

Artículo original

Tres décadas y medio de cambio de cobertura y uso de suelo en un área protegida del sur de Bolivia

Three and a half decades of cover and land use change in a protected area in southern Bolivia

Reinaldo Lozano Ajata ^{1*} & Edwin Machaca Mamani ²

*Autor de Correspondencia: lozano.reinaldo@usfx.bo

¹ Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Casilla postal 1046, Calle Calvo N° 132, Sucre- Bolivia.

² Instituto de Investigaciones Geográficas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

Para evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñaño (PN-ANMI) en el sur de Bolivia, se emplearon datos de MapBiomas y análisis espacio-temporal para apoyar el manejo y monitoreo del área protegida. Con imágenes Landsat procesadas mediante el algoritmo Random Forest en la plataforma MapBiomas (versión 3.0), se generaron mapas para el período 1985-2020, validados con datos de campo y herramientas como Google Earth. Las principales macroclases identificadas fueron Formación Forestal (FFOR), Otra Formación Natural no Forestal (OFNF), Uso Agropecuario (UAGR), Infraestructura Urbana (IURB), Otra Área sin Vegetación (OASV) y Río (CUAG). En 35 años, las superficies agrícolas crecieron significativamente, mientras las áreas boscosas disminuyeron en 2.49 km². La clase IURB mostró un leve aumento, y CUAG sufrió pérdidas menores a 0.05 km². En contraste, OFNF y OASV se mantuvieron estables, reflejando patrones diferenciados de transformación en esta área protegida.

Palabras clave: análisis multitemporal, MapBiomas, pérdida de bosques, monitoreo ambiental

Abstract

To assess changes in land cover and land use in the Serranía del Iñaño National Park and Integrated Management Natural Area (PN-ANMI) in southern Bolivia, MapBiomas data and spatiotemporal analysis were utilized to support the management and monitoring of the protected area. Landsat images processed using the Random Forest algorithm on the MapBiomas platform (version 3.0) were used to generate maps for the 1985–2020 period, validated with field data and tools such as Google Earth. The main macroclasses identified included Forest Formation (FFOR), Other Non-Forest Natural Formation (OFNF), Agricultural Use (UAGR), Urban Infrastructure (IURB), Other Non-Vegetated Area (OASV), and Water Body (CUAG). Over 35 years, agricultural areas expanded significantly, while forested areas decreased by 2.49 km². The IURB class showed a slight increase, while CUAG experienced losses of less than 0.05 km². In contrast, OFNF and OASV remained virtually unchanged, reflecting distinct patterns of landscape transformation within this protected area.

Keywords: multitemporal analysis, MapBiomas, forest loss, environmental monitoring

Introducción

El estudio de la cobertura y uso del suelo es fundamental para comprender las dinámicas de cambio en los ecosistemas y evaluar el impacto de las actividades humanas y fenómenos naturales sobre ellos. Estas investigaciones contribuyen al monitoreo de ecosistemas, al diseño de estrategias de conservación y restauración, y a la mitigación de los efectos adversos asociados con la deforestación y el cambio en el uso del suelo, especialmente en regiones amenazadas por la pérdida de biodiversidad (Velastegui-Montoya et al., 2020). Además, permiten identificar patrones emergentes que guían el diseño de políticas para fomentar el desarrollo sostenible.

Herramientas como Google Earth Engine (GEE) han revolucionado los análisis geoespaciales al procesar grandes volúmenes de datos satelitales en una plataforma basada en la nube. GEE se ha consolidado como un recurso esencial para el monitoreo ambiental global, facilitando el análisis de cambios en la cobertura terrestre, la modelización de impactos climáticos y la evaluación de procesos ecológicos a escala global (Gorelick et al., 2017). Su capacidad para integrar datos de múltiples sensores y generar análisis multitemporales ha demostrado ser invaluable en aplicaciones como la evaluación de desastres naturales, la planificación ambiental sostenible, y la gestión agrícola (Bazzato et al., 2022; Kurnianto et al., 2024; Imtiaz et al., 2024; Mengistu et al., 2024). Esta versatilidad subraya la importancia de la colaboración interdisciplinaria y el acceso abierto a datos para abordar los desafíos ambientales globales (Brown et al., 2022; Caron et al., 2021).

En este contexto, la iniciativa MapBiomias surge como una herramienta innovadora para mapear y monitorear anualmente los cambios en la cobertura y uso del suelo en Sudamérica, donde la presión sobre los ecosistemas es alta (Baesa et al., 2022). Este proyecto utiliza imágenes Landsat procesadas con algoritmos de aprendizaje automático en GEE para generar mapas precisos y de acceso público, promoviendo la transparencia y facilitando su uso en investigaciones científicas y la gestión ambiental (Souza et al., 2020; Câmara et al., 2021; MapBiomias, 2023). Aunque MapBiomias ha demostrado ser eficaz en el monitoreo de ecosistemas tropicales, su aplicación en bosques montanos sigue siendo limitada (Caron et al., 2021; Brienen et al., 2015), lo que resalta la necesidad de expandir su alcance a estas regiones.

Este estudio aborda dicha brecha al analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñaño, en Bolivia. Utilizando datos multitemporales generados por MapBiomias, esta investigación integra dimensiones espaciales y temporales para evaluar de manera precisa las transformaciones en el área protegida, proporcionando información clave para su manejo y monitoreo efectivo.

Materiales y métodos

Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en los bosques semi-

húmedos de la Cordillera Oriental de los Andes, en Bolivia, específicamente en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñaño. Esta área protegida se encuentra en el departamento de Chuquisaca (Figura 1), en las coordenadas 19°25'30"S y 63°55'12"W. Su geografía incluye serranías paralelas con estilo tectónico predominantemente isoclinal, situadas por debajo de los 2000 m de altitud en promedio (Navarro & Maldonado, 2002; Serrano, 2003). Los cursos de agua de la región desembocan en la cuenca del río Grande (Navarro & Maldonado, 2002). Según Killeen et al. (1993), esta área registra las mayores precipitaciones anuales de Chuquisaca (1000 a 1700 mm por año), con un período seco de 3 a 5 meses. La temperatura promedio anual varía según los pisos altitudinales.

Características ecológicas

La vegetación del PN-ANMI Serranía del Iñaño incluye principalmente bosques siempre verdes con un dosel de 25-30 m de altura. En áreas no alteradas predominan especies como *Blepharocalyx salicifolius* (palo borracho), *Myrcianthes pseudo-mato* (mato), *Cinnamomum porphyria* (laurel) y *Cedrela lilloi* (cedro). En las cabeceras de los valles húmedos se encuentran bosques de *Alnus acuminata* spp. *acuminata* (aliso) y *Podocarpus parlatorei* (pino de monte). En las laderas más xéricas destacan los bosquecillos abiertos de *Polylepis bessery* (Lieberman, 1991; Killeen et al., 1993).

Obtención de datos espaciales

El análisis de cobertura y uso del suelo se realizó con datos proporcionados por el proyecto MapBiomias, colección 1 (versión 3.0, <http://mapbiomas.org>), que ofrece información espacial y temporal del período 1985-2020. Las imágenes fueron obtenidas de satélites Landsat, procesadas en formato ráster, y generaron mapas de cobertura y uso del suelo a intervalos de cinco años (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020). El procesamiento se realizó con ArcGIS 10.8, la precisión de los mapas fue validada mediante observaciones de campo y comparaciones con herramientas como Google Earth y ArcGIS Earth Basemap. Para esto, se aplicó un muestreo por tipo de clase, seleccionando 20 puntos por clase, con un total de 120 puntos de validación.

Estadística descriptiva

Se utilizó estadística descriptiva para evaluar los cambios en la cobertura y el uso del suelo, siguiendo la metodología descrita por Kamaraj y Rangarajan (2022). Los resultados se presentaron en formato tabular, utilizando Microsoft Office 2019, mostrando el tamaño (fracción del área) de cada categoría de uso del suelo y los porcentajes correspondientes de cambio a lo largo del período de estudio. Esta representación permitió identificar y describir las tendencias y transformaciones ocurridas en el área protegida durante las tres décadas y media analizadas.

Resultados

El análisis multitemporal de 35 años permitió evaluar detalladamente las dinámicas de cobertura y uso del

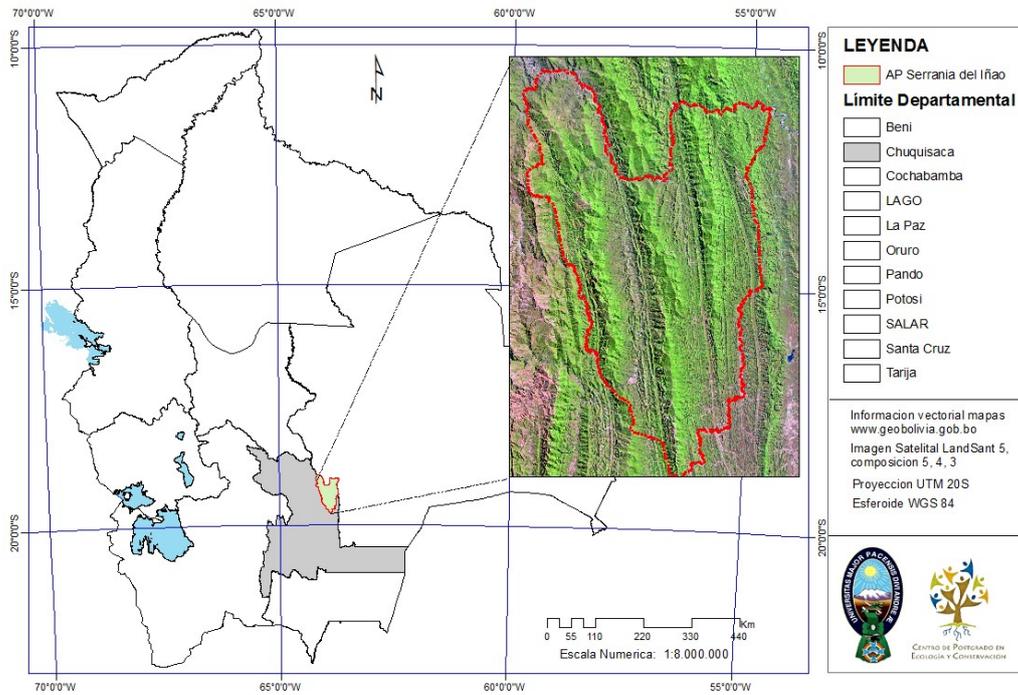


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

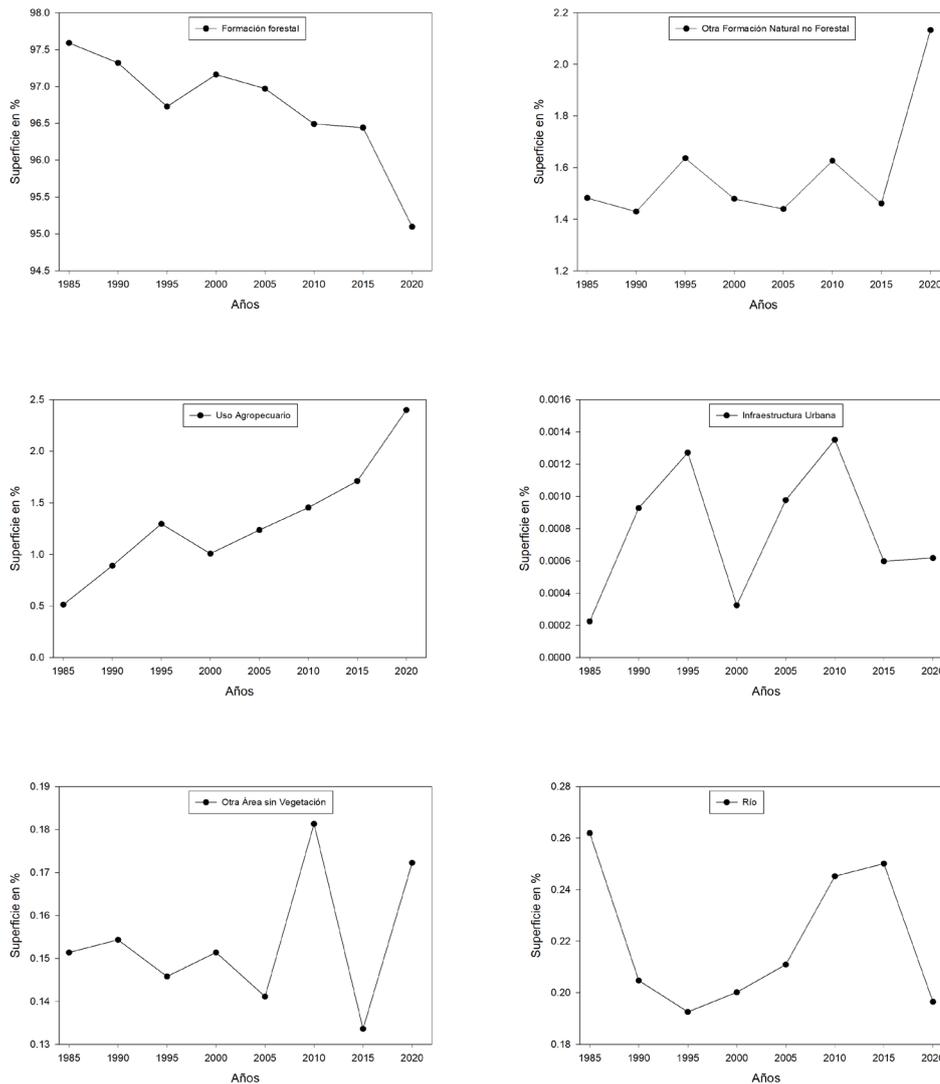


Figura 2. Clase espectral por tipo de cobertura y uso 1985- 2020.

suelo en el PN ANMI Serranía del Iñao. Las macroclases principales incluyeron Formación Forestal (FFOR), Otra Formación Natural no Forestal (OFNF), Uso Agropecuario (UAGR), Infraestructura Urbana (IURB), Otra Área sin Vegetación (OASV) y Cuerpos de Agua (CUAG) (Tabla 1). Estas categorías facilitaron una comprensión completa de las transformaciones espaciales y temporales en el área protegida.

Entre 1985 y 2020, la clase FFOR presentó una disminución constante en superficie (Figura 1), con una pérdida acumulada de 2.49 km², mientras que UAGR mostró un aumento progresivo. Por el contrario, OFNF, IURB, OASV y CUAG mantuvieron variaciones menores, con incrementos o pérdidas poco significativas, inferiores

a 1 km² (Tabla 2, Figura 2). En particular, CUAG mostró la mayor reducción durante el período 1985-1990, con una pérdida de más de 0.05 km², pero presentó menores disminuciones (< 0.02 km²) en los periodos siguientes.

En términos de ganancias y pérdidas de cobertura (Tabla 3, Figura 3), UAGR e IURB fueron las clases con mayores incrementos, mientras que FFOR evidenció un declive continuo, reflejando presiones antropogénicas consistentes en el tiempo. Las otras macroclases (OFNF y OASV) tuvieron oscilaciones marginales que no afectaron significativamente la estructura general de la cobertura del suelo.

Tabla 1. Clase de cobertura y uso según MapBiomas del Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

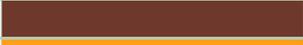
Cobertura y uso	Código	ID	Color
Formación forestal	FFOR	3	
Otra Formación Natural no Forestal	OFNF	13	
Uso Agropecuario	UAGR	14	
Infraestructura Urbana	IURB	24	
Otra Área sin Vegetación	OASV	25	
Río	CUAG	33	

Tabla 2. Distribución absoluta (km²) y porcentual de la cobertura y uso del suelo Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao (1985-2020).

Clase	Año 1985		Año 1990		Año 1995		Año 2000		Año 2005		Año 2010		Año 2015		Año 2020	
	km ²	(%)	km ²	(%)												
FFOR	2567.57	97.59	2560.45	97.32	2544.84	96.73	2556.23	97.16	2551.24	96.97	2538.6	96.49	2537.36	96.44	2501.9	95.1
OFNF	39.01	1.48	37.62	1.43	43.07	1.64	38.91	1.48	37.89	1.44	42.8	1.63	38.44	1.46	56.13	2.13
UAGR	13.49	0.51	23.4	0.89	34.1	1.3	26.5	1.01	32.51	1.24	38.25	1.45	45.03	1.71	63.15	2.4
IURB	0.01	0	0.02	0	0.03	0	0.01	0	0.03	0	0.04	0	0.02	0	0.02	0
OASV	3.98	0.15	4.06	0.15	3.84	0.15	3.98	0.15	3.71	0.14	4.77	0.18	3.52	0.13	4.53	0.17
CUAG	6.89	0.26	5.39	0.2	5.07	0.19	5.27	0.2	5.55	0.21	6.45	0.25	6.58	0.25	5.17	0.2
TOTAL	2630.94	100	2630.94	100	2630.94	100	2630.9	100	2630.93	100	2630.91	100	2630.93	100	2630.9	100

Tabla 3. Ganancia y pérdida de cobertura y uso del suelo (Km²) Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

Año/Clase	FFOR	OFNF	UAGR	IURB	OASV	CUAG
1985-1990	-0.27	-0.05	0.38	0.00	0.00	-0.06
1985-1995	-0.86	0.15	0.78	0.00	-0.01	-0.07
1985-2000	-0.43	0.00	0.49	0.00	0.00	-0.06
1985-2005	-0.62	-0.04	0.72	0.00	-0.01	-0.05
1985-2010	-1.10	0.14	0.94	0.00	0.03	-0.02
1985-2015	-1.15	-0.02	1.20	0.00	-0.02	-0.01
1985-2020	-2.49	0.65	1.89	0.00	0.02	-0.07

Donde: FFOR= Formación forestal, OFNF= Otra Formación Natural no Forestal, UAGR= Uso Agropecuario, IURB= Infraestructura Urbana, OASV= Otra Área sin Vegetación, CUAG= Río.

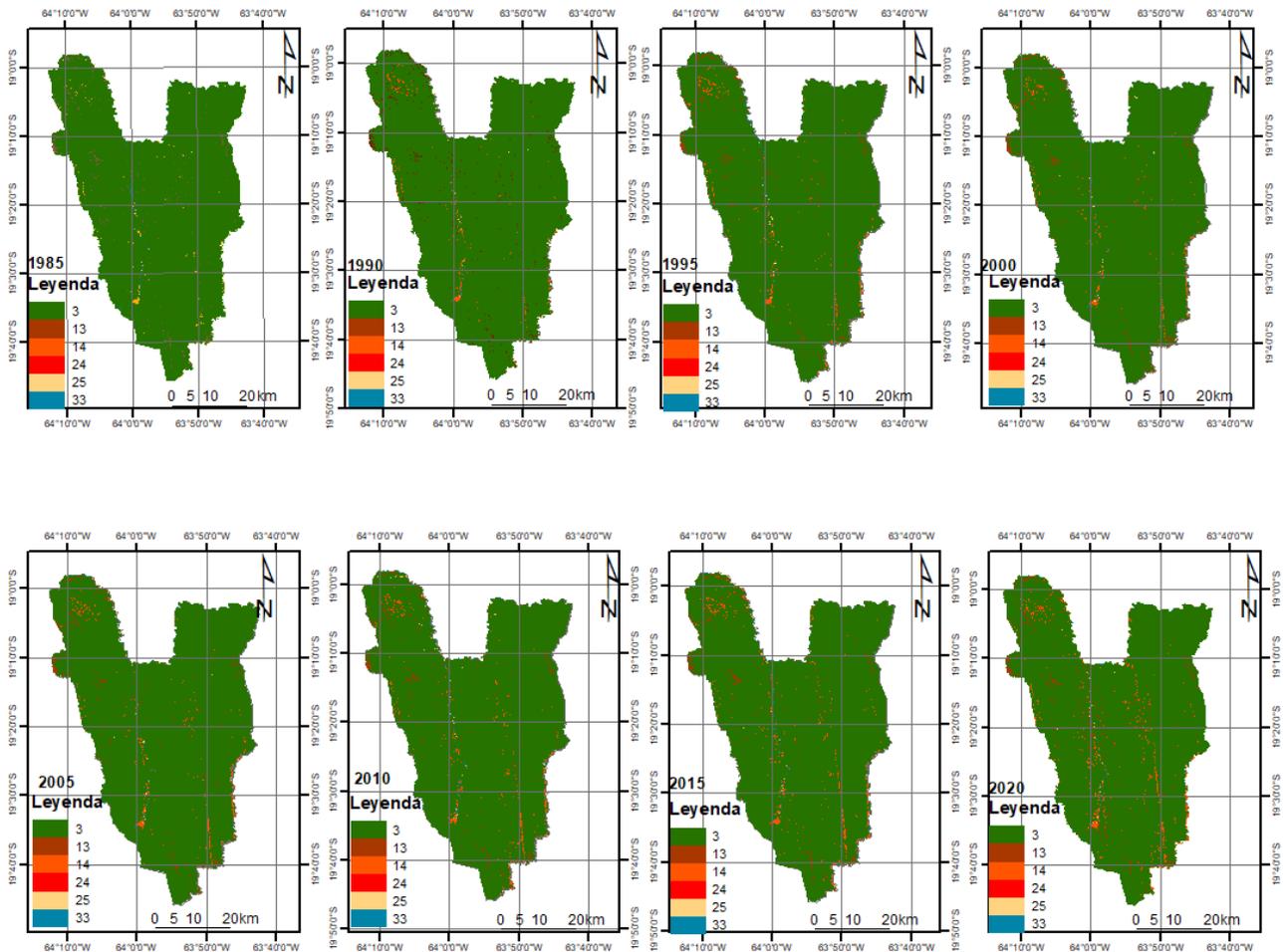


Figura 3. Coberturas y uso en los períodos de tiempo 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

Discusión

Los resultados reflejan patrones similares a los reportados en otras áreas protegidas de América Latina, donde la expansión agrícola y la deforestación predominan como las principales causas de cambio en zonas montañosas biodiversas (Müller et al., 2014; Pinto et al., 2010). En este estudio, la disminución de FFOR y el incremento de UAGR coinciden con tendencias observadas en regiones como el Amazonas boliviano, donde la agricultura y el uso intensivo del suelo impulsan transformaciones significativas (Peralta-Rivero et al., 2013; Killeen et al., 2005).

La metodología empleada, basada en imágenes Landsat y el algoritmo Random Forest a través de MapBiomias, demostró ser efectiva para analizar cambios multitemporales de manera automatizada y confiable. MapBiomias ofrece ventajas sobre plataformas como MODIS o SPOT, que suelen presentar limitaciones en resolución espacial o temporal (He et al., 2014; Gebresamuel et al., 2010). Sin embargo, otros enfoques, como el uso de algoritmos avanzados como Support Vector Machines y la integración de imágenes de mayor resolución, podrían mejorar aún más la precisión en áreas complejas (Fonúrbel, 2007; Peñaranda, 2010).

A pesar de los avances, el estudio tiene limitaciones,

como la dependencia de datos remotos y clasificaciones automatizadas. Esto subraya la importancia de incorporar validaciones extensivas en campo y datos climáticos para captar las interacciones entre factores antrópicos y la variabilidad ambiental (Marsik et al., 2011; Mas et al., 2009). Asimismo, la resolución temporal de cinco años podría no captar dinámicas más rápidas o graduales en ecosistemas sensibles.

Conclusiones

El análisis multitemporal realizado mediante MapBiomias demostró ser una herramienta eficiente para evaluar cambios de cobertura y uso del suelo en el PNANMI Serranía del Iñao, identificando patrones significativos de transformación en un periodo de 35 años. Sin embargo, se recomienda la incorporación de sensores de mayor resolución espacial y temporal, así como la realización de validaciones de campo más frecuentes, para mejorar la precisión y abordar las complejidades inherentes a los ecosistemas montanos. Este enfoque permitirá fortalecer estrategias de manejo sostenible y monitoreo en áreas protegidas de alta biodiversidad.

Bibliografía

Baesa, R., González, R., y García, A. (2022). MapBiomias: Innovaciones en el mapeo y monitoreo de la cobertura terrestre en Sudamérica. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 10(3), 255-270.

- Barbati, A., Corona, P., y Marchetti, M. (2014). Global forest monitoring systems: Strengths, weaknesses, and the potential of using remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 313, 57-70.
- Bazzato, E., Ceccherini, G., y Montanari, F. (2022). Analysis of volcanic deposits using remote sensing data: A case study on Semeru Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 416, 107309.
- Belgiu, M., y Drăguț, L. (2016). Landsat image classification using random forest for land use/land cover mapping. *Remote Sensing*, 8(3), 263-278.
- Brienen, R. J., Girardin, C. A., y Phillips, O. L. (2015). Estimating forest carbon stock changes in the Amazon: Comparison of methods and the effects of forest degradation. *Global Change Biology*, 21(1), 370-379.
- Brown, C., Ryan, D., y Mahony, T. (2022). Integrating Earth observation data for sustainable development. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 103-118.
- Câmara, G., Maciel, A., Gomes, V., y Carvalho, A. (2021). Advances in big earth observation data analysis with MapBiomas and Google Earth Engine. *International Journal of Remote Sensing*, 42(2), 345-361.
- Canadell, J. G., y Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320(5882), 1456-1459.
- Caron, P., Leclerc, G., y Mansourian, S. (2021). Landscape-scale monitoring of tropical forests using Google Earth Engine. *Forests*, 12(3), 456-469.
- Ceccherini, G., Gobron, N., y Pugh, T. (2023). Multisensor analysis of volcanic activity using Google Earth Engine. *Earth Systems Science Data*, 15(3), 1347-1358.
- Chi, H., Liang, S., y Yu, W. (2016). A review on Google Earth Engine applications in land use studies. *Remote Sensing Letters*, 7(9), 856-862.
- Fonúrbel, M. (2007). Aplicación de imágenes satelitales para el análisis de cambios en la cobertura terrestre (Tesis de Maestría). Universidad de Chile.
- Gebresamuel, G., Hager, A., y Keesstra, S. (2010). Análisis de la precisión en la clasificación de coberturas utilizando MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 114(7), 1421-1434.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., y Tyukavina, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- He, C., Liu, X., y Wang, X. (2014). Aplicación de Random Forest en el análisis de cambios de uso de suelo a partir de imágenes satelitales. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 1-14.
- Imtiaz, S., Ali, S., y Rahman, M. (2024). Estimation of crop soil moisture using remote sensing techniques. *Agriculture and Water Management*, 156, 345-356.
- Kamaraj, M., y Rangarajan, S. (2022). Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 86337-86348. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>
- Killeen, T. J., Soria, L., y Calderón, V. (2005). Análisis de la deforestación en el Amazonas boliviano: factores y tendencias. *Ecology and Society*, 10(2), 22-45.
- Killeen, T. J., Villegas, Z., Soria, L., y Soares-Filho, B. (1993). Guía de Árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia – Missouri Botanical Garden, Ed. Quipus Srl.
- Kurnianto, M., Suwarno, A., y Setiawan, B. (2024). Pyroclastic flow mapping using multisensor integration in Google Earth Engine. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 12, 34-56.
- Liberman, M. C. (1991). Situación ambiental de Bolivia. En CIEDLA (Ed.), *La situación ambiental en América Latina, algunos estudios de caso* (pp. 77-140). Impreso en Balada-Buschi S. A.
- MapBiomas. (2023). About MapBiomas. Recuperado de <https://mapbiomas.org>
- Marsik, M., Garcés, A., y Huaraca, H. (2011). El uso de sensores multispectrales en el monitoreo de cambios en la vegetación de regiones tropicales. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1517-1536.
- Mas, J.-F., y Velázquez, A. (2009). Monitoreo de cambios en el uso del suelo en áreas protegidas mediante análisis de imágenes satelitales. *Geocarto International*, 24(6), 459-470.
- Mengistu, T., Yeshitila, M., y Desta, L. (2024). Mapping honeybee forage classes using ensemble learning. *Remote Sensing of Environment*, 302, 156-172.
- Müller, H., Pohl, C., y Kusters, K. (2014). Impacto de la expansión agrícola en las zonas montañosas de alta biodiversidad en América Latina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4167-4183.
- Navarro, G., y Ferreira, W. (2004). Zonas de vegetación potencial de Bolivia: una base para el análisis de vacíos de conservación. *Revista Boliviana de Ecología*, 15, 1-40.
- Navarro, G., y Maldonado, L. (2002). Zonas de vegetación de la Cordillera Oriental de los Andes en Bolivia. Editorial de la Universidad Mayor de San Andrés.
- Peñaranda, J. A. (2010). Análisis cuantitativo del cambio de cobertura vegetal – forestal en una cronosecuencia de 22 años (1988 - 2008) en el PN-ANMI Serranía del Iñaño, Bolivia (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Agrarias, Chuquisaca, Bolivia.
- Peralta-Rivero, L., Barbosa, A., y Ríos, M. (2013). La expansión agrícola y la deforestación en la región amazónica de Bolivia. *Environmental Conservation*, 40(3), 255-263.
- Pinto, J. R., Hernández, A. G., y López, P. (2010). Dinámicas de cambio de uso de suelo en América Latina y sus implicaciones para la biodiversidad. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 603-611.
- Serrano, M. (2003). Estructura y composición de bosques montanos subtropicales y sus implicaciones para la conservación y el manejo de los recursos forestales en la Serranía del Iñaño, Bolivia (Tesis de Maestría). CATIE, Turrialba, CR.
- Souza, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. F. T., y Matsumoto, M. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with MapBiomas. *Scientific Data*, 7, 1-11.
- Velastegui-Montoya, A., Lima, A. D., & Adami, M. (2020). Multitemporal analysis of deforestation in response to the construction of the Tucuruí Dam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 583. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100583>