocultivo, lo que equivale a la conversión de 3908,02 ha, de las cuales 2088,11 ha eran originalmente áreas de cobertura arbórea. Este fenómeno es consistente con patrones históricos de expansión agrícola en la región caribeña y plantea desafíos en términos de sostenibilidad en el uso de los recursos naturales como el suelo (Montero y Viales, 2016).

No obstante, los valores de superficie transformada entre los distintos años analizados no permiten visualizar con precisión las áreas de intercambio entre las coberturas, ni determinar si estas experimentaron modificaciones espaciales al interrelacionarse con otras. Para abordar esta limitación, se identificaron las tasas de cambio de cobertura en función de ganancias y pérdidas (desde y hacia otras categorías) derivadas del uso del suelo. A través de la matriz de tabulación cruzada obtenida, se determinó que la expansión de la frontera agrícola bananera representó el 31,84% de los cambios observados, y que ocurrió a expensas de la tala de árboles. La expansión del monocultivo de banano se enmarca en una política agrícola neoliberal basada en un modelo de promoción de exportaciones que continúa priorizando el sector primario agroexportador, lo que contribuye a la expansión de las fronteras agrícolas sin una regulación efectiva que limite su impacto ambiental (Obando, 2020).

El hecho que el 53% de la expansión de banano ocurriera a expensas de la tala de árboles no es un fenómeno aislado, sino que se enmarca en un patrón global en el que la expansión de cultivos intensivos representa una de las principales causas de la deforestación y de la pérdida de biodiversidad (Lejía y Mendoza, 2021). La conversión de 549,34 hectáreas de bosque en plantaciones bananeras constituye una violación a la Ley Forestal, y pone de manifiesto que la municipalidad propicia condiciones favorables para el desarrollo de la agroindustria bananera mediante el otorgamiento de permisos de uso de suelo, y al mismo tiempo contribuye a las problemáticas derivadas de su expansión debido a omisiones a normativas vigentes y a la falta de mecanismos efectivos de fiscalización en los sistemas de producción.

También se constató el incumplimiento de la normativa referente a los retiros de protección en ríos y quebradas, lo que compromete la provisión de servicios ecosistémicos esenciales de estos cuerpos de agua y de los bosques ribereños, como la regulación del ciclo hidrológico, la prevención de la erosión del suelo y la captura de carbono (Monárrez *et al.*, 2018; Lejía y Mendoza, 2021). La protección de estas áreas es un mandato de interés público y debe ser prioritaria en cualquier estrategia de ordenamiento territorial. Sin embargo, la falta de aplicación efectiva de la legislación evidencia las limitaciones de la municipalidad y otras entidades como el MINAE y el SICAC en la regulación y fiscalización ambiental. Esta situación refleja cómo la reducción del control estatal, impulsada por políticas neoliberales, ha facilitado la instrumentalización del territorio en función de intereses particulares y dinámicas de poder del capital (Obando, 2020).

El avance de la frontera bananera, concentrado en las llanuras del cantón, ha intensificado la presión sobre los humanos, definidos como tejidos urbanos discontinuos, y ha agravado la posibilidad que existan conectividad entre las Áreas Silvestres Protegidas (ASP), afectando la interconexión entre ecosistemas costeros y aquellos situados en las zonas altas de la cordillera. La omisión del municipio en el ejercicio de su competencia en materia de planificación ha sido un factor determinante en estas afectaciones ambientales, lo que lo hace directamente responsable de este deterioro. Esto constituye un incumplimiento del artículo 52 de la Ley de Biodiversidad, que establece la obligación de garantizar la conservación de la diversidad y su empleo sostenible.

Dado que las condiciones del suelo y la pendiente en estas áreas no son aptas para la siembra de cultivos (SINAC, 2016), la agroindustria ha consolidado su presencia en las llanuras, apropiándose de los espacios más convenientes para su producción, a costa del recurso forestal y del bienestar de las comunidades que viven rodeadas de esta actividad.

En muchas zonas, las plantaciones se han extendido hasta los márgenes de viviendas, escuelas y otros espacios de uso comunitario, exponiendo a la población a impactos ambientales y sobre la salud (Blanco, 2018).

En cuanto a la cobertura de pastos y ganadería, aunque se observa una ligera variación con un incremento del 0,24%, equivalente a un cambio neto de apenas 186,63 ha, se mantiene la presencia de este uso del suelo como una actividad relevante dentro del cantón. Se determinó que la mayor conversión de cobertura arbórea se dió hacia esta cobertura, ya que presentó tasas de transformación elevadas, con una notable diferencia entre el área ganada y el área perdida, el cambio total superó las 8000 ha, lo que indica un dinamismo significativo en su uso. Cabe resaltar que 1793,58 ha de esta cobertura pasaron a ser terrenos dedicados a la producción de banano. Esto sugiere un patrón en el cual la cobertura arbórea es inicialmente convertida en pastizales, para luego ser destinadas a usos agrícolas. Dicho patrón es consistente con la relación entre la expansión agrícola y la reducción de la cobertura forestal en contextos rurales, consolidándose como un factor clave en los cambios de uso del suelo a nivel mundial (Agni *et al.*, 2018).

Los CCUS en el área de estudio también reflejan una leve expansión urbana. Aunque su crecimiento se mantiene dentro de los mismos núcleos de población, estos han extendido sus límites, generando implicaciones en la transformación del territorio. Este proceso no solo implica una mayor ocupación física del suelo, sino también una modificación funcional, debido a la necesidad de desarrollar infraestructura asociada, como vías de acceso, servicios básicos, equipamiento urbano y zonas comerciales. Esto contribuye a una transformación más amplia del paisaje y puede generar efectos sinérgicos con otros factores de cambio, intensificando la presión sobre las coberturas arbóreas remanentes.

El incremento significativo en otros cultivos sugiere una diversificación agrícola regional. Destaca particularmente el crecimiento del cultivo de palma aceitera, impulsado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Instituto de Desarrollo Agrario, bajo la promoción de un Decreto Ejecutivo en 2002, donde se declaró a Matina como un cantón con condiciones óptimas para la producción de palma (Ureña, 2004; INDER, 2016). Sin embargo, estos sembradíos se ubican en pequeños terrenos aislados unos de otros, alejándose de una lógica monocultivista para su producción.

Es importante señalar que la clasificación supervisada puede estar sujeta a errores de interpretación, especialmente en áreas con patrones de cobertura complejos, y que la

resolución de las imágenes satelitales (30 metros) puede dificultar la detección de cambios en áreas de menor extensión o con coberturas mixtas.

Alteraciones en la Conectividad Estructural del Paisaje

Se realizó un primer acercamiento al cálculo de la conectividad estructural del cantón, a partir del análisis de la estructura del paisaje en una escala espacial y temporal específica. No obstante, dado que la conectividad es un concepto amplio y complejo, los resultados obtenidos deben complementarse con datos biológicos y ecológicos para evaluar con mayor precisión su impacto en la ecología del paisaje, por ejemplo, integrar información sobre el uso de hábitats por parte de las especies, la dispersión de organismos y otros factores ecológicos permitirá afinar el análisis y desarrollar estrategias efectivas para la gestión territorial y la conservación (Marín, Toro y Unibe, 2008). Se determinó que la fragmentación de los ecosistemas forestales, producto de la conversión de coberturas arbóreas en usos no forestales, ha afectado la conectividad estructural del cantón de Matina. Esta conectividad, entendida como el grado en que el paisaje facilita o restringe el movimiento entre parches de hábitat, influye directamente en la funcionalidad ecológica de los ecosistemas (Isaacs-Cubides *et al.*, 2017).

El fenómeno de la pérdida de la conectividad estructural se manifestó principalmente en la cobertura arbórea fragmentada. Entre los años de estudio, el número de parches se duplicó y la densidad de parches por cada 100 ha aumentó, lo que indica una configuración espacial fragmentada. Este proceso está respaldado por el incremento del índice de división, que sugiere una mayor segmentación del paisaje forestal. A pesar de que se identificó una disminución en la cohesión del paisaje, su magnitud es insuficiente para influir significativamente en el análisis.

Por otro lado, la cobertura boscosa densa mostró una evolución distinta. Aunque el número de parches aumentó, la densidad de estos disminuyó y la cohesión del paisaje se mantuvo estable. Esto sugiere que los parches de bosque existentes en 1998 han crecido y se han concentrado en áreas específicas, lo que puede explicarse por un proceso de densificación forestal, donde bosques abiertos o semiabiertos se han transformado en bosques cerrados (Correa et al., 2014). Sin embargo, esta evolución no implica una mejora en la conectividad ecológica, ya que la expansión agrícola se ha desarrollado principalmente en zonas donde los parches de bosque denso ya se encontraban aislados, lo que ha profundizado su desconexión con el resto del paisaje natural.

La disminución en la conectividad estructural y la consecuente fragmentación del hábitat son problemas ambientales que sufre el cantón. Y aunque el análisis de la estructura del paisaje a través de CCUS demostró que se ha generado una fuerte presión sobre los recursos naturales de Matina por la expansión agrícola, los procesos de transformación antrópica han configurado un paisaje donde también las coberturas del suelo con pastos, asociadas en ocasiones a la actividad ganadera, han remplazado las coberturas arbóreas y por tanto, también han incidido sobre la conectividad estructural. Estos cambios reflejan dinámicas de presión sobre los ecosistemas naturales y resaltan la importancia de fortalecer estrategias de planificación territorial que integren criterios de conservación ambiental. En un cantón donde la actividad agrícola es un motor económico, pero también un factor de impacto sobre los recursos naturales resulta fundamental implementar regulaciones que equilibren el desarrollo productivo con la sostenibilidad ecológica.

Como estrategia de mitigación, la conectividad puede abordarse desde diferentes enfoques, incluyendo restauración, rehabilitación y recuperación del paisaje (Isaacs-Cubides *et al.*, 2017). Estos enfoques incluyen la reconversión de sistemas productivos con prácticas conservacionistas, la reducción de presiones sobre los ecosistemas o áreas protegidas, y la integración de la conectividad estructural como herramienta para la gestión territorial (Arias, Madrigal y Vargas, 2021). A nivel municipal, se podrían regular estas acciones y así priorizar la restauración de cobertura arbórea en áreas estratégicas.

En el caso de Matina, la desconexión entre las áreas silvestres protegidas ubicadas sobre el litoral del Caribe y el Parque Nacional Barbilla es una de las principales problemáticas en términos de conectividad ecológica. En ese contexto, promover acciones de restauración en los márgenes de las quebradas o ríos que permitan conectar los nodos boscosos prioritarios debería considerarse una prioridad municipal dentro de la planificación municipal a ser aplicada mediante el marco legal que las ampara (Arias, Madrigal y Vargas, 2022).

Propuestas para el Reglamento del Plan Regulador en Contextos de Expansión Bananera

La ausencia de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que establezca zonificaciones y delimite áreas aptas para la actividad agrícola ha dificultado el control efectivo del territorio, permitiendo una expansión acelerada de la producción bananera a un ritmo promedio de 142 ha por año. Este proceso ha generado una transformación

paisajística en el cantón, directamente vinculada con las decisiones de quienes tienen acceso a la tierra y con la subordinación del suelo al capital (Arrieta, 2010; Montero y Viales, 2016).

La revisión de la legislación y normativa vigentes demostró que los gobiernos locales tienen la potestad legal de armonizar el bienestar de la población con el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación ambiental, lo que implica la regulación efectiva del uso del suelo y la imposición de límites y limitaciones sobre las actividades productivas en propiedad privada. En ese sentido, el POT no solo debe establecer criterios para la aprobación de nuevas solicitudes de uso de suelo destinadas a la producción bananera, sino también mecanismos de intervención en fincas agrícolas en operación a través de la fiscalización de sus patentes municipales.

La municipalidad tiene la obligación de velar por el cumplimiento de la normativa ambiental y subsanar sus actuaciones u omisiones en la regulación del territorio, garantizando la protección de las zonas legalmente resguardadas. Esto requiere que, al momento de renovar una patente municipal, se verifique el respeto a los retiros establecidos en la Ley Forestal, ejerciendo su facultad para revocar autorizaciones en caso de incumplimiento. Para ello, se debe impulsar un diálogo efectivo con los propietarios de fincas bananeras para fomentar la reforestación en zonas legalmente protegidas, como una estrategia clave para compensar los impactos ambientales.

En este contexto, la municipalidad no solo debe emitir y hacer cumplir las normativas necesarias para garantizar la protección ambiental, sino también asumir la responsabilidad de corregir las afectaciones generadas por la falta de regulación (Peña, 2008). Esto incluye la implementación de medidas concretas para la recuperación de los ecosistemas afectados y el fortalecimiento de los mecanismos de fiscalización, asegurando que el desarrollo productivo del cantón no se lleve a cabo en detrimento del equilibrio ambiental y del derecho a un entorno sano.

El análisis comparativo de los planes reguladores cantonales evidenció disparidades en la regulación del uso del suelo agrícola y las estrategias ambientales implementadas. Cantones como Cartago y Paraíso han incorporado recientemente reglamentos de desarrollo sostenible, lo que les ha permitido establecer lineamientos ambientales estrictos en la regulación territorial. En contraste, Buenos Aires, a pesar de ser altamente dependiente de la producción de monocultivo para la exportación, carece de estrategias ambientales claras dentro de su ordenamiento territorial. Así mismo, se identificó que otros cantones afectados por la expansión de monocultivos, como Los Chiles y Upala, no cuentan

con planes de ordenamiento territorial aprobados, lo que limita la capacidad de los gobiernos locales para aprobar o rechazar usos de suelo y mitigar los impactos ambientales de la expansión agrícola (Rodríguez y Prunier, 2020). La revisión de estos casos permitió el desarrollo de estrategias ambientales para ser incorporadas en el reglamento del plan regulador, que permitirán que la municipalidad recupere su capacidad de regulación y garantice un equilibrio entre la actividad agrícola y la conservación del territorio.

A nivel de estrategia ambiental, se destaca la necesidad de considerar los ríos Barbilla y Chirripó, que confluyen para formar el río Matina, como corredores potenciales para la restauración ecológica a través de la implementación de bosques ribereños. La recuperación de estos ríos permitiría la interconexión de los nodos prioritarios de cobertura arbórea, facilitando la creación corredores ecológicos que atraviesen el cantón en su llanura. Esta estrategia fortalecería la conectividad estructural del paisaje y contribuiría a su conservación, además de actuar como una medida de adaptación frente al aumento de temperaturas derivado del cambio climático (Lejía y Mendoza, 2021). Cualquiera que sea la estrategia de conectividad adoptada por la Municipalidad, es imperativo establecer un sistema de monitoreo que permita evaluar su evolución en el tiempo y determinar su efectividad en función de indicadores previamente definidos. Este monitoreo es un prerequisite esencial para un posterior análisis de conectividad funcional.

Este estudio subraya la importancia de fortalecer la gobernanza ambiental local, dotando a las municipalidades de recursos y capacidades para una gestión efectiva a través de la planificación y del ordenamiento territorial. La implementación de las estrategias desarrolladas en la Propuesta de Mejora requiere no solo del compromiso institucional de la municipalidad, sino también de una articulación con actores sociales y productivos del cantón, de manera que se construyan mecanismos colectivos de regulación y restauración.

La ausencia de una regulación efectiva ha facilitado la conversión de ecosistemas naturales en plantaciones comerciales, lo que compromete la sostenibilidad del territorio a largo plazo. Los futuros CCUS en el cantón serán el resultado del balance entre diversos factores incluyendo tendencias institucionales, socioeconómicas y ambientales. La formulación de un plan regulador que garantice un desarrollo social basado en un uso sostenible de los recursos naturales (Dupuy et al., 2012), junto con la implementación de estrategias para mejorar la conectividad estructural mediante la restauración de bosques ribereños y la fiscalización del uso del suelo, resulta fundamental para asegurar un balance entre la actividad agrícola y la resiliencia del paisaje en Matina.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El análisis de los cambios en la cobertura y el uso del suelo (CCUS) en el cantón de Matina, realizado mediante imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitió identificar transformaciones significativas en el paisaje entre 1998 y 2024. Se evidenció que la expansión del monocultivo de banano ha sido un motor clave en estos cambios, con un incremento del 4,78% en su superficie, principalmente en las llanuras del cantón.

El avance de la frontera agrícola ha generado una presión constante sobre los ecosistemas forestales. Se determinó que 2088,11 ha de coberturas arbóreas fueron transformadas en áreas agrícolas, de las cuales 549,34 ha correspondían a bosque denso, en incumplimiento de la Ley Forestal. Este proceso pone en evidencia la limitada capacidad de la municipalidad y de otras instituciones como el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) para fiscalizar y garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental.

La conectividad estructural del paisaje en el cantón de Matina ha sido severamente afectada por la fragmentación de los ecosistemas forestales, producto de la expansión agrícola y por su transformación en pastizales. La cobertura arbórea fragmentada experimentó un aumento en el número de parches y una mayor densidad de estos, lo que indica una configuración espacial segmentada. Aunque la cobertura boscosa densa mostró cierta estabilidad en términos de cohesión, su aislamiento se ha profundizado debido a la expansión agrícola en zonas circundantes.

La conectividad estructural del paisaje al verse comprometida limita el movimiento de especies y la resiliencia de los ecosistemas. Se identificó que los ríos Barbilla, Chirripó y Matina son áreas clave para la restauración ecológica, ya que la recuperación de sus bosques ribereños podría mejorar la conectividad entre el Parque Nacional Barbilla, Reserva Forestal Río Pacuare y los ecosistemas costeros, y contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático. Así como la restauración del río Toro y río Cuba para aumentar la conectividad del Corredor Biológico Cordillera a Cordillera.

Las autoridades municipales cuentan con herramientas legales para equilibrar el desarrollo productivo con la conservación ambiental; sin embargo, su implementación ha

sido deficiente. Desde una perspectiva de planificación territorial, se confirma la urgencia de fortalecer la capacidad de gobernanza ambiental de la municipalidad para fiscalizar el cumplimiento de la normativa, controlar la expansión agrícola y proponer acciones de compensación ante el impacto del monocultivo de banano.

La ausencia de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) ha permitido que la toma de decisiones sobre el uso del suelo quede en manos de sectores económicos, subordinando el territorio al capital sin regulaciones claras que equilibren el desarrollo productivo con la protección ambiental. En un cantón donde la actividad agrícola es un motor económico, pero también un factor de presión sobre los recursos naturales resulta imperativo incorporar estrategias conservacionistas en la regulación municipal. Estas deben estar orientadas a la restauración de áreas boscosas y a la creación de corredores ecológicos que mitiguen los efectos adversos de los cambios en el uso del suelo.

El uso de herramientas de análisis espacial y monitoreo satelital resulta fundamental para los gobiernos locales, ya que permite evaluar la evolución de la cobertura del suelo en el tiempo, generar información base para la toma de decisiones y diseñar modelos predictivos orientados a la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales productivos.

Resulta fundamental involucrar a las comunidades locales en este proceso de planificación territorial, mediante mecanismos participativos que aseguren la inclusión de actores clave en la toma de decisiones. La participación activa de la ciudadanía no solo fortalece la legitimidad de las propuestas que se harán al plan regulador cantonal, sino que también garantiza su efectividad, al incorporar conocimientos locales, generar compromiso colectivo y promover soluciones adaptadas a las realidades del territorio.

La incorporación las estrategias ambientales en el Reglamento del Plan Regulador permitirá reducir la presión sobre ecosistemas clave del cantón de Matina, además la implementación paulatina de las medidas definidas en la propuesta, acompañada de monitoreo ambiental, participación comunitaria e incentivos económicos, constituye una ruta viable para armonizar los intereses productivos con la conservación de los bienes naturales comunes. La propuesta presentada busca sentar las bases para un modelo replicable en otros cantones de la región caribeña, donde la agricultura intensiva coexiste con ecosistemas de alta fragilidad y valor ecológico.

Recomendaciones

La municipalidad de Matina debe priorizar la aprobación de su POT y su respectivo reglamento, incorporando directrices claras sobre la expansión agrícola y la protección de zonas de alto valor ecológico. Este plan debe contemplar regulaciones específicas para la actividad bananera y a la actividad ganadera (agropecuaria), estableciendo zonas de protección ambiental y corredores ecológicos como parte de una estrategia de restauración forestal, utilizando estrategias de reforestación y conservación de fragmentos boscosos.

Se recomienda crear una unidad técnica municipal encargada del monitoreo de la conectividad estructural y posteriormente la conectividad funcional. Esta unidad debería contar con personal capacitado en el uso de SIG y teledetección, así como con un presupuesto adecuado para operar de manera efectiva. Su función sería desarrollar un programa de vigilancia continua de los CCUS, y generar datos actualizados para la toma de decisiones, registrar avances de la frontera agrícola y evaluar el impacto de las acciones de conservación. Estas deberían llevarse a cabo junto con el SINAC en aras de asegurar los recursos naturales del cantón.

Se debe desarrollar un sistema de monitoreo continuo, que incluya indicadores clave de desempeño relacionados con la cobertura arbórea, la conectividad ecológica y la biodiversidad. Este sistema permitiría evaluar el progreso de las acciones de conservación y ajustar las estrategias del plan regulador según sea necesario. El seguimiento retrospectivo de la conectividad estructural puede complementarse con un análisis de conectividad funcional, lo cual integraría las relaciones espaciales en función de la capacidad de movilidad de las especies de fauna.

Para mejorar la conectividad estructural del paisaje, se debe involucrar a propietarios de fincas agrícolas en la regeneración de zonas de protección. Se propone la restauración de las márgenes de los ríos Barbilla, Chirripó y Matina, promoviendo su conexión con los nodos boscosos prioritarios para la conservación.

Como la participación de las comunidades locales es esencial para el éxito de la implementación de cualquier plan regulador, se recomienda la creación de comités comunitarios de vigilancia ambiental, que colaboren con la municipalidad en el monitoreo del uso del suelo y la detección temprana de cambios en la cobertura forestal. La municipalidad debe fomentar espacios de participación donde facilite el acceso a información geoespacial actualizada para que la comunidad pueda conocer la evolución del paisaje y sea parte de la toma de decisiones sobre la planificación en temas de conservación.

La municipalidad debe fortalecer su capacidad para fiscalizar el cumplimiento de la normativa ambiental, especialmente en lo que respecta a las franjas de protección de cuerpos de agua y áreas boscosas. Esto podría incluir la creación de un sistema de denuncias ambientales donde participen estos mismos comités comunitarios, y usando el Sistema Integrado de Atención y Trámite de Denuncias Ambientales del MINAE.

Se recomienda implementar incentivos fiscales para los propietarios de fincas que adopten prácticas de conservación, como la reforestación o la creación de corredores biológicos. Estos incentivos podrían incluir reducciones en los impuestos sobre bienes inmuebles o acceso a programas de pago por servicios ambientales.

Se recomienda incorporar de manera integral el análisis del crecimiento urbano en el POT, no solo por su impacto directo sobre la cobertura del suelo y la fragmentación del paisaje, sino también por las implicaciones que conlleva en términos de ampliación de la infraestructura necesaria para satisfacer las demandas de la ciudadanía, las previendo necesidades futuras para minimizar conflictos en el uso del suelo, y orientar el desarrollo hacia un modelo que contemplen la protección ambiental, la conectividad ecológica y el bienestar de la población.

Propuesta de Estrategias Ambientales para el Reglamento del Plan Regulador Municipal

Introducción

Con base en los resultados obtenidos, que evidenciaron una disminución de la cobertura arbórea, tanto en forma de bosque denso como fragmentado, producto de la presión ejercida por la expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina, y, en consecuencia, una disminución en la conectividad estructural del paisaje a nivel cantonal, se propone la incorporación de estrategias de conservación ambiental en el Reglamento de Zonificación del Plan Regulador de la Municipalidad de Matina. Estas estrategias integran criterios ecológicos en la planificación y el control del ordenamiento territorial, con el fin de promover una relación armoniosa entre los usos del suelo (INVU, 2017), fomentar un desarrollo agrícola menos invasivo y fortalecer la conectividad ecológica del cantón.

Se debe considerar que la labor del comité planificador sólo es eficaz si este se convierte en un agente dentro de un proceso activo, consciente y democrático de planificación participativa en el cantón (INVU, 2017). Por tanto, las estrategias propuestas deben ser discutidas con la comunidad y los actores locales en espacios abiertos, asegurando que sean parte de un proceso participativo y democrático. Estas propuestas deben formar parte de una estrategia integral que considere la funcionalidad ecológica de las especies utilizadas, priorizando aquellas autóctonas que contribuyan con la restauración o rehabilitación del paisaje natural propio de la región. Las plantaciones y procesos de reforestación deben incorporar la mayor naturalidad posible, particularmente en términos de diversidad estructural, de variedad de especies, de fomento y respeto al sotobosque.

La Municipalidad de Matina, a través de sus departamentos de Catastro, Patentes y Gestión Ambiental, tiene la responsabilidad de velar porque los usos de suelo autorizados cumplan con los requisitos normativos vigentes del Plan Regulador. Asimismo, debe coordinar los procesos de fiscalización, control y otorgamiento de permisos, garantizando que las actividades productivas y comerciales se desarrollen en concordancia con las estrategias ambientales. En particular, el otorgamiento o renovación de patentes deberá estar condicionado a que demuestre el cumplimiento de estos requisitos por parte de las fincas declarantes.

Clasificación de Uso de Suelo Agrícolas y Estrategias Ambientales

Las zonas agrícolas se clasificarán de acuerdo con la capacidad de uso del suelo por las condiciones de usos dictaminadas por sus cualidades ambientales y también deberán considerar los Índices de Fragilidad Ambiental aprobados para el Plan Regulador de Matina una vez este sea publicado oficialmente en La Gaceta. Se proponen las siguientes categorías de zonificación.

Zonas Agrícolas Industriales: Esta zona está destinada al cultivo intensivo de banano y otros productos de exportación. Dado su impacto ambiental, deberá cumplir con las siguientes estrategias de mitigación y conservación:

- Restauración obligatoria de la cobertura forestal: Respetar o liberar todas las áreas de protección que se encuentran invadidas o alteradas y establecer planes para restaurar la cobertura forestal y su mantenimiento. Se promoverá el uso de especies nativas y la regeneración natural.
- Barreras vivas: Se fomentará la implementación de barreras vivas compuestas por especies nativas arbustivas y arbóreas de rápido crecimiento, seleccionadas por su capacidad de controlar la erosión y de soporte para la biodiversidad local, para delimitar predios, bordes de calles o caminos y canales de agua existentes. Estas barreras favorecerán la conectividad ecológica.
- Compensación por nuevas expansiones agrícolas: La expansión de cultivo de banano solo será permitida si los propietarios aseguran la reforestación de al menos 2 hectáreas con una densidad de 250 árboles/ha, según las zonas de conectividad ecológica definidas por la Municipalidad. Esto implica que los propietarios deben encargarse de la siembra, mantenimiento, identificación y seguimiento de cada árbol.
- Planes de gestión: Se solicitará la presentación de planes de gestión de residuos sólidos y líquidos.
- Monitoreo y vigilancia: Se deberá implementar un sistema de monitoreo continuo por parte de los propietarios de la calidad del suelo y del crecimiento de los árboles reforestados que hayan sembrado.
- Prohibición en zonas de importancia ecológica: La expansión agrícola industrial será prohibida en áreas de recarga acuífera, zonas de alta fragilidad ambiental según los resultados el plan regulador, y a una distancia de 50 m de Áreas Silvestres Protegidas (ASP).

Zonas Agrícolas No Industriales: Estas zonas presentan niveles bajos de deterioro, y se destinan a la preservación y consolidación de la actividad agrícola. Deberán aplicar estrategias de prevención y conservación:

- Prácticas sostenibles: Se promoverá el uso de técnicas de la denominada agricultura conservacionista, que incluyan técnicas de conservación de suelos, como mínimo laboreo y la siembra directa, y agroforestería.
- Barreras vivas: Se implementarán hileras de plantas para la división de predios y la protección de cuerpos de agua, mejorando la conectividad ecológica.
- Planes de gestión: Se solicitará la presentación de planes de gestión de residuos sólidos y líquidos.
- Incentivos fiscales: Se aplicarán reducciones fiscales mediante procedimientos previamente reglamentados, a fincas donde existan o se implementen proyectos de agricultura ecológica.

Zonas de Retiro Agrícola: Esta zona funciona como barrera de amortiguamiento entre áreas urbanas, Áreas Silvestres Protegidas y terrenos de cultivo, previniendo la contaminación por plaguicidas y otros productos nocivos:

- Reforestación obligatoria: En estas zonas solo se permitirá la reforestación de especies nativas, deberán ser habilitadas por la compañía encargada de la siembra de banano en sus terrenos.
- Retiro mínimo: Se establecerá un retiro mínimo de 50 metros desde los límites urbanos y de las ASP para evitar la contaminación por agroquímicos.
- Monitoreo y vigilancia: Se instalarán estaciones de monitoreo para medir la posible presencia de contaminantes en el aire y agua cercanos a zonas urbanas.

Zonas de Conectividad Biológica: El objetivo es garantizar la conectividad funcional mediante la conservación de cobertura arbórea que facilite el flujo de especies y preserve la integridad de los ecosistemas. Se priorizará la recuperación del Río Matina y sus afluentes como corredor biológico, facilitando la interconexión entre las ASP del cantón y los Corredores Biológicos Moín-Tortuguero y Reserva Forestal Río Pacuare y Volcánica Central-Talamanca. Así como asegurar una conexión estructural en el Corredor Biológico Cordillera a Cordillera:

- Reforestación de zonas prioritarias: Se restaurarán dos áreas principales (i) Los márgenes de protección de cuerpos de agua según lo establecido en la Ley Forestal y (ii) las zonas de conectividad ecológica.

- Pago por servicios ambientales (PSA): Se incentivará el PSA a propietarios privados por la conservación de bosques secundarios, terrenos en regeneración natural y proyectos de reforestación con especies nativas.

Tiempos de Ejecución y Puesta en Marcha

La implementación de las estrategias ambientales propuestas para el Reglamento del Plan Regulador Municipal se desarrollará de manera gradual, atendiendo a la complejidad técnica, institucional y comunitaria de cada componente. Se proponen tres fases de ejecución:

Fase I – corto plazo (0-1 año)

- Diagnóstico técnico-institucional para identificar capacidades y recursos disponibles.
- Socialización de las estrategias con actores locales y las comunidades a través de talleres participativos en cada distrito y validación comunitaria de las zonas agrícolas, zonas de conectividad y zonas de retiro agrícola.
- Elaboración y aprobación del Consejo Municipal de lineamientos técnicos para la aplicación de incentivos fiscales.
- Incorporación de propuesta en el Reglamento del Plan Regulador y aprobación por parte del Consejo Municipal.
- Establecimiento de convenios interinstitucionales (SINAC, FONAFIFO, universidades) para la puesta en marcha del monitoreo ambiental y los programas de reforestación.

Fase II – mediano plazo (1-3 años)

- Inicio de procesos de reforestación en las zonas con prioridad de intervención.
- Inicio de procesos de diálogo con propietarios privados de fincas para iniciar con implementación de barreras vivas, reforestación en zonas de retiro agrícola y delimitación de zonas prioritarias para mejorar la conectividad estructural cantonal.
- Activación del sistema de monitoreo de calidad del suelo, aire y agua en zonas sensibles.
- Establecimiento formal del programa de PSA en alianza con FONAFIFO.
- Inicio de la recepción y evaluación de planes de gestión de residuos de parte de las fincas agrícolas.

Fase III – largo plazo (3-5 años)

- Evaluación intermedia del impacto de las estrategias implementadas a nivel de conectividad estructural y conectividad funcional.
- Continuación de procesos de diálogo y acuerdos con fincas privadas.
- Evaluación del cumplimiento de la normativa de reforestación obligatoria por parte de los sectores bananeros.
- Actualización participativa del reglamento, a partir de resultados de indicadores y lecciones aprendidas.

Áreas de Intervención por Prioridad

Las áreas de intervención ambiental se abordarán de manera gradual, según un criterio técnico de prioridad. Esta clasificación distingue tres categorías: (i) áreas prioritarias para intervención inmediata, (ii) áreas que requieren procesos de diálogo entre actores, cuya intervención se proyecta a mediano plazo, y (iii) áreas bajo protección permanente que no requieren intervención, pero sí monitoreo constante. En cuanto a la intervención inmediata se incluyen:

- Los márgenes de cuerpos de agua, particularmente el río Matina y sus afluentes, los cuales requieren procesos urgentes de restauración de cobertura forestal.
- Las zonas agrícolas industriales en expansión, donde deberán aplicarse restricciones inmediatas para evitar la ocupación de nuevas áreas conforme a la zonificación propuesta. Estas fincas también deberán presentar sin demora sus planes de gestión de residuos sólidos y líquidos, así como iniciar la siembra de barreras vivas.
- Las áreas con cobertura arbórea fragmentada dentro del Corredor Biológico Cordillera a Cordillera, que representan puntos críticos para mejorar la conectividad estructural del paisaje, también serán intervenidas en esta primera etapa.

Existen otras áreas que, aunque prioritarias desde el punto de vista ecológico, requieren procesos de concertación y acuerdos previos con actores privados y comunitarios. Por ello, su intervención se considera de mediano plazo. Estas comprenden:

- Las zonas de retiro agrícola, que funcionan como barreras de amortiguamiento entre zonas urbanas y fincas productivas, y cuya reforestación dependerá de acuerdos con propietarios y operadores agrícolas.
- Las zonas agrícolas no industriales que presentan un uso extensivo del suelo con bajo manejo ambiental, donde se pretende impulsar prácticas sostenibles mediante metodologías participativas.

- Los sistemas de monitoreo y fiscalización ambiental (calidad del agua, aire y suelos), cuya implementación exige un proceso previo de capacitación técnica, articulación institucional y consolidación de capacidades municipales.
- Las zonas agrícolas industriales que pongan en marcha programas de compensación por nuevas expansiones agrícolas, y aquellas que formen parte de la zonificación de conectividad biológica y que deban iniciar procesos de regeneración natural o proyectos de reforestación.

Las áreas que deben continuar bajo protección estricta debido a su alto valor ecológico y nivel de fragilidad son: La cobertura boscosa, las áreas silvestres protegidas las zonas de alta vulnerabilidad ambiental, definidas según los índices de fragilidad ambiental aprobados en el plan regulador. Si bien estas áreas se consideran de baja prioridad en términos de intervención directa, requieren de un sistema de monitoreo permanente que garantice su integridad ecológica y prevenga presiones futuras sobre las mismas.

Esta clasificación será utilizada como base para la elaboración de un mapa temático georreferenciado de intervención ambiental, que podrá integrarse con el mapa de zonificación territorial del plan regulador. Dicho instrumento servirá de apoyo a la toma de decisiones municipales y a la gestión técnica con actores locales.

Articulación Interinstitucional

La ejecución de las estrategias propuestas requerirá del compromiso articulado entre diversas instituciones públicas. MINAE y SINAC deben ser parte de la asesoría técnica y delimitación de zonas de conservación y conectividad ecológica, y apoyo en la reforestación con especies nativas. Se debe trabajar junto con FONAFIFO para la coordinación de procesos de PSA. Con el MAG se deben impulsar capacitaciones en agricultura conservacionista. Y con las universidades públicas se buscará apoyo en estudios técnicos, diseño de indicadores y participación estudiantil en procesos de restauración.

Participación Comunitaria

La participación efectiva y vinculante de la comunidad es fundamental para garantizar la legitimidad y eficacia de la propuesta. Se incentivará el liderazgo ambiental comunitario y la formación de comités de vigilancia ambiental a nivel local. Se propone

implementar una metodología de planificación participativa continua, que garantice la participación de personas en condición de vulnerabilidad territorial y social, y que contemple como mínimo:

- Talleres distritales de retroalimentación sobre la zonificación y propuestas ambientales.
- Protocolos participativos de monitoreo ambiental, utilizando indicadores como cobertura arbórea, presencia de avifauna y erosión del suelo.
- Foros ambientales periódicos, con participación multisectorial, para evaluar el avance y logros del reglamento.
- Espacios de consulta y diálogo con organizaciones de mujeres, personas jóvenes y productores agroecológicos.
- Mesas temáticas por sector (productivo, conservación, institucional) para seguimiento específico por tema.

Referencias

- Acuña, G. (2006). Producción de piña en Caribe y Pacífico Sur de Costa Rica. *Ambientico*, 158, 2-4.
- Agni, L., Calderon, M., Pereira, A., y Párraga, C. (2018). Evaluación Geoespacial del Cambio de Cobertura y Uso del Suelo: Caso del Cantón Las Naves, Provincia Bolívar. *Ciencia*, 19(2), 1-11. doi:10.24133/ciencia.v19i2.293.
- Agudelo-Hz, W., Castillo-Barrera, N., y Murcia-García, U. (2023). Scenarios of land use and land cover change in the Colombian Amazon to evaluate alternative post-conflict pathways. *Scientific Reports*, 13(1), 2152. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29243-2>
- Aguilar, H., Mora, R., y Vargas, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y LandSat 8 con el módulo Flaash del Software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Aravena, J. (2005). *La Expansión Piñera en Costa Rica*. COECOceibaAT.
- Arguedas, C., Miller, C., y Vargas, C. (2020). *Informe: Detección de cambios basados en la pérdida y ganancia de cobertura arbórea asociada a paisajes productivos de piña. Periodo 2017-2018*. PNUD.
- Arias, A., Madrigal, E., y Vargas, E. (2022). Conectividad estructural entre áreas prioritarias de conservación del Corredor Biológico Premontano Chirripó-Savegre, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 14(supl.1).
- Arrieta, O. (2007). Ordenamiento territorial y planificación en Siquirres. Un enfoque geográfico. *Revista de Ciencias Ambientales*, 34(1), 29-43. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.34-2.3>

- Arrieta, O. (2010). Ordenamiento Territorial Y Planes Reguladores: Notas al Margen de Nuestra Experiencia en la ECG – UNA. *Revista Geográfica de América Central*, 1(44), 75-89.
- Astorga-Gattgens, A. (2018). Ordenamiento Ambiental del Territorio: situación perspectivas en Costa Rica (Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible). San José: Programa Estado de la Nación.
- Barrantes, G. (2022). Problemas conceptuales, metodológicos y epistemológicos en la metodología oficial para la consideración del ambiente en los Planes de Ordenamiento Territorial. *Ambientico*, 282, 4-10.
- Barrantes-Sotela, O., y Sandoval-Murillo, L. (2016). Uso/cobertura de la tierra en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles en el año 2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(56), 59. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.3>
- Baxendale, C., y Buzai, G. (2011) Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica Aportes de la Geografía para la elaboración del Diagnóstico en el Ordenamiento Territorial. *Fronteras*, 10, 25-38
- Bekele, B., Wu, W., Legesse, A., Temesgen, H., y Yirsaw, E. (2018). Socio-Environmental Impacts of Land Use/Cover Change in Ethiopian Central Rift Valley Lakes Region, East Africa. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 6607-6632. https://doi.org/10.15666/aeer/1605_66076632
- Blanco, E. (2018). Conflictos socio-ambientales y cultivo del banano. Estudio de la región Atlántico/Caribe de Costa Rica, 1950-2017. *Anuario del Conflicto Social*, 7(7), 43-73. <https://doi.org/10.1344/ACS2018.7.8>
- Blanco, E. (2020). Cultivo de piña y conflictos socio-ambientales en la región Atlántico/Caribe, Costa Rica, 1990-2017. *Athenea Digital. Revista de pensamiento e investigación social*, 20(3), 1-23. <https://doi.org/10.5565/rev/athenea.2421>

- Camacho, R., Balderas, M., Camacho, J., y Hernández, V. (2019). Cambios de cobertura y uso de suelo (CCUS) en Toluca de Lerdo, Estado de México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 10(24), 30-50.
- Camacho-Sanabria, J., Pérez, J., Jaimes, N., Vargas, E., y Peña, L. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112.
- Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional. (2017). *Valoración de los servicios ecosistémicos que ofrecen siete de los humedales protegidos de importancia internacional en Costa Rica: Palo Verde, Caribe Noreste, Caño Negro, Gandoca-Manzanillo, Maquenque, Térraba-Sierpe y Las Baulas*. SINAC-PNUD-GEF.
<https://www.sinac.go.cr/ES/docu/Inventario%20Nacional%20Humedales/VALORACION%20CI%20C3%93N%20ECON%20C3%93MICA%20DE%20SIETE%20HUMEDALES%20RAMSAR.pdf>
- Centro Nacional de Información GeoAmbiental. (2020). Descripción del Sistema de Clasificación de Uso y Cobertura de la Tierra propuesto para el SIMOCUTE. *Ambientico*, 273, 23-34.
- Constitución Política de Costa Rica. Art. 169. 8 de noviembre de 1949 (Costa Rica).
- Correa, C., Mendoza, M., y Granados, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23.
- Decreto 42886 de 2021 [Ministerio de Ambiente y energía, Ministro de Agricultura y ganadería, Ministerio de Justicia y Paz]. Por medio del cual se expide la Creación y operación del Sistema Nacional de Monitoreo de cobertura y uso de la tierra y ecosistemas (SIMOCUTE). 18 de mayo del 2021. D.O. No. 94

- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2019). Medidas para la producción sostenible de banano. GIZ.
- Donia, N., y Farag, H. (2019). Monitoring of Egyptian Coastal Lakes using Remote Sensing Thecniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, 693-699. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-693-2019>
- Dupuy, J., González, J., Iriarte, S., Calvo, L., Espadas, C., Tum, F., y Dorantes, A. (2012). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*, 62, 104-124. <https://doi.org/10.14350/rig.29975>
- Estrada, A. (2013). Importancia de los diferentes tipos de cobertura arbórea para la recuperación de la biodiversidad en ambientes urbanos. *Ambientico*, 232-233, 13-19.
- Friedel, M., Duval, V., y Benedetti, G. (2022). Cobertura y uso del suelo en el sureste de la provincia de La Pampa (Argentina) durante el período 1980-2020. *Huellas*, 26(1), 29-44. <https://doi.org/10.19137/huellas-2022-2603>
- Furumo, P., y Aide, M. (2017). Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: Land use change and trade. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5892>
- Galicia, L., Rodríguez-Bustos, L. (2016). Causas locales de la transformación del paisaje en una región montana del centro de México. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 26(6), 83-94. doi: 10.15174/au.2016.1168
- González, V. (2019). *La Piña en Costa Rica: Ubicando conflictos ambientales en Áreas Silvestre Protegidas y Ecosistemas de Humedal*. Programa Estado de la Nación.
- Guhl, A. (2008). *Café y cambio de paisaje en Colombia, 1970-2005*. Fondo Editorial Universidad EAFIT, Banco de la República.

- Harvey, C., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M....Fergus, S. (2003). *Agroforestería en Las Américas*, 10(39-40), 30-39.
- Humacata, L. (2018). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista Cartográfica*, 98, 239-257.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.149>
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., y Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 91–106. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006
- INEC. (2022). *Comercio Exterior Resumen Resultados Definitivos 2021*.
https://admin.inec.cr/sites/default/files/2022-11/ComercioExterior_ResumenResultadosDefinitivos_2021.pdf
- Instituto de Desarrollo Rural (2016). Caracterización del Territorio Limón-Matina.
<https://www.inder.go.cr/lima/Caracterizacion-territorio-Limon-Matina.pdf>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2017). *Manual de Planes Reguladores como instrumento de ordenamiento territorial*.
<https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Manual+de+Planes+Reguladores+como+Instrumento+de+Ordenamiento+Territorial>
- Isaacs-Cubides, P., Trujillos, L., y James, V. (2017). Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tunjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 70-88.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21068/c2017.v18s01a04>
- Jung, M. (2013). LecoS: un complemento de QGIS para el análisis automatizado de la ecología del paisaje. *PeerJ PrePrints*. doi: 10.7287/peerj.preprints.116v2

- Jurado, J. (2012). El ordenamiento territorial y los distintos niveles de la planificación urbana. *Ambientico*, 224, 9-14.
- Karandikar, A., y Agrawal, A. (2023). Performance analysis of change detection techniques for land use land cover. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(4), 4339-4346. doi: 10.11591/ijece.v13i4.pp4339-4346
- Lambin, E., Geist, H., y Lepers, E. (2003). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Leija, E., Pavón, N., Sánchez-González, A., Rodríguez-Laguna, R., y Ángeles-Pérez, G. (2021). Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: Implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación). *Revista Cartográfica*, 102, 43-68. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.832>
- Leija, E., Mendoza, M. (2021). Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: retos de investigación. *Madera y Bosques*, 27(1), 1-21. doi: 10.21829/myb.2021.2712032
- Ley 4240 de 1968. Por la cual se define la Ley de Planificación Urbana. 15 de noviembre de 1968.
- Ley 6172 de 1977. Por la cual se define la Ley Indígena. Año 1977.

Ley 7554 de 1995. Por la cual se define la Ley Orgánica del Ambiente. 13 de noviembre de 1995. D.O. No. 215

Ley 7575 de 1996. Por la cual se define la Ley Forestal. 16 de abril de 1996. D.O. No. 72.

Ley 7788 de 1998. Por la cual se define la Ley de Biodiversidad. 27 de mayo de 1998. D.O. No. 101

Llaguno, J., Mora, S., Gutiérrez, A., Barrios, P., y Mora, F. (2014). Políticas y Conflictos socioambientales: El caso de la Tenencia de la Tierra y Los Monocultivos en el Caribe de Costa Rica (2006-2012). *Revista de Ciencias Sociales*, 145. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i145.17612>

Llamas, R., Colditz, R., y Feliciano, C. (2015). Análisis del cambio de cobertura de suelo en la península de Yucatán de 1995 a 2010 Land Cover Change Analysis in the Yucatan Peninsula from 1995 to 2010. *UD y la Geomática*, 10, 37-44. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2015.10.a05>

López, V., y Plata, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía*, 68, 85-101.

Manrow, M., Vargas, Y., Vargas, C., Arguedas, C., y Miller, C. (2022). *Informe: Detección de cambios basados en la pérdida, ganancia y no cambio de cobertura arbórea asociado al paisaje productivo de piña, periodo 2018-2019*. CONARE - CENAT.

Marín, A., Toro, L., y Uribe, S. (2008). Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 23, 43-54.

Matteucci, S. (2004). Conservación de parches naturales en una matriz antrópica: cuantificación del patrón espacial del Alto Paraná Encajonado. Primer Seminario Argentino De Geografía Cuantitativa, Buenos Aires, Argentina.

- Mejías, C. (2018). El Uso de Suelo y la Resolución Municipal de Ubicación para el control edilicio y actividades: El uso de instrumentos técnicos para el control urbanístico. *Revista Jurídica IUS Doctrina*, 11(1). <https://doi.org/10.15517/id.2018.32684>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021). Diagnóstico y análisis actualizado del eje físico espacial del cantón de Matina (documento no oficial).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2022). NAMA Musáceas: Estrategias para la mitigación del impacto ambiental en la producción bananera en Costa Rica.
- Molina, S. (2022). El tortuoso camino para el ordenamiento territorial no parece llegar a su fin. *Ambientico*, 282, 2-3.
- Monárrez-González, J., Pérez-Verdin, G., López-Conzález, C., Márquez-Linares, M., y González-Elizondo, M. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), 1-16. doi: 10.21829/myb.2018.2421569
- Montejo, A., Castillo, M., Soto, M., y León, N. (2022). Cambio en la cobertura y uso de suelo en sistemas agroforestales de café durante el periodo 1989-2020 en Ocosingo, Chiapas. *Revista de Geografía Agrícola*, 69, 147-165. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.69.07>
- Montero, A. (2014). Una aproximación a los cambios en el paisaje en el Valle Central de Costa Rica (1820-1900). *HALAC. Belo Horizonte*, 3(2), 276-309.
- Montero, A., y Viales, R. (2013). El impacto ambiental del cultivo de banano en la región Atlántico/Caribe de Costa Rica. Limón durante su segundo ciclo bananero (1960-2010). En Viales, R (Ed.), *La conformación histórica de la región Atlántico/Caribe Costarricense: (Re) interpretaciones sobre su trayectoria entre el siglo XVI y el siglo XXI* (1ra ed). Editorial Nuevas Perspectivas.

- Montero, A., y Viales, R. (2016). La Teoría del Cambio en el Paisaje a Partir del Cambio del Uso de la Tierra y la Cobertura del Suelo (Enfoque LUCC). Su Utilidad para la Historia Ambiental. *Revista Reflexiones*, 94(2), 25-33. <https://doi.org/10.15517/rr.v94i2.25385>
- Montiel, M. (2015). Uso de agroquímicos en la producción intensiva de piña en Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 15(25), 183-195.
- Municipalidad de Matina. (2020). Historia Municipal. <https://www.munimatina.go.cr/index.php/mn-conozcanos/mn-mimunicipalidad/mn-historiamunicipal>
- Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural* 77(1), 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>
- Nene, A., González, G., Mendoza, M., y Silva, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico Central Mexicano. *Investigaciones Geográficas*, 94, 1-18. <https://doi.org/10.14350/rig.56770>
- Obando, A. (2020). Acciones y omisiones del Estado costarricense en la expansión piñera: El caso de la Zona Norte-Norte de Costa Rica. *Anuario Centro de Investigación y Estudios Políticos*, 11, 22-55. <https://doi.org/10.15517/aciep.v0i11.42226>
- Peña, M. (2008). Costa Rica Régimen municipal y medio ambiente en D, Cienfuegos (Ed.), *Régimen jurídico municipal en Iberoamérica* (pp. 199-233). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peralvo, M., y Bastidas, L. (2014). *Monitoreo de Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra a Escala de Sitios*. <https://condesan.org/recursos/monitoreo-de-cambio-de-cobertura-y-uso-de-la-tierra-a-escala-de-sitios-protocolo-3-version-1/>
- Pomareda, F. (12 de junio de 2023). Fiscal ambiental: "La proyección es que en el 2050 nuestros bosques serán desiertos". *Semanario Universidad*.

<https://semanariouniversidad.com/pais/fiscal-ambiental-la-proyeccion-es-que-en-el-2050-nuestros-bosques-seran-desiertos/>

- Quesada, E. (2008). ¿Desarrollo o destrucción piñera? *Ambientico*, 177, 17.
- Quesada-Thompson, G. (2022). Alcance de los instrumentos de planificación y gestión urbano-ambiental territorial en Costa Rica. *Ambientico*, 282, 54-60.
- Ramírez, A., Cruz, A., Morales, N., y Monterroso, A. (2016). El ordenamiento ecológico territorial instrumento de política ambiental para la planeación del desarrollo local. *Estudios Sociales*, 26(48), 69-99.
- Rodríguez, T., Obando, A., y Acuña, M. (2018). Entender el extractivismo en regiones fronterizas: Monocultivos y despojo en las fronteras de Costa Rica. *Sociedad y Ambiente*, 17, 165-200. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i17.1845>
- Rodríguez-Labajos, B. (2019). *Economía ecológica y conflictos ecológico-distributivos*. FUOC.
- Rodríguez, T., y Prunier, D. (2020). Extractivismo agrícola, frontera y fuerza de trabajo migrante: La expansión del monocultivo de piña en Costa Rica. *Frontera Norte*, 32, 1-25.
- Rojas, N. (2011). Estudio de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencas-cuencaRioMatina.pdf>
- Rojas, N., Barboza, E., Maicelo, J., Oliva, S., y Salas, 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*, 2538(81), 1-34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rosales, A. (2013). *Manual para la Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos de las Principales Coberturas y Usos de la Tierra de Costa Rica* (p. 64). Ministerio de Agricultura y Ganadería.

- Rosales, A. (2015). *Manual de definición de clases y especificaciones cartográficas de la Leyenda CLC-CR, para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica*. Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria.
- Roy, P., y Roy, A. (2010). Land use and land cover change in India: A remote sensing & GIS prespective. *Journal of the Indian Institute of Science*, 90(4), 489-502.
- Sáenz, F., Le Coq, J.-F., y Villalobos, C. (2011). *Ordenamiento territorial y conservación en Costa Rica*. Congreso SEPIA XIV.
- Salazar, E., Mendoza, J., Ochoa-Gaona, S., Ku-Quej, V., y Hidalgo-Mihart, M. (2016). Evaluación de la conectividad del paisaje en la región Puuc-Chenes, México, con base en los requerimientos de hábitat del jaguar (*Panthera onca*). *Investigaciones Geográficas*, 92, 1-15. [dx.doi.org/10.14350/rig.52210](https://doi.org/10.14350/rig.52210)
- Santibañez-Andrade, G., Valdez-Lazalde, J., y Guerra-Martínez, F. (2023). Análisis multitemporal de la degradación de los bosques de encino y oyamel en la Cuenca de México (1993-2014). *Madera y Bosques*, 29(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912323>
- Sarathi, P., y Roy, A. (2010). Cambios en el uso y la cobertura del suelo: una perspectiva desde la teledetección y los SIG. *Journal of the Indian Institute of Science*, 90(4), 489-502.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2023). Boletín Estadístico Agropecuario № 33. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0033.pdf>
- Silvetti, F., y Cáceres, D. (2015). La expansión de monocultivos de exportación en Argentina y Costa Rica: Conflictos socioambientales y lucha campesina por la justicia ambiental. *Mundo Agrario*, 16(32).
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2016). Caracterización de los territorios indígenas Chirripó, Bajo Chirripó y Nairi Awari. Diagnóstico del Área Silvestre Protegida Parque Nacional Barbilla. Área de Conservación La Amistad Caribe

(ACLAC). <https://canjedorbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Caracterizaci%C3%B3n-de-los-Territorios-Ind%C3%ADgenas.pdf>

Sistema Nacional de Monitoreo de la Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (2023).

Sistema de Clasificación de la Cobertura y Uso de la Tierra para Costa Rica: versión 2.0.

https://www.minae.go.cr/organizacion/vicegestionestrategica/CENIGA/Documentos/2_SIMOCUTE_DOCS/7_Sistema_de_Clasificacion_Cobertura_y_Uso_v2.pdf?__cf_chl_tk=DliVs06xHSpJcCKWilpdiaDDQKkY6qbT3Sfty1JWHf4-1739301530-1.0.1.1-_DsbtSWwLxfis0lmoQziBo.ucfmzO6NVVK2uvAaAdEk

Ulate, E. (2009). El Ordenamiento Territorial Planificación Urbana, Ordenamiento Territorial y Desarrollo rural sostenible: limitaciones agroambientales (Reflexiones de un agrarista). *Revisa Judicial Costa Rica* (94), 43-71.

Ureña, E. (2004). La Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Zona Atlántica de Costa Rica: Una Alternativa para los Agricultores de la Región. *Revista de Agricultura Tropical*, 34, 73-85.

Vargas, A., Morales, M., Watler, W., y Vignola, R. (2017). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos. Cultivo de banano en Costa Rica*. CATIE, MINAE, Fondo de Adaptación y Fundecooperación.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Requesens, E. (2016). Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). *AgriScientia*, 33(1), 15-26. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n1.16568>

Viales, R., y Montero, A. (2011). *La conformación histórica de la Región Atlántico/Caribe costarricense (re)interpretaciones sobre su trayectoria entre el siglo XVI y el siglo XXI* (Primera edición). Editorial Costa Rica.

Walker, R., y Solecki, W. (2004). Theorizing Land-Cover and Land-Use Change: The Case of the Florida Everglades and Its Degradation. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2), 311-328. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09402010.x>

Anexos

Anexo 1: Cesión de Derechos

Autorización para digitalización y comunicación pública del Trabajo Final de Graduación (TFG) modalidad Proyecto Profesional de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia.

Yo, Mónica Salas Chaverri, con cédula de identidad 1-1505-0168, en mi condición de autora del TFG titulado *Diseño de estrategias ambientales para la planificación y el control de la expansión de las fronteras agrícolas en el cantón de Matina, Limón, Costa Rica*. Autorizo a la Universidad Estatal a Distancia para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del repositorio institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.

Sí ☒

No* ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que el contenido de mi Trabajo Final de Graduación corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros.

El Trabajo Final de Graduación además cuenta con el visto bueno de mi Directora y Lectores de TFG y cumplió con lo establecido en la revisión del formato por parte de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales.

Información de la estudiante:

Nombre completo: Mónica Salas Chaverri

Número de identificación: 1-1505-0168

Correo electrónico: monicasalas16@gmail.com

Número de teléfono: 8855-7731

Fecha:

Nombre de la Directora de Tesis o Tutora: Paola Brenes Rojas

Firma del estudiante

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal.