



Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas en Bolivia frente a la pérdida de cobertura boscosa: un análisis mediante diferencias en diferencias según nivel de gestión y año de creación

Autores: Sergio Choque, Carla Olmos

La Paz, 28 de Julio de 2025

Resumen

Este estudio analiza la efectividad de las áreas protegidas (AP) en Bolivia frente a la pérdida de cobertura boscosa entre 1986 y 2023, aplicando un diseño cuasi-experimental de diferencias en diferencias (DiD) sobre 96 unidades de análisis correspondientes a 86 áreas protegidas, diferenciadas según su tipo de manejo. El análisis utiliza datos de MapBiomas Bolivia con resolución de 30 metros y compara la dinámica de pérdida de cobertura forestal dentro de las AP con sus áreas de control (buffers a 5 km).

A nivel agregado, los resultados no muestran una reducción estadísticamente significativa de la pérdida de cobertura boscosa dentro de las AP respecto a sus zonas de control. Sin embargo, el análisis por casos específicos reveló tres patrones con significancia estadística: (i) protección efectiva relativa, (ii) mayor pérdida dentro del área y (iii) desplazamiento de presión hacia el entorno. La mayoría de los casos efectivos se registraron en áreas de gestión municipal, departamental e indígena. En particular, la gestión indígena mostró un efecto promedio de reducción de pérdida, aunque sin significancia estadística debido al tamaño muestral.

El estudio también destaca la sensibilidad de los resultados según el tamaño de las áreas de amortiguamiento (buffers a 1 y 10 km) analizado y enfatiza la necesidad de incorporar variables de presión territorial (como minería e incendios entre otros) para mejorar los modelos explicativos. Se concluye que la efectividad de las AP en Bolivia es heterogénea y dependiente del contexto. Los hallazgos ofrecen evidencia empírica para fortalecer políticas de conservación, mejorar la planificación territorial y adaptar la gestión de las AP frente a crecientes presiones antrópicas.

1. Introducción

La pérdida de cobertura forestal representa una de las principales amenazas a la biodiversidad y a las funciones ambientales a escala global. Particularmente en países megadiversos como Bolivia, que se encuentra entre los quince países con mayor diversidad biológica del mundo (CBD, 2015), esta problemática se ha intensificado en las últimas décadas debido al avance de la frontera agrícola, la expansión ganadera, la extracción de recursos naturales y el desarrollo de infraestructura (APMT, 2024).

Frente a este caso, las áreas protegidas se reconocen como una de las herramientas clave para la conservación de ecosistemas naturales y contribuir al cumplimiento de compromisos internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (CBD, 2023) , los Compromisos Nacionalmente Determinados (NDC) (MMAyA, 2022) , la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UN, 2023).

En este contexto, Bolivia ha desarrollado el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que actualmente cubre aproximadamente el 35% del territorio nacional. Este sistema se estructura en cuatro niveles de gestión: nacional, departamental, municipal e indígena. A su vez, estas áreas se dividen en seis categorías de manejo, cada una con objetivos de conservación específicos. (Reglamento General de las Areas Protegidas D.S. 24781, 2010). Aunque se han logrado avances normativos, persisten dudas sobre la efectividad real de estas áreas frente a la pérdida de cobertura boscosa, especialmente en contextos de creciente presión sobre el uso del suelo y de cambios en las políticas públicas de desarrollo territorial.

Estudios internacionales han documentado que las áreas protegidas pueden ser eficaces para frenar la deforestación, pero su desempeño varía considerablemente según su diseño, ubicación, nivel de gobernanza y condiciones contextuales. (Nelson & Chomitz, 2011) (Yang , Pfaff, & Robalino, 2021). En Bolivia, diversos estudios de caso han evidenciado que algunas áreas protegidas logran reducir la deforestación en comparación con sus entornos no protegidos (Hanauer & Gustavo, 2015). No obstante, aún es escasa la evidencia empírica sistemática y de largo plazo que evalúe esta efectividad a escala nacional.

1.1 Contexto normativo e institucional de las áreas protegidas

Bolivia cuenta con una arquitectura legal e institucional consolidada para la gestión de Áreas Protegidas (AP), enmarcada en la Ley del Medio Ambiente N.º 1333, el Decreto Supremo N.º 24781 (Reglamento General de las Areas Protegidas D.S. 24781, 2010) y la Ley N.º 1788 de Organización del Poder Ejecutivo (Ley N.º 1788, 1997). Este marco establece al Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) como la entidad técnica responsable de la administración de las AP nacionales, dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). El SNAP incorpora cuatro niveles de gestión: nacional, departamental, municipal e indígena, y promueve la participación de comunidades locales e indígenas en la conservación (SERNAP, Función de la institución, 2023)

Las AP en Bolivia se dividen en seis categorías de manejo, que van desde la protección estricta hasta el uso sostenible de los recursos. Esta clasificación, adaptada a partir del sistema de la UICN, permite articular objetivos de conservación con procesos de desarrollo territorial (Dudley, 2008). Si bien Bolivia ha impulsado políticas ambientales desde los años 90, la implementación efectiva del SNAP ha enfrentado obstáculos relacionados con recursos limitados, coordinación institucional débil y conflictos de uso de suelo (FUNDESAP, 2024).

2. Objetivo

El presente estudio busca generar evidencia empírica de la efectividad de la creación de áreas protegidas en Bolivia en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa, mediante la evaluación del nivel de gestión institucional y del año de creación de cada área. Los hallazgos permitirán enriquecer el debate académico, orientar investigaciones futuras y respaldar la formulación de políticas en materia de conservación, ordenamiento territorial y gestión ambiental.

3. Materiales

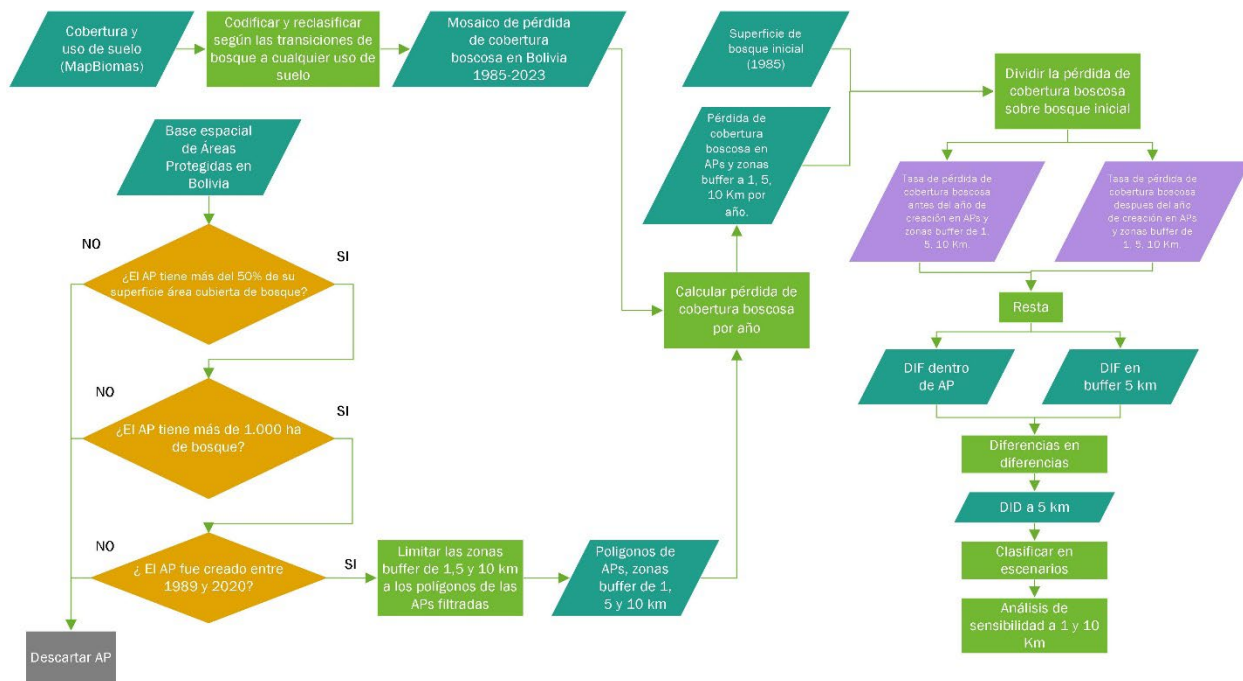
Las bases de datos que se usaron para el presente estudio fueron:

- **Mapas anuales de transiciones de cobertura de uso de suelo de MapBiomias – Colección 2.0:** Mapas anuales de transición de cobertura de uso de suelo desde 1985 hasta 2023 con una resolución de 30x30 metros, que clasifican la tierra en categorías (MapBiomias Bolivia, 2024).
- **Límites de Áreas Protegidas:** Base espacial consolidada de límites de áreas protegidas, construida a partir de datos del SERNAP y gobiernos subnacionales, verificada utilizando el Atlas de Áreas Protegidas Nacionales y Subnacionales (SERNAP, 2024) (MMAyA, 2024), contiene información oficial de creación, categoría de manejo y año de establecimiento para cada unidad.

4. Metodología

Este estudio adopta un diseño cuasi-experimental con enfoque cuantitativo, estructurado en dos etapas complementarias. La primera etapa consiste en la construcción de una capa espacial anual de pérdida de cobertura forestal para el periodo 1985–2023, utilizando datos de libre acceso de la plataforma MapBiomias Bolivia. En la segunda etapa, se estimó la efectividad de las áreas protegidas sobre la pérdida de cobertura forestal mediante comparaciones de medias antes y después de su creación y aplicando el método de diferencias en diferencias (DiD). La metodología se ilustra en el gráfico 1.

Gráfico 1. Metodología



Fuente: Elaboración propia

2.1. Etapa 1: Generación de la capa espacial de pérdida de cobertura forestal 1985 - 2023

La capa fue generada a partir de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo de MapBiomias Bolivia – Colección 2.0. (Mapbiomas, 2024), con resolución espacial de 30 metros. Para cada año del periodo 1985–2023, se reclasificaron los archivos de transiciones de uso de suelo con el objetivo de identificar únicamente los cambios de cobertura boscosa hacia otros tipos de uso. Este proceso se realizó en R-Studio (versión 2024.12.1).

Posteriormente, se construyó un mosaico que integra la pérdida de cobertura forestal de todos los años, utilizando ArcGIS Pro (versión 3.0.1.) para el procesamiento espacial. Finalmente, se reproyectaron todos los archivos al sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lambert adaptada para Bolivia, asegurando su compatibilidad con otros análisis espaciales. El resultado de esta etapa es un conjunto de archivos raster anuales que representan la pérdida de bosque y que serán de libre acceso.

2.2. Etapa 2: Evaluación de efectividad mediante diferencias en diferencias

En esta etapa se analizó el efecto de la creación de cada área protegida sobre la pérdida de cobertura forestal mediante comparaciones de medias antes y después de su establecimiento. Para ello se definieron dos grupos:

- **Grupo de tratamiento:** Porcentaje de pérdida de cobertura forestal con respecto al bosque de 1985 dentro del polígono de la AP.
- **Grupo de control:** Porcentaje de pérdida de cobertura forestal con respecto al bosque de 1985 en un área de influencia o buffer de 5 km alrededor de la misma AP (zona de amortiguamiento).

Y se aplicaron los siguientes filtros a las áreas protegidas:

- **Año de creación:** Se consideraron áreas protegidas creadas entre 1989 y 2020 para garantizar, al menos, tres años de observación previa y tres años posteriores.
- **Cantidad de bosque del AP:** Cada AP debe contar con $\geq 50\%$ de cobertura boscosa en 1985 o al menos 1.000 ha de bosque en ese año.

Posterior a ello se utilizó el enfoque econométrico de diferencias en diferencias (DiD), ampliamente empleado en evaluaciones de impacto. Este método permite estimar el cambio diferencial en una variable de interés (en este caso, pérdida anual de bosque) entre un grupo tratado (áreas protegidas) y un grupo de control (zonas de amortiguamiento), antes y después de la intervención (año de creación del área protegida). Su uso en la evaluación de la efectividad de las áreas protegidas frente a la pérdida de cobertura forestal está ampliamente respaldado, tanto en la literatura internacional como en estudios de casos regionales (Pérez García, 2014).

Los supuestos tomados en cuenta para el modelo DiD en la evaluación de áreas protegidas son:

- **Tendencias paralelas.** Antes del establecimiento de las áreas protegidas, las tasas de pérdida de cobertura forestal en los grupos tratados y de control muestran trayectorias similares. Este patrón sugiere que, en ausencia de la intervención, ambos grupos habrían seguido tendencias comparables en el tiempo.
- **Estabilidad composicional de los grupos.** Se utilizan polígonos geográficos fijos para cada unidad de análisis, asegurando que no haya cambios estructurales en los grupos durante el período observado. Esto permite una comparación válida en el tiempo de las mismas unidades espaciales.
- **Grupo control adecuado (comparable).** El grupo de control está conformado por unidades no protegidas con características biofísicas y geográficas similares a las del grupo tratado. Se seleccionan áreas buffer y comparables en términos de cobertura forestal.
- **Información suficiente pre y post intervención.** El análisis utiliza datos anuales de cobertura y cambio de uso de suelo desde 1986 hasta 2023. Para asegurar series temporales equilibradas, se incluyen únicamente áreas protegidas creadas entre 1989 y 2020, garantizando al menos tres años de observación antes y después de la intervención.

a) Modelo:

$$DiD = (\bar{Y}^{tratamiento,despues} - \bar{Y}^{tratamiento,antes}) - (\bar{Y}^{control,despues} - \bar{Y}^{control,antes})$$

$$DiD = \Delta\bar{Y}^{tratamiento} - \Delta\bar{Y}^{control}$$

Donde:

$\bar{Y}^{control,antes}$ = Media de la pérdida de cobertura boscosa antes del año de creación del área protegida, en la zona de amortiguación.

$\bar{Y}^{control,despues}$ = Media de la pérdida de cobertura boscosa después del año de creación del área protegida, en la zona de amortiguación.

$\bar{Y}^{tratamiento,antes}$ = Media de la pérdida de cobertura boscosa antes del año de creación del área protegida, en el área protegida.

$\bar{Y}^{tratamiento,despues}$ = Media de la pérdida de cobertura boscosa después del año de creación del área protegida, en el área protegida.

DiD = Estimador de diferencias en diferencias.

Esta comparación permite controlar factores inobservables constantes en el tiempo, asumiendo que ambas zonas habrían seguido tendencias paralelas en ausencia de la intervención.

b) Pruebas de significancia

Planteamos la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

H₀ (Hipótesis nula): La creación de áreas protegidas en Bolivia no tienen un efecto en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa en comparación con las áreas no protegidas.

H₁ (Hipótesis alternativa): La creación de áreas protegidas en Bolivia tienen un efecto en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa en comparación con las áreas no protegidas.

Posteriormente aplicamos para cada área protegida y su DiD :

1. **Prueba de Fisher:** detecta si las varianzas de $\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ y $\Delta\bar{Y}^{control}$ son homogéneas. Esta prueba se fundamenta en comparar las razones de varianzas muestrales y se utiliza habitualmente en trabajos de monitoreo de cambio de uso del suelo (Zar, 2010). Si el valor $p < 0,05$, se rechaza la hipótesis de varianzas iguales y, en consecuencia, la prueba t subsiguiente considera varianzas desiguales.
2. **Prueba t de Student** para muestras independientes: evalúa si la diferencia de medias es significativa, Cuando Fisher señala varianzas desiguales, se emplea la versión de Welch (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014). Un $p < 0,05$ en la t–

Student permite concluir que la diferencia de medias es estadísticamente relevante y, por lo tanto, que la creación del área protegida tuvo un impacto real sobre la tasa de pérdida de bosque.

c) Casos de efectividad:

Cada área protegida se clasifica en uno de los seis casos posibles que se pueden presentar de acuerdo al comportamiento de su $\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ con el $\Delta\bar{Y}^{control}$. La Tabla 1 resume las condiciones e interpretaciones asociadas a cada caso, evidenciando distintos grados de efectividad y posibles desplazamientos de la presión de pérdida de cobertura boscosa.

Tabla 1. Casos posibles de las diferencias en diferencias de la pérdida de cobertura boscosa

Casos	Media de pérdida de cobertura boscosa del $\bar{Y}^{tratamiento}$ (Área Protegida)	Media de pérdida de cobertura boscosa del $\bar{Y}^{control}$ (Zona de amortiguamiento)	Relación entre $\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ y $\Delta\bar{Y}^{control}$	Interpretación
1. Protección insuficiente	Disminuye	Disminuye	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es mayor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	La AP reduce la pérdida, pero el entorno muestra una mayor mejora relativa.
2. Protección efectiva	Disminuye	Disminuye	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es menor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	La AP cumple un rol protector eficaz, reduciendo la pérdida tanto dentro como fuera de sus límites.
3. Contención parcial	Aumenta	Aumenta	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es menor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	Aunque hay un incremento en la pérdida dentro en la AP, esta es menor que en el entorno, indicando cierta capacidad de contención.
4. Pérdida interna superior	Aumenta	Aumenta	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es mayor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	La AP no protege eficazmente; su interior se degrada más rápido que el entorno.
5. Contradicción en la conservación	Aumenta	Disminuye	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es mayor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	La AP falla en su objetivo; se degrada mientras el entorno mejora.
6. Protección efectiva con desplazamiento de presión	Disminuye	Aumenta	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$ Es menor que $\Delta\bar{Y}^{control}$	La AP reduce la pérdida interna, pero el entorno sufre mayor presión.

Fuente: Elaboración propia

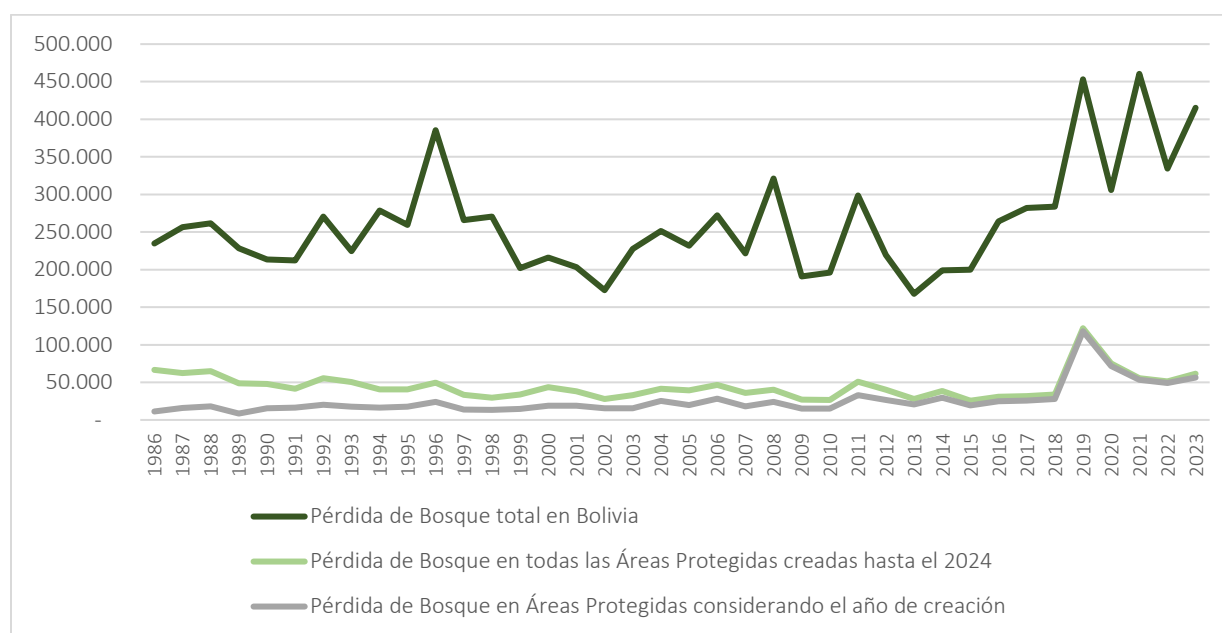
5. Resultados

5.1. Pérdida de cobertura forestal a nivel nacional y en áreas protegidas

Entre 1986 y 2023, Bolivia perdió más de 9,9 millones de hectáreas de bosque (Gráfico 2), según estimaciones generadas a partir de las transiciones anuales de MapBiomass. De esa pérdida total, aproximadamente 1,7 millones de hectáreas ocurrieron dentro de áreas protegidas creadas hasta 2023, lo que representa cerca del 17 % de la pérdida forestal nacional en ese periodo.

No obstante, si se considera únicamente la pérdida de bosque dentro de las áreas protegidas que ya existían en cada año específico, la cifra acumulada baja a 1,2 millones de hectáreas, es decir, solo un 13,5 % de la pérdida total. Estos valores son menores comparados con los datos de Global Forest Watch, que reportan una pérdida de 9,8 millones de hectáreas de cobertura arbórea en Bolivia entre 2001 y 2024 (GFW, 2025).

Gráfico 2. Pérdida de cobertura de bosque a nivel nacional y en áreas protegidas entre 1986 a 2023



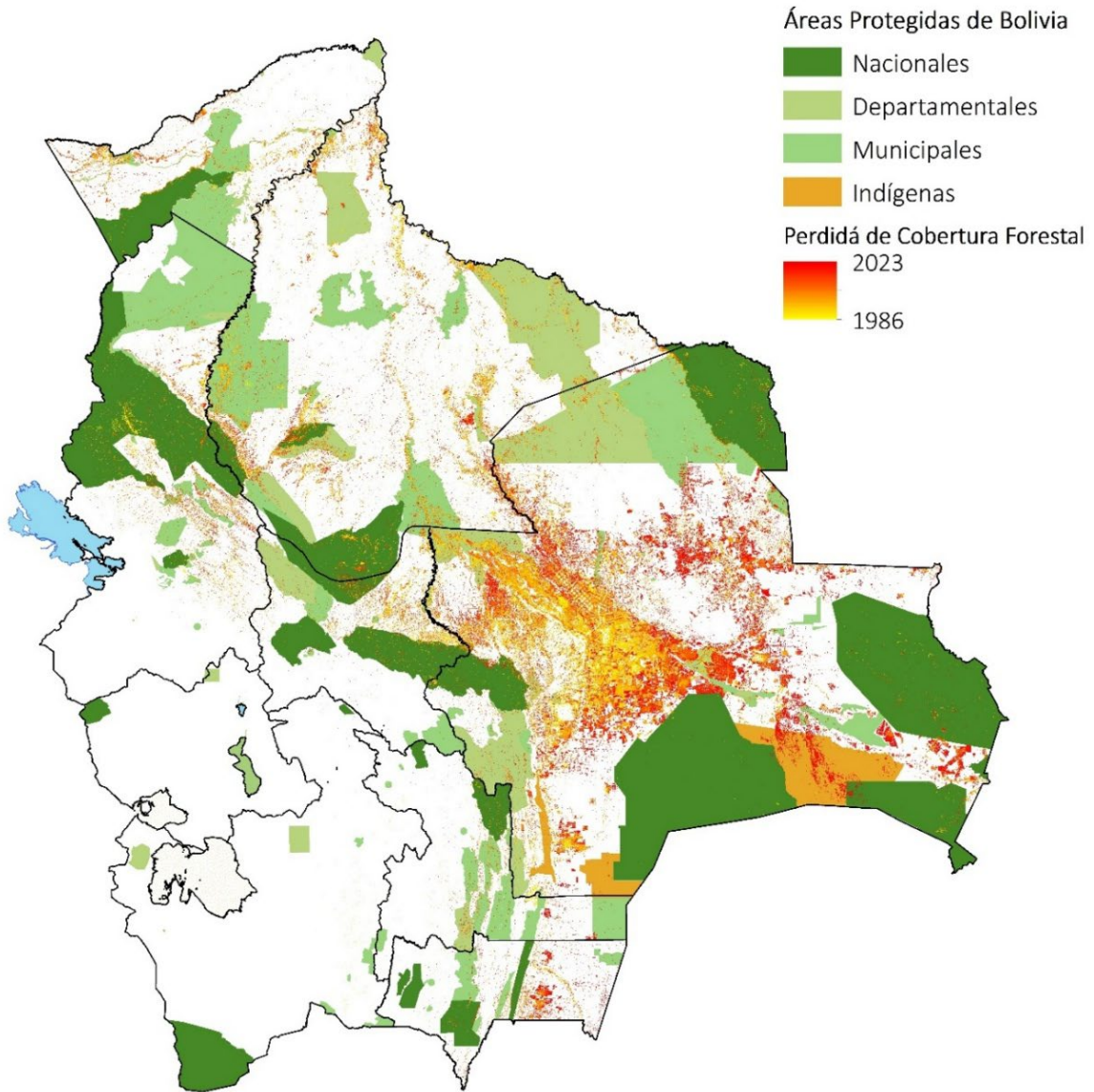
Fuente: Elaboración propia con base en MapBiomass Bolivia (2024)

5.2. Distribución geográfica de la pérdida de cobertura forestal

El Mapa 1 muestra que la mayor pérdida de cobertura boscosa durante el periodo analizado se concentró en el oriente del país. Santa Cruz fue el departamento más afectado, aportando el 67,5 % de la pérdida total a nivel nacional, seguido por Beni con un 16,4 % y La Paz con un 5,5 %, principalmente en su región norte. Aunque en menor proporción, también se registraron pérdidas en Cochabamba (3,5 %), Pando (3,3 %), Tarija (2,3 %) y Chuquisaca (1,4 %).

Entre 1986 y 2023, la pérdida de cobertura forestal fue proporcionalmente menor en las áreas protegidas nacionales (4 %), en comparación con las departamentales (10 %), municipales (8 %) e indígenas (9 %).

Mapa 1. Distribución de áreas protegidas en Bolivia creadas hasta el 2024 y pérdida de cobertura de bosque entre 1986 y 2023



Fuente: Elaboración propia con base en MapBiomias Bolivia (2024)

5.3. Áreas Protegidas existentes y pérdida acumulada (1986–2023)

Hasta 2024 se crearon 214 áreas protegidas en Bolivia (ver tabla 2). Aunque las áreas protegidas nacionales son solo 23, concentran la mayor cantidad de bosque registrado al 1985, con más de 13,4 millones de hectáreas, frente a cifras menores en los niveles departamental, municipal e indígena. Esta estimación se basa en todas las áreas protegidas creadas hasta 2024, con la excepción del Área Protegida Nacional El Choré, que no fue incluido debido a la falta de información sobre su delimitación espacial.

Tabla 2. Cantidad áreas protegidas en Bolivia creadas hasta el 2024 y pérdida de cobertura de bosque entre 1986 y 2023

Nivel de Gestión	Cantidad de bosque en 1985	Pérdida de cobertura forestal 1986-2023	% de Pérdida de cobertura forestal 1986-2023	Cantidad de APs creadas hasta el 2024
Nacional	13.484.634	509.020	4 %	23
Departamental	5.432.159	555.305	10 %	36
Municipal	6.516.078	504.193	8 %	152
Indígena	1.500.452	140.289	9 %	3
Fuera de APs	34.970.407	8.242.469	24%	-
Total	61.903.730	9.951.277	16 %	214

Fuente: Elaboración propia con base en MapBiomias Bolivia (2024)

5.4. Selección de Áreas Protegidas para el estudio

Para el análisis se seleccionaron 86 áreas protegidas, filtrando únicamente aquellas creadas entre 1989 y 2020 que, en 1985, tuvieran al menos el 50% de su superficie cubierta de bosque o dispusieran de un mínimo de 1.000 ha de bosque. Sin embargo, la muestra total asciende a 96 unidades, pues algunas áreas protegidas están subdivididas por categoría de manejo. Por ejemplo, Madidi, aunque de administración nacional, incluye un sector declarado Área Natural de Manejo Integrado (ANMI) y otro sector como Parque Nacional. Así, del total de muestras: 19 corresponden a administración nacional, 17 a departamental, 57 a municipal y 3 a gestión indígena.

Tabla 3. Cantidad áreas protegidas y áreas de estudios seleccionadas por filtro

Nivel de Gestión	Cantidad de APs creadas hasta el 2024	Filtro 1	Filtro 2	APs filtradas y diferenciadas según su tipo de manejo
		APs Creadas entre 1989-2020	APs con 50% de cobertura boscosa al 1985 o al menos 1.000 hectáreas de bosque creadas entre 1989-2020	
Nacional	23	20	13	19
Departamental	36	15	17	17
Municipal	152	116	53	57
Indígena	3	3	3	3
Total	214	151	86	96

Fuente: Elaboración propia

5.5. Efectividad de las áreas protegidas

Los resultados sobre la efectividad se organizan en tres niveles de análisis que permiten una visión gradual de la efectividad de las áreas protegidas, desde lo general hacia lo específico. En un primer nivel, se evaluó el efecto agregado a escala nacional; en un segundo, se desagregaron los resultados según el nivel de gestión (nacional, departamental, municipal e indígena); y en un tercer nivel, se clasificaron las áreas según seis casos de efectividad, captando patrones diferenciados. Cada nivel aporta conclusiones propias, lo que permite una comprensión más completa y contextualizada del desempeño de las áreas protegidas frente a la pérdida de bosque.

Los resultados generales del análisis de diferencia en diferencias muestran que, en promedio, las áreas protegidas no presentan una diferencia estadísticamente significativa en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa en comparación con sus zonas de control, para ninguno de los buffers analizados (1 km, 5 km y 10 km). El promedio del estimador DID fue de $-0,0001$ para el buffer de 1 km ($p = 0,8462$), $+0,0002$ para el buffer de 5 km ($p = 0,7246$), y $-0,0005$ para el buffer de 10 km ($p = 0,4300$).

Las desviaciones estándar se situaron entre 0,0061 y 0,0068. Ninguno de los valores p permite rechazar la hipótesis nula de que indica que no hay diferencia significativa entre la pérdida de cobertura boscosa dentro y fuera de las áreas protegidas.

Con estos resultados se concluye que, en promedio, las áreas protegidas en Bolivia no han logrado contener significativamente la pérdida de bosque en relación con sus entornos inmediatos, al menos bajo el enfoque de diferencia en diferencias aplicado en este estudio. No obstante, esta visión agregada oculta diferencias relevantes que se exploran a continuación en los análisis por nivel de gestión y casos de efectividad.

5.5.1. Efectividad por nivel de gestión

Al analizar la efectividad de las áreas protegidas según su nivel de gestión (nacional, departamental, municipal e indígena), se observa que ningún grupo presenta diferencias estadísticamente significativas en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa, según los valores de la prueba t aplicada a los estimadores de diferencia en diferencias con la zona de amortiguamiento de 5km.

Tabla 4. Análisis de significancia según niveles de gestión

Nivel	N°	\overline{DiD}	p-valor	Interpretación
Nacional	19	+0,0012	0,336	Ligeramente mayor pérdida dentro de las AP, sin diferencia estadística.
Departamental	17	+0,000533	0,706	No hay evidencia estadística de que las AP departamentales hayan reducido más la pérdida de bosque que el buffer.
Municipal	57	+0,000024	0,980	No hubo diferencias en la pérdida entre AP y sus zonas de control
Indígena	3	-0,00364	0,184	Aunque el efecto promedio es de reducción, no es estadísticamente significativo (y el tamaño muestral es bajo).

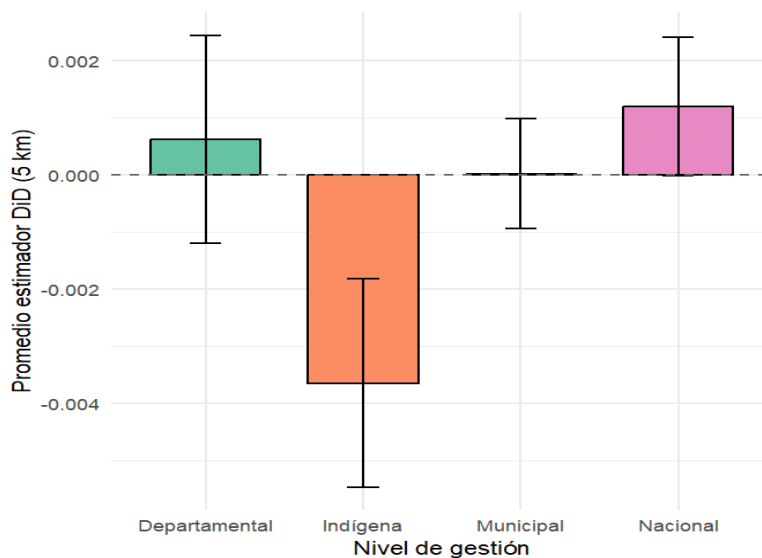
Nota: Las estimaciones corresponden al efecto promedio del tratamiento (DiD) por nivel de gestión. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados sugieren que el nivel de gestión no es un factor diferenciador claro de efectividad en términos estadísticos. No obstante, el nivel indígena muestra una media negativa considerable, lo cual, aunque no significativo por el bajo número de casos, podría reflejar prácticas que ameritan una exploración más profunda en estudios futuros.

El gráfico 3 complementa este análisis visualizando los promedios de efectividad por nivel de gestión con sus respectivos errores estándar. Se observa que ningún intervalo excluye el cero, lo que refuerza la no significancia estadística general. A pesar de ello, destaca el promedio negativo del nivel indígena, que sugiere un posible efecto protector relativo.

Gráfico 3. Efectividad promedio por nivel de gestión



Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Efectividad según casos

Para evaluar la efectividad relativa de las áreas protegidas en la reducción de la pérdida de cobertura boscosa respecto a su entorno, se aplicó una prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas desiguales. Esta prueba es apropiada porque comparamos dos conjuntos de datos independientes: las diferencias de tasas de pérdida de cobertura forestal dentro del área protegida y en su zona de amortiguamiento (antes y después del establecimiento del área protegida). No podemos asumir que ambas muestras tengan la misma varianza, por lo que realizamos la prueba de Fisher para determinar la igualdad o no igualdad de las varianzas.

Esta metodología permite identificar diferencias significativas entre el cambio en la pérdida de cobertura forestal dentro y fuera de las áreas protegidas, utilizando el estimador de diferencia en diferencias como medida central de efecto. Se evaluó si las áreas protegidas lograron modificar las tendencias de pérdida de cobertura frente a su entorno.

Tabla 5. Análisis de significancia en los seis casos presentados

Caso	N° de muestras	$\Delta\bar{Y}^{tratamiento}$	$\Delta\bar{Y}^{control}$	\overline{DiD}	Prueba Fisher	Prueba t-Student
1	5	-0,0053	-0,0155	+0,0102	0,140	0,322
2	1	-0,0012	-0,0008	-0,00038	NA	NA
3	48	+0,0026	+0,0052	-0,0025	0,040	0,012
4	21	+0,0040	+0,0025	+0,0014	0,157	0,383
5	12	+0,0033	-0,0038	+0,0070	0,446	0,017
6	9	-0,0008	+0,0013	-0,0021	0,643	0,0018

Fuente: Elaboración propia

El análisis de efectividad se organizó en seis casos definidos por la relación entre la pérdida de cobertura boscosa dentro de las áreas protegidas y en sus zonas de control. Para cada caso, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes con varianzas desiguales, precedida por la prueba de Fisher para validar la heterogeneidad de varianzas.

De los seis casos evaluados, tres presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). En el caso 3, las áreas protegidas mostraron un menor incremento en la pérdida de bosque que su entorno, lo que evidencia un efecto de contención parcial. Este es el único caso con un efecto protector claro y estadísticamente robusto.

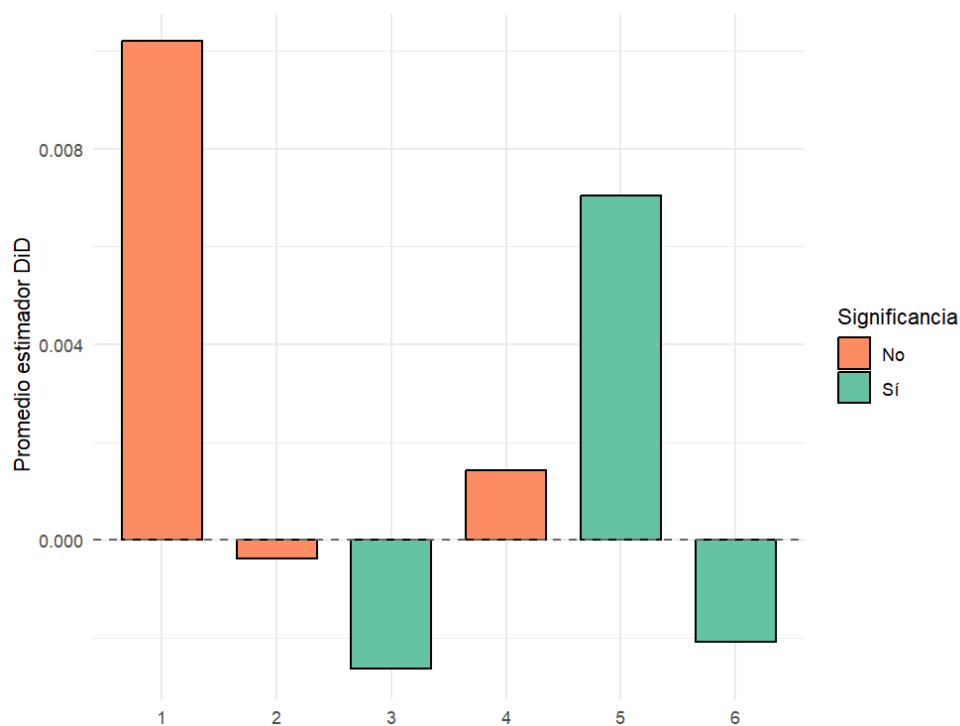
El caso 5 presenta un efecto opuesto, mayor pérdida dentro de las áreas protegidas que en el buffer. Esto sugiere debilidad en la gestión o fuertes presiones internas. Aunque significativo, este resultado revela un patrón preocupante de ineffectividad en la contención de la pérdida de cobertura forestal.

El caso 6 también fue significativo, con pérdida menor dentro de las áreas protegidas y mayor fuera de ellas. Este patrón puede reflejar un efecto de desplazamiento de presión, en el que las áreas protegidas funcionan como barrera parcial, pero generan externalidades en sus alrededores.

Los casos 1 y 4 no muestran resultados estadísticamente significativos, aunque mantienen direcciones distintas en sus estimadores. El caso 2 no fue evaluado estadísticamente por falta de casos (n=1), por lo que no aporta evidencia concluyente.

El gráfico 4 muestra el valor promedio del estimador DiD por caso, indicando si fue positivo o negativo, así como su nivel de significancia. También se incluye el número de áreas protegidas evaluadas en cada grupo, lo cual permite visualizar la robustez de los resultados por caso.

Gráfico 4. Efectividad según casos



Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Relación entre niveles de gestión y efectividad

Además del análisis separado por niveles de gestión y por casos de efectividad se exploró la distribución de las áreas protegidas según ambos criterios. La Tabla 6 presenta la frecuencia de áreas protegidas por caso de efectividad y nivel de gestión.

Los resultados muestran que el nivel municipal agrupa el mayor número de áreas protegidas clasificadas como efectivas (36), seguido del departamental (11), nacional (8) e indígena (3). Esto

podría reflejar el mayor número de áreas protegidas municipales evaluadas, pero también su relativa eficacia en contextos diversos.

El caso 3, que representa un efecto protector significativo, concentra la mayoría de los casos efectivos (48). Dentro de este grupo, predominan las áreas protegidas municipales con 30 áreas protegidas, departamentales con 10) y nacionales con 5. Este patrón sugiere que distintos niveles de gestión han logrado resultados positivos, aunque en escalas y contextos variables.

En contraste, los casos 5 y 6, que también presentan significancia estadística, pero efectos menos deseables (mayor pérdida interna o presión desplazada), agrupan 21 áreas protegidas. De estas, 8 corresponden a nivel municipal, 8 a nivel nacional y 5 a nivel departamental, lo que podría reflejar que la efectividad no solo depende del tipo de gestión, sino del contexto en el que operan.

En general, la combinación del análisis por caso y por nivel de gestión permite identificar patrones útiles para orientar futuras intervenciones. Aunque el nivel indígena tiene pocos casos, todos fueron clasificados como efectivos, lo que sugiere que este tipo de gobernanza merece una evaluación más profunda.

Tabla 6. Distribución de áreas protegidas por nivel y por casos de efectividad

NIVEL	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Total AP efectivos	Total AP no efectivos
Nacional	3	0	5	4	4	3	8	11
Departamental	1	0	10	1	4	1	11	6
Municipal	1	1	30	16	4	5	36	21
Indígena	0	0	3	0	0	0	3	0
Total general	5	1	48	21	12	9	58	38

Fuente: Elaboración propia

5.5.4. Análisis de sensibilidad considerando los buffers a 1km y 10km

Finalmente, también se compararon los valores DiD calculados con buffers de 1 km y 10 km. Analizando tanto los valores promedio como las correlaciones entre estos estimadores, así como los cambios de caso que podrían alterar las conclusiones sobre la efectividad de las áreas protegidas.

Los valores promedio del DiD son cercanos a cero en los tres casos, lo que sugiere una alta estabilidad en los resultados. Sin embargo, pequeñas diferencias en los valores promedio pueden tener implicancias en la clasificación de las AP dentro de los seis casos de efectividad.

El análisis de correlación muestra asociaciones fuertes y positivas entre los valores de DiD de diferentes buffers. La correlación entre 1 km y 5 km es de 0,80 y entre 5 km y 10 km es de 0,89. Estos valores altos indican una alta consistencia en los resultados al cambiar el tamaño del buffer.

No obstante, al revisar los cambios de caso por área protegida, se observa que algunas de ellas cambian de clasificación según el buffer considerado. La tabla 7 resume cuántas áreas protegidas cambian de caso entre buffers, desagregado por nivel de gestión.

Tabla 7. Cambios de caso por nivel de gestión y comparación de buffers

Nivel de Gestión	Total AP	Cambios 1 km vs 5 km	Cambios 5 km vs 10 km	Cambios 1 km vs 10 km	% Cambio 1–5 km	% Cambio 5–10 km	% Cambio 1–10 km
Departamental	17	2	4	4	11,8%	23,5%	23,5%
Indígena	3	1	0	1	33,3%	0%	33,3%
Municipal	57	14	NA	NA	24,6%	NA	NA
Nacional	19	NA	2	NA	NA	10,5%	NA

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que entre un 10% y 33% de las áreas protegidas cambian de caso al modificar la distancia del buffer. Las áreas protegidas municipales presentan la mayor cantidad absoluta de cambios (14 casos entre 1 y 5 km), mientras que las indígenas muestran la mayor proporción relativa con un 33,3%. Esto sugiere que los resultados para ciertos niveles de gestión son más sensibles a la elección del buffer espacial. Aunque los valores promedio de DiD se mantienen estables, la clasificación por casos puede variar, afectando la interpretación de la efectividad

La tabla 8 muestra un resumen de la cantidad de áreas protegidas por caso para cada tamaño de buffer, desagregando también el número total de áreas protegidas clasificados como efectivos (casos 3 y 6) y no efectivos (los demás). Los totales de estas áreas protegidas clasificadas como efectivas (casos 3 y 6) se mantienen relativamente estables entre buffers: 58 AP en 1 km y 5 km, y 61 en 10 km. Esto sugiere que, aunque existen cambios individuales en la asignación de casos, el patrón general de efectividad se conserva. El pequeño aumento de áreas protegidas efectivas con el buffer de 10 km podría deberse a una mayor dilución del efecto de presión antrópica inmediata en la zona de amortiguamiento.

Tabla 8. Distribución de casos de efectividad por buffer

Buffer	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	ND	Total AP efectivos	Total AP no efectivos
1 KM	4	1	48	22	11	9	1	58	37
5 KM	5	1	48	21	12	9	0	58	38
10 KM	5	2	52	20	9	7	1	61	34

Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones

Este estudio evaluó la efectividad de las áreas protegidas en Bolivia para reducir la pérdida de cobertura boscosa entre 1986 y 2023, mediante un enfoque de diferencias en diferencias (DiD) aplicado a 86 áreas protegidas (96 unidades de análisis), en comparación con su zona de amortiguamiento a 5 km. Se realizó un análisis de resultados en tres niveles: a nivel nacional, por tipo de gestión y por casos de efectividad, complementado con un análisis de sensibilidad considerando zonas de control a 1 y 10 km.

Los resultados agregados del análisis DiD no evidencian una reducción estadísticamente significativa en la pérdida de cobertura forestal dentro de las áreas protegidas respecto a sus zonas de control, independientemente del tamaño del buffer analizado. Los estimadores promedios para los buffers de 1, 5 y 10 km ($-0,0001$; $+0,0002$ y $-0,0005$) fueron cercanos a cero, con valores p (0,8462; 0,7246; 0,4300) que no permiten rechazar la hipótesis nula, reafirmando que, en promedio, las áreas protegidas no han contenido efectivamente la pérdida de bosque frente a presiones externas.

El análisis por tipo de gestión (nacional, departamental, municipal e indígena) tampoco arrojó diferencias estadísticamente significativas. No obstante, el nivel indígena presentó un efecto promedio negativo en la tasa de pérdida ($-0,0036$), lo que sugiere un potencial efecto protector que amerita mayor exploración, pese al bajo número de casos disponibles.

La evaluación según casos de efectividad identificó seis patrones de comportamiento respecto a la dinámica de pérdida dentro de las áreas protegidas y en sus entornos. De estos, tres casos mostraron diferencias estadísticamente significativas:

- El caso 3 reveló un efecto protector claro y robusto, con menor incremento de pérdida dentro de las áreas protegidas que, en el buffer, evidenciando contención parcial de la pérdida de cobertura forestal. ($\overline{DiD} = -0,0025$; $p = 0,012$)
- El caso 5 mostró mayor pérdida dentro de las áreas protegidas que fuera, señalando debilidades en la gestión o fuertes presiones internas. ($\overline{DiD} = +0,0070$; $p = 0,017$)
- El caso 6 evidenció menor pérdida dentro de las áreas protegidas y mayor fuera, posiblemente indicando un desplazamiento de la presión hacia zonas externas a las áreas protegidas. ($\overline{DiD} = -0,0021$; $p = 0,0018$)

Estos resultados señalan que la efectividad de las áreas protegidas en Bolivia es heterogénea, dependiente de factores contextuales y de gestión, y que la generalización del desempeño debe ser hecha con cautela.

La distribución de áreas protegidas por nivel de gestión y caso muestra que la mayoría de las áreas consideradas efectivas corresponden al nivel municipal (36), con un 63% del total estudiado en ese nivel; seguido del nivel departamental (11) y nacional (8). Se destaca la representación de la gestión indígena, donde todos los casos (3) fueron clasificados como efectivos.

El análisis de sensibilidad respecto al tamaño del buffer reveló alta estabilidad en los estimadores DiD promedio de los buffers de 1, 5 y 10 km ($-0,00012$; $0,00023$; $-0,00051$), con fuertes correlaciones con el buffer de 5 km (correlación entre 1 km y 5 km de $0,80$, y entre 5 km y 10 km de $0,89$). No obstante, entre un 10% y 33% de las áreas protegidas cambiaron de caso de efectividad según el buffer, principalmente en los niveles municipal e indígena. Esto implica que, si bien el patrón general se mantiene, la clasificación puntual de efectividad es sensible a la elección espacial del área de comparación.

Por último, si bien el análisis realizado incorpora filtros relevantes como el año de creación del área protegida y el porcentaje de cobertura boscosa, es fundamental reconocer la ausencia de variables que representen zonas de alta presión antrópica. Esta omisión puede introducir sesgos en la evaluación, especialmente en contextos donde la pérdida de cobertura forestal está fuertemente influenciada por factores externos como la accesibilidad, la expansión agropecuaria o la proximidad a infraestructuras.

Para lograr una comprensión más precisa y contextualizada de la efectividad de las áreas protegidas, se recomienda que investigaciones futuras incorporen indicadores explícitos de presión. Asimismo, sería valioso desarrollar estudios locales para cada caso de efectividad identificado, con el fin de examinar en mayor profundidad las dinámicas específicas y los factores de presión que inciden en el desempeño de las áreas protegidas en distintos contextos territoriales.

Se espera que el presente documento sirva como insumo para futuras investigaciones orientadas a revisar en mayor detalle los casos de eficiencia en la creación de áreas protegidas, utilizando modelos más precisos que expliquen la variabilidad observada e incorporando las presiones específicas que enfrenta cada territorio.

En síntesis, este trabajo proporciona evidencia empírica valiosa para orientar políticas de conservación y planificación territorial. Se pone a disposición pública el mosaico anual de pérdida boscosa (1985–2023) y la hoja de cálculo con detalles por área protegida, para facilitar análisis futuros y mejorar la gestión de las AP en un contexto de cambio climático y creciente presión extractiva.

Link de Descarga

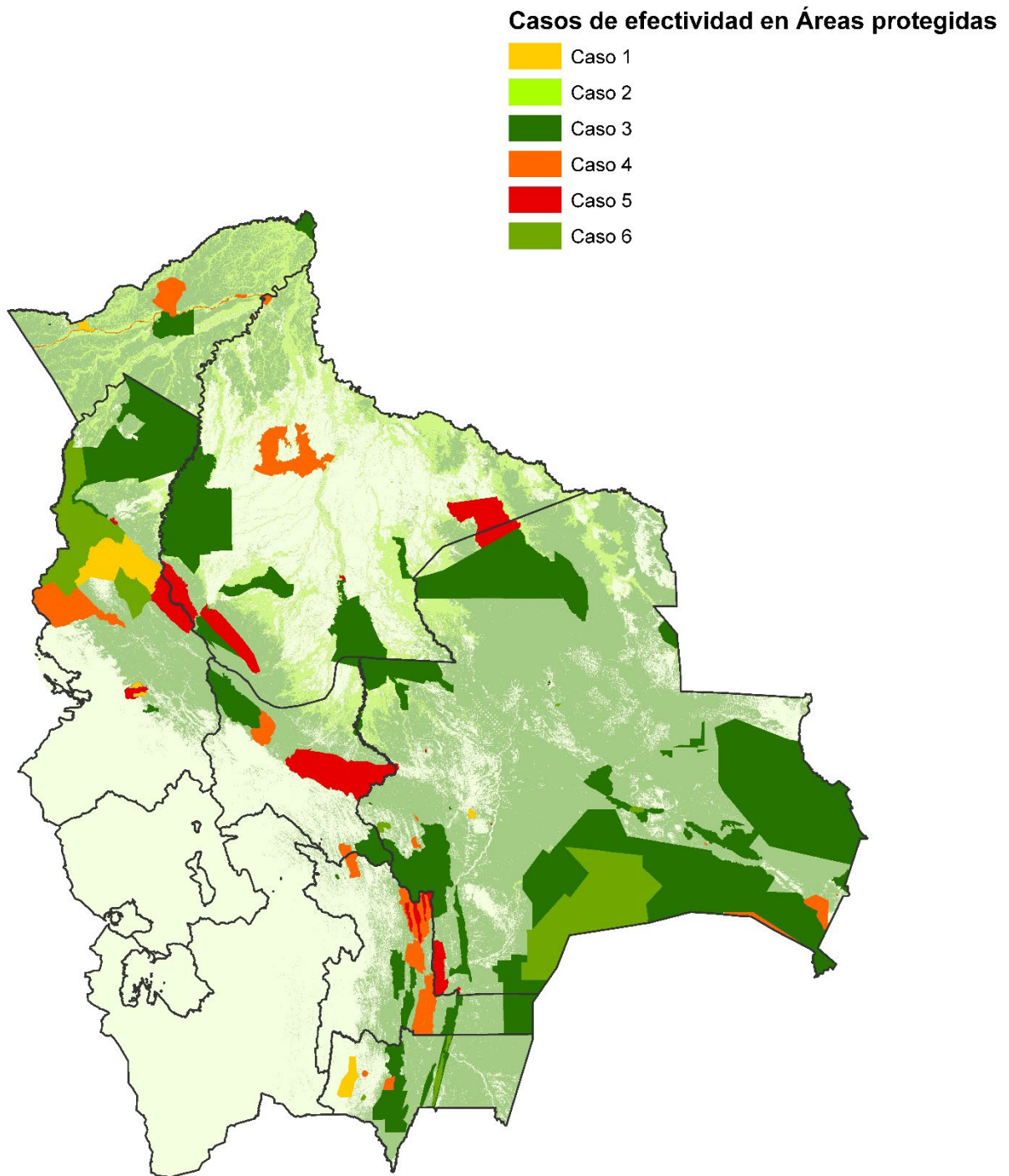
https://drive.google.com/drive/folders/1PG7xjxMmXdp2VWSyczeJVfBabDb11I6U?usp=drive_link

7. Referencias

- APMT. (2024). *Estrategia Plurinacional de Bosques y Cambio Climático*. Estado Plurinacional de Bolivia.
- CBD. (2015). *V Informe Nacional. Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica*. Estado Plurinacional de Bolivia.
- CBD. (2023). *La Diversidad Biológica y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.cbd.int/development/doc/biodiversity-2030-agenda-technical-note-es.pdf>
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Suiza: UICN.
- FUNDESNA. (13 de Diciembre de 2024). *Bolivia lanza pasaporte para apoyar la sostenibilidad y conservación de sus tesoros naturales*. Obtenido de <https://fundesna.org/bolivia-lanza-pasaporte-para-apoyar-la-sostenibilidad-y-conservacion-de-sus-tesoros-naturales/>
- Hanauer, M. M., & Gustavo, C.-B. (2015). Implications of heterogeneous impacts of protected areas on deforestation and poverty. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*.
- Ley N° 1788. (1997). Gaceta Oficial de Bolivia. Obtenido de <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo>
- MapBiomias Bolivia. (2024). *Colección 2 de la Serie anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo*. Retrieved from <https://bolivia.mapbiomas.org/>
- MMAyA. (2022). *Contribución Nacionalmente Determinada del Estado Plurinacional de Bolivia*. MMAyA. Estado Plurinacional de Bolivia. Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CND%20Bolivia%202021-2030.pdf>
- MMAyA. (2022). *Memoria Técnica: Mapa de bosque 2022*. Memoria Técnica, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal. Retrieved from <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca/686>
- MMAyA. (2024). *Atlas de las Áreas Protegidas Municipales y de Áreas Protegidas Indígena Originario Campesinas de Bolivia*. La Paz: MMAyA.
- Nelson, A., & Chomitz, K. (2011). Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: A global analysis using matching methods. *PLoS ONE*.
- Pérez García, J. (2014). Potencialidad y limitaciones del modelo de diferencias en diferencias aplicado con datos agregados a la evaluación de políticas públicas en el ámbito territorial. *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*, 1989-8991.

- Reglamento General de las Areas Protegidas D.S. 24781. (2010). Gaceta Oficial de Bolivia. Obtenido de <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/24781>
- SERNAP. (2023). *Función de la institución*. Obtenido de <https://www.sernap.gob.bo/funcion-de-la-institucion/>
- SERNAP. (2024). Atlas de las Áreas Protegidas de Carácter Nacional del Estado Pluricultural de Bolivia. La Paz: SERNAP.
- UN. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>
- Yang , H., Pfaff, A., & Robalino, J. (2021). Effects of protected areas on forest cover change and local communities: Evidence from the Peruvian Amazon. *World Development*.

ANEXO 1. Mapa de clasificación de áreas protegidas según los casos de efectividad



Fuente: Elaboración propia