



Tecnológico de Costa Rica
Área Académica Agroforestal
Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal del
Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos
Naturales y Tecnologías de Producción

**Redefinición de los límites de la Zona Protectora Río Tiribí, considerando las
estrategias de manejo, para la conservación de los servicios ecosistémicos**

José Alejandro Cerdas Aguilar

Campus Tecnológico Central Cartago, Costa Rica

Junio 2024

Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

MSc. Dorian Carvajal Vanegas
Profesor tutor

Dra. Nancy Gamboa Badilla
Profesora lectora

Dr. Dagoberto Arias Aguilar
Presidente de Tribunal

José Alejandro Cerdas Aguilar
Sustentante

Índice General

Resumen	iii
Abstract	iii
Palabras clave	iv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
Introducción.....	1
El problema de investigación y su importancia	3
Problema de investigación	3
Importancia de atender el problema de investigación	4
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
Marco teórico	7
Áreas Protegidas en el mundo	7
Áreas Protegidas en Costa Rica	7
Zona Protectora como categoría de manejo	9
Redefinición de límites en ASP	10
Servicios Ecosistémicos	11
Uso de suelo	13
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	16
Enfoque y tipo de investigación.....	16
Marco espacial y temporal.	17
Sistematización de los objetivos	18
Sistematización de objetivo específico 1: Analizar los límites actuales de la ZPRT, en relación con las estrategias de conservación planteadas.....	20
Sistematización de objetivo específico 2: Identificar los principales servicios ecosistémicos que protege la ZPRT.....	22
Sistematización de objetivo específico 3: Elaborar una propuesta de redefinición de los límites de la ZPRT según las variables ambientales, estrategias de conservación y servicios ecosistémicos identificados en el ASP	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25

Análisis de límites actuales y estrategias de conservación.....	25
Manejo Integral de Cuencas.....	27
Conectividad Biológica.....	31
Conservación de Suelos.....	36
Identificación de los servicios ecosistémicos.....	40
Propuesta para la redefinición de los límites de la ZPRT.....	43
Características del sector por incorporar.....	44
Propuesta de delimitación de la ZPRT.....	47
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
Conclusiones.....	52
Recomendaciones.....	53
Bibliografía.....	57

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	12
Tabla 2 Metodología para redefinición de límites de la ZPRT.....	19
Tabla 3 Servicios ecosistémicos identificados para la ZPRT.....	42

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación espacial de la Zona Protectora Río Tiribí.....	18
Figura 2 Recarga hídrica de la microcuenca alta del río Tiribí.....	29
Figura 3 Relación entre recarga hídrica y cobertura.....	30
Figura 4 ASP y corredores biológicos cercanos a la ZPRT.....	32
Figura 5 Categorías de uso de suelo en la microcuenca del río Tiribí.....	37
Figura 6 Divergencia en el uso de la tierra en la microcuenca del río Tiribí.....	43
Figura 7 Propuesta para redefinición de los límites de la ZPRT.....	45
Figura 8 Vista de la Zona Protectora Río Tiribí.....	46
Figura 9 Vista típica de las áreas para incluir dentro de la ZPRT.....	50

Resumen

La presente investigación analiza los límites actuales de la Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT) y la importancia de su alineación con las estrategias de conservación. La ZPRT creada para proteger el recurso hídrico, no abarca completamente la microcuenca del río Tiribí, lo que plantea un problema en su efectividad. La investigación evalúa si los límites actuales permiten proteger los servicios ecosistémicos, considerando los Objetivos de Desarrollo Sostenible y resaltando la necesidad de ajustar los límites para asegurar una gestión acorde con los procesos ecológicos. El estudio se desarrolla mediante la revisión de investigaciones previas, observaciones de campo, análisis de datos con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas cualitativas y cuantitativas y considerando variables como servicios ecosistémicos, conectividad biológica, uso de suelo, recarga hídrica y cobertura existente. Entre los principales resultados se evidencia que, durante la creación de la ZPRT, no se contemplaron elementos relacionados con el manejo integral de la cuenca; no existe una conectividad biológica eficiente entre la ZP y ASP cercanas, las zonas de mayor recarga hídrica se ubican en la parte alta de la microcuenca fuera de los límites actuales; y existe una importante divergencia en el uso de las tierras. Se realiza una propuesta de nuevos límites para la ZPRT, que permitan integrar terrenos de importancia ambiental como medida para la protección de este espacio natural, garantizando su contribución a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Abstract

This research analyzes the current boundaries of the Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT) and the importance of their alignment with conservation strategies. The ZPRT, created to protect the water resource, does not completely encompass the río Tiribí micro-watershed, posing a problem for its effectiveness. The research evaluates whether the current boundaries allow for the protection of ecosystem services, considering the Sustainable Development Goals and highlighting the need to adjust the boundaries to ensure management that aligns with ecological processes. The study is conducted through a review of previous research, field observations, data analysis using Geographic Information Systems (GIS), qualitative and quantitative tools, and considering variables such as ecosystem services, biological connectivity, land use, water recharge, and existing coverage. Among the main results, it is evident that, during the creation of the ZPRT, elements related to integrated watershed management were not considered; there is no efficient biological connectivity between the ZP and nearby ASP, the areas of highest water recharge are located in the upper part of the micro-watershed outside the current boundaries; and there is a significant divergence in land use. A proposal for new boundaries for the ZPRT is made, which would allow the integration of environmentally important lands as a measure for the protection of this natural area, ensuring its contribution to biodiversity conservation and ecosystem services.

Palabras clave

Microcuenca

Recarga hídrica

Conectividad biológica

Áreas Silvestres Protegidas (ASP)

Uso de suelo

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Introducción

En el mundo, las políticas de conservación se han concentrado en diferentes aspectos, pero entre los más importantes se destaca la creación y gestión de áreas silvestres protegidas, las cuales tienen como objetivo la protección de los sitios que contienen recursos esenciales para la sostenibilidad de la vida en la tierra (Durán, 2020, p. 1).

En el país se pueden encontrar diferentes categorías de Áreas Silvestres Protegidas (ASP), que se pueden dividir en dos clases, las áreas de protección total, enteramente dedicadas a la protección y conservación de los recursos naturales, que incluyen los parques nacionales, las reservas biológicas y los monumentos nacionales; y las áreas de protección parcial, que incluyen las reservas forestales, los refugios de vida silvestre, los humedales y las zonas protectoras. Dentro de todas estas categorías, las áreas de protección parcial son las más débiles, en cuanto a capacidad administrativa y legal, para prevenir la alteración de los ecosistemas y el cambio de uso del suelo, puesto que la mayoría de sus terrenos son propiedad privada (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2016b, p. 1).

Las ASP enfrentan una serie de retos que ponen en riesgo su efectividad, y así, poder cumplir con los objetivos de conservación para las cuales fueron creadas. Uno de estos retos es la definición de sus límites, pues estos demarcan el área de acción directa de las políticas de conservación y de los recursos que protegen (Durán, 2020, p. 1).

Las Zonas Protectoras (ZP) son áreas geográficas formadas generalmente por bosques o terrenos forestales, cuyo objetivo principal es la regulación del régimen hidrológico, la protección del suelo y de las cuencas hidrográficas. Las zonas protectoras se consideran áreas de amortiguamiento de otras áreas silvestres protegidas de mayor protección y corredores biológicos (Poder Judicial [PJ], 2020).

La Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT) es un espacio de aproximadamente 700 hectáreas, creado en 1976 para resguardar la microcuenca del río Tiribí, una fuente crucial de agua para consumo humano. Sin embargo, el plan de manejo señala una discrepancia entre los límites de la ZP y la gestión integral requerida para proteger completamente la cuenca (SINAC, 2016b, p. 114). Esta contradicción plantea el problema de investigación: conocer si los límites actuales de la ZPRT se alinean con las estrategias de conservación para salvaguardar apropiadamente los servicios ecosistémicos.

La gestión de las áreas protegidas, como la ZPRT, no puede limitarse a fronteras administrativas; debe reflejar los procesos ecológicos y las necesidades de conservación. Una delimitación inadecuada y la falta de protección sobre la principal área de recarga amenazan la efectividad de la conservación de la cuenca. La ZPRT desempeña un papel crucial en la conservación; no obstante, los cambios en el uso del suelo en áreas adyacentes pueden impactar su eficacia. Además, la redefinición de los límites ha sido tema de discusión y estudio en otras áreas protegidas del país, lo que resalta la relevancia de este análisis en la ZPRT (Durán, 2020).

La investigación propuesta está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) N° 6 y N° 15. En el ODS N° 6, se busca asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos; se relaciona con la meta 6.6 de proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua. En cuanto al ODS N° 15, promueve el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y lucha contra la desertificación, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad; la investigación se alinea con varias metas, como la conservación y uso sostenible de ecosistemas terrestres y de agua dulce (meta 15.1), la gestión sostenible de los bosques y la recuperación de bosques degradados (meta 15.2), la conservación de ecosistemas montañosos (meta 15.4), y la reducción de la degradación de hábitats naturales (meta 15.5) (Naciones Unidas [NU], 2023).

La metodología propuesta combina enfoques cualitativos y cuantitativos, permitiendo un análisis detallado de los límites actuales, los servicios ecosistémicos y las estrategias de conservación. Este enfoque integrado, fundamentado en los lineamientos de manejo de

áreas protegidas, guiará la propuesta para la redefinición de los límites de la ZPRT, promoviendo una gestión integral y efectiva de los recursos para la preservación de estos.

El problema de investigación y su importancia

Problema de investigación

La Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT) fue creada el 23 de junio de 1976, por el Decreto Ejecutivo N° 6112-A, y tiene una extensión aproximada de 650 ha. La razón de su creación radica en la importancia que tiene la microcuenca del río Tiribí como fuente de agua para consumo humano, y para la producción de energía hidroeléctrica (SINAC, 2016b, p. 3).

Sin embargo, según lo indicado por SINAC (2016b), al considerar elementos como el tamaño y la forma de la ZPRT, puede evidenciarse que a la hora de su creación no se contemplaron elementos de manejo integral de la microcuenca del río Tiribí, la cual contempla la protección de áreas de recarga acuífera y los elementos asociados, que se encuentran en la parte alta y que, actualmente, están fuera de los límites del ASP (p. 26).

Lo anterior se refuerza con el hecho de que dentro de los límites de la ZPRT existe una toma de agua potable administrada por la Municipalidad de La Unión, y otra toma que es administrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). No obstante, el área de recarga principal de la microcuenca del río Tiribí y que alimenta estas tomas, se encuentra fuera de los límites actuales (Quirós, K., comunicación personal, 6 de noviembre del 2023).

Al considerar lo expuesto anteriormente, surge el problema de investigación, que se plantea mediante la siguiente interrogante: ¿Cuál es la mejor propuesta para un nuevo trazado de los límites de la Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT), para que estén alineados con las estrategias de conservación definidas para dicha área y permitan la adecuada protección de los servicios ecosistémicos?

Importancia de atender el problema de investigación

La investigación planteada se encuentra acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) N° 6 y N° 15. Dentro del objetivo N° 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, se alinea con la meta 6.6, que indica la necesidad de proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua. Mientras que dentro del objetivo N° 15, que espera promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica, la investigación se ajusta con la meta 15.1, que busca asegurar la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y sus servicios. La meta 15.2, que pretende promover la puesta en práctica de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, recuperar los bosques degradados y aumentar la forestación; la meta 15.4, que busca asegurar la conservación de los ecosistemas montañosos; y finalmente la meta 15.5, que busca adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales (NU, 2023).

Al considerar que los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento, el proceso de planificación se rige por los principios del enfoque ecosistémico; esto implica que el manejo debe fundamentarse en el manejo de ecosistemas y sus procesos asociados, y no en función de límites administrativos (SINAC, 2016a, p. 20).

En el Plan de manejo de la ZPRT, se considera que la razón de su creación radica en la importancia que tiene la microcuenca del río Tiribí, como fuente de agua para consumo humano y para la producción de energía hidroeléctrica. Se llega a la conclusión de que la categoría actual es la que mejor se ajusta a los objetivos del área; sin embargo, se recomienda conservar la categoría actual siempre y cuando se fortalezcan las debilidades en el diseño y forma del ASP, a fin de cumplir con un 100% su objetivo de conservación (SINAC, 2016b, p. 112).

Entre las debilidades identificadas se puede mencionar el tamaño del área, que es insuficiente para la protección de la microcuenca del río Tiribí; que su forma no se ajusta a límites naturales y la falta de delimitación física en el campo (SINAC, 2016b, p. 115).

Administrativamente, la ZPRT incluye tierras de los cantones de La Unión y Cartago de la provincia de Cartago, y en menor grado los cantones de Montes de Oca y Goicoechea de la provincia de San José. Pero, al ser que un 49% corresponde al cantón de La Unión y su administración está a cargo de la Oficina Subregión Cartago del Área de Conservación Central (ACC) del SINAC, la propuesta de actores clave a quien estará dirigida esta investigación, son el SINAC y la Municipalidad de La Unión.

Al considerar los enunciados anteriores, la importancia de atención del problema de investigación radica en:

- a. Contribución para abordar de manera integral los desafíos que enfrenta la ZPRT, garantizando la efectividad en la conservación de la microcuenca.
- b. Gestión de los recursos naturales que protege la ZPRT, en función de los ecosistemas presentes y no de los límites administrativos.
- c. Fortalecimiento de las debilidades identificadas en el Plan de manejo de la ZPRT.

Objetivo General

Proponer una redefinición de los límites de la Zona Protectora Río Tiribí, que promueva la conservación de los servicios ecosistémicos y los recursos que protege.

Objetivos Específicos

- Analizar los límites actuales de la ZPRT, en relación con las estrategias de conservación planteadas.

- Identificar los principales servicios ecosistémicos que protege la ZPRT, considerando el uso y tenencia de la tierra.
- Elaborar una propuesta de redefinición de los límites de la ZPRT según las variables ambientales, estrategias de conservación y servicios ecosistémicos identificados en el ASP.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Marco teórico

Áreas Protegidas en el mundo

Para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), un área protegida es un: espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado por medios legales y otros medios eficaces para lograr la conservación, a largo plazo, de la naturaleza y de los valores culturales y los servicios de los ecosistemas asociados (Borrini-Feyerabend et al., 2014, p. i).

Esto indica que la gestión o manejo de un área protegida es un proceso político, social, técnico y administrativo, que se inicia con la creación y diseño de esta, continúa con la planificación del manejo del área a través de una propuesta de largo plazo, se concreta en la gestión operativa del área en la cual se implementan acciones de manejo, y se cierra el ciclo de gestión con la evaluación y monitoreo constante de la efectividad en el manejo del área protegida (Castañeda, 2017, p. 3).

Para el año 2016, se registraban 202 467 áreas protegidas en todo el mundo; en la actualidad, el número ha crecido hasta contabilizar 287 359 áreas protegidas, que cubren más de 21,5 millones de km², lo que equivale a 16,05% del planeta (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2023). Esto demuestra que se mantiene la tendencia evidenciada por Oviedo (2013), al indicar que las áreas protegidas se han convertido en el instrumento principal global de conservación de la biodiversidad y los ecosistemas, y que son una realidad importante en las políticas de gestión del territorio en la mayoría de los países del mundo (p. 2).

Áreas Protegidas en Costa Rica

En Costa Rica, la legislación les denomina Áreas Silvestres Protegidas (ASP), y las define de la siguiente manera: *“Espacio geográfico definido, declarado oficialmente y designado*

con una categoría de manejo en virtud de su importancia natural, cultural y/o socioeconómica, para cumplir con determinados objetivos de conservación y de gestión” (s.p.); lo anterior de acuerdo con el Decreto Ejecutivo N° 34433, Reglamento a la Ley de Biodiversidad, artículo 3, inciso a. (s.p.).

Al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), a través del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), le corresponde, entre otros, el diseño, actualización, seguimiento, evaluación y sistematización de políticas, planes, programas, proyectos, procedimientos, y manuales, de aplicación nacional para su implementación en las ASP terrestres y marinas bajo su administración (SINAC, 2023).

El SINAC (2023) manifiesta, en la Ley de Biodiversidad y su Reglamento en particular, que se han señalado las categorías de manejo prevalecientes para el país:

- a) Reservas Forestales.
- b) Zonas Protectoras.
- c) Parques Nacionales.
- d) Reservas Biológicas.
- e) Refugios Nacionales de Vida Silvestre:
 - Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad estatal.
 - Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad privada.
 - Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad mixta.
- i) Humedales.
- j) Monumentos Naturales.
- k) Reservas Marinas.
- l) Áreas Marinas de Manejo.

En el país, 13031,87 km² de áreas terrestres e insulares se encuentran protegidos y se clasifican dentro de alguna de las categorías de manejo indicadas. Esta cantidad de terreno representa el 25,5% del total del territorio nacional (SINAC, 2023).

Zona Protectora como categoría de manejo

Costa Rica posee 152 ASP distribuidas en sus nueve categorías de protección. Las Zonas Protectoras (ZP) suman 33 en total, lo que corresponde con 1494,96 km² y representa un 2,92% del territorio nacional (SINAC, 2023).

Las ZP se definieron en el año de 1969 mediante la Ley Forestal N° 4465 de la siguiente manera:

Artículo 83. – Se entenderá por zonas protectoras, aquellas áreas de bosques o terrenos forestales que, establecidas por disposiciones de la ley o por decreto del Poder Ejecutivo, sean destinadas a proteger los suelos, mantener y regular el régimen hidrológico, o actúen como agentes reguladores del clima o medio ambiente. (SINAC, 2016b, p. 31).

En el año de 1990 se reformó la Ley N° 4465, y mediante la Ley N° 7174 se redefinió esta categoría como: *"Artículo 35. -b) Zonas protectoras: Estarán formadas por los bosques y terrenos de aptitud forestal, en que el objetivo principal sea la protección del suelo, la regulación del régimen hidrológico y la conservación del ambiente y de las cuencas hidrográficas"* (SINAC, 2016b, p. 112).

En 1995, la Ley Orgánica del Ambiente, en su artículo 32, establece la clasificación de las ASP, siendo la zona protectora una de sus categorías de manejo, según el inciso b) de la norma. La definición técnica de zona protectora se halla en el artículo 70, inciso b), del reglamento a la Ley de Biodiversidad, concibiéndose esta como *"Áreas geográficas formadas por los bosques o terrenos de aptitud forestal, en que el objetivo principal sea la regulación del régimen hidrológico, la protección del suelo y de las cuencas hidrográficas"* por (Herrera, 2018, p. 10).

Esta definición se mantiene actualmente, con algunas pequeñas variaciones, siendo que oficialmente las ZP se definen como áreas formadas por bosques y terrenos de aptitud forestal, donde el objetivo principal es la protección del suelo, la regulación del régimen hidrológico y la conservación del ambiente y las cuencas hidrográficas (MINAE, 2001).

Redefinición de límites en ASP

El establecimiento y gestión de áreas protegidas (AP) es una piedra angular de la conservación de la biodiversidad, con el objetivo de salvaguardar las características de las condiciones ambientales, especies y comunidades ecológicas. Hasta la fecha, las AP han mitigado las amenazas asociadas con la actividad humana, y han frenado la pérdida de la diversidad biológica y la alteración del hábitat dentro de sus límites. Sin embargo, los cambios en el uso y la cobertura del suelo en áreas adyacentes pueden influir en la eficacia de las AP como herramientas de conservación (Mingarro et al., 2020, p. 1).

De acuerdo con los principios del enfoque ecosistémico, mencionados en el Reglamento de la Ley de Biodiversidad, los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento (SINAC, 2017, p. 33). Al crearse un ASP, se definen los linderos del espacio en el cual se aplicarán las políticas de conservación. Estos límites especifican no solamente el territorio donde se va a implementar un tipo de administración determinada, sino también indican los terrenos adecuados para la protección de las especies, y establecen limitaciones a la acción de las personas que habitan en las zonas aledañas al ASP (Durán, 2020, p. 33).

En este sentido, en el país se han desarrollado algunos estudios específicos en cuanto a propuestas para la redefinición de límites de ASP. Godoy (1984, como se citó en Durán, 2020, p. 10) desarrolló una metodología para la redefinición de los límites de áreas protegidas como un proceso de 12 etapas, que incluye desde la toma de decisión para elaborar los estudios de redefinición, la identificación del marco conceptual, la recopilación y análisis de información, hasta la definición y evaluación de aptitudes y limitaciones y la propia delimitación.

Madriz (1988) llevó a cabo una investigación, donde aplicó y comprobó dicha metodología para la redefinición de los límites del Parque Nacional Volcán Poás, y ahí obtuvo como resultado la propuesta de nuevos límites y la zona de amortiguamiento para dicha ASP.

Más adelante, Haug (1993) realizó la recomendación de redefinición de los límites del Parque Nacional Volcán Irazú, donde tomó en cuenta diversas variables físicas y socioeconómicas. Agüero et al. (2017) hicieron un estudio sobre la zona de amortiguamiento en la Reserva Natural Absoluta Cabo Blanco, y se determinó que se cumplen los objetivos de espacio de transición y de aprovechamiento social por medio de las variables propuestas, lo cual refleja la existencia de las condiciones de cobertura, relieve y dinámica poblacional aptas para la funcionalidad de este espacio.

Finalmente, Durán (2020) realizó un estudio para valorar la redefinición de los límites del Parque Nacional La Cangreja, en el cual, como parte de los resultados, se definieron cuatro sectores del área de amortiguamiento, que presentan condiciones adecuadas para integrarse al parque nacional.

Servicios Ecosistémicos

El bienestar y los medios de vida de los seres humanos dependen de los ecosistemas del planeta, tanto de aquellos naturales como de los manejados por el ser humano. Entender el intrincado funcionamiento de los ecosistemas, agroecosistemas y de los servicios que brindan es necesario para promover un manejo sostenible que favorezca tanto la productividad agrícola como la resiliencia; esta comprensión es de especial importancia en el panorama actual de cambio climático y las amenazas que representa para la producción agrícola (Martínez et al., 2017).

Según Millennium Ecosystem Assessment (2005), los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que los seres humanos obtienen de los ecosistemas. Estos servicios pueden dividirse en cuatro categorías principales: de provisión (como alimentos y agua), de regulación (como la regulación del clima y la calidad del agua), de soporte (como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes), y culturales (como el valor estético y recreativo de la naturaleza).

En la Tabla 1 se realiza la clasificación de dichos servicios, se presenta la definición, así como ejemplos específicos de cada uno.

Tabla 1

Clasificación de los servicios ecosistémicos

Tipo de servicio	Definición	Servicios ecosistémicos
Servicios de aprovisionamiento	<p>Recursos naturales, bienes tangibles o materiales que provienen de los ecosistemas con beneficio directo para las personas.</p> <p>Brindan el sustento básico de la vida humana, y a menudo tienen valor monetario.</p>	<p>Alimentos para el consumo humano, usualmente vienen de agroecosistemas manejados (ej., maíz, arroz, carne, etc.), pero también pueden venir de los ecosistemas marinos o ribereños (peces, algas, camarones, mariscos), o de ecosistemas naturales como bosques (frutas silvestres, miel, hongos, etc.).</p> <p>Materia prima, materiales para construcción, leña, biocombustibles y aceites que vienen tanto de las plantas cultivadas en agroecosistemas como de plantas silvestres de los bosques.</p> <p>Medicinas para el bienestar humano y animal por medio de las plantas, que pueden ser medicinales cultivadas, y otras sustancias (ej. miel, jalea real) con compuestos medicinales provenientes de ecosistemas naturales.</p> <p>Abastecimiento de agua, cuya cantidad y calidad está influenciada por la vegetación y los bosques aguas arriba.</p>
Servicios de regulación	<p>Procesos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades.</p>	<p>Regulación del clima, mediante la reducción de temperatura local.</p> <p>Regulación de la calidad del aire, convirtiendo el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis.</p> <p>Secuestro y almacenamiento de carbono, remoción del dióxido de carbono de la atmósfera y almacenamiento en su biomasa y también en el suelo.</p> <p>Moderación de los efectos de eventos extremos, amortiguamiento de riesgos naturales tales como inundaciones, tormentas y torrentes.</p> <p>Tratamiento de aguas residuales, filtrado mediante actividad de microorganismos en el suelo que descomponen desechos.</p> <p>Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, sujeción de las raíces en los taludes y árboles que aportan nitrógeno a través de su fijación.</p> <p>Control biológico, regulación de plagas y enfermedades.</p> <p>Polinización, el viento, insectos, aves, y mamíferos polinizan la vegetación.</p>

Tipo de servicio	Definición	Servicios ecosistémicos
Servicios de apoyo o soporte	Procesos ecológicos básicos que aseguran el mantenimiento adecuado de los ecosistemas, permitiendo los flujos de servicios de provisión, de regulación.	Hábitat de especies , provisión de las condiciones para que plantas y animales puedan reproducirse, acceder a alimento, agua y espacio. Mantenimiento de la diversidad genética , sostenimiento de la variedad de genes a lo interno y externo de las poblaciones.
Servicios culturales	Beneficios no materiales que las personas obtienen a través del enriquecimiento espiritual, la recreación y la apreciación de la belleza. Dependen de las percepciones y los valores colectivos de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes.	Recreación, salud física y mental mediante el uso de sitios para relajación. Turismo , aprovechamiento en diferentes tipos de actividades y momentos de ocio que se pueden ofrecer como servicios de turismo. Apreciación estética e inspiración para el arte . Belleza escénica, paisajes, miradores. Experiencia espiritual y sentido de pertenencia . Personas que consideran sagradas ciertas montañas o ríos, sitios religiosos.

Nota. La clasificación de los servicios ecosistémicos es realizada por Martínez et al. (2017).

Uso de suelo

El uso del suelo se refiere a la manera en que los seres humanos emplean y gestionan el territorio para diversas actividades, como la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la urbanización, y la conservación. Este concepto es fundamental para entender las dinámicas ambientales y socioeconómicas que afectan y son afectadas por la distribución y organización del espacio geográfico (Lambin y Geist, 2006).

Para varios autores, tales como Foley et al. (2005), Turner et al. (2007) y Ellis (2011), existen diversas categorías de uso del suelo, cada una con características y efectos específicos sobre el medio ambiente, por ejemplo, un uso de suelo agrícola incluye cultivos anuales y perennes, huertas, pastizales y áreas de cultivo intensivo; este tipo de uso suele estar asociado con la transformación del paisaje natural, la utilización de fertilizantes y pesticidas, y la modificación de los ciclos hidrológicos. Los suelos destinados a la ganadería, cría de animales para la producción de carne, leche, lana, entre otros, pueden verse impactados a través de la compactación, erosión y contaminación por desechos de animales.

En áreas destinadas a la producción de madera, papel y otros productos forestales, suele existir un equilibrio entre la extracción de recursos con la conservación del ecosistema. Terrenos utilizados para la construcción de viviendas, infraestructura y servicios urbanos, implican una alta densidad de edificaciones y pavimentación, lo cual afecta la infiltración del agua y contribuye al fenómeno de isla de calor.

En espacios dedicados a la manufactura, almacenamiento y actividades comerciales, se puede generar contaminación del suelo y agua, debido a la emisión de residuos y sustancias químicas. En parques, áreas de esparcimiento y turismo ecológico puede implementarse una forma de conservación si se gestiona adecuadamente. Finalmente, en los terrenos destinados a la preservación de ecosistemas naturales y biodiversidad, como parques nacionales, reservas biológicas y zonas protectoras, el uso está orientado a minimizar la intervención humana y mantener los procesos ecológicos naturales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Para Foley et al. (2005) el uso del suelo tiene un impacto significativo en los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan. Los cambios en el uso del suelo pueden alterar los ciclos de nutrientes, el régimen hidrológico, la estructura del hábitat y la biodiversidad. La conversión de tierras naturales a usos agrícolas, urbanos o industriales es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo. La deforestación y la urbanización son ejemplos claros de cómo el cambio de uso del suelo puede tener consecuencias negativas para los ecosistemas. El uso del suelo también influye en la infiltración, escorrentía y almacenamiento de agua.

En Costa Rica, de acuerdo con el Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Decreto N° 29375 MAG-MINAE-S-HACIENDA-MOPT), el uso conforme del suelo se define como:

Aquel uso del suelo que se ajuste a las normas consideradas en la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica y a

las normas técnicas de manejo y conservación del suelo establecidas en la ley N° 7779. (s.p.)

La Metodología para Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica (decreto N° 23214-MAG-MIRENEM) indica que el sistema consta de ocho clases representadas por números romanos, en las cuales se presenta un aumento progresivo de limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales.

Las clases I, II y III permiten el desarrollo de cualquier actividad incluyendo la producción de cultivos anuales, donde la selección de las actividades dependerá de criterios socioeconómicos. En las clases IV, V y VI su uso se restringe al desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes. En la clase IV los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional.

La clase VII tiene limitaciones tan severas, que solo permiten el manejo del bosque natural primario o secundario. En las tierras denudadas debe procurarse el restablecimiento de vegetación natural, y finalmente la clase VIII está compuesta de terrenos que no permiten ninguna actividad productiva agrícola, pecuaria o forestal, siendo, por tanto, adecuada únicamente para la protección de recursos.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Enfoque y tipo de investigación

El enfoque de investigación es mixto, lo que significa que contó con variables y atributos vinculados dentro del análisis mediante la combinación estratégica de métodos cualitativos y cuantitativos, para obtener una comprensión más completa y enriquecida del problema de investigación, buscando la convergencia y validación cruzada de los datos obtenidos a partir de diferentes métodos y realizando un análisis integrado de los resultados, donde se combinaron y analizaron conjuntamente para ofrecer una perspectiva holística (Hernández y Mendoza, 2014, p. 185).

Con respecto a las variables cuantitativas, se determinaron las siguientes: extensión territorial de la Zona Protectora Río Tiribí, porcentaje de la Zona Protectora cubierta por diferentes tipos de cobertura y recarga acuífera. Mientras que dentro de las variables cualitativas se evaluaron: estrategias de conservación definidas para la Zona Protectora, elementos focales de manejo, cercanía con otras ASP y uso divergente del suelo.

Para enriquecer y sustentar el análisis cualitativo de la investigación, se emplearon diversas técnicas cualitativas, que permitieron una comprensión profunda de las variables definidas. Entre ellas se utilizaron entrevistas para obtener información detallada y en profundidad de los actores clave, como funcionarios del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y de la Municipalidad de La Unión, lo que permitió explorar las percepciones y conocimientos de los participantes sobre las estrategias de conservación y los desafíos que enfrenta la ZPRT.

Se utilizó la observación participante, para comprender mejor el contexto y las dinámicas ambientales dentro y fuera de la ZPRT. Este método permitió observar directamente los usos del suelo y las prácticas de conservación. Se realizó un análisis exhaustivo de documentos relevantes, incluyendo planes de manejo, informes técnicos, estudios previos y legislación relacionada con la ZPRT. Este análisis documental complementa la información obtenida a través de las entrevistas.

Respecto a los tipos de investigación empleados, desde el enfoque mixto se calificó como una investigación no experimental de tipo descriptiva, concurrente, de campo, correlacional, teoría fundamentada (Hernández y Mendoza, 2014, p. 610).

- a. **Descriptiva:** se realizó una descripción sobre los límites actuales de la ZPRT, sus características y configuración, con la finalidad de obtener una visión clara para entender su naturaleza.
- b. **Concurrente:** se llevó a cabo la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos simultáneamente. La información se combinó para obtener una comprensión más completa y, al final, se integraron los resultados.
- c. **De campo:** se realizó toma de los datos dentro y en los alrededores de la ZPRT.
- d. **Correlacional:** se estableció la relación entre dos o más variables, identificando la existencia de la correlación entre ellas.
- e. **Teoría fundamentada:** se elaboró una propuesta para nuevos límites de la ZPRT, a partir de los datos recopilados en el proceso de investigación.

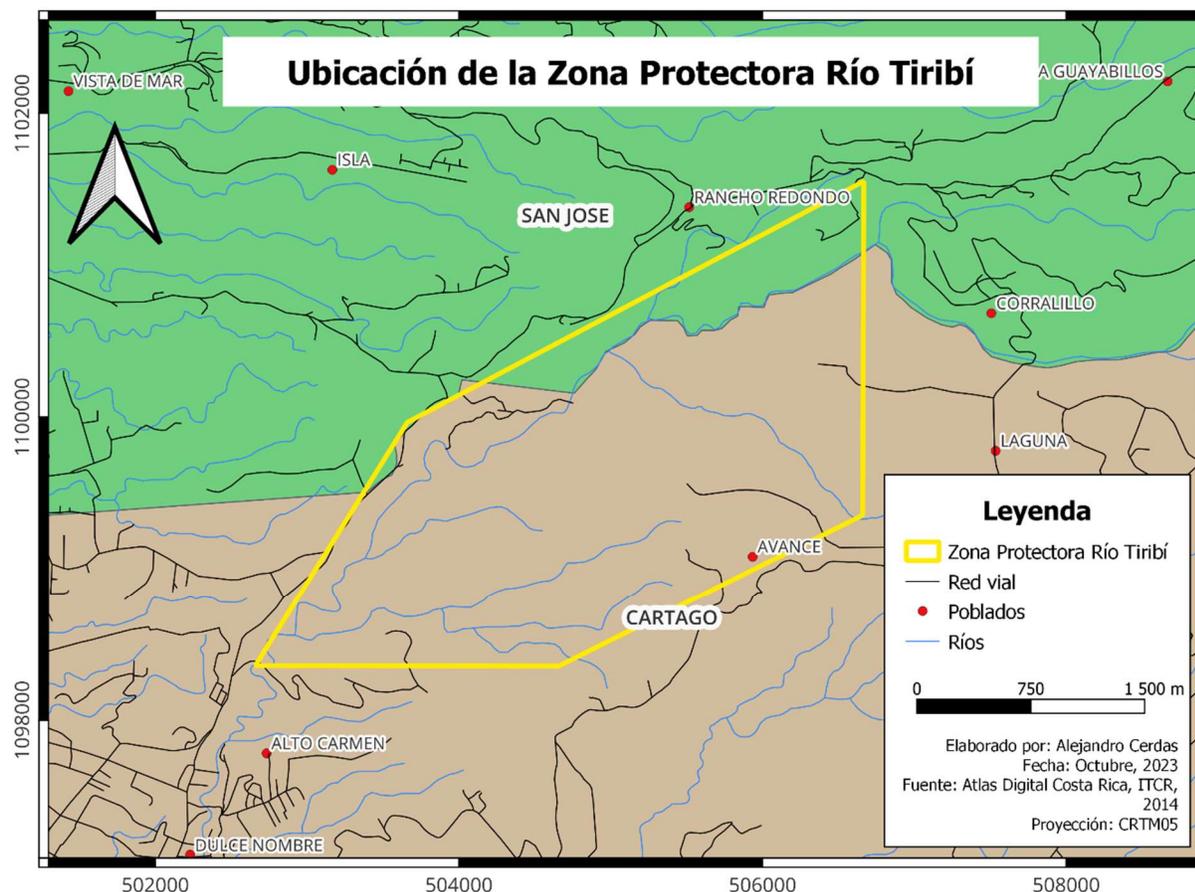
Marco espacial y temporal.

La investigación se realizó en la Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT). Esta ASP se encuentra dentro de la microcuenca alta del Río Tiribí entre la coordenada 502500 – 1098300 (-83°58'37" y 9°55'57") y la coordenada 506600 – 1101600 (-83°56'23" y 9°57'55"), cuya altura máxima es de 2120 msnm dentro del área de la zona protectora. Según SINAC (2016b), un 49% corresponde al cantón de La Unión y un 38.7% al cantón de Cartago, ambos de la provincia Cartago. La provincia de San José está representada por los cantones de Montes de Oca y Goicoechea, con un porcentaje de 12.3% (Figura 1).

La investigación se desarrolló entre los meses de febrero a abril del año 2024.

Figura 1

Ubicación espacial de la Zona Protectora Río Tiribí



Nota. En color verde se representan los cantones de Montes de Oca y Goicoechea, ambos de la provincia de San José; en color gris se representan los cantones de La Unión y Cartago, pertenecientes a la provincia de Cartago.

Sistematización de los objetivos

Al tratarse de una investigación con enfoque mixto, se combinan elementos cualitativos y cuantitativos. Para las variables incluidas en cada uno de los objetivos específicos, considerando el problema de investigación y los objetivos planteados, se definió el procedimiento metodológico por seguir para la recopilación de la información, su análisis y evaluación, para poder plantear una propuesta con respecto a los límites de la ZPRT. Para ello se utilizó la metodología indicada en la Tabla 2.

Tabla 2*Metodología para redefinición de límites de la ZPRT*

Etapa	Actividades
Selección de área de estudio.	Estudio de los objetivos de conservación de la ZPRT. Selección de la zona protectora. Identificación de las razones por las que es necesario un estudio de redefinición de límites.
Identificación del marco conceptual.	Consulta de políticas nacionales sobre ASP y trabajos previos sobre redefinición de límites en ASP.
Recopilación de la información.	Identificación de los servicios ecosistémicos, recursos naturales, elementos antrópicos y aspectos institucionales de ZPRT.
Levantamiento de datos en el campo.	Visitas de campo para recopilar información y obtener los datos necesarios.
Análisis de la situación actual de los límites.	Análisis de la legislación que define los límites actuales. Identificación y análisis de los objetivos de conservación. Análisis de la información recopilada sobre los recursos naturales y servicios ecosistémicos en contraste con la situación actual de los límites y los objetivos de conservación.
Digitalización de información.	Elaboración de mapas temáticos.
Elaboración de la propuesta con respecto a los límites.	Identificación y análisis de espacios aptos a ser integrados dentro de la ZPRT.

Nota. La metodología es una adaptación de la utilizada por Durán (2020).

Sistematización de objetivo específico 1: Analizar los límites actuales de la ZPRT, en relación con las estrategias de conservación planteadas

VARIABLES POR CONSIDERAR:

- Extensión y forma de los límites actuales de la ZPRT.
- Estrategias de conservación definidas para la ZPRT.
- Límites actuales y las estrategias de conservación.
- Elementos focales de manejo.

Se llevó a cabo un análisis de las estrategias de conservación definidas, como lo son: manejo integral de cuencas, conectividad biológica y conservación de suelos, mediante el uso de la herramienta SIG (software libre QGIS Desktop versión 3.22.14), que permitió realizar una comparación entre lo existente y la relación que guardaban con los límites actuales de la ZP.

Se recopiló y revisó literatura específica sobre las políticas nacionales de ASP, metodología para definición de los límites de ASP, objetivos de conservación de la ZPRT y las estrategias de manejo definidas por el SINAC, en el Plan general de manejo de la ZPRT.

Se llevó a cabo una reunión con representantes de SINAC y otra con representantes de Municipalidad de La Unión, con la finalidad de recopilar información sobre las estrategias de gestión que dichas instituciones planean a corto y mediano plazo, dentro de la ZPRT.

Para el análisis SIG, aparte de la información recopilada, se utilizaron capas de información geoespacial disponibles en la plataforma del Servicio Nacional de Información Territorial (SNIT) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en sus versiones más recientes, además de capas suministradas por la Municipalidad de La Unión y por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), entre ellas:

- Áreas Silvestres Protegidas (SINAC).
- Corredores Biológicos (SINAC).

- Tipos de bosque 2021 (MINAE).
- Patrimonio Natural del Estado (SINAC).
- Red vial.
- Red hídrica.
- Nacientes captadas (Municipalidad de La Unión y AyA).
- Pozos (Dirección de Agua).

Para poder llevar a cabo el análisis de los límites actuales, se realizaron dos visitas de campo, en las cuales se registraron puntos importantes con un dispositivo GPS de la marca Garmin, modelo GPSmap 60Cx, con una precisión de ± 3 metros, y se anotaron datos tales como: coordenadas en proyección CRTM05, uso de suelo, cobertura y recursos naturales presentes, infraestructura, provincia, cantón y distrito.

En cada una de las visitas de campo se abarcaron dos sectores, en la primera los sectores oeste y norte, y en la segunda los sectores sur y este. El procedimiento para la colecta de datos consistió en realizar un recorrido en vehículo 4x4, iniciando en la zona con la menor altitud (de acuerdo con cada sector) utilizando los caminos existentes. Se tomaron datos en los puntos en los cuales el camino se acercaba más a los límites actuales de la ZPRT. En la zona alta de la microcuenca, los datos fueron tomados en sectores de interés (áreas con vista panorámica, presencia de cultivos, entre otros).

Durante el análisis SIG, se utilizó una capa de recarga hídrica de microcuenca del río Tiribí, digitalizada a partir de un mapa contenido en el Plan de manejo de la ZPRT, elaborado por SINAC. Además, se realizó la contraposición con las capas de pozos, nacientes y tomas de agua potable (superficiales y subterráneas) registradas a nombre del AyA o a nombre de la municipalidad, y también se valoraron otras concesiones de agua registradas en el Dirección de Agua del MINAE.

También se llevó a cabo una sobreposición de la capa de recarga hídrica y la capa de tipos de bosque, con la finalidad de realizar una comparación entre los diferentes usos de suelo y las zonas de mayor recarga, completando la información con los datos obtenidos en campo.

Para llevar a cabo los análisis SIG se utilizan herramientas de geoproceto, tales como disolver, cortar y unión. Además de herramientas para la digitalización de capas, la calculadora de campos, con la finalidad de realizar sumatoria de capas vectoriales; la calculadora ráster para capas de este tipo; y la herramienta de georreferenciación para imágenes.

Finalmente, se elaboró una matriz para la comparación de la cobertura existente y la cobertura ideal; se ejecutó la herramienta de geoproceto “disolver” para las capas de uso del suelo y el tipo de suelo; y posteriormente mediante, la sumatoria de las capas resultantes, se obtuvo capa final del estado del uso de las tierras.

Sistematización de objetivo específico 2: Identificar los principales servicios ecosistémicos que protege la ZPRT

Variables por considerar:

- Servicios ecosistémicos presentes en la ZPRT.
- Uso del suelo dentro de la ZPRT.
- Divergencia de uso del suelo.

Se realizó una identificación de los principales servicios ecosistémicos que protegen el área, de acuerdo con lo indicado en el plan de manejo y lo observado en campo. Se llevó a cabo un análisis del espacio geográfico, para identificar zonas con divergencia de uso, basado en una capa geoespacial siniestrada por el AyA.

Para lograr el objetivo, también se llevó a cabo una revisión y recopilación de información bibliográfica, información disponible de la Municipalidad de La Unión, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y SINAC; se utilizaron capas de información geoespacial, disponibles en la plataforma del SNIT del IGN:

- Concesiones (Dirección de Agua).

- Paisaje de Cobertura arbórea 2022 (CeNAT, Centro Nacional de Alta Tecnología).
- Divergencia de uso (AyA).
- Áreas de drenaje (AyA).
- Ubicación de nacientes (Municipalidad de La Unión).
- Tipos de bosque 2021 (MINAE).

Para evaluar la divergencia de uso, se utilizó información del AyA relacionada con la capacidad de uso óptimo del suelo en la microcuenca del río Tiribí, estableciendo categorías de uso conforme y uso no conforme, mediante el uso de herramientas SIG (QGIS Desktop 3.22.14), asignando un código de colores, verde para uso conforme y rojo para uso no conforme, comparando la información de la capa suministrada por AyA, con la información registrada en la imagen satelital de Google, disponible en los servicios “QuickMapServices” del software QGIS. Para completar la información necesaria y lograr lo anterior, se realizaron visitas de campo, revisión bibliográfica y toma de datos con GPS (Garmin GPSmap 60Cx) para registrar uso del suelo, cobertura existente, pendiente, altitud, coordenadas, entre otros.

Sistematización de objetivo específico 3: Elaborar una propuesta de redefinición de los límites de la ZPRT según las variables ambientales, estrategias de conservación y servicios ecosistémicos identificados en el ASP

Variables por considerar:

- Resultados del análisis de los límites actuales y las estrategias de conservación.
- Resultados del análisis de los servicios ecosistémicos y el uso del suelo.
- Características topográficas y geográficas del área.
- Consideraciones administrativas.
- Propuesta de nuevos límites de la ZPRT.

Para cumplir con el objetivo específico 3, de redefinir los límites de la Zona de Protección y Recuperación de Territorio (ZPRT), de manera que permita una gestión óptima de sus

recursos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo, que consideró los siguientes puntos clave:

- Primero, se evaluaron los resultados del análisis de los límites actuales y las estrategias de conservación implementadas hasta la fecha. Esto incluyó la revisión de documentos técnicos y estudios de campo, para comprender la efectividad de las medidas existentes.
- Segundo, se examinaron detalladamente los servicios ecosistémicos proporcionados por la ZPRT y el uso actual del suelo. Este análisis permitió identificar áreas críticas para la conservación de la biodiversidad, la protección de recursos hídricos y la regulación climática.
- Tercero, se consideraron las características topográficas y geográficas del área, tales como la pendiente del terreno, la altitud, y la conectividad hidrológica y biológica. Estos aspectos fueron fundamentales para determinar la idoneidad de los nuevos límites propuestos.

Además, se tomaron en cuenta consideraciones administrativas, como los límites legales y las normativas vigentes aplicables a la gestión territorial y ambiental.

Finalmente, se formuló una propuesta de nuevos límites para la ZPRT, integrando todos los datos recopilados mediante el uso de herramientas avanzadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente QGIS, versión 3.22.14. Esta herramienta facilitó la digitalización de un polígono, que incorporó información crucial, como la de límites actuales, límites de la microcuenca del río Tiribí, recarga hídrica, fuentes de captación de agua, servicios ecosistémicos, conectividad biológica, uso de la tierra, cobertura de suelo, divergencia de uso, cercanía de otras ASP y corredores biológicos, parches boscosos y cobertura forestal, entre otros.

Como resultado de este proceso, se elaboró un mapa detallado, que visualiza de manera clara y gráfica la propuesta de redefinición de límites.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de límites actuales y estrategias de conservación

Se determina que el establecimiento de los límites de la ZPRT no contempló elementos relacionados con el manejo integral de la cuenca, la conectividad biológica, la protección de servicios ecosistémicos u otros elementos de conservación. Esto se refuerza con lo señalado por Haug (1993), ya que en su investigación también concluyó que al momento en que las primeras ASP fueron creadas, los límites de estas se definieron en una forma arbitraria, sin mediar estudio científico alguno que permitiera identificar y evaluar la biodiversidad y representatividad de los recursos que realmente se pretendían proteger.

También es evidente que el establecimiento de los límites de la ZPRT no obedeció al uso de elementos físicos visibles en campo, como ríos, caminos, linderos de otras ASP u otros elementos de importancia natural, sino que en su lugar se establecieron líneas rectas imaginarias, que no precisamente delimitan el área por proteger de la mejor manera. Esto se evidencia con lo indicado en el decreto de creación, pues la Zona Protectora Río Tiribí fue creada mediante el Decreto Ejecutivo N° 6112-A de 1976, el cual indica:

“(…)

Artículo 1°-Se establecen las siguientes zonas protectoras, demarcadas en las hojas cartográficas 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional. Cubren una extensión aproximadamente de 14800 hectáreas.

(…)

Río Tiribí: Hoja Istarú 3445 IV. En las Coordenadas Lambert.

<i>Punto</i>	<i>Coord. Verte.</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Distancia M</i>
<i>0</i>	<i>539000</i>	<i>213000</i>	<i>1800</i>
<i>1</i>	<i>540000</i>	<i>214600</i>	<i>3400</i>
<i>2</i>	<i>543000</i>	<i>216200</i>	<i>2000</i>

3	543000	214000	2200
4	541000	213000	2000
Cubre un área aproximada de 650 Has.			

(...)” (s.p.)

Para la WWF (2001) la delimitación en las ASP y su eficacia varía de sitio a sitio. En algunos casos, un río u otra característica natural puede proveer un límite adecuado; en otros casos, se deben marcar límites artificiales. Sin embargo, en cualquier caso, los límites deben establecerse mediante el uso de herramientas adecuadas, que garanticen la conservación de los recursos que se pretende proteger. Ejemplos de una definición poco efectiva, en cuanto a los límites de ASP se refiere, incluyen la falta de datos confiables obtenidos en campo (por ejemplo, población y distribución de especies, análisis del hábitat) (WWF, 2001).

Inclusive, los resultados del establecimiento de los límites de la forma indicada, reflejan una diferencia de área de aproximadamente 50 ha, ya que, de acuerdo con Díaz (2016), citado por SINAC (2016b, p. 3), existe una diferencia entre el área que indica el Decreto Ejecutivo 6112-A y la que se determina por medio de los sistemas modernos de información geográfica, que permiten establecer, basados en las coordenadas descritas en el mismo decreto, que el área efectiva, que cubre la Zona Protectora Río Tiribí, es de 700 ha.

De acuerdo con SINAC (2016b), los límites actuales de la ZPRT posiblemente obedecieron a una aplicación práctica, que facilitara la protección de los puntos de captación de los acueductos existentes, al momento de su creación y de la producción hidroeléctrica.

En cuanto a las estrategias de conservación para el ASP, corresponde al MINAE la definición de estas, mediante la identificación de los valores ecológicos, culturales y socioeconómicos, que constituyen los Elementos Focales de Manejo (EFM) (SINAC, 2014). El proceso de planificación de un ASP se rige por los principios del enfoque

ecosistémico, lo cual implica que el manejo debe fundamentarse en el manejo de ecosistemas y sus procesos asociados, y no en función de límites administrativos (SINAC, 2016a).

Los EFM están definidos por la identificación, inicialmente de valores ecológicos, lo que consiste en un proceso de selección de un reducido número de elementos de la biodiversidad que serán objetos o prioridad del manejo del ASP; y en segunda instancia la Identificación de los valores culturales y socioeconómicos, los cuales pueden ser tangibles o intangibles (SINAC, 2016a). Para la ZPRT se han definido tres EFM, la parte alta de la microcuenca del río Tiribí, las asociaciones vegetales y el suelo (SINAC, 2016b, p. 13).

Uno de los componentes medulares del proceso de planificación del ASP es el desarrollo de las alternativas de manejo que, junto con los EFM, son la base para establecer las estrategias de conservación (SINAC, 2014).

Dentro del Plan general de manejo de la Zona Protectora Río Tiribí, mediante el uso de la *Guía para el diseño y formulación del Plan general de manejo de las áreas silvestres protegidas de Costa Rica*, SINAC (2016b) ha establecido tres estrategias de conservación en función de la sostenibilidad del área: Manejo Integral de cuencas, Conectividad biológica (incluye restauración ecológica) y Conservación de suelos.

Manejo Integral de Cuencas

Actualmente, dentro del área que abarca la microcuenca del río Tiribí, existen 12 pozos registrados. Además, la Municipalidad de La Unión posee registradas 12 nacientes, de las cuales aprovecha una para consumo humano, y el AyA aprovecha dos tomas subterráneas y una toma superficial, también con el motivo de consumo humano. Aparte de ello, existen al menos 50 concesiones de agua registradas ante la Dirección de Aguas del MINAE (Figura 2).

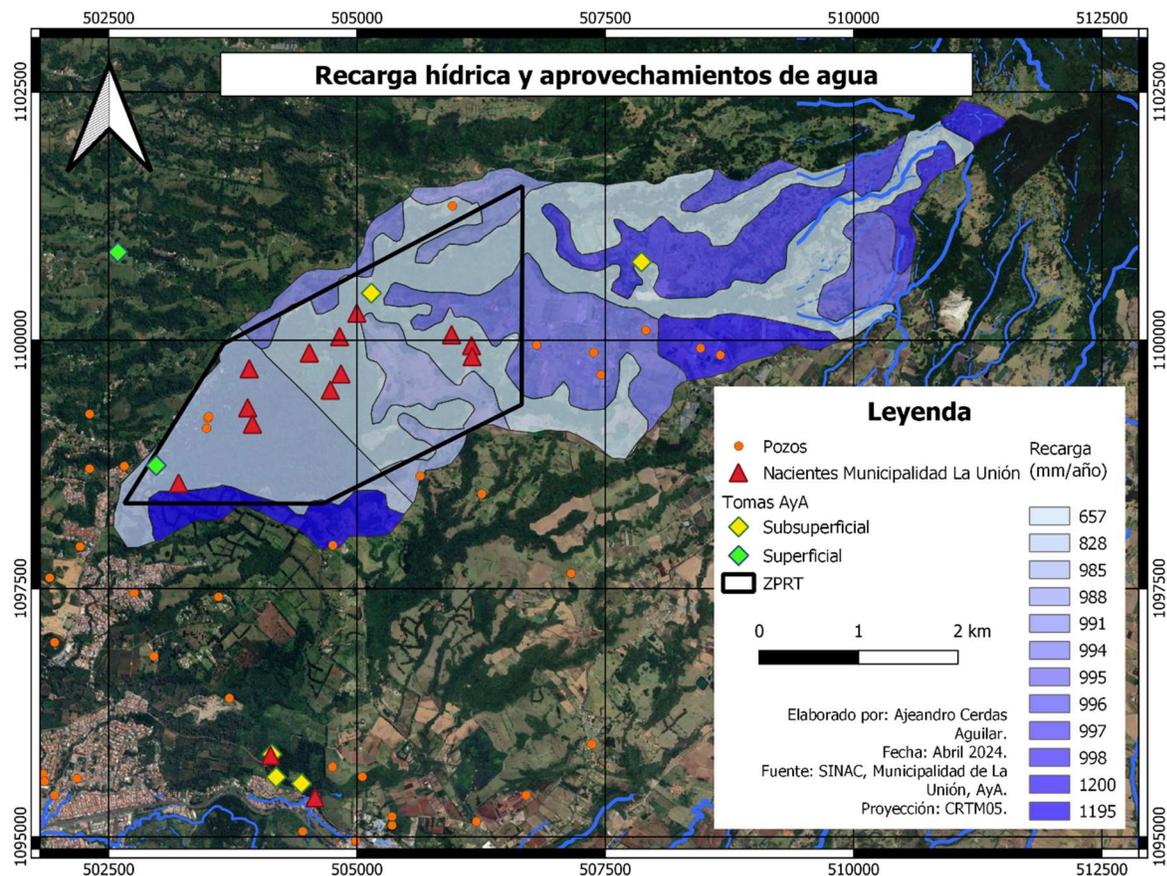
De lo anterior, se destaca que todas las tomas de la municipalidad se encuentran dentro de los límites actuales de la ZPRT, debido a que los terrenos municipales (Finca Los Lotes) está contenida también dentro de la ZP. De las concesiones de agua, 18 se encuentran dentro, y dos de las tomas del AyA y tres de los pozos también están dentro. Esto indica que el resto de los pozos, las concesiones y las tomas se encuentran fuera de los límites de la ZP.

Según SINAC (2016b), la razón principal de la creación de la ZPRT fue la producción de agua para consumo humano y la producción de energía hidroeléctrica, por lo que probablemente el establecimiento de sus límites actuales obedeció a una aplicación práctica, que facilitara la protección de los puntos de captación de los acueductos existentes, al momento de su creación y la producción hidroeléctrica.

Este mismo autor considera que, al analizar elementos como el tamaño y la forma de la ZPRT, se evidencia que su creación no contempló elementos de manejo integral de la microcuenca del río Tiribí, la cual posee áreas de recarga acuífera que se encuentran en la parte alta y que, actualmente, están fuera de los límites del ASP.

Figura 2

Recarga hídrica de la microcuenca alta del río Tiribí



Nota. En color azul oscuro se representan las áreas que favorecen una mayor recarga hídrica, las cuales se ubican fuera de los límites actuales de la ZPRT.

La recarga acuífera es un proceso fundamental para la sostenibilidad del suministro de agua en una región. Se refiere al flujo de agua desde la superficie terrestre hasta los acuíferos subterráneos, donde se almacena como reserva de agua subterránea. En el caso de la microcuenca del río Tiribí, la recarga acuífera juega un papel crucial en la disponibilidad de agua para consumo humano, agricultura y otros usos (Arias, 2012).

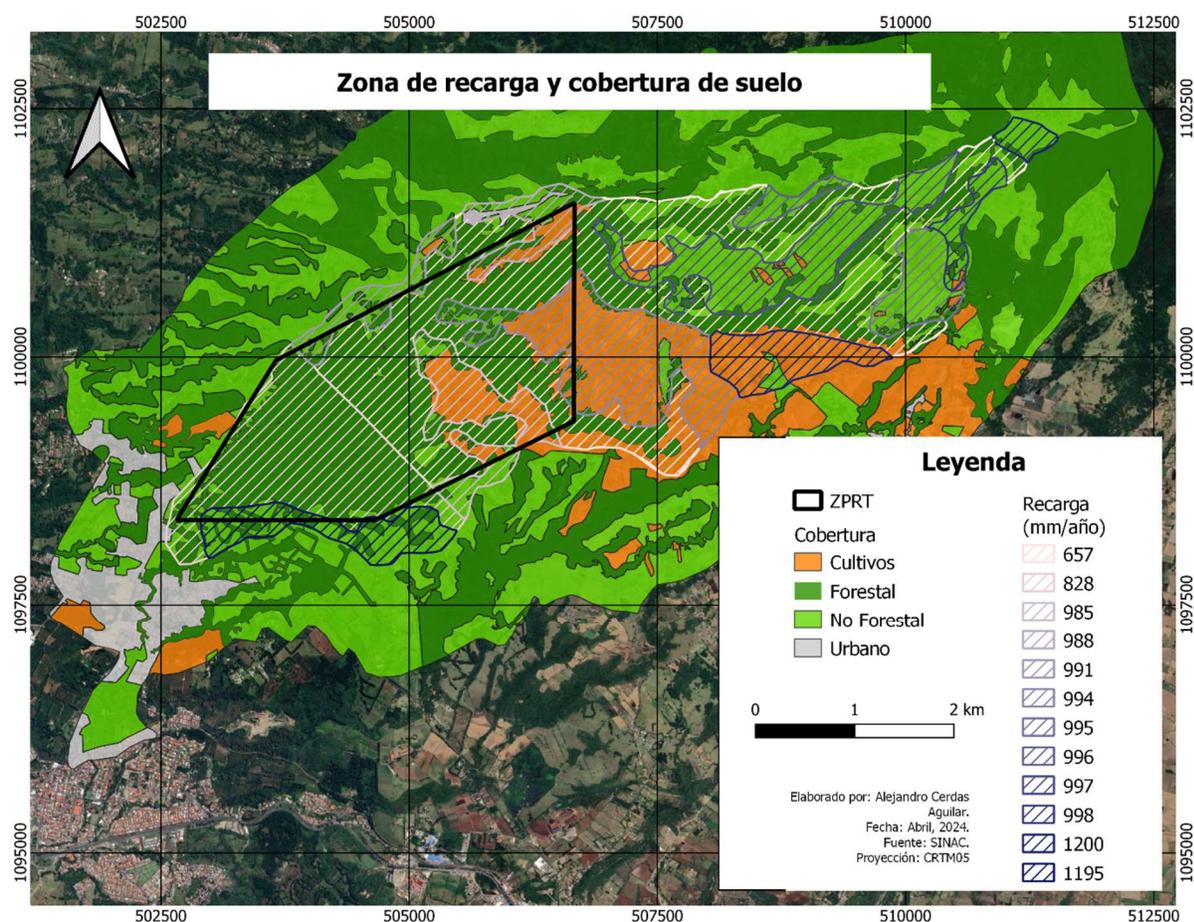
En concordancia con el estudio de Arias (2012), quien evidencia que, en los sectores donde el uso del suelo está dedicado a los bosques, presenta una menor recarga potencial, y las zonas de mayor recarga acuífera se corresponden con zonas de pastos y cultivos, ubicadas especialmente en la cuenca media y alta; al observar la Figura 3 se evidencia que los sectores que poseen una cobertura no forestal, o sea, que están

dedicados a pastos, ganadería y otros usos, también se corresponden con las áreas de mayor recarga.

Ahora bien, estas zonas de mayor recarga se encuentran en su mayoría fuera de los límites actuales de la ZPRT, a pesar de que las captaciones utilizadas para consumo humano se encuentran dentro.

Figura 3

Relación ente recarga hídrica y cobertura



Nota. Las zonas de mayor recarga hídrica poseen un uso de suelo que, en su mayoría, se corresponde con áreas utilizadas para ganadería, o sea potreros, y tienen influencia directa desde las zonas con cultivos, en las cuales es común el uso de agroquímicos.

Para Arias (2012) este aspecto no es nuevo, y es común que las zonas boscosas presenten menor índice y recarga, por el hecho de que los bosques, al ser ecosistemas

más desarrollados, tienden a tener mayores tasas de consumo de agua, además de una mayor evapotranspiración. Adicionalmente, los bosques, al tener cierto desarrollo de copas, participan en la intercepción de la lluvia y, por ello, en períodos cortos de tiempo la precipitación efectiva para el proceso de infiltración es mucho menor que en otros tipos de usos.

Conectividad Biológica

En la Figura 4 se puede observar que los límites actuales de la ZPRT obedecen a líneas rectas. Varios estudios (Godoy, 1984; Madriz, 1988; Haug, 1993; Durán, 2020), señalan que un problema generalizado con las ASP en Costa Rica es que al momento de su creación los límites fueron trazados de manera apresurada, sin comprobación de campo, trazando líneas rectas sobre un mapa, sin tomar en cuenta aspectos como, por ejemplo, el relieve o los hábitats. Esto ha generado una serie de conflictos producto de esta delimitación deficiente, pues se incluyeron terrenos que no necesariamente tenían que estar dentro del área protegida, y se dejaron de lado otros que sí requerían protección. Incluso aspectos como rutas migratorias de especies, o la protección de los hábitats no se hizo de la manera más adecuada.

Si bien es cierto que existen dos corredores biológicos que colindan con la ZPRT, Corredor Biológico Interurbano Río Torres y Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, existen otras ASP cercanas que no tienen conexión con esta, la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central, el Parque Nacional Volcán Irazú y el Corredor Biológico Cobri Surac (Figura 4).

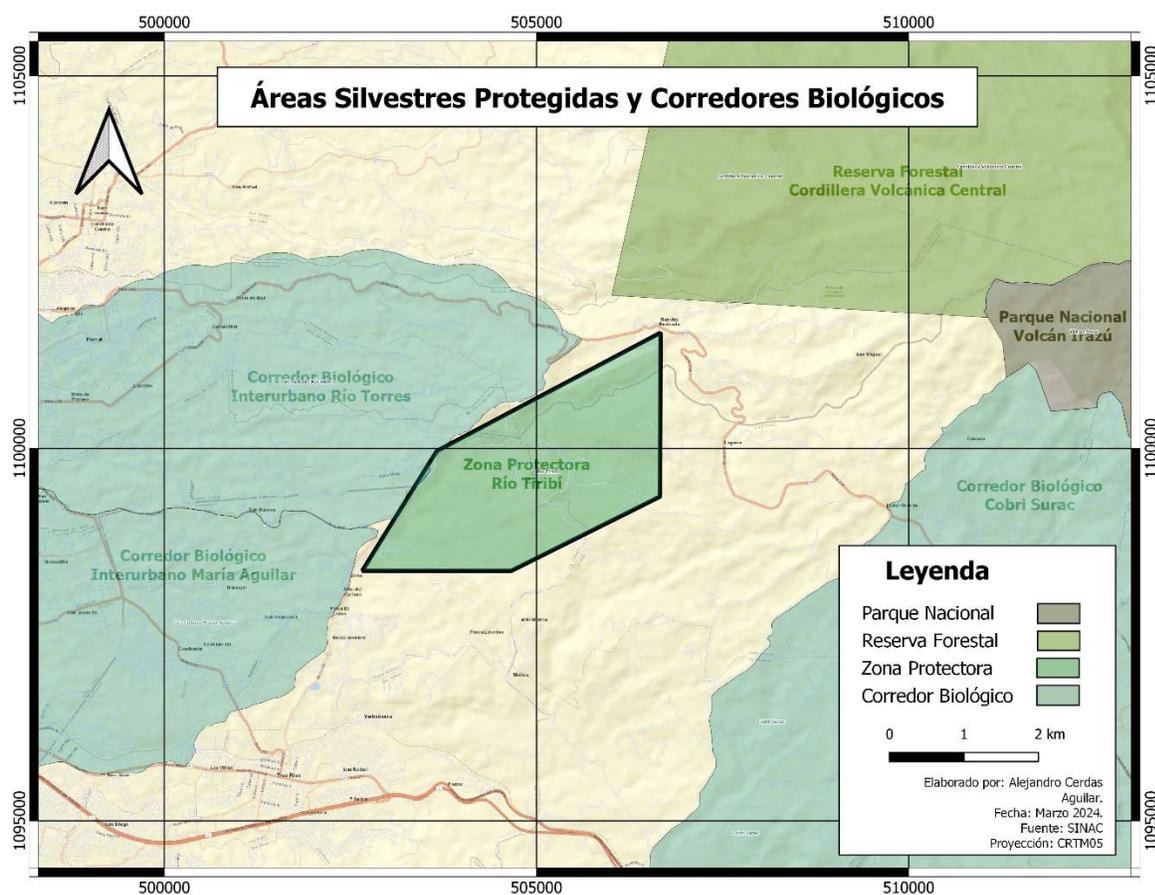
SINAC (2016b) indica que la conectividad biológica es la estrategia de manejo que permite responder a los problemas de fragmentación dentro del territorio, se puede alcanzar a partir de la creación de áreas denominadas “corredores biológicos”, los cuales permiten conectar parches boscosos en el paisaje, permitiendo el flujo de materia, energía y organismos, entre diversos ecosistemas, hábitats o comunidades. Es necesario promover la conectividad biológica estructural y funcional, que permita el movimiento de

organismos entre diferentes áreas, lo cual es crucial para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los procesos ecológicos.

Para EUROPARC (2009), la pérdida de hábitat y la fragmentación se consideran las principales amenazas que afectan a la diversidad biológica. Conservacionistas, planificadores y ecólogos se refieren a la pérdida de hábitat y al aislamiento de los hábitats con el término “fragmentación”. La fragmentación de los hábitats es una de las principales causas de extinción de especies (Brook et al., 2008).

Figura 4

ASP y corredores biológicos cercanos a la ZPRT



Nota. Según el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, un corredor biológico es un territorio delimitado, cuyo fin primordial es proporcionar conectividad entre áreas silvestres protegidas, así como entre paisajes, ecosistemas y hábitat, naturales o modificados, sean rurales o urbanos, para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos ecológicos y evolutivos; proporcionando espacios de

concertación social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en esos espacios.

La falta de conectividad biológica, en las áreas protegidas, puede tener varias implicaciones negativas para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Algunas de estas implicaciones incluyen fragmentación del hábitat, lo que dificulta el movimiento de especies entre diferentes áreas. Esto puede resultar en la pérdida de diversidad genética y la reducción de la viabilidad de las poblaciones (Fahrig, 2003).

Otra implicación es el aislamiento de poblaciones, ya que las poblaciones aisladas en áreas protegidas sin conectividad pueden volverse más vulnerables a eventos como la pérdida de hábitat, enfermedades y cambios ambientales. Esto puede aumentar el riesgo de extinción local para algunas especies (Laurance y Useche, 2009). Según SINAC (2016b), en la ZPRT se han registrado nueve especies de mamíferos, murciélago de Lodovico (*Sturnira hondurensis*), murciélago orejitas (*Micronycteris microtis*), ratón cosechero (*Reinthonomys sp*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), coyote (*Canis latrans*), ardilla roja (*Sciurus granatensis*), conejo de monte (*Syvilagus brasiliensis*), zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y mapache (*Procyon lotor*); una especie de anfibio, rana de hojarasca (*Craugastor podiciferus*); dos especies de reptiles, lagartija (*Norops tropidolepis*) y lagartija espinosa verde (*Sceloporus malachiticus*); 46 especies de mariposas diurnas (entre las que se encuentran dos especies endémicas regionales); y 56 especies de aves, de las cuales 10 especies son migratorias latitudinales.

Una estrategia de manejo de ecosistemas, tanto dentro de la ZPRT como en la parte alta de la microcuenca del río Tiribí, promovería el desarrollo de iniciativas que incidan en la calidad, estabilidad y conectividad con otros ecosistemas cercanos al ASP (Parque Nacional Volcán Irazú, Reserva Forestal de la Cordillera Volcánica Central, Parque Nacional Braulio Carrillo y Zona Protectora Cerros de la Carpintera), reforzando las actividades desarrolladas en corredores biológicos adyacentes como el Corredor Biológico María Aguilar, el Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca

Reventado-Agua Caliente (Cobri Surac) y el Proyecto “Uniendo Cordilleras” (SINAC, 2016b).

Para SINAC (2016b) la ZPRT juega un papel importante en cuanto a la restauración ecológica, pero para la adecuada implementación del concepto de corredores biológicos en la estrategia de manejo, es necesario diseñar propuestas de restauración, que permitan devolver los ecosistemas perturbados a un estado lo más parecido posible a su condición natural, que pueden ser integrados en el entorno y sean autosuficientes. Para SINAC también indica que para ello se deben diseñar estrategias acordes con cada caso específico dentro de la zona protectora, y procurar su proyección hacia el resto de la microcuenca donde se encuentra inmerso el ASP.

En cuanto a la conectividad biológica estructural, que se refiere a la disposición física de los corredores y hábitats que facilitan el movimiento de organismos, incluyendo características como la proximidad física, la cantidad y calidad de hábitats interconectados, y la presencia de elementos lineales (corredores biológicos) que conectan parches de hábitat, las medidas de la eficacia de dicha conectividad deben centrarse en:

- Ancho y longitud de los corredores biológicos, pues cuanto más anchos y largos sean, mayor será la probabilidad de que las especies puedan migrar o dispersarse entre áreas.
- Valorar la distribución espacial de los hábitats, que permita la movilidad de especies.
- Mejorar las condiciones del hábitat en los corredores, de manera que influyan en su utilidad como vías de conexión.

Mientras que, en relación con la conectividad biológica funcional, que se relaciona con la efectividad real de los corredores y hábitats para permitir el movimiento y la persistencia de especies a lo largo del tiempo, deben evaluarse medidas como:

- Flujo genético, que es la capacidad de las especies para intercambiar material genético entre diferentes poblaciones.
- El movimiento de las especies o capacidad para desplazarse a través de los paisajes, sin enfrentar barreras insalvables.
- La capacidad de las poblaciones para mantenerse viables y saludables a largo plazo, debido al intercambio genético y la colonización de nuevos hábitats.

Al ser así, la restauración ecológica promueve la recuperación de hábitats naturales y la creación de corredores biológicos que conectan fragmentos de bosque. La conectividad biológica funcional permite el flujo de organismos entre diferentes ecosistemas, facilitando el intercambio genético, la dispersión de especies y la recuperación de poblaciones aisladas, lo cual es crucial para la conservación de la biodiversidad (Fahrig, 2003).

Puede aumentar la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático, al restaurar servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, la captura de carbono y la protección contra desastres naturales (Laurence y Useche, 2009). Implementar un proceso de monitoreo constante contribuye a mantener la funcionalidad de los ecosistemas y su capacidad para adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, de forma que se garantice un manejo adaptativo en el tiempo.

Además, puede contribuir a mejorar la calidad del agua y del suelo en la microcuenca del río Tiribí, mediante la reducción de la erosión, la sedimentación y la contaminación, así como la promoción de prácticas de manejo sostenible del suelo y del agua. Esto beneficia tanto a la biodiversidad como a las comunidades que dependen de estos recursos.

Por otra parte, los corredores biológicos cercanos son una herramienta clave en la conservación del medio ambiente. Las franjas de vegetación ubicadas dentro de estas áreas conectan diferentes hábitats naturales, la conectividad biológica funcional permite que la vida silvestre se mueva entre ellos de manera segura, facilitando la dispersión de semillas y polinizadores (Li et al., 2017).

Los corredores biológicos ayudan a reducir el impacto del borde entre áreas naturales y áreas agrícolas o urbanas, proporcionando una transición gradual, ayudan a minimizar la fragmentación del paisaje y la erosión asociada con los cambios bruscos en el uso del suelo, tal como lo indican Jakubowski et al. (2016). Las ASP desempeñan un papel crucial, pero se necesita de los corredores biológicos para asegurar la conectividad, e incorporar áreas dentro de la ZPRT es fundamental para conservar la salud del suelo y los servicios ecosistémicos en general (Beier y Noss, 1998).

Conservación de Suelos

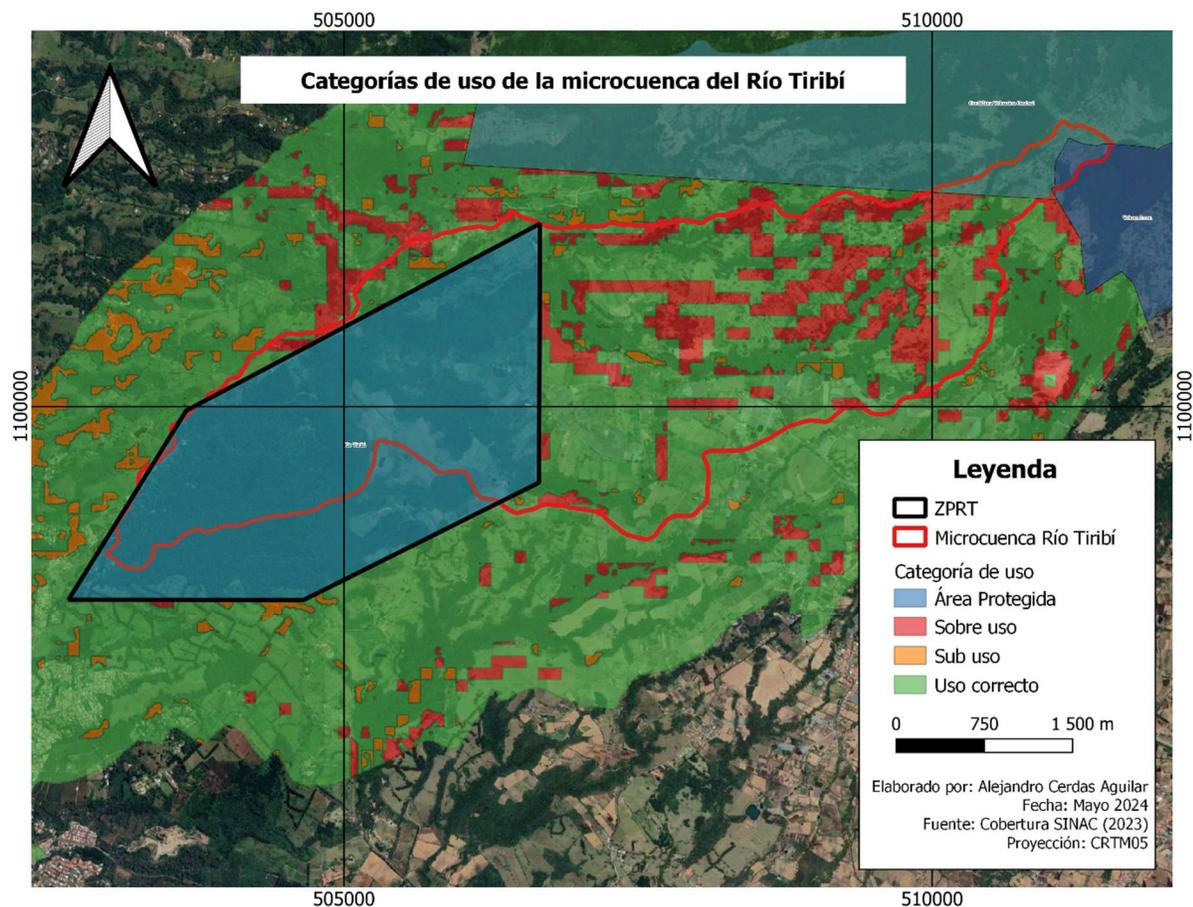
Gran parte del área que se encuentra dentro de la microcuenca del río Tiribí, al considerar la cobertura existente y la pendiente del suelo, se puede categorizar dentro de un uso correcto; sin embargo, existen otras zonas que poseen un sobreuso. En la Figura 5, se observan en color rojo estas áreas que actualmente poseen un sobreuso; son áreas con suelos clase V, VI y VII que se clasifican como fuertemente onduladas, escarpadas y fuertemente escarpadas, con pendientes que oscilan entre el 30 y el 75% (SINAC, 2022).

Según la metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras agroecológicas de Costa Rica (Decreto Ejecutivo N° 41960-MAG-MINAE), en las clases V y VI el uso se restringe al desarrollo de cultivos semiperennes, perennes y actividades forestales. Mientras que la clase VII tiene limitaciones tan severas, que solamente se permite el manejo del bosque primario o secundario. En las tierras desnudas debe procurarse el restablecimiento y manejo de la vegetación natural.

En el caso de la microcuenca del río Tiribí, las zonas con estas categorías están ocupadas en algunos casos con cultivos, principalmente de fresa que, al ser un cultivo perenne, podría desarrollarse en los suelos con clases V y VI. Sin embargo, en otros casos las tierras son utilizadas para ganadería de leche, lo cual aumenta el riesgo de erosión y pérdida del suelo.

Figura 5

Categorías de uso de suelo en la microcuenca del río Tiribí



Nota. Dentro de las áreas definidas como ASP, no se analiza la categoría de uso del suelo, debido a que ya existen medidas de conservación definidas para estas zonas.

Llevar a cabo actividades orientadas a la conservación del suelo y prevención de la erosión, como parte de la integración de zonas degradadas dentro de la ZPRT, y que además conectaría con corredores biológicos cercanos y otras ASP, ofrecería una amplia gama de beneficios ambientales, sociales y económicos que son fundamentales para la conservación a largo plazo de los ecosistemas y el bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Además, el manejo integral de la microcuenca protegería los suelos y garantizaría la disponibilidad de agua para los ecosistemas y las comunidades locales. Otro aspecto importante, sería el favorecimiento de la regulación y monitoreo de actividades humanas

dentro de la ZP, como la agricultura, la ganadería y la construcción, para prevenir la degradación del suelo y minimizar los impactos ambientales.

En las áreas silvestres protegidas, la conservación de suelos se lleva a cabo mediante diversas estrategias y prácticas, que incluyen la prevención de la erosión, la restauración de suelos degradados, la gestión de cuencas hidrográficas y el control de actividades humanas que puedan dañar los suelos.

Para el CATIE (2014), el manejo de los suelos en las partes altas de las cuencas hidrográficas cumple una importante función reguladora, debido a que controlan la cantidad y temporalidad del flujo del agua. El uso que se realiza en ellos repercute sobre la capacidad de infiltración y recarga de los mantos acuíferos. Además, la conservación de suelo en áreas protegidas es crucial en la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los suelos forman la base de los ecosistemas terrestres, proporcionando nutrientes, soporte físico para las plantas, y hábitat para una diversidad de organismos. Sin embargo, las actividades humanas y variaciones ambientales pueden degradar suelos, impactando la salud de los ecosistemas (Lal, 2015).

Es por ello que resulta de vital importancia la prevención de la erosión, la cual consiste en la implementación de técnicas de conservación del suelo, como terrazas, barreras vivas, cobertura vegetal y rotación de cultivos, para reducir la erosión del suelo por la acción del agua y el viento (Montgomery, 2007). La integración de zonas categorizadas como “sobreuso”, dentro de un Área Protegida (AP) es una estrategia clave para la conservación del medio ambiente y la biodiversidad. La prevención de la erosión del suelo es fundamental en este proceso por varias razones.

Una de estas razones es la conservación de la biodiversidad, ya que la erosión del suelo puede tener efectos devastadores en los ecosistemas, degradando hábitats naturales y reduciendo la biodiversidad. Al prevenir la erosión, se protegen los suelos fértiles y se conserva el hábitat para una variedad de especies vegetales y animales.

Otra razón, según Blanco y Lal (2021), es que los bosques proporcionan servicios ecosistémicos esenciales, como el control de la erosión del suelo, la estabilización de los ecosistemas y la moderación del clima y los flujos de energía. Por el contrario, la tala excesiva, la expansión de la agricultura a tierras marginales, los frecuentes incendios, la construcción de caminos y carreteras y la urbanización son las principales causas de la denudación. Para este mismo autor, las tasas de escorrentía y erosión del suelo son altas en las áreas deforestadas; la deforestación elimina la cubierta vegetal protectora y acelera la erosión del suelo; y alarmantemente, en tierras inclinadas, la tala de bosques para la agricultura puede aumentar la erosión del suelo entre cinco y veinte veces (Benito et al., 2003).

Los suelos saludables son fundamentales para proporcionar servicios ecosistémicos vitales, como la regulación del ciclo del agua, la filtración de contaminantes y la provisión de nutrientes para las plantas. Prevenir la erosión ayuda a mantener estos servicios, lo que beneficia tanto a la vida silvestre como a las comunidades humanas que dependen de ellos (FAO, 2018).

Un papel muy importante, con respecto a la conservación del suelo, lo tienen los corredores biológicos, que favorecen la prevención y reducción de la erosión mediante algunos servicios específicos, tales como la estabilización del suelo, donde la vegetación actúa como una barrera física contra la erosión. Las raíces de las plantas sujetan el suelo, impidiendo que sea arrastrado por la lluvia o el viento (Li et al., 2017).

Otro de los servicios es la reducción del escurrimiento, pues la vegetación en los corredores biológicos absorbe parte del agua de lluvia, reduciendo la velocidad y la cantidad de escurrimiento superficial. Esto ayuda a prevenir la erosión hídrica, al disminuir la fuerza del agua que puede llevarse consigo partículas de suelo (Guo y Goodchild, 2008). De acuerdo con Li et al. (2017), los corredores biológicos también favorecen la filtración de sedimentos, pues las plantas actúan como filtros naturales, atrapando sedimentos y partículas que de otro modo podrían ser arrastrados por el agua.

Finalmente, para Lamb et al. (2005), los corredores biológicos también proporcionan hábitats continuos y conectados para una variedad de especies vegetales y animales, donde la diversidad de plantas ayuda a proteger el suelo, al mantener una cobertura vegetal constante, mientras que la presencia de animales, como lombrices e insectos, contribuye a la salud del suelo.

Identificación de los servicios ecosistémicos

La Guía metodológica para la elaboración de planes específicos de manejo de recursos naturales en áreas silvestres protegidas, elaborada por SINAC (2017), plantea el principio de bienestar ecosistémico, el cual indica que los bienes y servicios ecosistémicos generan bienestar a las especies y a las poblaciones humanas; por lo tanto, ese bienestar va muy de la mano con la gestión que se haga de los recursos naturales.

Para Agüero et al. (2017), en el país, el SINAC ha adaptado las categorías de la UICN para el ordenamiento y manejo de áreas protegidas, y según los criterios de protección de la categoría V, esta equivale a las Zonas Protectoras (ZP). Estos son espacios que, si bien no poseen un rasgo único o elementos sobresalientes de carácter natural, su objetivo es de brindar servicios ecológicos, protección del ambiente y, primordialmente, el recurso hídrico, además de la posible producción de bienes.

La Guía para el diseño y formulación del Plan general de manejo de las áreas silvestres protegidas de Costa Rica (SINAC, 2016a), establece qué son los servicios ecosistémicos y su importancia; además, refiere la estrecha relación que guardan con la biodiversidad, para el cumplimiento de los objetivos de manejo de las diferentes ASP.

El fin último de los sistemas de áreas protegidas es la conservación de la biodiversidad y la protección de los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas (servicios ecosistémicos); estos incluyen servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de apoyo y servicios culturales (SINAC, 2016a; SINAC, 2017).

Cualquier proceso de diseño de un ASP, para el manejo o gestión de esta, debe tener como fundamento y premisa el mantener al máximo la integridad de los elementos focales de manejo, razón de ser de esa área protegida y motor generador de los servicios ecosistémicos, que deben llegar como un beneficio a los actores sociales, quienes se relacionan directa o indirectamente con la buena gestión que se haga del área (SINAC, 2017).

La recuperación, rehabilitación y resguardo de las AP debe abordarse desde un enfoque integral de sostenibilidad, donde, a partir de la mejora del entorno ambiental, se generan múltiples beneficios de origen económico y social que la población disfruta, por medio de los servicios ecosistémicos que estas áreas brindan, y que aportan a la construcción de un desarrollo humano sostenible e inclusivo (MINAE, 2020).

La Política nacional de áreas de protección de ríos, arroyos, quebradas y nacientes 2020-2040 establece, en su objetivo eje 1, que el país debe contar con mecanismos, procedimientos y acciones, coordinadas y estandarizadas, que faciliten la recuperación y rehabilitación de las AP y sus servicios ecosistémicos asociados, de conformidad con la legislación vigente (SINAC, 2020).

Además, el lineamiento 1.1 del eje 1 de dicha política establece que las AP son sitios prioritarios e indispensables para la protección del recurso hídrico, el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos, la conectividad biológica, la conservación y aumento de la cobertura arbórea y el disfrute de la población (SINAC, 2020).

En consideración con lo indicado en los apartados anteriores y con los elementos focales de manejo establecidos por el SINAC, se ha identificado que la ZPRT brinda servicios ecosistémicos de suma importancia para la región. En la Tabla 3 se presenta la lista de estos servicios, así como una descripción detallada de cada uno de ellos.

Tabla 3*Servicios ecosistémicos identificados para la ZPRT*

Tipo de servicio	Servicios ecosistémicos
Servicios de aprovisionamiento	<p>Alimentos para el consumo humano. Existen dentro de los límites de la ZPRT varios terrenos dedicados a la agricultura (cultivo de fresas y otras bayas, cebolla, helechos y otras plantas ornamentales) y a la ganadería de leche.</p> <p>Abastecimiento de agua. Existen varias tomas de agua utilizadas para consumo humano, además de otras concesiones y pozos destinados al riego y otras actividades.</p>
Servicios de regulación	<p>Regulación del clima, mediante la reducción de temperatura local.</p> <p>Regulación de la calidad del aire, convirtiendo el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis.</p> <p>Secuestro y almacenamiento de carbono. Remoción del dióxido de carbono de la atmósfera y almacenamiento en su biomasa en el suelo.</p> <p>Moderación de los efectos de eventos extremos. Amortiguamiento de riesgos naturales tales como inundaciones y torrentes.</p> <p>Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo. Sujeción de las raíces en las pendientes fuertes y árboles que aportan nitrógeno a través de su fijación.</p> <p>Polinización. El viento, los insectos, las aves, y los mamíferos polinizan la vegetación.</p>
Servicios de apoyo o soporte	<p>Hábitat de especies. Provisión de las condiciones para que plantas y animales puedan reproducirse, acceder a alimento, agua y espacio.</p> <p>Mantenimiento de la diversidad genética. Sostenimiento de la variedad de genes a lo interno y externo de las poblaciones.</p>
Servicios culturales	<p>Recreación, salud física y mental, por medio del uso de sitios para relajación, observación de aves, rutas de ciclismo, rutas para senderismo.</p> <p>Turismo. Aprovechamiento en diferentes tipos de actividades y momentos de ocio que se pueden ofrecer como servicios de turismo, educación ambiental en distintos temas, conteo de especies, recorridos guiados.</p> <p>Apreciación estética e inspiración para el arte. Belleza escénica, paisajes, miradores.</p>

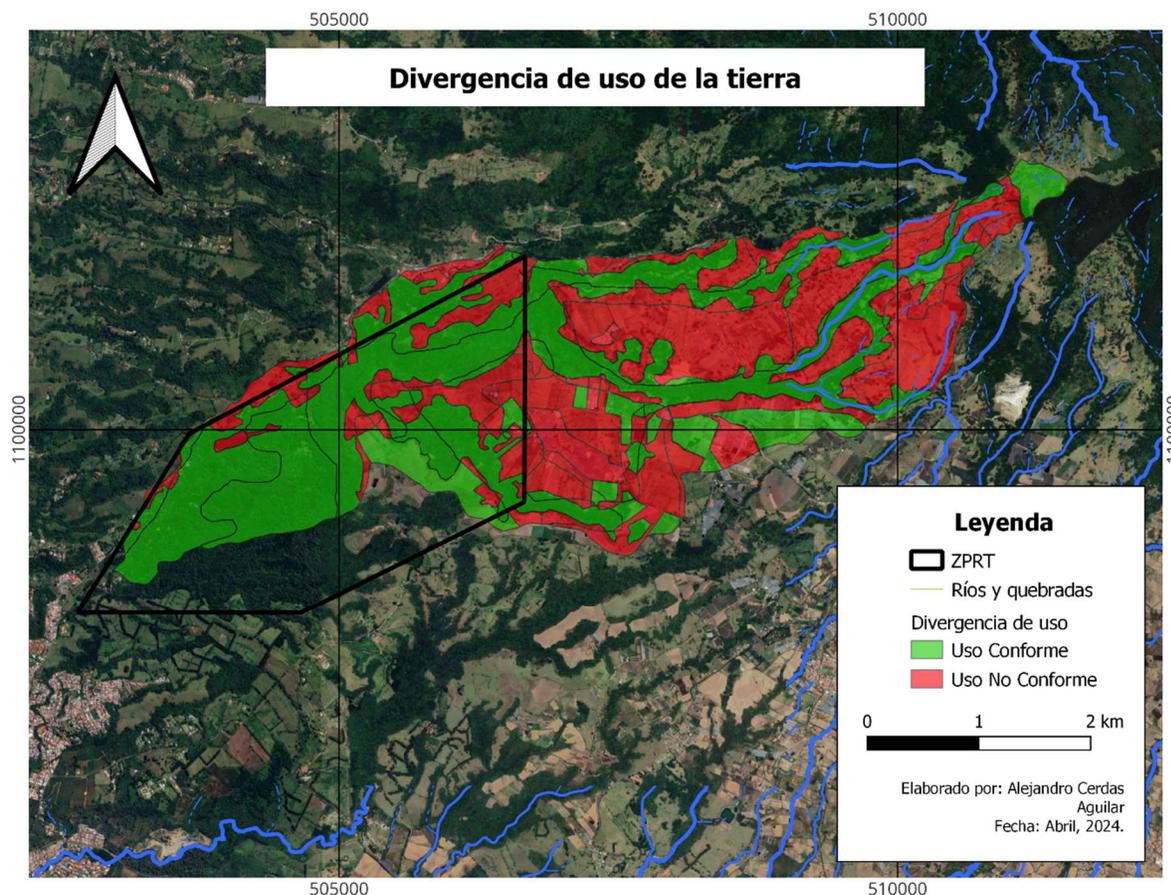
Nota. Los servicios ecosistémicos para la ZPRT se identifican mediante el análisis de los datos obtenidos en campo, revisión bibliográfica y análisis SIG, así como información proporcionada por SINAC y la Municipalidad de La Unión.

En cuanto a la divergencia del uso del suelo, mayoritariamente los terrenos pertenecientes a la Finca Municipal Los Lotes, poseen un uso conforme, debido a que desde esta institución se llevan a cabo esfuerzos importantes por la conservación del bosque y los servicios presentes. Sin embargo, en el resto de la ZP y de la microcuenca del río Tiribí, el uso de suelo se caracteriza como no conforme, esto a causa de que los

suelos en su mayoría son de clase VII y VIII con vocación forestal, pero se encuentran ocupados por cultivos por pastos (terrenos con actividad ganadera). Lo anterior con excepción de las zonas de protección de los ríos y quebradas que aún conservan remanentes de bosque ribereños, por lo que se catalogan como de uso conforme.

Figura 6

Divergencia en el uso de la tierra en la microcuenca del río Tiribí



Nota. Las áreas de mayor divergencia, en el uso de la tierra, se ubican fuera de los límites actuales de la zona protectora, tanto en áreas dedicadas a la ganadería como en áreas de cultivos.

Propuesta para la redefinición de los límites de la ZPRT

Al tomar en cuenta las variables ambientales y estrategias de conservación analizadas y los servicios ecosistémicos identificados en los apartados anteriores, se identifica que el sector ubicado al este de la actual ZPRT, reúne una serie de características que lo hacen

adecuado para implementar diferentes estrategias de protección, con la finalidad de que, a futuro, este sector pueda ser integrado como parte de la ZPRT. En la Figura 6 se muestra el sector.

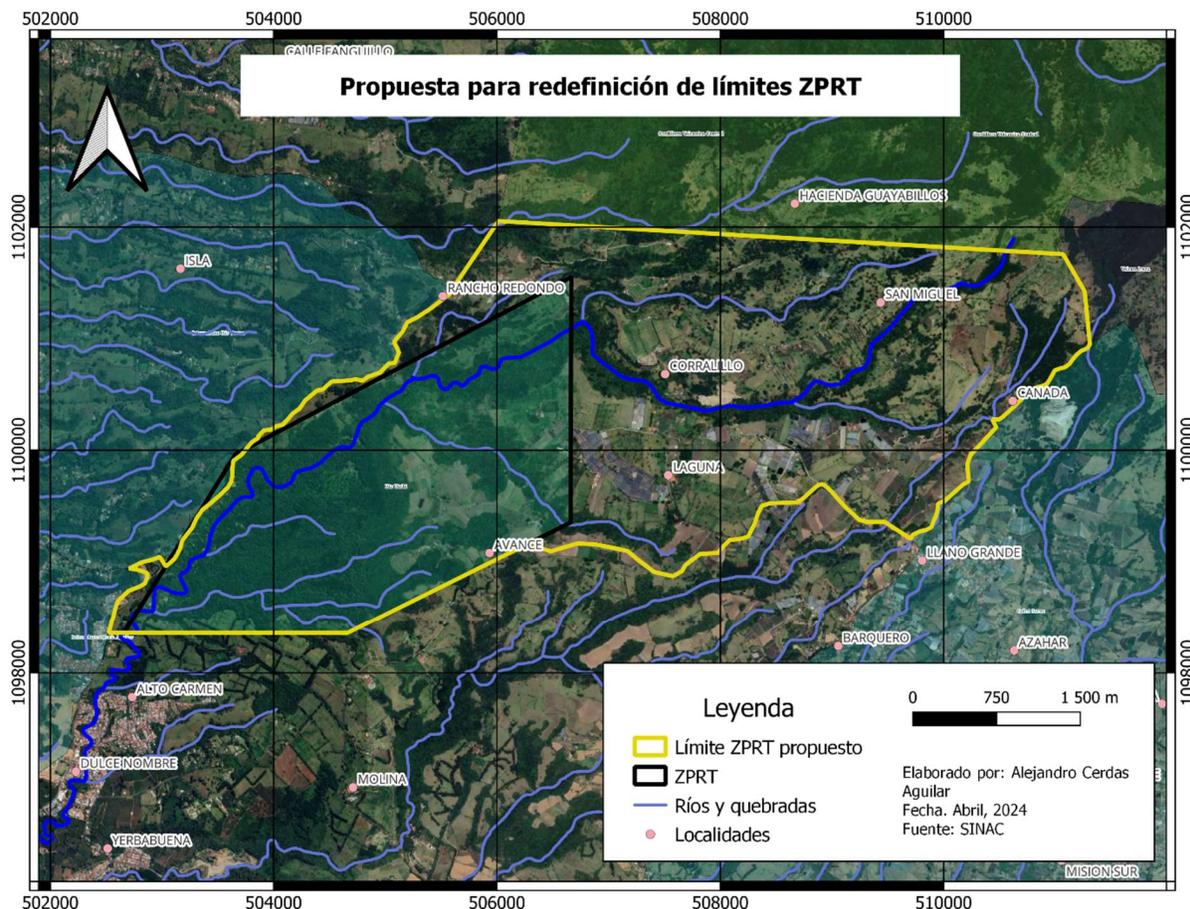
Los factores que se tomaron en cuenta para definir esta zona como área prioritaria para la protección de los recursos y la futura integración a la ZPRT fueron: la cobertura forestal, la divergencia en el uso de la tierra, la presencia de cuerpos de agua y sus zonas de protección, así como su relación con la conectividad biológica, las zonas de recarga acuífera y la presencia de tomas de agua y concesiones para aprovechamiento de este recurso.

Características del sector por incorporar

Se ubica mayoritariamente al este de la Zona Protectora Río Tiribí, pero una pequeña parte también se ubicaría sobre el lindero norte. Hacia el norte, este sector estaría delimitado por el Corredor Biológico Interurbano Río Torres y luego por la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central, y continúa por el lindero de esta ASP hasta topar con el Parque Nacional Volcán Irazú. Posteriormente, se dirige el sureste en colindancia con el Corredor Biológico Cobri Surac, y luego por la ruta nacional secundaria 218 hasta el extremo sur del límite de la microcuenca del río Tiribí, para finalmente unirse con el límite establecido actualmente (Figura 7).

Figura 7

Propuesta para redefinición de los límites de la ZPRT



Nota. El cauce del río Tiribí se representa con un color azul oscuro. Con la integración del área propuesta dentro de los límites de la ZP, se protegerían toda la parte alta y los distintos afluentes de este.

Esta es una zona con pendientes moderadas, y mayoritariamente las tierras están dedicadas al desarrollo de actividades ganaderas o agrícolas. Tiene una extensión adicional de 1182,94 ha, que sumadas a las actuales 702,21 ha daría una totalidad de 1885,15 ha para los límites propuestos para la ZPRT.

En la Figura 6 se muestra que, en ese sector en los terrenos cubiertos de bosque secundario, no existe divergencia del uso de la tierra. Con respecto a las zonas de protección de los cuerpos de agua, también están mayoritariamente cubiertos por árboles, por lo que la divergencia no es tan grande.

La divergencia se presenta sobre todo en los terrenos dedicados a ganadería y agricultura, pues son tierras de vocación forestal, donde las fuertes pendientes son un obstáculo para la actividad.

La Figura 7 pone en evidencia, además, que hay importantes parches boscosos, principalmente bosques ribereños ubicados a lo largo de los cuerpos de agua, que corresponden al río Tiribí y las quebradas Corralillo, Avance y Yurusti. Estos parches boscosos mantienen continuidad espacial con el bosque que protege la ZPRT (Figura 8), de manera que, tanto la cobertura forestal como los cauces de agua cumplen un destacado papel como ruta de conectividad para especies de flora y fauna.

Figura 8

Vista de la Zona Protectora Río Tiribí



Nota. La fotografía fue capturada en la coordenada 503866-1100099.

Propuesta de delimitación de la ZPRT

Tal como se analizó en el capítulo IV, desde su creación, La Zona Protectora Río Tiribí ha logrado cumplir en mayor o menor medida con los objetivos de conservación propuestos para el área protegida, mediante las estrategias de conservación. Actualmente se sigue trabajando en esa dirección, y de acuerdo con Orozco, A., (comunicación personal, 05 de febrero del 2024), pronto se espera realizar la actualización del Plan de manejo de la ZPRT.

Debido a que autores como Haug (1993) y Godoy (1984) señalan que los límites de un área protegida deben estar en consonancia con los objetivos de conservación, tanto a nivel nacional como del área silvestre en específico, cabe entonces preguntarse cuáles son las razones por las cuales se debe pensar en una modificación de los límites de la Zona Protectora Río Tiribí, de manera que se integre el sector identificado.

La ZPRT es una de las más pequeñas del país; por lo tanto, es importante que pueda aumentar su tamaño, para poder extender la protección a más áreas en las que se encuentren los recursos que se protegen dentro de esta.

El aumentar la extensión de la ZP también contribuye a minimizar los efectos que pueda tener el área circundante sobre el área protegida. Al respecto, Castaño (2006), señala que:

1. Los procesos que ocurren fuera de los límites de una reserva pueden inesperadamente afectar de manera intensa a las especies de la reserva.
2. Las reservas pequeñas podrían sufrir una amenaza doble, no solo por su tamaño, sino también por su situación en ambientes circundantes especialmente adversos.
3. Las reservas pequeñas podrían sufrir efectos de borde más intensos y ser más aisladas que las reservas grandes.

Tal como se observa en la Figura 9, el área circundante a la ZPRT se caracteriza por un elevado índice de fragmentación boscosa, y por el desarrollo de actividades de tipo

extensivo, como la ganadería de leche, en terrenos que en su mayoría son de vocación forestal. Aumentar el área de la ZP contribuiría a disminuir la presión sobre los bosques secundarios y el remanente de bosque ribereño presentes en la zona, y que protegen una gran variedad de especies de flora y fauna, así como un abundante recurso hídrico. Además, el aumento de tamaño de la ZP se propone por una serie de factores biofísicos asociados a los sectores propuestos para integrarse a la ZPRT.

Las áreas dedicadas a pastos o agricultura son extensas, pero tal como señalan Martínez et al. (2017), los productores agropecuarios y especialmente los pequeños productores agrícolas, dependen directamente de los servicios ecosistémicos para la producción en sus parcelas y, por lo tanto, para el mantenimiento de sus medios de vida; por lo cual el aumento del área de la ZPRT debe ir de la mano con estrategias de manejo que involucren a las personas propietarias de terrenos privados.

La colindancia del sector propuesto con el área de la ZPRT es fundamental, pues los parches de bosque que ahí se encuentran en su mayoría son una extensión de la cobertura forestal que se protege en la ZP. Algunas especies que habitan dentro de la ZP se podrían ver favorecidas con las estrategias de conservación que desarrollen e integren con otras ASP colindantes.

Ampliar el área de una zona protegida, como la Zona Protectora Río Tiribí, es una medida crucial para salvaguardar los servicios ecosistémicos que ofrece, especialmente en términos de conservación del recurso hídrico y su relación con el manejo integrado de la microcuenca.

Con la ampliación de la ZPRT, se garantiza la conservación de los recursos hídricos, pues al actuar como un filtro natural, ayuda a mantener la calidad del agua, al prevenir la erosión del suelo, reducir la sedimentación y regular el flujo de agua. Al proteger los bosques y los ecosistemas acuáticos dentro de la cuenca, se preservan los procesos hidrológicos naturales que son esenciales para la provisión de agua limpia y segura para el consumo humano, de acuerdo con lo señalado por Domínguez y Velázquez (2014).

La ampliación de la ZPRT también promueve el manejo integrado de la microcuenca, que es fundamental para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua a largo plazo. El manejo integrado implica la coordinación de acciones entre diferentes actores, como comunidades locales, instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas, para gestionar de manera sostenible los recursos naturales dentro de la microcuenca (FAO, 2016). Esto incluye la implementación de prácticas de conservación del suelo y del agua, la reforestación de áreas degradadas, la regulación de actividades humanas que puedan afectar negativamente la calidad del agua, y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles (García et al., 2010).

El éxito del manejo integrado de la cuenca y la conservación de áreas protegidas depende, en gran medida, de la participación y colaboración de todas las partes interesadas. Esto incluye a las comunidades locales que dependen directamente de los recursos naturales, así como a los responsables de la toma de decisiones a nivel local, regional y nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2017). La ampliación de área de la Zona Protectora Río Tiribí ofrece una oportunidad para involucrar, a estas partes interesadas, en la planificación y ejecución de estrategias de manejo sostenible de la cuenca.

Gómez (2018) proporciona una visión detallada sobre el manejo integrado de cuencas hidrográficas, y resalta la importancia crucial de las áreas protegidas dentro de este marco. El autor discute cómo las áreas protegidas no solo conservan la biodiversidad y los ecosistemas naturales, sino que también desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo del agua, la prevención de la erosión del suelo y la protección de la calidad del agua. Además, resalta cómo estas áreas pueden servir como herramientas efectivas para abordar los desafíos relacionados con la gestión del agua y el desarrollo sostenible en general.

Figura 9

Vista típica de las áreas para incluir dentro de la ZPRT



Nota. Imagen típica de la cobertura existente en las zonas aledañas a la ZPRT. La imagen corresponde con un terreno dedicado a la ganadería de leche.

El informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2003), titulado "Water for people, water for life: The United Nations World water development report", ofrece una evaluación exhaustiva de la importancia del agua para el bienestar humano y el desarrollo sostenible. El documento afirma que el agua es esencial para una amplia gama de necesidades humanas: consumo humano, agricultura, industria y medio ambiente; por lo tanto, es fundamental para la vida de las personas y la calidad de vida de ellas. Además, la gestión sostenible del agua es esencial para la disponibilidad, a largo plazo, de este recurso, y la superación de los desafíos de la escasez y la contaminación, del acceso desigual al agua potable. Este es el motivo por el que las áreas protegidas juegan un papel importante en la conservación de los ecosistemas que controlan los flujos

y la calidad del agua, lo que contribuye directamente al bienestar humano y al desarrollo sostenible.

Todos estos aspectos que se han señalado, en última instancia contribuirían de manera considerable a mantener el logro de los objetivos de conservación definidos para la Zona Protectora Río Tiribí.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los límites actuales de la ZPRT fueron establecidos en 1976, sin considerar aspectos clave como la conectividad biológica, la protección de servicios ecosistémicos y la gestión integral de la cuenca.

Las estrategias de conservación propuestas, como el Manejo Integral de Cuencas, la Conectividad Biológica y la Conservación de Suelos, son fundamentales para promover la sostenibilidad del área protegida y sus alrededores. Los resultados destacan la importancia de una gestión adecuada de las áreas protegidas, especialmente en lo que respecta a la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

La inclusión de áreas de mayor recarga acuífera, dentro de los límites de la ZPRT, es crucial para garantizar la protección de servicios ecosistémicos, como el suministro de agua para consumo humano. La incorporación de áreas forestales dentro de los límites de la ZPRT contribuirá significativamente a la conservación de la biodiversidad y la protección de servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos identificados para la ZPRT, tales como el suministro de alimentos y agua potable, la regulación del clima y la calidad del aire, la mitigación de riesgos naturales y la erosión del suelo; además de los servicios ecológicos como hábitat para la biodiversidad y mantenimiento de la diversidad genética, junto con servicios culturales como recreación, turismo y apreciación estética; subrayan la importancia de gestionar adecuadamente la ZPRT mediante las estrategias de conservación, de manera sostenible, para preservar sus recursos naturales y garantizar beneficios continuos, tanto para las comunidades locales como para el medio ambiente en general.

Existe una divergencia significativa en el uso del suelo dentro de la microcuenca del río Tiribí, donde se observa una diferencia entre áreas con un uso conforme y no conforme,

lo que resalta la necesidad de políticas y acciones que promuevan un uso sostenible del suelo.

La propuesta de redefinición de los límites de la Zona Protectora Río Tiribí (ZPRT) surge tras identificar un sector dentro de la microcuenca del río Tiribí, que posee características ambientales significativas, y que podría integrarse a la ZP para fortalecer la protección y conservación de los recursos naturales y servicios ecosistémicos que esta área protege.

Se destacan diversas razones para considerar la modificación de los límites de la ZPRT, incluyendo la necesidad de aumentar su tamaño, para extender la protección a más áreas e involucrar a personas propietarias de terrenos privados en el proceso.

La integración del sector propuesto a la ZPRT contribuiría significativamente a la conservación de la biodiversidad, la protección de los recursos hídricos, y la reducción de la presión sobre los bosques y ecosistemas presentes en la zona.

Recomendaciones

Es necesario que el SINAC, a través del Programa Nacional de Corredores Biológicos y con la participación de los actores locales de plataformas participativas, como los comités locales de corredores biológicos, establezcan nuevas áreas de corredores biológicos que conecten la ZPRT con áreas protegidas cercanas, facilitando el movimiento de especies y promoviendo la diversidad genética y la viabilidad de las poblaciones. Mediante el apoyo de instituciones clave, como el AyA, el ICE y las municipalidades, se debe trabajar en la restauración ecológica de áreas degradadas dentro y fuera de la ZPRT, para mejorar la conectividad y la funcionalidad de los ecosistemas.

Entre las medidas por implementar para favorecer la conectividad biológica estructural, se pueden mencionar:

- Índices de integridad del paisaje, que evalúen la estructura física del paisaje, considerando la cantidad, el tamaño y la distribución espacial de los hábitats.

- Análisis de fragmentación del paisaje, para medir cómo la estructura del paisaje afecta la conectividad entre hábitats.
- Modelado de corredores biológicos, mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de dispersión.
- Redes de ecología del paisaje, que modelen la conectividad estructural utilizando métodos que consideren la resistencia del paisaje, a través de la cual se desplazan las especies.

Se deben implementar, además, medidas para favorecer la conectividad biológica funcional, tales como:

- Monitoreo de movimientos de especies, a través de la utilización de técnicas de seguimiento y telemetría para registrar movimientos individuales y patrones de dispersión de especies clave. Esto proporciona información directa sobre cómo las especies utilizan los corredores biológicos y hábitats conectados.
- Estudios de flujo genético, donde se utilicen marcadores genéticos para evaluar la diversidad genética y la estructura poblacional de especies en diferentes áreas de la ZP.
- Modelos de dispersión de semillas y polinizadores, que permitan evaluar la efectividad de los corredores biológicos y áreas de conexión.
- Estudios de respuestas ecológicas, como la colonización de nuevos hábitats y la persistencia de poblaciones en áreas conectadas, que evalúen la capacidad de los corredores biológicos para mantener poblaciones viables a largo plazo.
- Índices de conectividad funcional, que combinen datos de movimientos de especies, flujo genético y modelos de dispersión, para cuantificar la efectividad funcional de los corredores biológicos.

Se requiere la creación de alianzas estratégicas entre gobiernos locales, con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) y universidades estatales, con el fin de implementar medidas para promover el manejo sostenible de los suelos, especialmente en áreas de alta cobertura forestal y cultivos,

para preservar la calidad del agua y favorecer la recarga acuífera. Estas medidas deben estar orientadas a la realización de las siguientes acciones:

- Implementación de prácticas agroforestales:
 - Integrar la plantación de árboles con cultivos agrícolas, para mejorar la estructura del suelo, prevenir la erosión y aumentar la retención de agua.
 - Utilizar especies diversas, para promover la biodiversidad y la resistencia contra plagas y enfermedades.
 - Reducir o eliminar la labranza, para minimizar la afectación del suelo y la erosión.

- Recuperación de las zonas de protección en los cuerpos de agua:
 - Crear franjas vegetativas a lo largo de los cuerpos de agua, para filtrar sedimentos, nutrientes y contaminantes de escorrentías.
 - Conservar y restaurar los remanentes de bosques riparios, para mantener las funciones del ecosistema y apoyar la biodiversidad.

- Implementación de prácticas de riego eficiente:
 - Adoptar sistemas de riego por goteo y otras técnicas eficientes, para minimizar el uso de agua.
 - Monitorear los niveles de humedad del suelo, para optimizar la programación de riegos y prevenir el encharcamiento.

- Conservación de áreas con cobertura forestal:
 - Proteger los parches existentes de bosque secundario, para salvaguardar las fuentes de agua y los servicios ecosistémicos.

Es crucial promover prácticas de manejo sostenible del suelo dentro y fuera de la ZPRT, para garantizar la protección de la biodiversidad y la provisión continua de servicios ecosistémicos. Algunas de las medidas que pueden implementarse son:

- Favorecer el secuestro de carbono en el suelo:

- Fomentar prácticas como el compostaje y la agricultura orgánica, para aumentar el carbono orgánico en el suelo.
- Implementar enfoques agroecológicos, que mejoren la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua.
-
- Monitoreo y gestión de la salud del suelo:
 - Realizar análisis periódicos del suelo, para evaluar los niveles de nutrientes y el balance de pH.
 - Implementar planes de manejo de nutrientes, para optimizar el uso de fertilizantes y reducir la escorrentía de nutrientes.

Es fundamental involucrar a diferentes actores, incluyendo instituciones gubernamentales, comunidades locales y organizaciones ambientales, en el proceso de revisión y actualización de los límites de la ZPRT y la implementación de estrategias de conservación.

La cooperación regional y la coordinación del SINAC, para establecimiento de medidas de conservación integrales para áreas protegidas cercanas, son clave para garantizar la efectividad de las estrategias de conservación a largo plazo.

Se sugiere incorporar la identificación y valoración de los servicios ecosistémicos en la gestión y planificación de la ZPRT, de manera que se reconozca su importancia y se promueva su conservación.

Se recomienda, a los gobiernos locales, continuar y fortalecer los programas de educación ambiental y sensibilización ambiental, dirigidos a la comunidad local y otros actores interesados, para fomentar una mayor comprensión sobre la importancia de la conservación de la ZPRT y sus servicios ecosistémicos.

Bibliografía

- Agüero, K., Loría, A., e Hidalgo, J. (2017). *Evaluación de la zona de amortiguamiento en áreas protegidas: caso Reserva Natural Absoluta Cabo Blanco*. Seminario de graduación. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14180/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, M. (2012). *Estudio hidrogeológico de la parte alta de la microcuenca del río Tiribí*. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Costa Rica. s.d.
- Beier, P., y Noss, R. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology*, 12(6), 1241-1252.
- Benito, E. Santiago, J., y De Blas, E. (2003). Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall. *Earth Surf Processes Landforms* 28, 145-155.
- Blanco, H., y Lal, R. (2021). *Principles of soil conservation and management*. Springer Science+Business Media B.V. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8709-7>
- Borrini-Feyerabend, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Pathak, N., Phillips, A., y Sandwith, T. (2014). *Gobernanza de áreas protegidas: de la comprensión a la acción*. N° 20 de la Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas. UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-020-Es.pdf>
- Brook, B., Sodhi, N., y Bradshaw, C. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(8), 453-460.
- Castañeda, I. (2017). *Gestión de áreas protegidas con equidad de género*. México. s.d.
- Castaño, G. (2006). *Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación*. Universidad de Caldas. Manizales. <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-04/BLOQUE->

ACADEMICO/Unidad-

2/lecturas/Áreas Protegidas_Criterios_para_su_selección_y_problema_tica_en_s
u_conservación.PDF

CATIE. (2014). *Manejo integrado de cuencas con énfasis en cambio climático*. s.d.

Díaz, A. (2016). *Análisis del decreto ejecutivo no. 6112-A. Caso de la Zona Protectora Río Tiribí. Informe interno oficina OSC-728 del 27 de junio del 2016*. Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Cartago.

Domínguez, L., y Velázquez, A. (2014). *Importancia de las áreas protegidas en la conservación del recurso hídrico*. s.d.

Durán, D. (2020). *Redefinición de límites del Parque Nacional La Cangreja. Un análisis a partir de aspectos ecológicos y socioeconómicos del área protegida y su paisaje circundante*. Tesis de Maestría en Geografía. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/78028f33-cc6d-405f-b317-9afd519d9729/full>

Ellis, E. (2011). Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 1010-1035.

EUROPARC. (2009). *Conectividad ecológica y áreas protegidas, herramientas y casos prácticos*. España: FUNGOBE.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487-515.

FAO. (2018). Global soil partnership. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/en/>

Foley, J., Defries, R., Asner, G. Barford, C., y Snyder, P. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2016). *Manejo integrado de cuencas hidrográficas: marco conceptual y elementos prácticos*. s.d.

- García, F., Guerrero, C., Mataix, J., Navarro, J., Gómez, I., y Mataix, J. (2010). Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 43-50.
- Godoy, J. (1984). *Planificación estratégica de subsistema de parques nacionales y reservas equivalentes de Costa Rica, y una metodología para redefinición de límites de áreas protegidas*. Tesis para optar por el grado de maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. San José, Turrialba, Costa Rica.
- Gómez, A. (2018). *Manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y aplicaciones*. s.d.
- Guo, Q., Goodchild, M. (2008). *Association of landscape pattern with soil erosion in a coastal watershed of southeastern China*. s.d.
- Haug, G. (1993). *Redefinición de límites Parque Nacional Volcán Irazú*. San José, Costa Rica. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3004/2872>
- Hernández, R., y Mendoza, C. P. (2014). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México. McGraw-Hill.
- Herrera, J. (2018). Vínculo jurídico entre la zona protectora y los ecosistemas de humedal. *Revista Ambientico* 266. Artículo 2, 10-14.
- Jakubowski, A., Richardson, M., y Friedland, A. (2016). *Forest edges in southern New England: patterns and processes*. s.d.
- Lal, R. (2015). Soil and sustainable development goals. *Soil Science Society of America Journal*, 79(6), 1566-1578.
- Lamb, D., Erskine, P., y Parrotta, J. (2005). *Restoration of degraded tropical forest landscapes*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1111773>
- Lambin, E., y Geist, H. (2006). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer.

- Laurance, W., y Useche, D. (2009). Environmental synergisms and extinctions of tropical species. *Conservation Biology*, 23(6), 1427-1437.
- Li, F., Wang, Y., Zhang, Q., y Zhang, Y. (2017). *Effects of vegetation restoration on soil erosion and sediment yield: a case study in the Loess Plateau, China*. s.d.
- Madriz, B. (1988). *Redefinición de límites de áreas protegidas: aplicación y prueba de una metodología en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica*. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5483/Redefinicion_de_limite_s_de_areas_protegidas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Agricultura [MAG], Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], Ministerio de Salud [S], Ministerio de Hacienda [HACIENDA], y Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT]. (2000). *Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos. Decreto N° 29375 MAG-MINAE-S-HACIENDA-MOPT*.
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=46035
- MAG, Ministerio de Recursos Naturales, Energía y MINAS [MIRENEM]. (1994). *Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica. Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM*.
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=17871
- Martínez, R., Viguera, B., Donatti, C., Harvey, C., y Alpízar, F. (2017). *La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura*. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mingarro, M., Aguilera, F., y Lobo, J. (2020). *A methodology to assess the future connectivity of protected areas by combining climatic representativeness and land*

cover change simulations: the case of the Guadarrama National Park. Madrid, España.

https://digital.csic.es/bitstream/10261/228811/4/Lobo_Jorge_M_A_%20methodology_to_%20assess.pdf

MINAE. (2020). *Política nacional de áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes, 2020-2040*. San José, Costa Rica. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica_Nacional_Areas_Proteccion_2020.pdf

Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE]. (2001). Plan de ordenamiento ambiental. Decreto Ejecutivo 29393-MINAE. *Alcance* No. 34 a *La Gaceta*. *Diario Oficial La Gaceta* no. 92. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica.

Montgomery, D. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272.

Naciones Unidas [UN]. (2023). Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Oviedo, G. (2013). Áreas protegidas, desarrollo y cultura. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 2(2), 2-4. Obtenido de <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.2.2008.809>

Poder Judicial [PJ]. (2020). Diccionario usual del Poder Judicial. San José, Costa Rica. <https://dictionariusual.poder-judicial.go.cr/index.php/diccionario/50764:zonas-protectoras>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP]. (2003). Water for people, Water for life: The United Nations World water development report. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129556>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2017). *Manual para la gestión integrada de cuencas hidrográficas*. s.d.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC]. (2014). *Guía para el diseño y formulación del Plan general del manejo de las áreas de vida silvestres protegidas*

de Costa Rica. San José, Costa Rica.
https://www.researchgate.net/publication/325128046_Guia_para_el_diseno_y_formulacion_del_Plan_General_de_Manejo_de_las_Areas_Silvestres_Protegidas_de_Costa_Rica_Guia_Para_el_diseno_y_formulacion_del_Plan_General_de_Manejo_de_las_Areas_Silvestres_Prote

SINAC. (2016a). *Guía para el diseño y formulación del Plan General del manejo de las áreas de vida silvestres protegidas de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
<https://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/Guia%20Planes%20Generales%20de%20Manejo%20ASPs%20SINAC.pdf>

SINAC. (2016b). *Plan general de manejo de la Zona Protectora Río Tiribí (2017-2021)*. Cartago, Costa Rica.
[https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACC/Zona%20Protectora%20R%3%ADo%20Tirib%3%AD%20\(2017%E2%80%932021\).pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACC/Zona%20Protectora%20R%3%ADo%20Tirib%3%AD%20(2017%E2%80%932021).pdf)

SINAC. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de planes específicos de manejo de recursos naturales en áreas silvestres protegidas*. San José, Costa Rica.
<https://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/CRXS-Arte%20Digital%20Gu%C3%ADa%20de%20recursos%20naturales-17-09-06-v02-LR.pdf>

SINAC. (2020). *Política nacional de áreas de protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes 2020-2040*. San José, Costa Rica. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica_Nacional_Areas_Proteccion_2020.pdf

SINAC. (2022). *Mapa de bosques y otras tierras de Costa Rica*. Disponible en www.sinac.go.cr

SINAC. (2023). *Áreas silvestres protegidas*. <https://www.sinac.go.cr/ES/asp/Paginas/default.aspx#:~:text=En%20la%20legislaci%C3%B3n%20se%20les,con%20determinados%20objetivos%20de%20conservaci%C3%B3n>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (2023). *Discover the world's protected and conserved areas. Protected Planet.* <https://www.protectedplanet.net/en>

Turner, B., Lambin, E., y Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666-20671.

WWF. (2001). *Metodología para la evaluación y priorización rápidas del manejo de áreas protegidas* *RAPPAM.*
<https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/finalrappamspanishsmall.pdf>