

Documento de Trabajo IISEC-UCB N° 202303

<http://www.iisec.ucb.edu.bo/publicaciones-documentos-de-trabajo-iisec-bolivia>

**ESTIMACIÓN DEL INDICADOR 15.3.1: PROPORCIÓN DE TIERRAS
DEGRADADAS EN COMPARACIÓN CON LA SUPERFICIE TOTAL
DE LOS MUNICIPIOS Y TERRITORIOS INDÍGENAS DE BOLIVIA**

Por:

Carlos Eduardo Quezada Lambertin

Marco Leandro Nina Vargas

Luz María Vigabriel Navarro

Noviembre, 2023

Este documento fue desarrollado por investigadores del Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC) de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” en marco del “Concurso de Indicadores para la nueva versión del Atlas Municipal de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia”. Iniciativa impulsada y financiada por la **Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible - SDSN Bolivia**, con el objetivo de contar con indicadores complementarios, nuevos y novedosos que permitan cubrir los 17 ODS de la Agenda 2030 en Bolivia. Las opiniones expresadas en este documento pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del IISEC o de SDSN Bolivia.

Citación sugerida: Quezada Lambertin, C., Nina Vargas, M., Vigabriel Navarro, L. (2023). Estimación del indicador 15.3.1: Proporción de tierras degradadas en comparación con la superficie total de los Municipios y Territorios Indígenas de Bolivia (IISEC-UCB Documento de Trabajo 202303). La Paz, Bolivia: Instituto de Investigaciones Socio-Económicas. Disponible en: <https://iisec.ucb.edu.bo/publicaciones-documentos-de-trabajo-iisec-bolivia>

Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC)

Av. 14 de Septiembre No 4836, Obrajes
Casilla: 4850 La Paz, Bolivia

Teléfonos: +591 2 2782222 Int. 2738
www.iisec.ucb.edu.bo

ESTIMACIÓN DEL INDICADOR 15.3.1: PROPORCIÓN DE TIERRAS DEGRADADAS EN COMPARACIÓN CON LA SUPERFICIE TOTAL DE LOS MUNICIPIOS Y TERRITORIOS INDÍGENAS DE BOLIVIA

Carlos Eduardo Quezada Lambertin¹

Marco Leandro Nina Vargas²

Luz María Vigabriel Navarro³

Noviembre 2023

Los documentos de trabajo del IISEC se distribuyen con fines de discusión y comentarios, y a menudo representan el trabajo preliminar de los autores. La citación de un documento de este tipo debe considerar su carácter provisional. Una versión revisada puede consultarse directamente con los autores.

¹ Investigador, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas de la Universidad Católica Boliviana
cquezada@ucb.edu.bo

² Investigador Junior, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas de la Universidad Católica Boliviana
marconv3000@gmail.com

³ Becaria de la Fundación Hanns Seidel y Asistente de Investigación, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas - Universidad Católica Boliviana
luz.vigabriel@ucb.edu.bo

Resumen

Monitorear los procesos de degradación de la tierra es fundamental para avanzar hacia la protección, restauración y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres. En este trabajo, se estimó el Indicador 15.3.1 de los ODS, “proporción de tierras degradadas en comparación con la superficie total” de los 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas de Bolivia. Los resultados obtenidos muestran que entre 2015 y 2021, la degradación de la tierra en Bolivia abarcó el 4.7% del territorio. Sin embargo, existe una variabilidad considerable cuando se realiza el análisis a nivel municipal, donde 22 de ellos mostraron altos índices de degradación, con valores mayores al 20%. Estos municipios se encuentran principalmente en la región andina, y la degradación se dio principalmente por pérdida de productividad de la tierra. Por otro lado, la mayor superficie de tierras degradadas se concentra en los municipios del departamento de Santa Cruz, principalmente debido a los cambios en la cobertura de la tierra. En los Territorios Indígenas, las proporciones de tierras degradadas fueron considerablemente menores que en los municipios, lo que sugiere una mayor efectividad de estos territorios para controlar estos procesos. Finalmente, se recomienda llevar a cabo estudios futuros con validaciones en campo para profundizar el conocimiento sobre las causas que promueven mayor degradación, para así poder diseñar estrategias para la protección y restauración de ecosistemas terrestres según las condiciones locales de cada territorio.

Palabras clave: Indicador 15.3.1, Degradación de la Tierra, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Municipios, Territorios Indígenas

Clasificación JEL: Q01, Q2, Q24

Abstract

Monitoring land degradation processes is crucial for progressing towards the protection, restoration, and sustainable use of terrestrial ecosystems. In this study, the Sustainable Development Goal (SDG) Indicator 15.3.1, "proportion of degraded land over total land area," was estimated for 339 Municipalities and 197 Indigenous Territories in Bolivia. The findings reveal that between 2015 and 2021, land degradation in Bolivia encompassed 4.7% of the territory. However, there is significant variability at the municipal level, where 22 municipalities exhibited high degradation rates, exceeding 20%. These municipalities are primarily located in the Andean region, with degradation mainly due to land productivity loss. On the other hand, the largest area of degraded land is concentrated in the municipalities of the Santa Cruz department, mainly due to changes in land cover. In Indigenous Territories, the proportions of degraded land were considerably lower than in the municipalities, suggesting a higher effectiveness of these territories in controlling these processes. Lastly, it is recommended to conduct future studies with field validations to deepen the understanding of the causes promoting higher degradation, thereby designing strategies for the protection and restoration of terrestrial ecosystems according to the local conditions of each territory.

Keywords: Indicator 15.3.1, Land Degradation, Sustainable Development Goals, Municipalities, Indigenous Territories

JEL Classification: Q01, Q2, Q24

1. Introducción

La Convención de la Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) define a la degradación de la tierra como la “...la *reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: la erosión del suelo causada por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y la pérdida duradera de vegetación natural...*”.

El proceso de degradación de la tierra agrava problemas socioeconómicos y ambientales, como la pobreza, la inseguridad alimentaria, la pérdida de la biodiversidad, escasez de agua, impactos del cambio climático y migración forzada. Estos desafíos siguen planteando serias dificultades para el desarrollo sostenible en muchos países, en particular en países en desarrollo. La creciente demanda de recursos naturales y la presión sobre los ecosistemas, junto con el cambio climático y las prácticas insostenibles de manejo de la tierra, han llevado a la degradación de la tierra en diversos contextos y regiones (FAO, 2021).

En el ámbito urbano, la expansión de las ciudades y la infraestructura asociada a menudo resulta en la degradación del suelo y la pérdida de espacios naturales y agrícolas. La urbanización descontrolada puede provocar la compactación del suelo, la pérdida de la cubierta vegetal y la contaminación del suelo y del agua, lo que reduce la capacidad de la tierra para absorber y almacenar agua y contribuye al aumento de la escorrentía y la erosión (FAO, 2017).

Además, la explotación insostenible de los recursos minerales y energéticos puede causar la degradación del suelo a través de la contaminación por metales pesados y productos químicos, la alteración de los ecosistemas y la disminución de la calidad del suelo. La extracción de recursos no renovables, como el petróleo y el gas, también puede contribuir a la degradación del suelo, especialmente en áreas sensibles y frágiles, como los humedales y los bosques tropicales.

El cambio en el uso del suelo, como la deforestación y la conversión de áreas naturales en tierras de cultivo o pastizales, es otro factor importante que contribuye a la degradación del suelo. La pérdida de bosques y hábitats naturales puede tener efectos negativos en la biodiversidad y en la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios esenciales, como la regulación del clima, la purificación del agua y la polinización de cultivos (FAO, 2017).

La degradación de la tierra también afecta a la economía y a la sociedad en general, ya que reduce la productividad y la capacidad de la tierra para sostener el crecimiento económico y el bienestar humano. La pérdida de tierras productivas y recursos naturales puede limitar el acceso a alimentos, agua potable y otros recursos básicos, lo que aumenta la vulnerabilidad y la pobreza en las comunidades afectadas. La degradación del suelo también puede exacerbar las tensiones políticas y sociales, especialmente en áreas donde la tierra y los recursos son escasos y hay una competencia intensa por su uso (FAO, 2021).

Para abordar esta problemática en sus múltiples dimensiones, es necesario adoptar enfoques integrados y multidisciplinarios que incluyan políticas, estrategias y prácticas de manejo sostenible de la tierra en todos los niveles, desde el local hasta el global. Estos enfoques deben ser sensibles a las diferencias regionales y locales, y tener en cuenta las necesidades y prioridades de las diversas comunidades y sectores afectados (Sims et al., 2021).

El indicador 15.3.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas aborda este desafío al enfocarse en la "proporción de tierra degradada sobre la superficie terrestre total". Este indicador es fundamental para monitorear el progreso hacia el ODS 15, que busca "proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de manera sostenible, combatir la desertificación y detener e invertir la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad" (UN, 2015). En este sentido, el monitoreo de este indicador es una tarea crucial para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres y los recursos y servicios que estos proveen a las poblaciones.

En el caso de Bolivia, el último reporte oficial validado por la CNULD que detalla los resultados y la metodología empleada para calcular el indicador 15.3.1 fue elaborado para el periodo 2000-2015 (ver <https://prais.unccd.int/node/34>). Durante este periodo, la proporción total de tierras degradadas respecto de la superficie total nacional fue de 18%, con un total de 192,497.4 Km² de tierras degradadas. Si bien este indicador presenta una visión general respecto al alcance del ODS 15 para Bolivia, aún no se cuenta con información específica a escalas territoriales menores que permitan a los Municipios y Territorios Indígenas monitorear los procesos de degradación dentro de sus territorios, para así poder establecer medidas de prevención o restauración específicas y adecuadas a los contextos locales.

En este sentido, el presente trabajo estima el indicador 15.3.1 para los 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas (entre Territorios Indígenas Originario Campesinos y Tierras Comunitarias de Origen) de Bolivia, por lo que describimos la metodología empleada y presentamos los principales resultados para este indicador.

2. Metodología

El principal documento para la evaluación y reporte de la degradación de la tierra en el marco de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, la *Guía de Buenas Prácticas para reportar el Indicador 15.3.1 de los ODS, versión 2*, (GBPv2) de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) (Sims et al., 2021), detalla que el Indicador 15.3.1 se basa en datos de sensores remotos y productos derivados de ellos, a partir de los cuales se construye tres subindicadores:

- **Cambios en la cobertura de la tierra:** Este subindicador se basa en la identificación de áreas degradadas como resultado de cambios en la cobertura de la tierra entre los años de estudio. Para ello se construye una matriz de transición para identificar estos cambios que indiquen degradación, estabilidad o mejora. Para la estimación de este subindicador la matriz de transición de la CNULD considera 7 clases de cobertura de la tierra: bosques, pastizales, tierras de cultivo, humedales, áreas artificiales, tierras desnudas y agua. En base a esta matriz, se ejecuta un análisis espacial de transición de

cobertura de la tierra para identificar píxeles que permanecieron en la misma clase y cuáles cambiaron entre el periodo de estudio. Finalmente, como se muestra en la figura 1, se utiliza una tabla “tipologías de degradación por transición de cobertura de la tierra” para identificar qué transiciones corresponden a degradación, mejora o permanecen estables.

Figura 1. Matriz de cambio de cobertura de la tierra para 7 clases de la UNCCD

		Cobertura de la tierra año final						
Cobertura de la tierra año inicial	Clase de Cobertura (UNCCD)	Bosques	Praderas	Tierras de Cultivo	Humedales	Áreas artificiales	Otras tierras	Cuerpos de agua
	Bosques							
	Praderas							
	Tierras de Cultivo							
	Humedales							
	Áreas artificiales							
	Otras tierras							
	Cuerpos de agua							
Degradación								
Estable								
Mejora								

Fuente: Elaboración propia en base a Sims et al. (2021).

- **Cambios en la productividad de la tierra:** La productividad de la tierra se refiere a la capacidad biológica de la tierra para producir los bienes, servicios, alimentos, fibras y combustibles que sostienen a los seres humanos. Este indicador se mide a través de productividad primaria neta de la tierra (PPN), que es la cantidad de energía almacenada por los organismos productores primarios (principalmente plantas) en forma de biomasa a través del proceso de fotosíntesis en un determinado periodo de tiempo y se representa comúnmente en kg/ha/año. No obstante, el cálculo de la PPN es costoso y requiere de largos periodos de tiempo, por lo que se sustituye por índices de vegetación contruidos a partir de información obtenida de sensores remotos satelitales. Por este motivo, para estimar este subindicador se emplea el índice de vegetación, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), y se calcula a partir de la evaluación de integrales anuales de NDVI basadas en tres métricas: trayectoria de la productividad, estado de la productividad y desempeño de la productividad.
- **Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo:** Este subindicador se calcula a partir de la determinación de los valores de referencia de carbono orgánico del suelo (COS) para los primeros 30 cm del perfil del suelo en base al conjunto de datos de SoilGrids. Las proyecciones y estimaciones anuales de COS surgen a partir de un

método combinado con la cobertura de la tierra, empleando coeficientes de conversión de carbono para las diferentes coberturas. Finalmente, para identificar degradación, se calculan las diferencias relativas en COS entre el periodo de estudio, considerando las zonas que experimentaron una pérdida en COS del 10% o más como potencialmente degradadas y las áreas que experimentan una ganancia del 10% o más como potencialmente mejoradas, y las áreas que se encuentran entre estos valores se consideran estables.

Desde un enfoque basado en píxeles, los resultados de los tres subindicadores se combinan utilizando el principio estadístico “uno fuera, todos fuera” en el que cualquier disminución significativa o cambio negativo en uno de los tres subindicadores se considera degradación de la tierra, y se construye un indicador binario que indica que la superficie de análisis en cuestión está “degradada” o “no degradada”.

Los métodos, ecuaciones y procedimientos estadísticos descritos en la GBPV2 para la estimación de cada subindicador están integrados en el módulo SDG 1531 del “Sistema de observación de la Tierra, acceso a los datos, procesamiento y análisis para la vigilancia de la Tierra (SEPAL por sus siglas en inglés)⁴. SEPAL forma parte del conjunto de herramientas de código abierto de la FAO, Open Foris, y es una plataforma gratuita de procesamiento en la nube creada con el objetivo de ayudar a los países a combatir la deforestación y degradación de las tierras y promover esfuerzos de restauración de los ecosistemas. La alta capacidad de procesamiento en la nube, una infraestructura moderna de datos geoespaciales y herramientas analíticas especializadas de SEPAL permiten a los usuarios procesar grandes cantidades de datos satelitales, generar mapas, detectar cambios en la cobertura y uso del suelo, y realizar otras tareas esenciales de gestión del territorio y sus recursos naturales.

Entre estas herramientas especializadas, está el módulo SDG 1531 que fue diseñado siguiendo los lineamientos de la GBPV2 de la CNUCLD para la estimación del indicador 15.3.1 y sus subindicadores, y provee diferentes funciones como:

- La selección de datos de observación de la tierra de diferentes sensores como: Landsat, Sentinel 2, MODIS, TERRA, empleados principalmente para estimar el subindicador de productividad y sus tres métricas.
- La selección del tipo de índice de vegetación para la estimación de productividad (NDVI, EVI, SAVI, MSVI)
- La selección del tipo Unidad Funcional de Cobertura de la tierra/Ecosistema según el contexto de estudio
- La integración del mapa de cobertura de la tierra de ESA CCI LC 300m y la posibilidad de cargar otros mapas de cobertura personalizados.
- La opción para visualizar los resultados de cada indicador y descargarlos como capas ráster para procesamientos y cálculos posteriores.

Con todas estas funcionalidades, SEPAL permite dar un salto importante para analizar y reportar de manera efectiva el progreso de países como Bolivia respecto a la lucha contra la

⁴ Ver la página web de SEPAL: <https://docs.sepal.io/en/latest/>

desertificación, rehabilitación de las tierras y los suelos degradados, y el logro de la neutralidad en la degradación de las tierras (ODS 15). Además, el acceso al procesamiento en la nube, el empleo de datos satelitales de mediana y alta resolución y la interfaz amigable de SEPAL, abren la posibilidad a gobiernos departamentales, municipales y otras unidades territoriales de poder monitorear la degradación de sus territorios sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura de procesamiento o capacidad técnica altamente especializada.

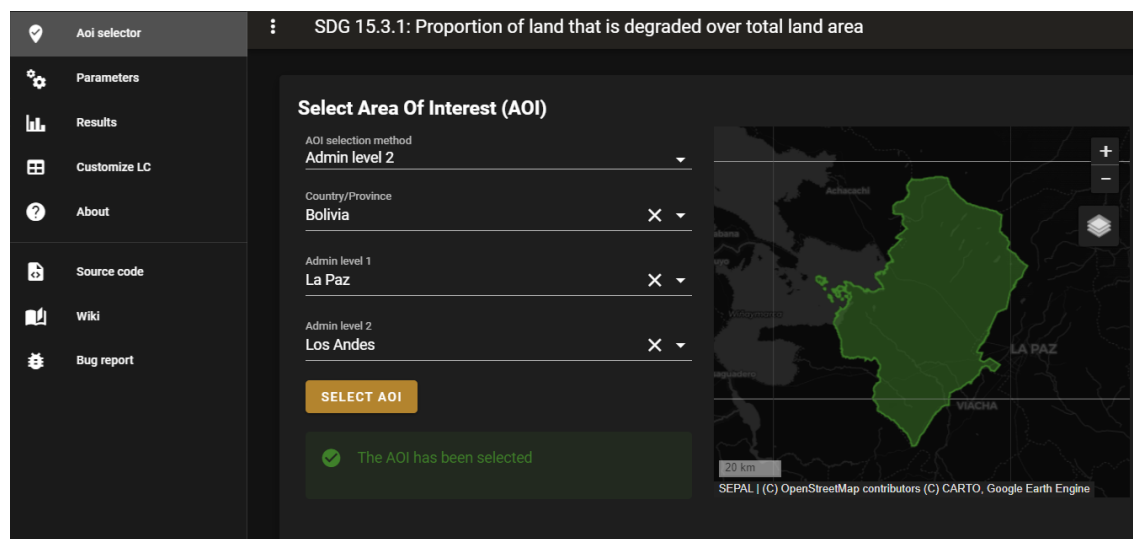
En este sentido, se estimó el indicador 15.3.1 “proporción de tierra degradada sobre la superficie terrestre total” para los Municipios y Territorios Indígenas de Bolivia empleando como base el módulo 15.3.1 de SEPAL, y en la presente sección se describen los pasos metodológicos seguidos para obtener el indicador a través de su uso, los cuales fueron:

- Selección del área de interés
- Definición de parámetros
- Descarga y procesamiento de resultados
- Estimación del indicador 15.3.1

2.1. Selección del área de interés

El primer paso del módulo SDG 1531 de SEPAL consiste en la selección del área de interés (AOI por sus siglas en inglés). Entre las opciones disponibles para el caso de Bolivia se pueden escoger la capa vectorial del límite nacional y los límites departamentales y provinciales. Para trabajar con otros tipos de capas vectoriales de interés, estas deben ser cargadas a la plataforma Google Earth Engine o dibujar el área manualmente directamente en el mapa. En la figura 2 se muestran las opciones disponibles para la selección del área de interés.

Figura 2. Panel de selección de área de interés



Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>).

El módulo permite obtener varios tipos de resultados que reportan el indicador para el área de interés, entre los cuales se tiene la opción de descargar una capa ráster en formato TIF que contiene la información espacial de las zonas degradadas, y que pueden ser cuantificadas posteriormente en un SIG. En este documento se optó por trabajar con este tipo de resultado.

No obstante, debido a una limitación que existe en la estructura del módulo que no permite trabajar con áreas mayores a aproximadamente 100,000 Km², no fue posible descargar un único ráster para todo Bolivia. Por este motivo, primero se seleccionó a los departamentos con extensiones menores este valor (Chuquisaca, Pando, Cochabamba, Oruro y Tarija) y para los departamentos restantes se seleccionó como áreas de interés a los límites provinciales de estos. Una vez obtenidas las capas ráster para cada uno de ellos, se procedió a unirlos en la herramienta QGIS para tener una sola capa ráster para toda Bolivia a partir de la cual se realizan los cálculos para estimar el indicador 15.3.1 para cada Municipio y Territorios Indígenas de interés, proceso que se detalla más adelante.

2.2. Definición de parámetros

El siguiente paso para la estimación del indicador 15.3.1 y sus subindicadores para el área de interés seleccionada consistió en la definición de los siguientes parámetros:

2.2.1. Parámetros Generales

Año de Inicio y Fin: Se refiere al periodo de evaluación del proceso de degradación de la tierra. Siguiendo las recomendaciones de la GBPV2, y dado que el último reporte oficial de este indicador para Bolivia fue el del año 2015, se seleccionó a este año como inicial y el año 2021 como año final de análisis.

Sensor satelital: Se refiere al tipo de sensor a partir del cual se calculará el índice de vegetación y se estimará el subindicador de productividad de la tierra. Es en este punto en el que se presenta una de las principales potencialidades del módulo SDG 1531 de SEPAL, ya que, con las herramientas convencionales de geoprocesamiento, estimar la productividad de la tierra demanda de una gran capacidad computacional y tiempo, lo que limita la posibilidad de trabajar con imágenes satelitales de alta resolución para territorios extensos. En este sentido, SEPAL supera esta limitación gracias a su integración con Google Earth Engine para procesar estas imágenes y cálculos en la nube. De esta manera, se seleccionó al sensor Landsat, el cual tiene una resolución espacial de 30 m/píxel.

Índice de Vegetación: Se refiere al tipo de medida cuantitativa utilizada para evaluar la salud y vigor de la vegetación en un área determinada y estimar la productividad de la tierra y sus respectivas métricas. En este caso, se seleccionó el “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)”, por ser el más utilizado y recomendado por la GBPV2 para obtener este subindicador.

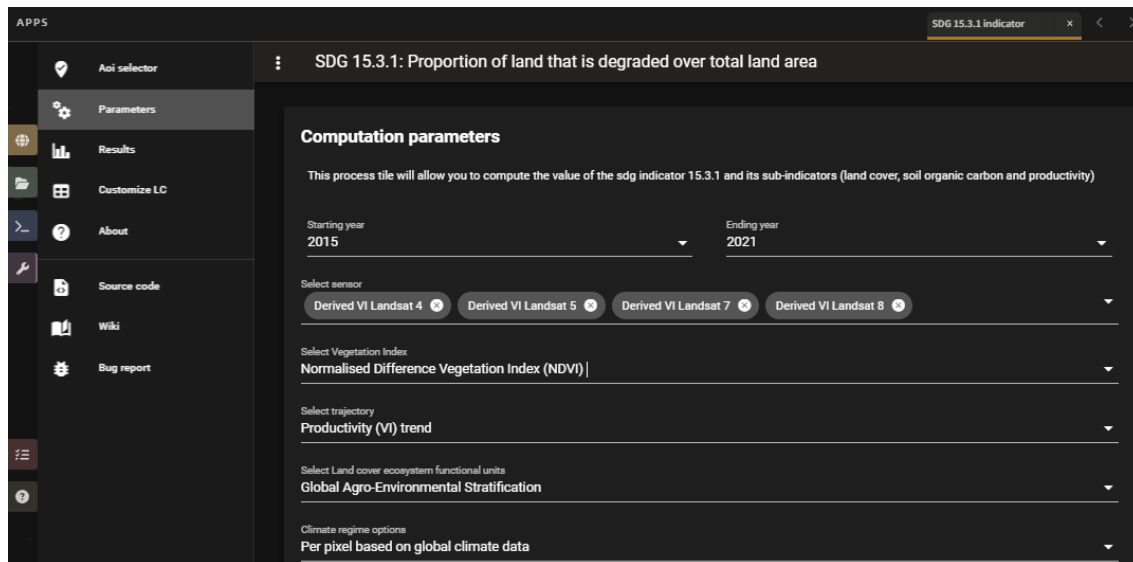
Tipo de trayectoria: Describe la trayectoria del cambio en la productividad para el periodo seleccionado a nivel de píxel. Se seleccionó el tipo de trayectoria establecida por defecto: “Trayectoria de productividad (VI)”.

Unidad Funcional de Cobertura de la tierra/Ecosistema: Se refiere al área con características ambientales relativamente homogéneas que controlan el potencial de productividad de la vegetación, como la cobertura de la tierra, el tipo de suelo, el clima, la elevación, etc. Se seleccionó como unidad funcional a la “Estratificación Agroambiental Global”, siendo ésta considerada la más apropiada para estimar la métrica de “desempeño” de

la productividad de la tierra en la mayor parte de las regiones del mundo, incluida América del Sur.

Régimen climático: Se seleccionó la opción recomendada por defecto “por píxel basado en datos climáticos globales”.

Figura 3. Panel de parámetros generales



Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>).

2.2.2. Parámetros avanzados

Cobertura de la tierra: Para este subindicador, se trabajó con los mapas de cobertura de la tierra por defecto de la Iniciativa de Cambio Climático de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI LC por sus siglas en inglés), que tienen una resolución de 300 m/píxel. Para este caso, se emplea como año final de análisis el 2020, debido a que estos mapas solo están disponibles abiertamente hasta este año. Como datos referentes a los cuerpos de agua se seleccionó el conjunto de datos por defecto de Global Surface Water (Pekel et al., 2016), cuya resolución es de 30m/píxel. Por último, se trabajó con la matriz de transición por defecto de la CNULD, mostrada en la tabla 1. La figura 4 presenta la configuración seleccionada para los parámetros del subindicador cobertura de la tierra.

Figura 4. Panel de parámetros de Subindicador de Cobertura de la Tierra

Land cover parameters

Land cover assessment year starts in: 2015

Land cover assessment year end in: 2020

Land Cover Image corresponding to start year: users/someCustomUser/customAsset

band: band

Land Cover Image corresponding to end year: users/someCustomUser/customAsset

band: band

Select water-body data: Global Surface Water (JRC)

Seasonality (months): 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Transition matrix

Would you like to modify the default transition matrix?

☒ No ☐ Yes

Would you like to upload a custom transition matrix?

☒ No ☐ Yes

☒ Verify land cover pixel values

Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>).

Productividad de la tierra: Como se mencionó previamente, el subindicador de productividad de la tierra se construye a partir de tres métricas: trayectoria, estado y desempeño. Si bien el periodo de análisis definido es de 2015 a 2021, la GBPV2 recomienda evaluar este subindicador para un periodo de 15 años. Por esta razón, y como se muestra en la figura 5, el periodo seleccionado para las 3 métricas fue de 2007 a 2021. De la misma manera, la tabla de consulta seleccionada para la combinación de las 3 métricas de productividad fue la tabla basada en la GBPV2.

Figura 5. Panel de parámetros de Subindicador de Productividad

Productivity parameters

Productivity trend assessment period starts in 2007	Productivity trend assessment period ends in 2021
Productivity state assessment period starts in 2007	Productivity state assessment period ends in 2021
Productivity performance assessment period starts in 2007	Productivity performance assessment period ends in 2021
Select a look up table to combine productivity metrics GPGv2	

Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>)

Carbono orgánico del suelo: Finalmente los únicos parámetros a ajustar para el caso de este subindicador son el año inicial y final, por lo que se mantuvo el periodo 2015-2021.

Figura 6. Panel de parámetros de Subindicador de Carbono Orgánico del suelo

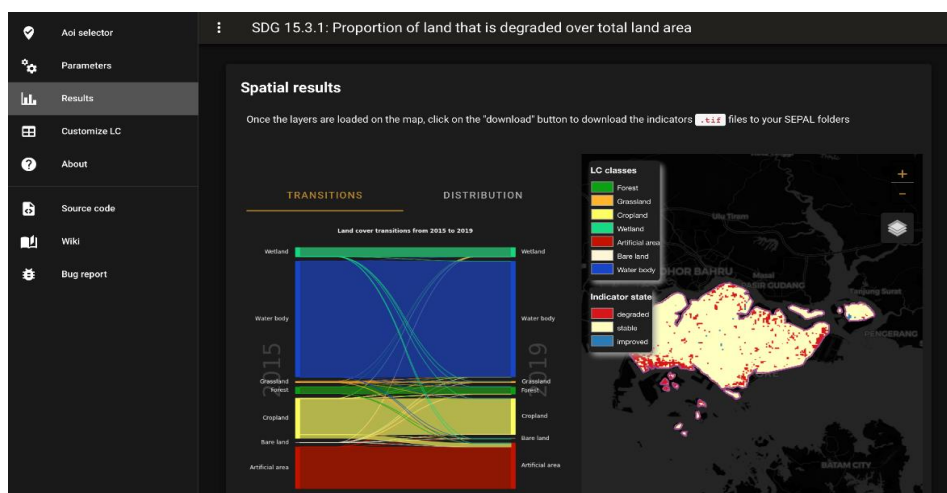
Soil Organic Carbon (SOC) parameters

SOC assessment year starts in 2015
SOC assessment year ends in 2021

Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>).

2.3. Descarga de resultados plataforma SEPAL y tratamiento de datos en QGIS

Una vez definidos los parámetros, se procedió a ejecutar el análisis. El tiempo de ejecución varía según el tamaño del área a analizar y una vez terminado el proceso, los resultados se muestran en el siguiente panel, donde se presentan gráficos de transición y distribución y un mapa interactivo del indicador 15.3.1 y todos los subindicadores, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Panel de resultados

Fuente: Módulo SDG 1531 de SEPAL (Disponible en: <https://sepal.io/>).

Posteriormente, se descargó las capas ráster del indicador 15.3.1 y de los 3 subindicadores en formato TIF para cada uno de los límites provinciales de Bolivia. Una vez descargadas las capas de todas las provincias de Bolivia, se procedió a juntarlas en el sistema de información geográficas QGIS, ejecutando la herramienta “Merge”, hasta conseguir una sola capa ráster que contenía la información del indicador 15.3.1 y de los subindicadores Cobertura de la tierra, Productividad de la tierra y Carbono orgánico del suelo para todo el territorio nacional.

Finalmente, luego de un análisis de las capas ráster, se pudo identificar que el subindicador de productividad estimaba áreas degradadas en coberturas urbanas ya establecidas desde el 2015. Si bien puede darse el caso de que dentro de estas áreas urbanas exista vegetación que redujo su productividad, también existe el riesgo de que, por ejemplo, se esté cuantificando degradación por cambio de caminos de tierra a asfalto, lo cual no implicaría pérdida de la productividad de la tierra en este contexto urbano. Por este motivo se procedió a enmascarar las áreas degradadas del indicador 15.3.1 con la capa de cobertura urbana del año 2015 para así eliminar la contabilización de este proceso como degradación por pérdida de productividad.

2.3. Estimación del indicador 15.3.1 para Municipios y Territorios Indígenas

Para la estimación del indicador 15.3.1, además de la capa ráster de degradación de la tierra construida en la etapa anterior, se utilizó los siguientes datos:

- **Límites municipales:** Representados por un conjunto de vectores de los 339 Municipios en formato shapefile elaborados por el Ministerio de Autonomías del Estado Plurinacional de Bolivia, con datos actualizados hasta abril de 2015, y que fueron obtenidos de la plataforma de infraestructura de datos espaciales GeoBolivia y pueden descargarse en el siguiente link: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/7a2ac686-6f6f-4015-999e-3660f85719fa>.
- **Límites de los Territorios Indígenas:** Representados por un conjunto de vectores de 197 Territorios Indígenas de Bolivia, cuya información se basa en el conjunto de datos del Instituto Nacional de Reforma Agraria de Bolivia (INRA) disponibles en GeoBolivia, pero que fueron previamente procesados por el equipo de SDSN Bolivia, quienes nos facilitaron los archivos en formato shapefile.

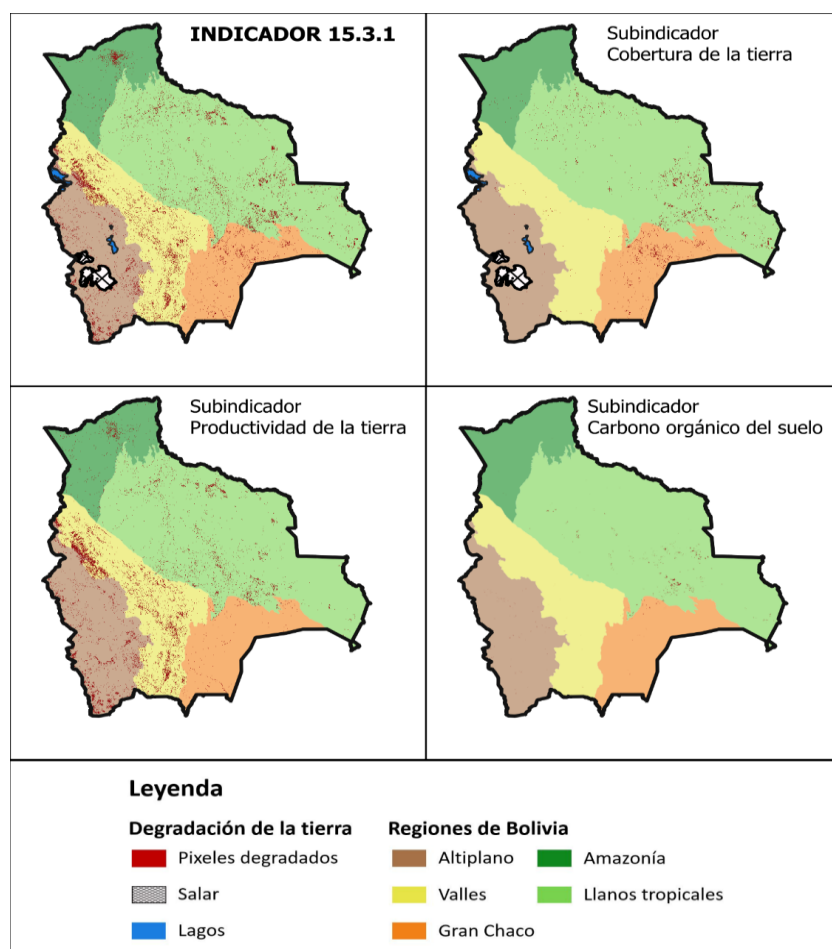
Para la estimación del indicador a nivel municipal no se consideran las áreas del Salar de Uyuni ni el salar de Coipasa, debido a que no son parte de ningún Municipio ni Territorio Indígena. La capa ráster de degradación, y los límites municipales y de los Territorios Indígenas fueron cargados a la plataforma Google Earth Engine, donde se calculó el área degradada para cada uno de los Municipios y Territorios Indígenas a partir del repositorio de Google Earth Engine disponible en el siguiente link:

https://code.earthengine.google.com/9147b0de229a2b1b819c8734a211342a?accept_repo=users%2Fcaeq%2FSDSN.

3. Resultados

Los resultados base obtenidos de SEPAL y posteriormente trabajados en QGIS fueron las capas ráster del Indicador 15.3.1 y los subindicadores de cobertura de la tierra, productividad de la tierra y carbono orgánico del suelo. En la figura 8 se presentan estas capas ráster con la distribución espacial de los píxeles degradados para cada indicador. En esta se muestra que, por un lado, la degradación por cambio en la cobertura de la tierra y por cambios en el carbono orgánico del suelo se concentran principalmente en tierras bajas de Bolivia, particularmente en la región de los Llanos Tropicales y Gran Chaco. Por otro lado, el proceso de degradación por pérdida de productividad de la tierra tiene mayor presencia en la región andina (valles y altiplano) de Bolivia.

Figura 8. Capas ráster de píxeles degradados a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados generales a nivel nacional mostrados en la tabla 1, indican que la proporción de tierras degradadas en comparación con la superficie total fue de 4.7%, con un total de 49,744.8 Km². Por otra parte, el departamento con mayor superficie degradada fue Santa Cruz, con 12,855.3 Km², lo que representa aproximadamente el 25.8% de la superficie degradada total a nivel nacional. En segundo lugar, se encuentra La Paz, con 9,451.6 Km² (19% de la superficie degradada total), seguido de Potosí con 8,879.3 Km², (17.8% de la superficie degradada total). El departamento con menor superficie degradada fue Oruro, con 1,872.6 km². En términos del indicador 15.3.1, los departamentos de Potosí, Chuquisaca y La Paz presentan los peores resultados.

Tabla 1. Resultados generales del indicador 15.3.1 para los 9 departamentos de Bolivia

Departamentos	Superficie degradada Subindicador Cobertura de la tierra (km ²)	Superficie degradada Subindicador Productividad de la tierra (km ²)	Superficie degradada Subindicador Carbono orgánico del suelo (km ²)	Superficie degradada total (km ²)	Indicador 15.3.1 (%)
Santa Cruz	7,054.6	5566.4	234.3	12,855.3	3.5
La Paz	209.6	9241.5	0.5	9,451.6	7.4
Potosí	67.2	8805.2	6.9	8,879.3	8.1
Beni	1,608.7	3502.7	3.2	5,114.6	2.5
Chuquisaca	202.6	3871.6	0.0	4,074.2	8.0
Cochabamba	91.2	3402.7	0.0	3,493.9	6.5
Tarija	218.5	1880.2	0.1	2,098.8	5.6
Pando	13.4	1891.0	0.2	1,904.5	3.0
Oruro	47.9	1820.7	4.0	1,872.6	3.9
TOTAL				49,744.8	4.7

Fuente: Elaboración propia.\

3.1. Proporción de superficie degradada en comparación con la superficie total Municipal

Respecto a la estimación del indicador 15.3.1, la tabla 2 muestra a los 10 Municipios con mayor proporción de superficie degradada, de los cuales 8 se encuentran en el departamento de La Paz, siendo los 3 primeros Yanacachi con 43.1 %, Palca con 38.6 % y Cairoma 38.6%, con superficies degradadas mayores a 240 Km².

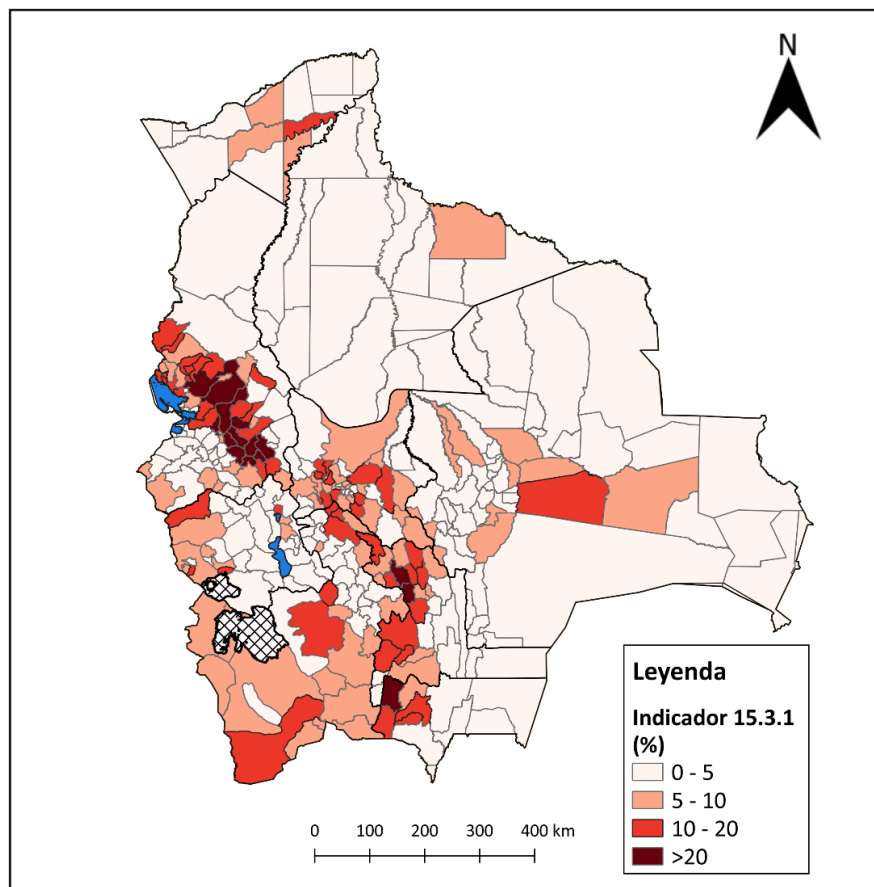
Tabla 2. Los 10 Municipios con mayor proporción de tierras degradadas

Departamento	Municipio	Posición	Área degradada (Km ²)	Indicador 15.3.1 (%)
La Paz	Yanacachi	1	248.0	43.1
La Paz	Palca	2	282.3	38.6
La Paz	Cairoma	3	262.4	38.6
Chuquisaca	Icla	4	306.0	38.4
La Paz	La Paz	5	753.1	37.2
La Paz	Malla	6	127.0	36.5
Chuquisaca	Tarabuco	7	386.8	35.9
La Paz	Mecapaca	8	184.9	35.6
La Paz	Sapahaqui	9	266.9	33.0
La Paz	Luribay	10	142.2	31.8

Fuente: Elaboración propia.

El mapa mostrado a continuación clasifica a los Municipios respecto a su proporción de tierras degradadas, donde la mayor parte de los Municipios con mayor proporción de tierras degradadas se concentran en los departamentos de los valles y altiplano de Bolivia, y es el departamento de La Paz con la mayor cantidad de Municipios con proporciones de tierras degradadas mayores al 20%. Por otro lado, la mayor parte de los Municipios de los departamentos de Pando, Santa Cruz y Beni presentaron valores bajos de este indicador, y es este último departamento en el cual gran mayoría de Municipios alcanzaron valores menores al 5% en la degradación de sus tierras. Finalmente, de los 339 Municipios analizados, 189 presentaron porcentajes de tierras degradadas menores al 5%, 81 Municipios entre 5% y 10%, 47 entre 10% y 20%, y 22 Municipios con proporciones de más del 20%.

Figura 9. Mapa de proporción de tierras degradadas respecto de la superficie total de los Municipios de Bolivia



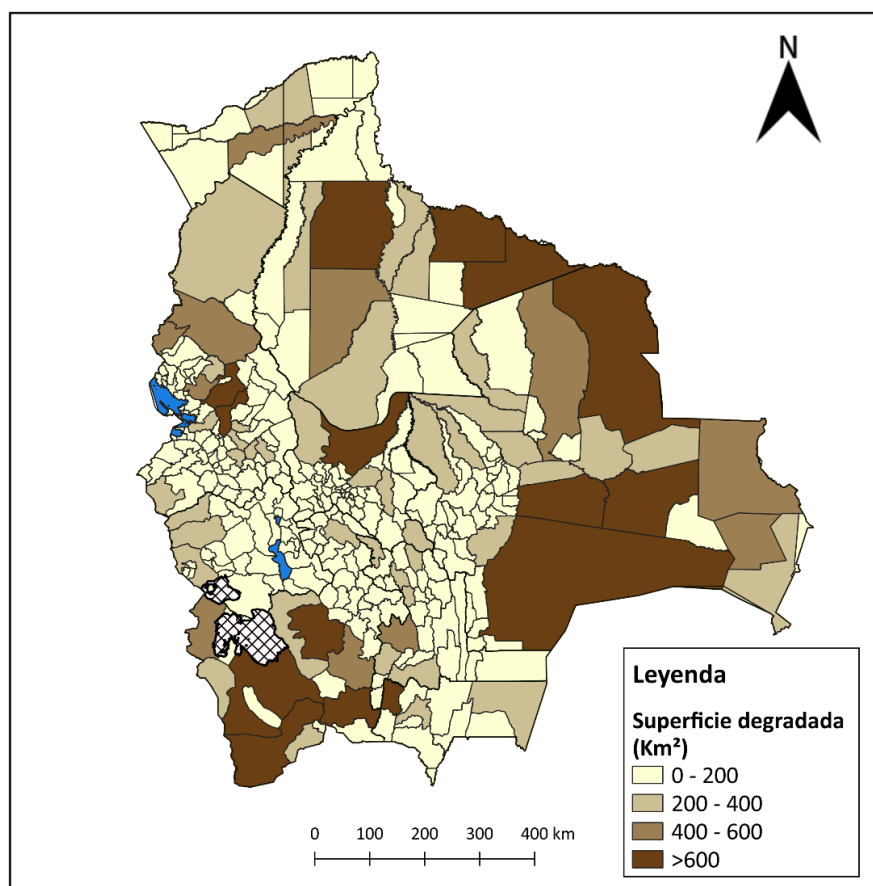
Fuente: Elaboración propia.

No obstante, cuando analiza los valores de superficie degradada la situación cambia, ya que 6 de los 10 Municipios con mayor extensión de tierras degradadas se encuentran en Santa Cruz y Beni, siendo Charagua (Santa Cruz), San Pablo de López (Potosí) y San Ignacio de Velasco (Santa Cruz), los Municipios con mayor superficie de tierras degradadas, con valores mayores a los 1500 Km².

Tabla 3. Los 10 Municipios con mayor superficie de tierras degradadas

Departamento	Municipio	Posición	Superficie degradada (Km ²)	Indicador 15.3.1 (%)
Santa Cruz	Charagua	179	2,824.4	4.0
Potosí	San Pablo de López	28	2,235.7	16.8
Santa Cruz	San Ignacio de Velasco	204	1,576.8	3.2
Santa Cruz	Pailón	56	1,537.3	11.2
Potosí	Colcha "K"	128	1,130.6	6.2
Beni	Exaltación	171	1,076.3	4.3
Santa Cruz	San José de Chiquitos	138	1,075.9	5.7
La Paz	Guanay	15	898.7	25.1
Potosí	Tomave	64	866.3	10.7
Beni	Magdalena	132	848.0	6.0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Mapa de superficie degradada de los Municipios de Bolivia

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Proporción de superficie degradada respecto del área total de los Territorios Indígenas

La proporción degradada respecto la superficie total para todos los Territorios Indígenas de Bolivia entre los años 2015 y 2021 fue de 3.61%, y una superficie degradada total de 7,389.9 Km². Los 10 Territorios Indígenas con mayor proporción de área degradada se concentran en solo 4 departamentos de la región andina de Bolivia: La Paz, Oruro, Chuquisaca y Potosí, y todos superan el 15% de áreas degradadas respecto de su superficie total. Los 3 Territorios Indígenas con mayor degradación son: el Territorio de la Marka Cololo Copacabana Antaquilla con 44.9% (La Paz), Territorio de Yucas Jatun Ayllu de San Juan de Orkas con 32.8% (Chuquisaca) y Anaco con 29.2%.

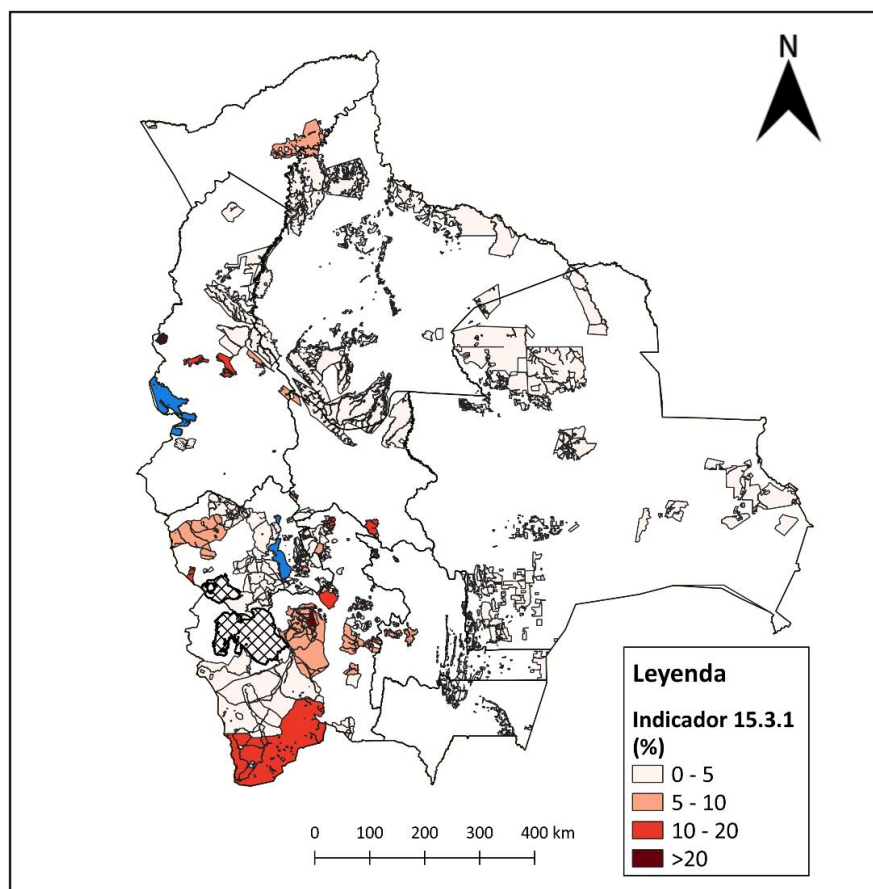
Tabla 4. Los 10 Territorios Indígenas con mayor proporción de tierras degradadas

Departamento	Territorios Indígenas	Posición	Superficie degradada (Km ²)	Indicador 15.3.1 (%)
La Paz	Territorio de la Marka Cololo Copacabana Antaquilla	1	140.8	44.9
Chuquisaca	Territorio de Yucas Jatun Ayllu de San Juan de Orkas	2	23.6	32.8
La Paz	Anaco	3	1.2	29.2
Potosí	Territorio del Ayllu Jila Grande y Jila Chico	4	107.3	24.9
Chuquisaca	Territorio del valle Killaka Pojpo	5	9.3	23.2
Potosí	Territorio del Ayllu Juchuy Qhapaqanaqa	6	5.7	17.6
Chuquisaca	Territorio Waylla Pampa	7	2.9	17.4
Potosí	Territorio del Ayllu Urinsaya	8	12.4	15.9
Oruro	Pisiga Bolivar	9	42.4	15.4
Potosí	Territorio de los Ayllus de Sur Lipez	10	2,362.0	15.1

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el mapa a continuación, a mayor parte de los Territorios Indígenas presentan porcentajes de tierras degradadas inferiores al 5% de su superficie total. De hecho, de los 197 Territorios Indígenas incluidos en este análisis, más de tres cuartas partes (154) presentaron valores del indicador 15.3.1 por debajo del 5%. Otros 25 Territorios Indígenas mostraron valores entre el 5% y el 10%, mientras que 13 Territorios Indígenas presentaron porcentajes de degradación entre el 10% y el 20%. Solo 5 Territorios Indígenas exhibieron porcentajes altos, superiores al 20%. Al igual que en el caso de los Municipios, la mayoría de los Territorios Indígenas con los porcentajes más elevados de tierras degradadas se concentran en la región andina de Bolivia.

Figura 10. Mapa de proporción de tierras degradadas respecto de la superficie total de los Territorios Indígenas de Bolivia



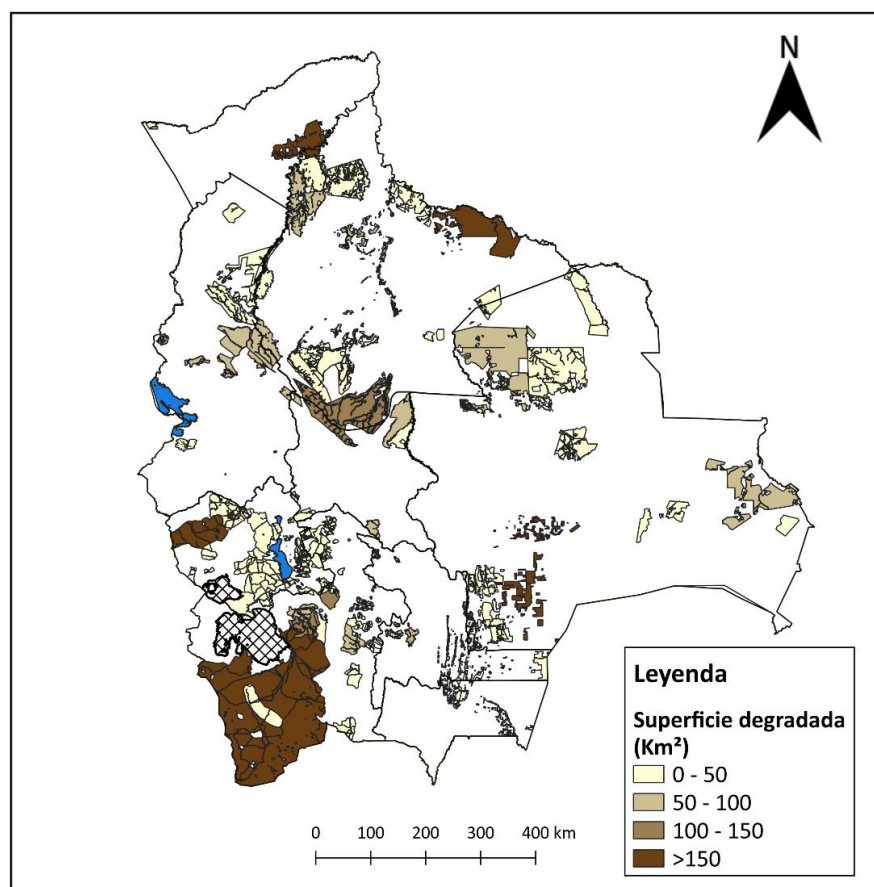
Fuente: Elaboración propia.

En relación con los 10 Territorios Indígenas con mayor superficie degradada, los 4 primeros se encuentran en el departamento de Potosí. El territorio de los Ayllus de Sur Lízpez destaca por ser tener la superficie degradada más extensa, con 2,362.00 km², seguido por el territorio de Nor Lízpez con 939 km². Los restantes Territorios Indígenas de esta lista presentan áreas degradadas considerablemente más pequeñas, con valores que varían entre 110 y 350 km².

Tabla 5. Los 10 Territorios Indígenas con mayor superficie de tierras degradadas

Departamento	Territorios Indígenas	Posición	Superficie degradada (Km ²)	Indicador 15.3.1 (%)
Potosí	Territorio de los Ayllus de Sur Lípez	10	2,362.0	15.1
Potosí	Territorio de Nor Lípez	49	939.0	4.7
Potosí	Territorio del Ayllu Aransaya y Urinsaya de Tolapampa	27	348.5	7.1
Potosí	Territorio de Turco Marka del Suyu Jacha Carangas	33	299.3	6.5
Pando – Beni	Territorio Indígena Multiétnico II	28	277.2	6.8
Santa Cruz	Territorio Guaraní del Isoso	55	201.7	4.4
Beni	Territorio del Pueblo Indígena Itonama	74	191.0	2.7
La Paz	Territorio de la Marka Cololo Copacabana Antaquilla	1	140.8	44.9
Potosí	Territorio del Ayllu Andamarka	11	119.3	14.7
Beni - Cochabamba	Territorio Indígena del Parque Nacional Isiboro Sécore (TIPNIS)	116	111.3	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Mapa de superficie degradada de los Territorios Indígenas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión y conclusiones

Se estimó el indicador 15.3.1 de los ODS, que mide la proporción de tierras degradadas en comparación de la superficie total de 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas en Bolivia. La herramienta utilizada para construir el indicador fue el módulo SDG1531 de la plataforma SEPAL, recomendada por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Esta herramienta fue diseñada con el objetivo de facilitar el monitoreo y reporte del progreso hacia la meta 15.1 de los ODS para los países miembros de la ONU.

El proceso de construcción del indicador se benefició de la capacidad de procesamiento en la nube, la infraestructura moderna y la integración de ecuaciones y métodos estadísticos de la GBPV2 en el módulo SDG1531 de SEPAL. Estos recursos fueron especialmente efectivos para estimar los subindicadores de cambio de uso de suelo, productividad de la tierra y carbono orgánico necesarios para llegar al indicador final de 15.3.1. De lo contrario, estimar la degradación de la tierra para todos los Municipios de Bolivia utilizando una metodología espacial basada en píxeles e imágenes de alta resolución de (30 metros/píxel) habría sido un proceso mucho más largo, complejo y costoso. Estas dificultades podrían ser la causa de la falta de reportes nacionales para este indicador, ya que el último reporte oficial y con información completa de la metodología empleada corresponde al año 2015.

Si bien la proporción de tierras degradadas a nivel nacional fue de menos del 5%, hay una importante variabilidad de resultados entre los Municipios del país, con valores que oscilan alrededor del 31% y 44% entre los 10 Municipios con mayores índices de degradación, los cuales se concentran principalmente en la región andina de Bolivia (altiplano y valles). Esta concentración puede atribuirse, en parte, a la alta sensibilidad de los ecosistemas andinos frente a los impactos cada vez más notorios del cambio climático y a los procesos de erosión que se están dando en estas regiones (Carilla et al., 2023; Rolando et al., 2017). No obstante, la mayor cantidad de superficie degradada se presenta en los Municipios del departamento de Santa Cruz, abarcando el 25% de la superficie total degradada del país. Los principales factores detrás de esta situación podrían estar asociados a los procesos de cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura forestal que han ocurrido en los últimos años en este departamento (Argandoña & Choque Sunagua, 2023; Praeli, 2020; RAISG, 2020).

Por otro lado, en los Territorios Indígenas la degradación parece estar más controlada, ya que más del 75% de los 197 Territorios Indígenas incluidos en este estudio presentaron valores inferiores al 5%, y solo 5 Territorios Indígenas superaron el umbral del 20% de tierras degradadas con relación al total. Al igual que en el caso de los Municipios, los Territorios Indígenas con mayor proporción de tierras degradadas están en la región andina de Bolivia. Sin embargo, en términos de superficie degradada, la situación difiere respecto a los Municipios, ya que los Territorios Indígenas con mayor superficie degradada se encuentran en el altiplano y no en las tierras bajas. Esto podría estar relacionado con la efectividad de los Territorios Indígenas de tierras bajas para frenar procesos de deforestación y cambio de cobertura y uso de suelo (León et al., 2012; Quezada Lambertin, 2016; Uberhuaga et al., 2011), mientras que los factores de degradación en los andes están asociados a elementos menos controlables por las poblaciones, como variaciones en los patrones climáticos.

Los resultados de este estudio contribuyen a profundizar el conocimiento sobre el estado de los ecosistemas terrestres en los Municipios y Territorios Indígenas de Bolivia, identificando aquellos que experimentan importantes procesos de degradación, sus posibles causas y las regiones prioritarias para una evaluación más profunda e intervención. El monitoreo continuo del indicador 15.3.1 en estos territorios es fundamental para diseñar estrategias y medidas efectivas que combatan los procesos de degradación de los ecosistemas y promuevan una gestión sostenible del territorio boliviano.

5. Recomendaciones

Una de las limitaciones de este estudio radica en el uso de mapas de cobertura de la tierra de mediana resolución (300 m/pixel) en comparación con las imágenes de alta resolución Landsat utilizadas para estimar el subindicador de productividad (30 m/pixel). La disponibilidad de mapas globales de mejor resolución para el período estudiado es limitada, y hasta la fecha no se cuentan con mapas oficiales actualizados de cobertura terrestre en Bolivia. En futuras estimaciones, se recomienda la elaboración de mapas de cobertura de la tierra con una resolución mejorada y que estén validados por las instituciones y autoridades nacionales competentes. Así mismo, se recomienda el desarrollo de investigaciones que evalúen en campo los resultados obtenidos en este estudio en base a productos derivados de sensores remotos, lo que complementaría los hallazgos y el conocimiento sobre las causas de la degradación de la tierra en Bolivia.

Referencias

- Argandoña, F., & Choque Sunagua, S. (2023, Mayo). Deforestación en la Amazonía Boliviana. *Blog SDSN*. <https://sdsnbolivia.org/deforestacion-en-la-amazonia-boliviana/>
- Carilla, J., Aráoz, E., Foguet, J., Casagrande, E., Halloy, S., & Grau, A. (2023). Hydroclimate and vegetation variability of high Andean ecosystems. *Frontiers in Plant Science*, 13(January), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067096>
- FAO. (2017). The future of food and agriculture: Trends and Challenges. In *The future of food and agriculture: trends and challenges*.
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. *En El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- León, R., Uberhuaga, P., Benavides, J., & Andersson, K. (2012). Public policy reforms and indigenous forest governance: The case of the Yuracaré people in Bolivia. *Conservation and Society*, 10(2), 195–207. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.97493>
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>

- Praeli, Y. S. (2020). *Cinco países de Latinoamérica en el 'top ten' de bosques primarios más deforestados en 2019*. Mongabay Latam. <https://es.mongabay.com/2020/06/latinoamerica-bosques-primarios-deforestacion-2019-brasil-bolivia-peru-colombia/>
- Quezada Lambertin, C. E. (2016). Gobernanza de bosques en Bolivia: ¿Son efectivos los territorios indígenas para la conservación del bosque? In M. Zelaya (Ed.), *Entre el desarrollo y los extractivismos. El dilema de la producción en Bolivia* (Issue Marzo, pp. 85–144). Foro Andino Amazónico de Desarrollo Rural.
- RAISG. (2020). *Amazonía bajo presión* (G. Faleiros (ed.); 1st ed.). ISA - Instituto Socioambiental.
- Rolando, J. L., Turin, C., Ramírez, D. A., Mares, V., Monerris, J., & Quiroz, R. (2017). Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.010>
- Sims, N. C., Newnham, G. J., England, J. R., Guerschman, J., Cox, S.J.D., Roxburgh, S. H., Viscarra Rossel, R. A., Fritz, S., & Wheeler, I. (2021). *Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1, Proportion of Land That Is Degraded Over Total Land Area (Version 2.0)*. United Nations Convention to Combat Desertification.
- Uberhuaga, P., Larsen, H. O., & Treue, T. (2011). Indigenous forest management in Bolivia: Potentials for livelihood improvement. *International Forestry Review*, 13(1), 80–95. <https://doi.org/10.1505/ifor.13.1.80>
- UN. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>