



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



MMAyA

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS DE BOLIVIA (TIERRAS ÁRIDAS, SEMIÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS SECAS)



EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS DE BOLIVIA
(TIERRAS ÁRIDAS, SEMIÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS SECAS) Y
DISEÑO DEL ESQUEMA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA
DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS EN BASE AL ENFOQUE LADA

La Paz, 2017

Autor: Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección (CISTEL)
Universidad Mayor de San Simón (UMSS)

Coordinación y supervisión: Neftali Chapi Siñani
Patricia Sullcata Cruz
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Ministro de Medio Ambiente y Agua: Carlos Ortuño Yáñez

Los derechos de autor pertenecen al Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

La Paz, 2017
Bolivia

CONTENIDO

Presentación	7
1. Introducción	9
2. Antecedentes	11
Sistema de Información de Suelos ISRIC (ISIS)	12
Inventario mundial de las emisiones potenciales del suelo (WISE)	12
Base de datos del terreno y suelos (SOTER)	13
Base de datos mundial de suelos armonizada (HWSD)	13
Sistema de Información de Suelos de Latinoamérica (SISLAC)	13
Métodos de evaluación global/regional	14
Métodos de evaluación a nivel local	15
3. Objetivo	19
3.1. Objetivos lada/wocat/desire en la evaluación nacional de la degradación de tierras de bolivia	19
4. Marco Metodológico	21
4.1 Enfoque en bolivia para la evaluación nacional de la degradación de tierras y el manejo sostenible de tierras	21
Marco metodológico	21
4.2. Colección y verificación de datos e información	23
4.3 Delimitación de tierras secas de Bolivia	25
4.4. Sistema de uso de la tierra (sut) como base para el análisis de la información	27
4.5. Indicadores fpeir como base para el análisis de información	28
4.6. Análisis espacial integral de determinación de indicadores de degradación de tierras secas	29
4.7. Degradación de las tierras secas de Bolivia	38
4.8. Prácticas de manejo sustentable de tierras (MST)	39
5. Resultados	41
5.1. Caracterización de las tierras secas de Bolivia	41
5.2. Sistema de uso de la tierra (SUT)	45
5.3. Indicadores de degradación de tierras secas	46
5.4. Degradación de las tierras secas de bolivia	63
6. Anexo	73
Anexo 1. Comparación entre datos Senamhi y Worlclim	73
Anexo 2. Hoja de datos para la captura de datos e información	74
Anexo 3. Indicadores de Degradación de Tierras de las zonas secas de Bolivia	75
Anexo 4. Método de Evaluación Edafológica	76
Anexo 5. Características climáticas de las zonas secas de Bolivia	77
Abreviaciones y acrónimos	78
Bibliografía	79

PRESENTACIÓN

En la última década se han desarrollado un sin número de esfuerzos por comprender, evaluar y mitigar la degradación de tierras en general y la desertificación en particular. Para responder a la necesidad de contar con información actualizada y comparable sobre la degradación de las tierras para la toma de decisiones, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) ha financiado el proyecto de Evaluación de la degradación de tierras en zonas secas (LADA), aplicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y ejecutado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y con una actualización apoyada por la Cooperación Suiza en Bolivia a través del proyecto Gestión integral del agua ejecutado por Helvetas Swiss Intercooperation.

El enfoque LADA tiene como objetivo evaluar el alcance y las causas de la degradación de tierras en zonas áridas. LADA surgió como un requerimiento de los países participantes en el marco de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNNCD) de contar con una metodología estandarizada de evaluación de la desertificación, por tanto, la metodología propuesta por LADA sirvió como una herramienta de evaluación que puede ser adoptada por todos los países afectados por la desertificación como es el caso de Bolivia.

El Estado Plurinacional de Bolivia en el marco de la Constitución Política del Estado, Ley del Medio Ambiente, Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien, han previsto una mejor organización política y estratégica para preservar y manejar los recursos naturales bajo los principios de armonía, cuyos elementos afirman esta voluntad de cambio y la importancia que da ahora el Estado Plurinacional de Bolivia respeto al medio ambiente, a un mejor aprovechamiento y manejo sostenible de los recursos naturales.

En el marco de sus atribuciones y competencias, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego ha decidido implementar el proyecto “Línea Base del Estado del Proceso de Degradación de Tierras Secas de Bolivia (Tierras áridas, semi-áridas y subhúmedas secas) y en este sentido pone a disposición de los profesionales e instituciones del sector la presente “Evaluación Nacional de la Degradación de Tierras Secas de Bolivia”.

Ing. Brulio Nelzón Huaylla Cáceres
Viceministro de Recursos Hídricos y Riego

1. INTRODUCCIÓN

Según Eswaran, H., R. Lal y P.F. Reich (2001), la productividad de algunas tierras ha disminuido en un 50% debido a la erosión del suelo y a la desertificación. A escala mundial, la pérdida anual de 75.000 millones de toneladas de suelo cuesta al mundo alrededor de 400.000 millones de dólares al año, o aproximadamente 70 dólares por persona al año.

La compactación del suelo es un problema mundial, especialmente con la adopción de la agricultura mecanizada que ha causado reducciones de rendimiento del 25 a 50% en algunas regiones de Europa (Ericksson et al., 1974) y entre 40 a 90% en los países de África Occidental (Charreau, 1972, Kayombo y Lal, 1994).

El agotamiento de los nutrientes, como forma de degradación de la tierra, tiene un grave impacto económico a escala mundial, especialmente en el África subsahariana. Stoorvogel et al. (1993) han estimado los saldos de nutrientes de 38 países del África subsahariana. Las tasas anuales de agotamiento de la fertilidad del suelo se estimaron en 22 kg N, 3 kg P y 15 kg K ha⁻¹.

Se estima que 950 millones de hectáreas de tierras afectadas por la salinización se producen en regiones áridas y semiáridas, casi el 33% de la superficie terrestre potencialmente cultivable del mundo. La productividad de las tierras bajo riego se ve gravemente amenazada por la acumulación de sal en la zona de las raíces.

Los estudios de la degradación de la tierra, no fueron encarados hasta después de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en el año 1972. Esta conferencia, es un hito en la gestión sostenible de la tierra, ya que a partir de esa conferencia se plantearon muchas acciones y políticas al respecto. De ahí surgió el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés). La UNEP y la FAO convocaron en 1974 a Roma a expertos para tratar la degradación de suelos, en la que recomendaron elaborar un estudio, que luego de muchas gestiones internacionales se plasmó en el “Mapa del Estado de la Degradación del Suelos Inducida por el Hombre” publicado finalmente en 1990. El resultado, es un mapa que muestra los tipos de degradación y niveles de severidad de manera general (por la escala muy pequeña 1:10 millones).

De acuerdo al enfoque LADA la degradación de tierras es:

“La reducción en la capacidad de la tierra para proveer bienes y servicios eco-sistémicos, en un periodo dado de tiempo, para sus beneficiarios” (UNCCD, 1994 en LADA, 2011).

De acuerdo con esta definición, las **“funciones ecosistémicas”** son productos de la tierra que tienen un valor económico y/o social: incluyendo disponibilidad de tierras, producción de plantas y animales, salud del suelo, cantidad y calidad del agua. Los “servicios eco-sistémicos” incluyen la biodiversidad y el mantenimiento de los nutrientes hidrológicos y los ciclos de carbono. Por lo que, la degradación de la tierra no necesariamente se reduce a los efectos biofísicos, ni está limitado a aquellos inducidos por fenómenos antrópicos, sino también incluye sus impactos y efectos naturales (UNCCD, 1994 en LADA, 2011).

Las tierras que podrían ser catalogadas como áridas, según UNEP representan un 47% de la tierra (UNEP, 1992 en FAO, 2007). La FAO señala que aunque no existen límites claros, se consideran como áridas aquellas áreas *“donde el promedio de lluvias es menor que las pérdidas potenciales de humedad a través de la evaporación y la transpiración”*,

¹ Land degradation: an overview. In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.). Responses to Land Degradation. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.

y que de acuerdo con el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1992), las tierras áridas “*tienen una relación de precipitación anual promedio (P) respecto a la evapotranspiración potencial (ETP) menor de 0,65*”. Por lo que, las zonas clasificadas como extremadamente áridas o hiperáridas serían aquellas en las que prevalece el déficit de agua a lo largo de todo el año; mientras que las que sufren de ese déficit la mayor parte del año se clasificarían como regiones áridas, o, semiáridas. Cabe aclarar que la aridez, de acuerdo con este enfoque se evalúa sobre la base de las variables del clima (Índice de aridez).

El proyecto de Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) nació el 2006 con el propósito de sentar las bases para la toma de decisiones sobre la degradación de tierras a nivel mundial, nacional y local. Para alcanzar este objetivo es necesario realizar la evaluación de la degradación de tierras a diferentes escalas espacio-temporales así como crear una base de datos a nivel mundial para el monitoreo futuro. En América Latina y el Caribe, Argentina y Cuba fueron los pioneros en aplicar el enfoque LADA.

2. ANTECEDENTES

En Bolivia, la mayor parte de los estudios se han concentrado en la evaluación cualitativa de la erosión a nivel local, es así que desde los años 90 se han realizado muchos estudios de erosión de suelos a nivel de comunidades, microcuencas, cuencas y municipios.

A nivel nacional, el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (PRONALDES, 1996) publicó dos mapas: un mapa preliminar de desertificación y uno de erosión (el **mapa D-1²** muestra el área de tierras secas), donde se pudo establecer que la superficie territorial con problemas de erosión fuerte a muy grave, alcanza a 275.544 Km², representando el 61% en proceso de desertificación, con tasas de erosión de 50 tn/ha/año hasta 200 tn/ha/año. Así mismo, los departamentos que presentan áreas con erosión muy grave son: Santa Cruz – Chaco (2.233Km²), Tarija (834 Km²), Chuquisaca (720 Km²) y La Paz (232 Km²). A pesar de los resultados obtenidos y metodología utilizada para la obtención del mapa preliminar de desertificación (MMAyA, 2010) se concluye que “es un instrumento no aplicable y que no es de utilidad operativa sino únicamente referencial debido a la inexistencia de una base de datos”. Por lo que considera que el *“enfoque LADA/WOCAT es recomendado por la última Conferencia de Partes de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía (COP 9 – UNCCD), por lo que se considera que el enfoque es apropiado y técnicamente viable”*.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es importante señalar que el enfoque de la evaluación de la degradación de tierras ha ido cambiando en el tiempo, en función a los avances en el modelamiento teórico y empírico, los esfuerzos de mapeo temático y nuevos enfoques de evaluación de la degradación de la tierra, tal como se menciona en el informe “Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura - La gestión de los sistemas en situación de riesgo”. FAO (2011) indica *“Los estudios recientes han ampliado la definición de degradación de la tierra, más allá de la erosión del suelo o la pérdida de la fertilidad del suelo, al estudio del deterioro de un ecosistema equilibrado y la pérdida de los servicios que los ecosistemas proporcionan”*. Por tanto, la degradación de la tierra debe ser considerada de forma integral, teniendo en cuenta los bienes y servicios eco-sistémicos – biofísicos como socioeconómicos.

La Universidad Mayor de San Simón (UMSS), a través de CISTEL y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) mediante el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), firmaron un convenio para la ejecución del Proyecto **“Línea base del estado de degradación de tierras secas de Bolivia (tierras áridas, semiáridas y sub-húmedas secas) y diseño del esquema del sistema de monitoreo de degradación de tierras en tierras secas en base al enfoque LADA³)”**.

El enfoque LADA (por su acrónimo del inglés Land Degradation Assesment in Drylands Project – Proyecto de Evaluación de la Degradación de Tierras Secas), es un enfoque de base científica que tiene el objeto de evaluar y mapear la degradación de tierras a diferentes escalas y a varios niveles. Como experiencia a nivel mundial, se tiene el desarrollo de actividades en varios países piloto de África y América Latina⁴, para lo cual, teniendo en cuenta la gran diversidad de contextos y disponibilidad de datos en los diferentes países, se ha identificado una lista de indicadores de degradación de tierras con el objetivo de caracterizar los tipos de degradación de tierras existentes en las zonas de estudio.

El proyecto en Bolivia ha iniciado su ejecución desde el 30 de septiembre del 2011 a fin de desarrollar capacidades nacionales para evaluar y monitorear la degradación de tierras secas de Bolivia, teniendo como objetivo, la

² El código D significa que los mapas se encuentran en un Dossier adjunto al documento.

³ Convenio Interinstitucional de Financiamiento N° 34 .

⁴ http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=187%3Aclosure-of-the-lada-project&catid=1&Itemid=171&lang=es

elaboración de una Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia y una propuesta del diseño de esquema del sistema de monitoreo de degradación de tierras secas en base al enfoque LADA⁵

La cronología del proceso de la evaluación de la degradación de tierras en Bolivia bajo el enfoque LADA es el siguiente:



Figura 1. Línea del tiempo de Convenio 34 y con asistencia técnica de COSUDE

Con el fin de realizar evaluación de degradación de suelos se establecieron diferentes sistemas de información de este recurso, para ser integrado en evaluaciones más complejas. Entre las fuentes de datos de suelo a nivel mundial se tienen:

Sistema de Información de Suelos ISRIC (ISIS)

Isric Soil Information System (por sus siglas en inglés)⁵. Desde el establecimiento del ISRIC en 1966, como un Museo Internacional de Suelos, se han reunido perfiles de suelos, se han desarrollado procedimientos analíticos estandarizados, se han analizado muestras de suelos y se ha recolectado información para ilustrar las distintas unidades del Mapa Mundial de Suelos FAO-UNESCO. Para facilitar el almacenamiento y el manejo de los datos recolectados y analizados sobre suelos y ambiente, se desarrolló un sistema de ordenación para el manejo de la base de datos (ISIS) que ha estado funcionando desde 1986 (Van Waveren y Bos, 1988). La particularidad de esta base de datos es que toda la información almacenada sobre atributos del suelo es analizada en forma estandarizada. Actualmente, para Sudamérica se tienen 103 datos.

Inventario mundial de las emisiones potenciales del suelo (WISE)

World Inventory of Soil Emission Potentials (por sus siglas en inglés)⁶. Es una base de datos de suelos global, unida por medio del SIG al único mapa de suelos global disponible (el Mapa Mundial de Suelos de FAO-UNESCO).

⁵ <http://isis.isric.org/>

⁶ <http://www.isric.org/projects/world-inventory-soil-emission-potentials-wise>

Esta base de datos está formada por datos internacionales mantenidos por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos de América, por la FAO y por ISRIC (p. ej. ISIS) y complementados por bases de datos nacionales y regionales. También están incluidos los recursos de la colección bibliográfica de ISRIC. La base cartográfica de datos de WISE ha sido construida mecánicamente identificando las asociaciones de suelos que existen en cada sector de 5'x 5' de la versión digital del Mapa Mundial de Suelos.

Base de datos del terreno y suelos (SOTER)

Soil Terrain Database (por sus siglas en inglés)⁷. El programa de la Base de datos sobre los Suelos y Tierras del Mundo (SOTER), proporciona un arreglo ordenado de datos de fácil acceso, combinados y analizados del punto de vista de su uso potencial en relación a las necesidades de alimentos, impacto ambiental y conservación. Un elemento fundamental de SOTER es el mapeo de áreas con un diseño y base de dato distintivo. Cada área está ligada a un sistema de información geográfica con una base de datos que contiene atributos sobre topografía, forma de la tierra y terrenos, suelos, clima, vegetación y uso de la tierra.

SOTER es una iniciativa del ISSS (International Society of Soil Science) y su enfoque fue adoptado en el 13° Congreso Mundial de Ciencia del Suelo en 1986. La metodología de SOTER fue desarrollada con el apoyo del PNUD y en estrecha colaboración con el Centro de Investigación de los Recursos de la Tierra de Canadá, la FAO y el ISSS. Fue probado en cinco países (Argentina, Brasil, Canadá, EE.UU. de América, Uruguay). Hasta el 2013 se tienen 30 países con datos de suelos. Para América latina se tienen disponibles datos mediante SOTERLAC, v2.0.

Base de datos mundial de suelos armonizada (HWSD)

Harmonized World Soil Database (por sus siglas en inglés)⁸. Durante las discusiones en el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) en 1996, se identificó la necesidad de afinar el elemento agro-edafológico de IIASA y la metodología de Zonas Agroecológicas ZAE. Esta base de datos contiene lo relevado por SOTER, WISE, Mapa de Suelos de China, etc, con la información del Mapa Mundial de Suelos a una escala de 1:5000000 (FAO-UNESCO, 1971-1981), resultando en un mapa raster, donde cada pixel despliega su tabla de atributos con diferentes parámetros edáficos (v1.2).

Sistema de Información de Suelos de Latinoamérica (SISLAC)

El SISLAC⁹ es una iniciativa regional impulsada y financiada por la Alianza Mundial por el Suelo (FAO) e implementada en alianza estratégica con CIAT, EMBRAPA y 20 instituciones nacionales de Argentina, **Bolivia**, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Surinam, Uruguay y Venezuela. Su objetivo es el desarrollo de un sistema moderno de información de suelos que guíe el uso y manejo sostenible de la tierra. Este sistema será desarrollado a través del uso del estado de arte -métodos y herramientas- de la Cartografía Digital del Suelo. La primera fase fue liderada por CIAT-Colombia y consistió en el rescate, armonización y almacenamiento de perfiles históricos de suelo (calicatas) en una base de datos regional y el desarrollo de un mapa regional de clases de suelos utilizando los mapas nacionales adaptados al sistema WRB a una escala 1:1,000,000. La segunda fase implementada por EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) y con la colaboración del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) – Argentina. Consistió en la capacitación y entrenamiento en Cartografía Digital de Suelos y su aplicación para el desarrollo de mapas de propiedades o atributos del suelo a

⁷ <http://www.isric.org/projects/soil-and-terrain-soter-database-programme>

⁸ <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>

⁹ <http://www.sislac.org/>

nivel nacional y regional. SISLAC es una iniciativa a largo plazo y se prevén más fases hasta lograr un sistema versátil y robusto que contenga información de suelos de calidad y con alta diversidad para responder a los requerimientos de los diversos usuarios, con el único objetivo de contribuir al manejo sostenible de este valioso recurso.

Entre los métodos y esquemas de evaluación de la degradación de tierras a nivel global, regional, se tienen las siguientes:

Métodos de evaluación global/regional

El esquema GLASOD (Global Assessment of human-induced Soil Degradation)¹⁰ ha sido una evaluación sobre la degradación global de suelos. Identificó el tipo, extensión, grado, velocidad y las principales causas. Ha servido de base para diversos programas ambientales a nivel internacional. Sin embargo, se enfoca solo al recurso suelo, y fue realizado con un enfoque productivista. La valoración de niveles de degradación, dependió en gran parte del criterio de los expertos. No incluyó la degradación natural, y la escala del mapa (1:10 Mill.) no permite un análisis preciso al nivel nacional. Hoy día se considera desactualizado, y aun así hay autores que consideran que el esquema puede seguir siendo útil atenuando algunas de sus desventajas para producir una versión actualizada (Sonneveld y Dent, 2009), más aún, los datos siguen siendo utilizados como lo muestra el proyecto GLADIS (Nachtergaele et al., 2010).

El esquema **ASSOD** (Assessment of Soil degradation in South and Southeast Asia)¹¹ es prácticamente el mismo que GLASOD, con algunas modificaciones para hacerlo más preciso. Los mapas de 17 países participantes fueron publicados a escala 1:5 Mil. La principal ventaja es que se puede aplicar a escala nacional para identificar las causas y procesos de degradación, así como la severidad de los procesos.

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA, 2003), basada en un amplio consenso de científicos a nivel internacional, enfatiza sobre la relación ambiente y bienestar humano. A la fecha representa el esfuerzo internacional más importante a nivel científico para conocer el estado actual de los ecosistemas del mundo. Su enfoque es integral, aunque no participativo, ya que la fuente principal de los datos fueron las publicaciones y reportes científicos.

En cuanto a las evaluaciones en escala regional y global, basadas en la interpretación de datos de percepción remota (PR) en ambiente de sistemas de información geográfica (SIG), algunos se han desarrollado a escala regional o nacional, mientras que otros a escala global o macro-regional. En términos generales, estas evaluaciones de la degradación de tierras, pueden ser clasificadas por los tipos de procesos que se miden: a) cambios en la productividad de biomasa o de la cobertura vegetal, estimada a través del NDVI, con ajustes por el factor lluvia; b) tipos y severidad de procesos de degradación; y c) cambios y riesgos por un proceso de degradación en específico. El indicador más comúnmente utilizado es el cambio de cobertura de la tierra.

El proyecto **GLADA** (Global Assessment of Land Degradation and Improvement)¹², de aplicación global como su nombre lo indica, busca evaluar la degradación de tierras de manera indirecta a través de los cambios en la productividad primaria neta, estimada a partir de la interpretación de sensores remotos. El proceso de evaluación es relativamente rápido y de bajo costo/beneficio previsible. Entre las limitaciones de GLADA se pueden mencionar que se evaluó la degradación de tierras de un período definido (1981-2003) relativamente corto en relación con la degradación de tierras histórica. Sus autores (Bai et al., 2008) reconocen que el método es menos confiable para zonas húmedas, y que los aspectos socioeconómicos no fueron incluidos de manera amplia. No obstante, sus resultados son los más actuales al nivel global y pueden ser útiles en la identificación de áreas críticas y de éxito, muy importantes para la planificación de estrategias de combate a la degradación.

¹⁰ <http://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>

¹¹ <http://www.isric.org/index.php/projects/assessment-soil-degradation-south-and-southeast-asia-assod>

¹² <http://www.isric.org/projects/global-assessment-land-degradation-and-improvement-glada>

Como se ha mencionado anteriormente, existe una versión llamada **GLADIS** (Global Land Degradation Information System)¹³, que es una base de datos en línea, con mapas digitales que combinan datos de GLASOD y GLADA para presentar el estado de los recursos de la tierra a nivel de país.

Con respecto al esquema **LADA** (Land Degradation Assessment in Drylands)¹⁴, su enfoque integral y participativo es una de sus principales virtudes, así como la flexibilidad de aplicación a distintas escalas. Cuenta con procedimientos bastante detallados, descritos en manuales) y se basa en un esquema de identificación de indicadores de causas, impactos y respuestas (EPRI) bastante robusto, ya que a través de ello es posible consensuar visiones y alternativas de acción entre todos los actores involucrados. Combina el uso de datos de distintas fuentes, como son sensores remotos, mapas temáticos, datos socioeconómicos y saberes locales. Identifica áreas críticas y áreas de éxito. Se ha aplicado más al nivel de países, aunque potencialmente puede aplicarse al nivel global¹⁵.

WOCAT (Acceso Mundial a los Enfoques y Tecnologías de Conservación)¹⁶ en línea para la captura de datos y mapas de degradación de tierras. La Base de Datos Global sobre el Manejo Sostenible de la Tierra (MST) de WOCAT brinda acceso gratuito a la documentación de los datos MST probados en el campo incluyendo prácticas y mapas MST de diferentes lugares del mundo y ofrece a los profesionales la oportunidad para compartir su propia práctica o mapa de MST. El MST en el contexto de WOCAT, se define como el uso de los recursos de la tierra, incluyendo el suelo, el agua, la vegetación y los animales para producir bienes y proporcionar servicios para satisfacer las necesidades humanas, asegurando al mismo tiempo el potencial productivo a largo plazo de estos recursos y sosteniendo sus funciones ambientales.

El objetivo de documentar y evaluar las prácticas de MST es compartir y difundir valiosos conocimientos en gestión sostenible de la tierra, apoyar la toma de decisiones basadas en evidencia y ampliar las buenas prácticas identificadas, contribuyendo así a prevenir y reducir la degradación de tierras y a restaurar tierras degradadas. Una práctica MST puede ser una tecnología MST (una práctica física que controla la degradación de la tierra y/o mejora la productividad, que consiste en una o varias medidas). Un enfoque MST es la manera y/o medios utilizados para implementar una o varias tecnologías MST (apoyo material, participación de las partes interesadas y otros). La metodología de mapeo tiene como objetivo capturar el uso de la tierra, la degradación y la conservación, y evaluar espacialmente el impacto en los servicios de los ecosistemas, incluyendo la producción agrícola, la materia orgánica y la disponibilidad de agua. Esta información está destinada a apoyar la toma de decisiones a nivel local, regional y nacional para indicar dónde se debe abordar la degradación de la tierra y qué tecnologías de MST deben ser difundidas, mediante la generación de las unidades de mapeo, según la metodología MST, y el uso de la base de datos de mapeo WOCAT¹⁷.

Métodos de evaluación a nivel local

Por su parte, las evaluaciones locales con sensores remotos tienen la ventaja de ser relativamente rápidas y más o menos precisas en cuanto a las superficies degradadas identificadas y a la formulación de modelos de evaluación del riesgo a degradación. No obstante estas virtudes, solo evalúan cambios de cobertura y algunos procesos superficiales. Normalmente no analizan las causas, sobre todo las subyacentes, o lo hacen muy superficialmente, con períodos de evaluación relativamente cortos. Bajo estos tipos de evaluaciones, la interpretación de procesos se hace exclusivamente desde el conocimiento técnico/científico y no incluye aspectos sociales y culturales de los usuarios locales (M.S. Redd *et. al.*, 2011).

En cuanto a los esquemas integrales y participativos, el Sistema de Evaluación Integrada **LADyOT** (Abraham *et al.*, 2006¹⁸), es uno de los esquemas con más alto detalle para el diagnóstico y seguimiento de la desertificación. Se

¹⁴ http://www.fao.org/nr/lada/index3fb1.html?option=com_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en

¹⁵ http://www.fao.org/nr/lada/gladis/gladis_db/

¹⁶ <https://qcat.wocat.net/es/wocat/>

¹⁷ <https://www.wocat.net/en/methods/slm-mapping/database-manual.html>

¹⁸ http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/libro_bid/libro_bid.pdf

ha desarrollado a través de varios estudios de caso, tanto locales como nacionales, durante más de dos décadas. Sus procedimientos incluyen diversas etapas y subetapas como la evaluación, la implementación de acciones y el seguimiento. Hace énfasis en la selección de indicadores y puntos de referencia. Involucra a los distintos actores que tienen influencia en la desertificación, como son los usuarios locales, los científicos y los tomadores de decisiones en políticas ambientales. Como herramientas metodológicas utiliza los talleres participativos para la toma de acuerdos a través del esquema Estado-Presión-Respuesta-Impacto (EPRI).

2.1. Justificación para la evaluación de la degradación de tierras en Bolivia

El manejo y conservación de los recursos naturales, en particular del agua, suelo y vegetación, no solo tienen relación con las tierras agrícolas bajo cultivo, sino también con los bosques, las laderas, áreas degradadas por la erosión y otras que solo pueden servir como áreas de protección. Por eso es fundamental comprender las relaciones entre el movimiento del agua y la producción agrícola, para la planificación de los esfuerzos de conservación de los recursos naturales con un enfoque de cuencas.

La gestión y planificación a nivel de cuenca (es decir, aplicando un “enfoque de cuenca” o un enfoque GIRH/MIC - Gestión Integral de los Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas) es un punto clave para promover un manejo sostenible de tierras con agua en cantidad y calidad, base en la agricultura de la conservación, la agroforestería, la agricultura orgánica. Se debe prestar especial atención al clima, a la hidrología y al balance ecológico de cada cuenca, para lograr un desarrollo integral de la misma. El manejo integral de una cuenca permite mantener las funciones ecosistémicas y promover el desarrollo social y económico de la población que habitan las cuencas. (MMAyA, 2014)¹⁹.

La GIRH es un medio para lograr un equilibrio entre tres objetivos estratégicos: La eficiencia, para lograr que los recursos hídricos cubran la mayor parte de las necesidades; la equidad en la asignación de los recursos y servicios hídricos entre los diferentes grupos económicos y sociales; y la sostenibilidad ambiental a partir de la protección de los recursos hídricos básicos y los ecosistemas asociados. El Manejo Integral de Cuencas (**MIC**) integra el conjunto de acciones conducentes al uso y aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca.

La incorporación del concepto de MIC al de la GIRH es especialmente relevante cuando las condiciones biofísicas constituyen un riesgo importante respecto a la conservación de la capacidad de regulación hidrológica de la cuenca y los procesos acelerados de degradación y desertificación, que corresponden a las tierras secas. La fusión de los conceptos ha resultado en la adopción pragmática de un nuevo concepto: GIRH-MIC, considerando que los conceptos GIRH y MIC son ambos necesarios y se complementan entre sí.

La evaluación de la degradación de tierras, se la realiza con base a unidades básicas de análisis que corresponden a los SUT (Sistemas de Uso de la Tierra) que corresponden a unidades cartográficas que representan uno o varios objetos en la superficie terrestre, tales como uso actual de la tierra, vegetación, geomorfología, cuenca, etc., y en virtud de cada objeto a representar está el detalle de información. Mientras más detallada es nuestra unidad básica de análisis, la información demandada es más precisa, pero también demandará mayor esfuerzo en recabar esa información.

Contar con información es una oportunidad para los tomadores de decisión, para comprender mejor la degradación y conservación de la tierra y la gestión de cuencas en el país. Además, existe una necesidad imperiosa de información sobre la degradación de la tierra en los diferentes entidades territoriales autónomas (departamental, regional, municipal, cuenca, comunal/local, etc.), para el desarrollo de diversas iniciativas de manejo sostenible de la tierra y también a nivel nacional para gestionar una estrategia adecuada de gestión, manejo y protección de cuencas. Los resultados de esta evaluación nacional deben proporcionar a los tomadores de decisión, no sólo información sobre las áreas prioritarias de intervención para la gestión y manejo sostenible

¹⁹ Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas 2013-2017

de la tierra, sino también con una planificación a detalle para su intervención a nivel de cuencas o de sistemas o zonas de vida.

Con base a lo anterior y tomando en cuenta que la información generada dentro el enfoque LADA Bolivia sirvió como línea base al 2011 (Convenio Interinstitucional de Financiamiento N° 34), fue necesario su ajuste y actualización debido a la dinámica misma del cambio de la cobertura y uso de la tierra e indicadores de fuerza motriz, presión y estado (**FMPE**), de esta manera se proporciona una gran cantidad de información que puede utilizarse para supervisar los progresos y para la toma de decisiones sobre las intervenciones de recuperación, uso y manejo sostenible de tierras secas en Bolivia.

La cooperación Suiza en Bolivia, a través del proyecto Gestión integral del agua, a través del Proyecto de Asistencia Integral del Agua (2015-2018), apoya el ajuste, actualización y complementación del documento de Evaluación de la degradación de tierras secas de Bolivia (LADA).

3. OBJETIVO

3.1. Objetivos lada/wocat/desire en la evaluación nacional de la degradación de tierras de Bolivia

La Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (**LADA**) busca establecer e implementar una metodología comprensiva para la evaluación y el mapeo de la degradación de la tierra. La Evaluación de LADA es desarrollada en tres escalas espaciales (local, nacional y global), y considera el estado, las fuerzas motrices y los impactos. Finalmente, LADA proporcionara una mejor comprensión del fenómeno de la degradación, y dará los indicios sobre las respuestas apropiadas en todas las escalas.

El World Overview of Conservation Approaches and Technologies - **WOCAT**²⁰, tiene la misión de apoyar la investigación y los procesos de toma de decisión en el Manejo Sustentable de las Tierras (MST), particularmente en relación con la Conservación del Suelo y el Agua (CSA). El MST es un prerrequisito esencial para el desarrollo sustentable y el vivir bien de nuestra población.

El Proyecto **DESIRE** “Desertification Mitigation and Remediation of Land²¹” tiene por objetivo proponer estrategias alternativas para el uso y la protección de estas zonas vulnerables, haciendo un inventario del conocimiento local, trabajando con residentes locales, el estudio científico de métodos y técnicas de prevención de la degradación de tierras, entre otras.

La iniciativa **WOCAT**, en colaboración con **LADA – FAO**²² y el proyecto **DESIRE**, ha desarrollado herramientas y métodos estandarizados para compilar y evaluar el conocimiento biofísico y socioeconómico disponible sobre SLM. Las herramientas permiten a los especialistas de SLM compartir sus conocimientos y evaluar el impacto de SLM a nivel local, nacional y global. En conjunto, la metodología WOCAT-LADA-DESIRE comprende herramientas para documentar, autoevaluar y evaluar el impacto de las prácticas de SLM, así como para el intercambio de conocimientos y el apoyo a la toma de decisiones en el campo, a nivel de planificación y a escalas que identifiquen las buenas prácticas. Los objetivos y las misiones de estos proyectos son complementarios.

El objetivo de la elaboración del presente documento es el de contar con el ajuste y complementación del estudio de “Estado de la Degradación de Tierras Secas de Bolivia (tierras áridas, semi-áridas y subhúmedas secas) con la metodología LADA/DESIRE/WOCAT” para su lanzamiento oficial.

²⁰ www.wocat.net

²¹ <http://www.desire-project.eu/>

²² www.fao.org/nr/lada/

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Enfoque en Bolivia para la evaluación nacional de la degradación de tierras y el manejo sostenible de tierras

La degradación de tierras concibe una suma de procesos que hacen que los decrementos en la provisión de servicios ecosistémicos del suelo no sean visibles en el corto plazo de acuerdo al área evaluada. Es así que los procesos naturales a nivel de las cuencas y las políticas para su manejo y gestión, requieren considerar cuidadosamente las escalas (PNC, 2013-2017). El tiempo que tarda un ecosistema en responder a los programas de manejo de cuenca varía en función de la escala territorial de la intervención²³.

El enfoque multiescala adoptado por el VRHR, combina la planificación en cuencas mayores donde se expresan los problemas asociados al agua y el medio ambiente (escasez, inundaciones, erosión, sedimentación, contaminación, etc.), con intervenciones de manejo y acondicionamiento a nivel de microcuencas (<100km²).

Sin embargo, con el objetivo de evaluar la degradación de tierras áridas se han venido empleando diferentes métodos, tales como:

Opinión de expertos: Evaluación subjetiva sobre una base de asignación de control y semi-definiciones cuantitativas, como la empleada en el estudio GLASOD. Evaluación por expertos nacionales, sobre una base de mapeo dado, y el uso de la tierra definido como un atributo semi-cuantitativo. Los límites de clase era el método básico de GLASOD y estudios relacionados. Su principal inconveniente es el grado inevitable de subjetividad. Su principal ventaja es su capacidad para producir resultados, en un tiempo corto y con un presupuesto reducido.

Modelación: Basado en datos obtenidos por otros métodos, los modelos se pueden utilizar de muchas maneras (B. Cachaca, 2009²⁴), por ejemplo:

- (i) La predicción de riesgo de degradación;
- (ii) La definición operativa de la degradación en términos de cambios desfavorables en la productividad de la planta, las propiedades del suelo y la hidrología;
- (iii) Para ampliar el rango de aplicabilidad de los resultados, por ejemplo, mediante el tratamiento de los agroecosistemas y empleados en el proyecto LADA como dominios de gestión de los recursos.
- (iv) Para la integración de factores biofísicos con factores socio-económicos. Muchas investigaciones se han llevado adelante en la elaboración de modelos para la predicción de riesgos de erosión del suelo. El enfoque ha sido aplicado ampliamente, en parte porque es mucho más barato que cualquier forma de observación de campo. Se afecta principalmente a la degradación de amenaza, pero se puede aplicar a la degradación real en primer lugar, como una forma de optimizar el diseño de muestreo, y en segundo lugar, para extrapolar la aplicabilidad de los resultados obtenidos sobre una base de muestreo.

Teledetección: Análisis de datos satelitales de alta y baja resolución (por ejemplo, análisis de los índices compuestos como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)). La teledetección siempre incluye vínculos con las observaciones de campo.

La base de este método es la comparación de imágenes de teledetección de diferentes fechas, principalmente para la cobertura regional de las imágenes de baja resolución, y específicamente, la comparación del Índice NDVI.

²³ El impacto de la deforestación en el régimen hidrológico de una cuenca puede observarse en unos cuantos años si se trata de una cuenca local (algunos km²), pero tratándose de una cuenca regional (de miles de km²), los efectos de la deforestación pueden tomar cientos de años en manifestarse

²⁴ Evaluación de la Degradación de tierras a través del Indicador RESTREND en la Provincia Loayza del Departamento La Paz - Bolivia.

RESTREND: (Residual de NDVI observado – NDVI predicho) De los índices derivados de información satelital, el índice de vegetación normalizado (NDVI) es uno de los más utilizados por guardar una relación significativa con atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas como el área de productividad primaria neta (PPNA), el cual está a su vez vinculada a los regímenes de precipitaciones.

El método RESTREND es útil para determinar la degradación de las tierras secas inducida por el hombre, sobre la base de evaluaciones de datos AVHRR, NDVI y datos de precipitaciones²⁵. Las desviaciones positivas o negativas en la biomasa a partir de esta relación, expresadas en los residuos, se interpretan como inducidas por el ser humano. Se llegaron a resultados importantes con la utilización de este método en la provincia Loayza del departamento de La Paz, que corresponden a tierras semiáridas con altos índices de degradación (B. Cachaca, 2009).

Con el fin de realizar la Evaluación de la degradación de tierras de Bolivia se siguió el marco metodológico propuesto por LADA/WOCAT/DESIRE, y contempla las siguientes fases de trabajo:



Figura 2. Enfoque metodológico LADA/WOCAT/DESIRE

Fuente: Elaboración propia

La etapa de preparación y organización se orientó a generar condiciones óptimas para la realización del trabajo de evaluación de degradación de tierras a través de la decisión política y compromisos interinstitucionales, la difusión, socialización y sensibilización sobre la problemática de degradación de tierras con socios estratégicos (tomadores de decisión y actores sociales) para llegar a un consenso sobre la necesidad de implementación de

²⁵ Mediante cálculos de regresión lineal entre los diferentes períodos de precipitación acumulada y el NDVI_{max} anual, se puede identificar el período de lluvia que mejor se relaciona con el NDVI_{max} y por este, la proporción de biomasa provocada por la precipitación.

las tareas para su formulación en estricto cumplimiento de las normas legales, planes y programas establecidas en el país.

Se realizó la conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario institucional con el que se elaboró un plan de trabajo (objetivos del proceso, cronograma detallado y los requerimientos físicos y financieros para el proceso de evaluación).

Se realizó un diagnóstico mediante el enfoque FPEIR (Fuerzas Motrices - Presión - Estado - Impacto – Respuesta), que toma en cuenta diferentes indicadores en la determinación de la Degradación de Tierras y el Manejo Sustentable de Tierras para así poder plantear un sistema de monitoreo de la degradación de tierras. Las etapas desglosadas por cada actividad, en la determinación de la Degradación de Tierras, se presentan a continuación:

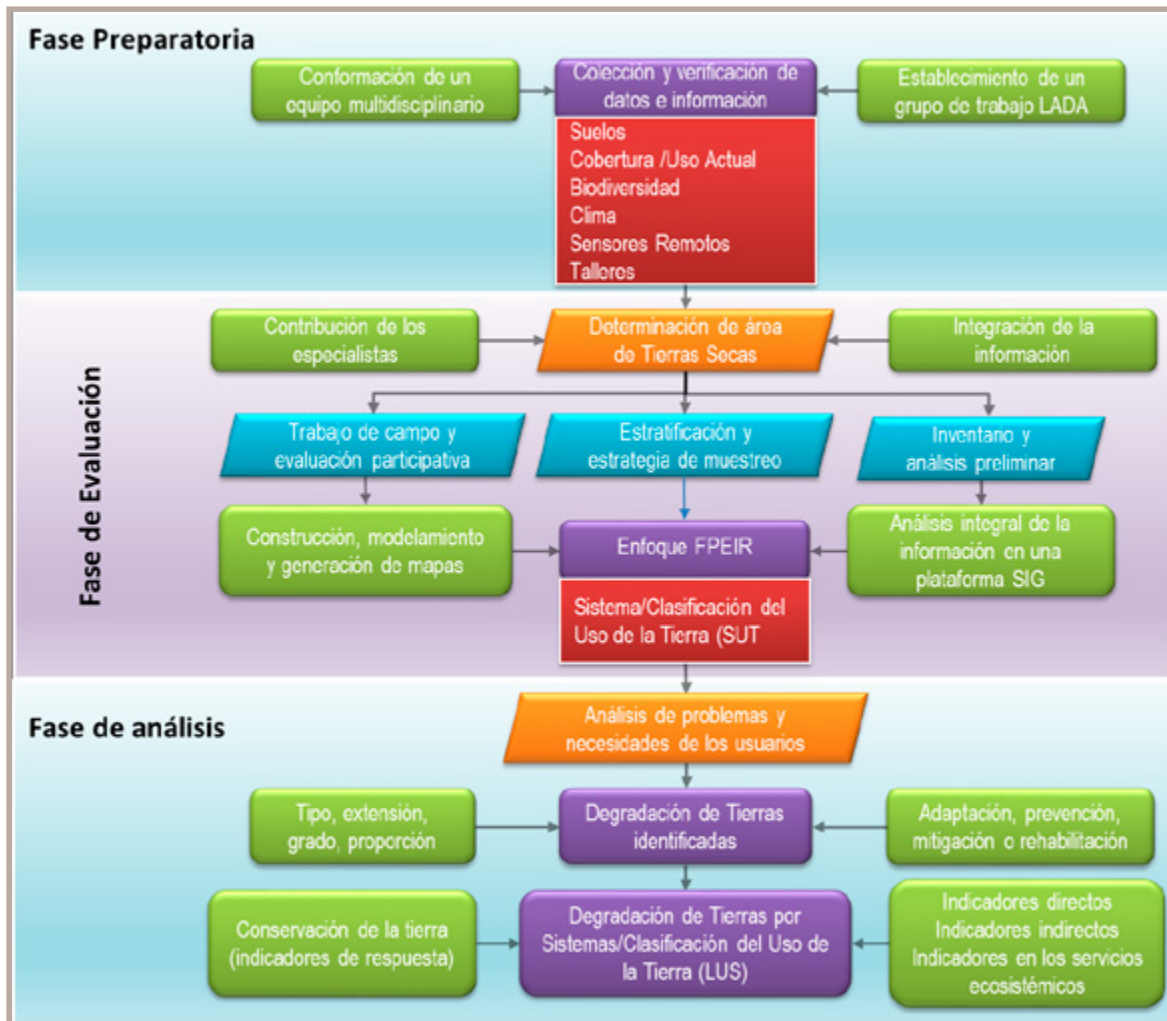


Figura 3. Marco metodológico LADA/WOCAT/DESIRE

Fuente: Elaboración propia

4.2. Colección y verificación de datos e información

4.2.1. Suelos

Una base de datos edafológica se constituye en el principal insumo dentro un análisis cuantitativo. De esta manera se constituyó en la principal labor sabiendo que Bolivia no cuenta con una entidad que aglutine toda la información con respecto a suelos. Es así que se recopiló toda la información cuantitativa georeferenciada, es decir, procedente de análisis de laboratorio, específicamente, textura (porcentajes granulométricos), carbón

orgánico, pH, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable. El mapa de puntos de muestreo de suelos (**mapa D-2**) muestra la información actualizada.

A continuación se muestran los puntos de muestreo de los perfiles con la información recopilada y sistematizada en el área de estudio en una primera etapa (1966–2010) y con la actualizada hasta el 2016 (Figueredo, 2017), lográndose obtener 10311 perfiles de suelo con 12864 muestras de suelo.

Cuadro 1. Número de perfiles y muestras de suelos

Nº de estudio	Proyecto/Fuente	Data	Nº de puntos de muestreo	Nº de muestras
1	Diferentes estudios en relación a Suelos realizados en los departamentos de La Paz, Cochabamba, Potosí, Chuquisaca, Oruro, Potosí y Santa Cruz	1966-2010	9.839	11.959
2	Programa de apoyo a la gestión financiera de riesgos climáticos y reducción de la vulnerabilidad al cambio climático del sector agrícola. PROFIN. MDRyT – INSA,	2015	307	307
3	Estudios de suelos en áreas productivas de los valles mesotérmicos de Santa Cruz. CIAT - GADSC.	2013-2016	165	598
TOTAL			10311	12864

Fuente: Elaboración Propia

Para la determinación de la erosión, dentro de la ecuación de RUSLE, el factor P (prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas), fue determinado mediante la necesaria recopilación de toda la información disponible sobre prácticas de conservación de suelos a nivel nacional. Consecuentemente esta información sirvió de base para el análisis de prácticas de manejo sustentable de tierras.

4.2.2. Clima

Fuente y procesamiento de datos climáticos

Los datos climáticos (precipitación y temperatura) fueron proporcionados por el SENAMHI a nivel mensual para un periodo de 36 años (1980 a 2016), para un total de 249 estaciones que se ubican en las tierras secas de Bolivia y las zonas de transición: 152 estaciones meteorológicas cercanas a 100 km del límite propuesto por CISTEL (2012) y las restantes 97 (17 en la zona de transición y 80 en las tierras secas), dentro del área de las tierras secas. Los datos corresponden a temperaturas media, mínima, máxima mensual y precipitación total acumulada para cada mes.

El tratamiento de los datos consistió en la depuración de las estaciones con escasa cantidad de datos y datos inconsistentes. Para las estaciones seleccionadas se realizó el relleno de los datos faltantes mediante el método de la distancia inversa ponderada (IDW) para precipitación y regresión lineal con la altitud para temperatura.

Los datos puntuales de cada estación fueron comparados con la base de datos WORLDCLIM generadas por Hijmans et al. (2005) para el periodo 1950-2000, para obtener un modelo de regresión que permita obtener superficies climáticas actualizadas para el periodo de estudio (1980-2016) a una resolución espacial de 1 km.

En *Anexo 1* se presenta las correlaciones entre datos de SENAMHI y de WORLDCLIM.

La siguiente tabla resume la fuente de los datos climáticos utilizados para la actualización del límite de tierras secas de Bolivia así como sus características y periodo utilizado.

Cuadro 2. Fuente y características de los datos climáticos utilizados

Fuente	Variable	Periodo	Tipo	Resolución	Cantidad
SENAMHI	Temperatura Mínima (°C)	1980-2016	Puntual	Mensual	249 estaciones
	Temperatura Mínima (°C)	1980-2016	Puntual	Mensual	249 estaciones
	Precipitación Total (mm)	1980-2016	Puntual	Mensual	249 estaciones
WORLDCLIM (Hijmans et al, 2005)	Temperatura Mínima (°C)	1950-2000	Raster	Promedio Mensual a 1 km/pixel	----
	Temperatura Mínima (°C)	1950-2000	Raster	Mensual a 1 km/pixel	----
	Precipitación Total (mm)	1950-2000	Raster	Mensual a 1 km/pixel	----

Así mismo, tomando en cuenta el estudio de Balance Hídrico de Bolivia (MMAyA, 2016), con el objetivo de complementar la información y además de estandarizar la variabilidad climática en las tierras secas del territorio, se tomaron en cuenta la información climática de dicho estudio, las cuales sintetizan datos climáticos recopilados de SENAMHI-Bolivia, SENAMHI-Perú, y ANA-Brasil con un total de 1250 estaciones. Las variables recopiladas son: precipitación diaria, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa media diaria, velocidad de viento media diaria, horas sol diaria, y evaporación en tanque tipo A.

El **mapa D-3** muestra la distribución de las estaciones del total de estaciones actualizadas y tomadas en cuenta para la delimitación de las tierras secas, desde un punto de vista climático.

4.2.3. Sensores remotos

Imágenes satelitales: Se adquirieron imágenes satelitales LANDSAT TM del año 2011 del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales - BRASIL con 7 bandas, fusionadas en un mosaico con las escenas, incluido en la Geodatabase.

Se adquirieron Modelos Digitales de Elevación provenientes del Proyecto Shuttle Radar Topography Mission SRTM National Aeronautics and Space Administration (NASA) con una resolución de 30x30, (<http://www.dgadv.com/srtm30/>).

Para el análisis de la Productividad Primaria Neta, se obtuvo información satelital de una serie de 50 años del VasCLimO (ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/html/vasclimo_download.htm), que comprenden los datos más completos compilados para 1951 – 2000 (Beck et al, 2005; Schneider et al, 2008), complementados con GIMMS, que es un set de datos de Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation Index), producto disponible para un período de 25 años comprendido entre 1981 a 2006. El conjunto de datos se deriva a partir de imágenes obtenidas desde el Radiómetro instrumento de muy alta resolución avanzada (AVHRR) a bordo de la serie de satélites NOAA 7, 9, 11, 14, 16 y 17.

La información digital generada de cada uno de los componentes de la presente evaluación (información geográfica, bases de datos, etc.), se encuentra almacenada en la Geodatabase de proyecto.

4.2.4. Trabajo de campo

Dentro de lo previsto por el proyecto, se realizó una verificación de campo a lo largo de la ruta Cochabamba-Oruro-Potosí-Sucre-Chaki-Tarija- Entre Ríos- Campo Pajoso- Camiri- Santa Cruz del 29 de septiembre al 10 de octubre del 2013. Así mismo, se organizaron talleres con instituciones y organizaciones de la zona de tierras secas de Bolivia el mismo año en las ciudades de Oruro, Sucre y Camiri; los días 30 de septiembre y 1 de octubre en Oruro; 3 y 4 de octubre en Sucre y 7 y 8 de octubre en Camiri, con la participación de representantes institucionales y profesionales que trabajan en evaluaciones de degradación de tierras y manejo de recursos naturales (Gobernaciones, Municipios, FAO, Viceministerio de Tierras, PROAGRO, ACLO, PERTT, etc. (**mapa D-4**, las fotos geoetiquetadas se encuentran adjuntas en la Geodatabase)

Estos talleres se organizaron para recolectar datos y para hacer una verificación en campo de los indicadores de degradación de tierras, éstas se evaluaron y seleccionaron para su inclusión en el Sistema de Monitoreo (Documento anexo al presente): **Indicadores de fuerza motriz** (tendencia de la precipitación), **Indicadores de presión directa** (uso de la tierra), **Indicadores del estado actual** (perdida del suelo/erosión) e **Indicadores de las respuestas** (extensión y tendencias de la conservación de tierras – actual).

Además del relevamiento fotográfico de tierras secas de Bolivia, se obtuvieron datos en talleres mediante el cuestionario WOCAT para la evaluación participativa de degradación de tierras; se obtuvieron los índices de degradación (áreas “críticas” – hot spots) y una selección de indicadores de degradación de tierras, los cuales se concertaron a través de llenado de fichas de selección de indicadores mediante el trabajo en plenaria entre los integrantes de las mesas departamentales. Por otro lado, se identificaron los diferentes tipos de degradación de tierras secas en Bolivia; prácticas de manejo sostenible de tierras para luego sistematizarlas en formato WOCAT, que es una sinopsis mundial de las tecnologías y enfoques de conservación.

4.3 Delimitación de tierras secas de Bolivia

En una primera instancia se generaron índices climáticos que son la base de determinación del índice de aridez.

Las tierras secas en Bolivia delimitan en las zonas llanas que corresponden a las zonas de transición, es por esta razón la necesidad de un análisis específico y con información actualizada al 2016, con los siguientes parámetros: temperatura y precipitación media mensual.

Índice de aridez

El índice de aridez fue calculado a partir de los valores de evapotranspiración potencial y precipitación total anuales mediante la siguiente relación:

$$IA = \frac{P_m}{ET_0}$$

Donde, P_m es la precipitación media anual en mm y ET_0 es la evapotranspiración potencial anual en mm. El índice de aridez permite definir los lapsos de deficiencia y excedencia climática de agua en un periodo específico, estos valores son utilizados para delimitar las tierras secas acorde al criterio propuesto por Hassan y Dregne (UNEP, 1997). Considerando el cuadro 3, las tierras secas comprenden las regiones ubicadas entre los valores de 0 a 0,65 es decir las zonas hiperáridas, áridas semiáridas y sub húmedas secas.

Cuadro 3. Clasificación de tierras según el índice de aridez

Clasificación	IA
Hiperáridas	< 0,05
Áridas	0,05 a < 0,20
Semiáridas	0,20 a < 0,50
Subhúmedas secas	0,50 a < 0,65
Subhúmedas húmedas	0,65 - 1,00
Húmedas	> 1,00

Fuente: UNEP 1997

El siguiente flujograma metodológico, esquematiza el proceso de determinación del área de tierras secas (zonas áridas, semiáridas, subhúmedas secas) de Bolivia.



Figura 4. Delimitación integrada de las tierras secas

Fuente: Elaboración propia

La combinación de índices climáticos permitieron dividir el área en dos regiones: zonas húmedas y tierras secas. Las tierras secas representan las zonas áridas, semiáridas, subhúmedas secas, que se obtuvieron al determinar la Evapotranspiración Potencial (**ETP**) obtenida por el método de Hargreaves-Samani, ajustada y correlacionada por el método Penman-Monteith, a partir de la base de datos de la FAO en Cropwat por el VRHR (Ontiveros, 2014; VRHR, 2014). De esta manera, se obtiene una ecuación ajustada de la ETP, y a partir de este se deriva un índice de aridez (**IA**) ajustado para la delimitación climática de las tierras secas. Los métodos de determinación de índice de aridez se desarrollan en el análisis climático (Indicadores de Fuerza Motriz).

Debido a la poca disponibilidad de estaciones meteorológicas en el área de interés, escasez de datos completos durante el periodo de análisis, el método de cálculo de evapotranspiración basado en temperatura que sobre estima los valores en la zona de transición, fue necesario realizar un análisis con la integración de variables biofísicas o indicadores biológicos como los rasgos en el terreno como la fisiografía, cobertura vegetal, uso de la tierra, erosión y deforestación.

De acuerdo a los resultados del análisis se llegó a realizar los siguientes ajustes en ciertas áreas:

Cordillera: Incorporación de tipo de vegetación del subandino, exclusión de la vegetación de Yungas.

Chiquitanía: Incorporación de las llanuras con vegetación secundaria e intervención antrópica Norte de San Julián, zonas deforestadas al 2013.

Sur-Este de Santa Cruz: Incorporación de las zonas deforestadas de bosques semidecíduos chiquitanos, exclusión y delimitación del área de influencia del Pantanal. El Pantanal es una inmensa llanura aluvial, en Bolivia ocupa una superficie de unos 31.899 km², tiene una gran importancia ecológica ya que es un mosaico altamente complejo y temporalmente dinámico, de lagos, lagunas, pantanos, ríos, sabanas inundadas, palmares, bosques secos y cerrados, fuente primordial del río Paraguay.

El **mapa D-5**, muestra la delimitación de las Tierras Secas de Bolivia (2017)

4.4. Sistema de uso de la tierra (sut) como base para el análisis de la información

4.4.1. Estratificación para la evaluación de la degradación de tierras

Según el método de mapeo del WOCAT-LADA, el Sistema/Clasificación del Uso de la Tierra (SUT) está considerado como la unidad básica de evaluación (Nachtergaele et al, 2007). La disponibilidad de un mapa global del Sistema/Clasificación del Uso de la Tierra (SUT), siempre necesitará de ajustes a nivel nacional en pos de proveer unidades nacionales apropiadas, en donde la degradación y conservación de la tierra pueda ser descrita y evaluada. Esas unidades básicas SUT deben contener información muy valiosa (tanto biofísica como socio-económica) referida al uso de la tierra y a las prácticas de uso de la tierra, siendo éstas una de las principales causas de degradación.

Según la figura 5, la combinación de las unidades del SUT con las unidades administrativas (ej. municipales) permite evaluar las tendencias y los cambios en el tiempo de la degradación de la tierra y las prácticas conservacionistas aplicadas. Cada SUT dentro de una unidad administrativa constituye una unidad cartográfica única para la cual la información sobre la degradación y la conservación deberá estar provista en la tabla matriz. Se debe tener en cuenta que cada unidad cartográfica tiene un SUT claramente definido, pero el mismo SUT puede darse en otra unidad administrativa y, por lo tanto, formar una unidad cartográfica adicional.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tomaron en cuenta los mapas de Cobertura y Uso Actual de la Tierra (COBUSO, 2010) del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Viceministerio de Tierras, Unidad Técnica Nacional de Información de la Tierra), que fueron la base para determinar los **Sistemas de Uso de la Tierra SUT**, con las debidas correcciones y ajustes de tipo cartográficos a este insumo oficial.

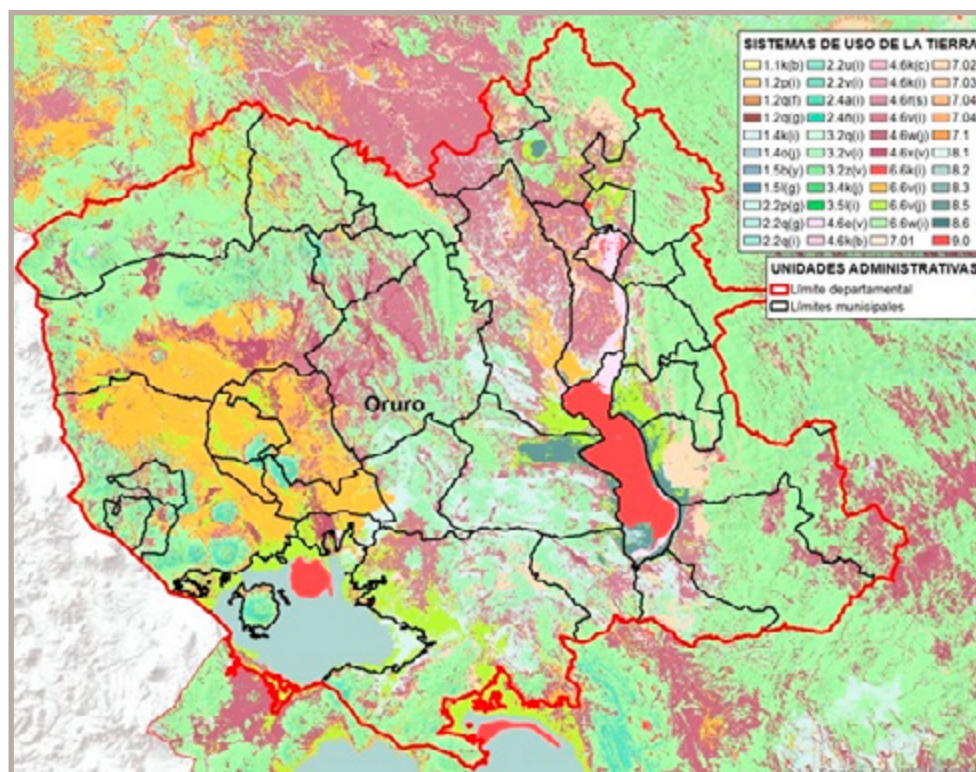


Figura 5. Sistemas de Uso de la Tierra/Unidades Administrativas

Para la caracterización del Mapa de Sistemas de Uso de la Tierra, se ha utilizado como referencia la última versión 2 del cuestionario LADA (2013²⁶). Cada unidad cartográfica tiene un SUT definido, pero el mismo SUT puede darse en otra unidad administrativa. Los criterios de delimitación del SUT son el tipo de cobertura de la tierra, tipo de uso de la tierra (por ser de carácter obligatorio); vías de acceso principales, áreas protegidas (por ser de carácter adicional /opcional, referencial). Las hojas de captura de datos se presentan en Anexo 2.

4.5. Indicadores fpeir como base para el análisis de información

El enfoque de LADA se basa en el marco teórico que relaciona **“Fuerzas Motrices - Presión - Estado - Impacto - Respuesta (FPEIR en español)”** y que sirve para entender cómo tiene lugar el proceso de degradación de las tierras a nivel sub-nacional, nacional y mundial (FAO, 2013).

El modelo **FPEIR** de acuerdo a lo que propone la FAO, parte de que las fuerzas motrices ejercen presiones sobre el medio ambiente y dichas presiones pueden provocar cambios en su estado o condición. Los impactos consecuentes sobre los atributos socioeconómicos y biofísicos provocan una respuesta de la sociedad mediante el desarrollo o el cambio de las políticas ambientales y económicas y el desarrollo de programas destinados a prevenir, minimizar o mitigar las presiones y las fuerzas motrices (FAO, 2013).

La adopción de este marco conceptual implica también el reconocimiento de la naturaleza dinámica del fenómeno de la degradación de la tierra. De esta manera, la degradación de la tierra se define por comparación a la situación anterior, cuando las fuerzas motrices ejercieron una cierta presión sobre la tierra. Dicha presión originó el estado actual de la misma, que tiene un impacto que conducirá a una respuesta en el futuro (FAO, 2013). Es así como el factor tiempo viene introducido en el sistema y se tendrá que considerar en la formulación de la metodología de evaluación a todos los niveles.

²⁶ Los manuales propuestos por LADA se encuentran en la siguiente dirección:
http://www.fao.org/nr/lada/index3fb1.html?option=com_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en



Figura 6. Esquema de enfoque LADA – FPEIR

Fuente: FAO, 2013

4.6. Análisis espacial integral de determinación de indicadores de degradación de tierras secas

4.6.1. Indicadores de fuerza motriz

Estos indicadores, de acuerdo al enfoque LADA, caracterizan los aspectos naturales que tienen impacto sobre la degradación como la fuerza motriz que impulsa procesos de degradación si no existe un adecuado manejo. En **Anexo 3** se presentan los indicadores seleccionados y concertados en talleres para la línea base.

Régimen hídrico o régimen de aridez

Un segundo criterio para definir los niveles de aridez, con base a la duración y estacionalidad del periodo seco, es el régimen hídrico o régimen de aridez, considerado como el criterio más adecuado para mostrar las condiciones de déficit hídrico local (UNESCO, 2010).

El régimen de aridez viene definido a partir de la duración del periodo de seco, en este caso se considera como mes seco aquel en el que se cumpla la siguiente relación.

$$\frac{P_i}{ET_{oi}} < 0.5$$

Donde P_i es la precipitación mensual acumulada para el mes i y ET_{oi} es la evapotranspiración potencial acumulada en el mismo mes en milímetros, la longitud del periodo seco corresponde al número de meses en el año que cumplen esta condición, de tal manera que las clases de régimen de aridez vienen dadas según la siguiente escala.

Cuadro 4. Clasificación del régimen de aridez o régimen hídrico según UNESCO (2010)

Régimen de aridez	Condición hídrica	Régimen de aridez	Condición hídrica
Xérico	Ia < 0.05 y 12 meses secos	Húmedo	3 a 4 meses secos
Hiper árido	11 a 12 meses secos	Hiper húmedo	1 a 3 meses secos
Árido	9 a 10 meses secos	Hídrico	Sin meses secos y PT<2500 mm
Semiárido	7 a 8 meses secos	Hiper hídrico	Sin meses secos y PT>2500 mm
Subhúmedo	5 a 6 meses secos		

Índices complementarios de régimen de humedad

Según la metodología sugerida por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina (CAZALAC) y el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI-UNESCO) (UNESCO, 2001), la delimitación y caracterización climática de las zonas áridas debe realizarse con la consideración de otros índices complementarios afines al régimen de humedad. Estos índices complementan la delimitación de las tierras en el sentido de que son más estrictos que el solo valor del índice de aridez sobre todo en lo que se refiere a la distribución de la humedad y déficit hídrico a lo largo del año (UNESCO, 2007).

Estos índices se refieren a la duración del periodo de crecimiento (**DPC**), déficit hídrico (**DH**), índice de agresividad climática de Fournier modificado (**IFM**) e índice de concentración de la precipitación (**ICP**) los mismos se calculan según las siguientes relaciones:

Duración del periodo de crecimiento

La duración del periodo de crecimiento según el criterio de la FAO, viene establecido por la cantidad de días al año en que la evapotranspiración es menor al doble de la precipitación mensual. Un régimen árido está determinado por una predominancia de días secos en el año, esto quiere decir que presenta un periodo de 290 días al año o más en los que las condiciones hídricas son críticas para los cultivos y ecosistemas; por el contrario se presenta un régimen húmedo si la duración del periodo de crecimiento o la cantidad de días húmedos es mayor a 270 días (FAO, 1996). Como factor determinante la temperatura juega un papel en la definición de la duración del periodo de crecimiento que se considera como el tiempo en el cual los cultivos pueden desarrollarse adecuadamente sin restricciones limitantes de su crecimiento. La duración del periodo de crecimiento es expresada en días al año.

$$DPC = P > 0.5 ET_0$$

P = Precip. mensual (mm)

ET₀ = Evapotrans. Potencial (mm)

DPC, cantidad de días con P > 0.5 ET₀

Clasificación	
< 75 días	Árido
75-180 días	Semiárido
180-270 días	Subhúmedo
> 270 días	Húmedo

Déficit hídrico

$$DH = \sum_{i=1}^{12} (P - ET_i)$$

P = Precip. mensual (mm)

ET₀ = Evapotrans. Potencial (mm)

DH solo agrupa a valores positivos

Los valores de déficit hídrico para el país se presentan en las regiones con valores de evapotranspiración potencial mayor a la precipitación.

Índice de agresividad climática de Fournier modificado

Expresa el grado de agresividad climática. El índice modificado de Fournier (**IFM**) caracteriza la agresividad de la precipitación o potencial erosivo de las lluvias. Este índice resulta importante en aquellas zonas con alta fragilidad a la erosión hídrica y se calcula de la siguiente forma:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

IFM índice de Fournier modificado en mm

p_i precipitación del mes i en mm.

P precipitación total anual, en mm.

Clasificación	
0 – 60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
>160	Muy alto

El cálculo de IFM se hace para cada año y luego se calcula el promedio, cuya clasificación se presenta en la Tabla 2, (PHI, 2006²⁷).

Índice de la concentración de precipitación

Este índice resulta importante en aquellas zonas con alta fragilidad a la erosión hídrica. Expresa el grado de agresividad climática o potencial erosivo de las lluvias a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, Oliver (1980; citado por PHI, 2006) propuso un índice de concentración de las precipitaciones

$$ICP = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2}$$

(**ICP**), que se obtiene mediante la siguiente expresión:

ICP índice de concentración de la precipitación, en %.

p_i precipitación mensual en mm.

P precipitación anual en mm

Clasificación	
8.3 – 10	Uniforme
10 – 15	Moderadamente estacional
15 – 20	Estacional
20 – 50	Altamente estacional
50 - 100	Irregular

El rango convencional de variación va desde 8.33 hasta 100%. El cálculo del ICP se hace para cada año y luego se calcula el promedio (PHI, 2006).

Análisis de tendencias de la precipitación

Para el análisis de tendencias existen varios métodos estadísticos de los cuales se destacan los paramétricos como el de regresión o mínimos cuadrados y los no paramétricos como la prueba de Mann-Kendall. Se realiza el análisis de tendencias de la precipitación para las tierras secas de Bolivia en un periodo de 46 años.

4.6.2. Indicadores de presión directa

“Los indicadores en este grupo incluyen aquellas actividades que pueden directa o indirectamente dar lugar a un aumento de la presión sobre los recursos naturales” (FAO, 2003)

²⁷ PHI. 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de América Latina y El Caribe. Programa Hidrológico Internacional, UNESCO. Documento Técnico No. 3. La Serena, Chile. 58 pp.

Deforestación, quemas e incendios

Para el caso de la deforestación, se tomó en cuenta el Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia de la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) de los periodos 2000-2005-2010-2013 a una resolución espacial de 30 m y que se encuentra disponible en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/file/d/0B50-Z7WLbAnHR0FYcjIBQ0tXbXM/view?usp=sharing>²⁸.

El mapa de áreas quemadas e incendios (2000-2015), se encuentra a 463 m de resolución espacial y fue la generada por FAN-Bolivia²⁹.

Causas climáticas: amenazas naturales

El clima es el factor más determinante sobre los procesos de degradación de tierras, pues es capaz de generar condiciones extremas de precipitación y temperatura, que pueden intensificarse por efecto del cambio climático. El manejo y gestión sostenible de las tierras, requiere un conocimiento profundo de los recursos climáticos y riesgos a desastres naturales que guardan relación con el clima, lo cual es fundamental para la generación de prácticas adecuadas y establecimiento de sistemas de monitoreo y evaluación.

Exposición física a sequía

Para la determinación de la exposición física a la sequía se utilizó el conjunto de datos obtenida con base al índice estandarizado de precipitación (SPI), el cual se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala de tiempo y sólo es dependiente de series históricas de precipitación, lo que hace posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazo (McKee et al. 1995), y estos, se asociaron con datos de población en un ambiente SIG. Estos valores expresan el grado de exposición a la sequía (Peduzzi, 2012) para lo cual se utilizaron los siguientes datos: 1) Base de datos espacial del CRU (Climatic Research Unit). 2) Valores del Índice Estandarizado de Precipitación estimado según la metodología de Brad Lyon, y 3) una base de datos espacial de población para el año 2010 del LandScan³⁰.

Inundaciones

La exposición física a inundaciones fue extraída de la base de datos de la UNEP (Peduzzi, 2012) en el que la superficie anual inundable se calcula en función de tres parámetros: 1) Un modelo espacial mediante SIG que expresa el nivel de agua que alcanza el río para un pico de descarga estimado con por el modelo hidrológico HydroSHEDS y la ecuación de Manning. 2) El registro de las inundaciones observadas durante el periodo 1999-2007 proporcionado por el Observatorio de Inundaciones de Dartmouth (DFO) y 3) La frecuencia que fue ajustada según la base de datos de inundaciones del PNUMA / GRID - Europa.

Así mismo se recurrió a lo generado por en el Atlas Agroclimático de Bolivia (MDRyT, 2014)³¹, en la determinación de superficies con amenaza a inundación. Para este modelamiento, se parte del análisis del Balance Hídrico, donde se consideran las diferentes etapas en que ocurre el proceso de inundación, tales como el ingreso del agua, la infiltración, el escurrimiento y la evapotranspiración. Este análisis es integral puesto que toman en cuenta no solo aspectos netamente climáticos sino biofísicos, como unidades geomorfológicas propensas a inundación, características físicas del suelo (textura, profundidad efectiva), pendiente, etc. En formato digital la información espacial en la Geodatabase.

²⁸ Ibarnegaray, V., A. Rodríguez, C. Pinto and M. Quintanilla. 2016. Quemas e incendios forestales. Frecuencia 2000 – 2015. En: Fundación Amigos de la Naturaleza. Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia (2a ed.). Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. Pp. 66-73.

²⁹ Cuellar, C., M. Quintanilla y D. Larrea. 2016. Deforestación al 2013. En: Fundación Amigos de la Naturaleza. Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia (2a ed.). Ed. FAN. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. Pp. 74-81.

³⁰ El raster de LandScan con datos de población 2010 se publicó en su tercera versión el 2012 (En la sección de densidad se incluyó también el dato al 2010, y el estimado al 2015 de la versión 4 del 2014).

³¹ Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras-Viceministerio de Desarrollo Rural Agropecuario-FUNDEPCO-OXFAM-Koninkrijk der Nederlanden. 2014. Atlas Agroclimático de Bolivia. 1ra Edición.

Cambio de vegetación

La mayor parte de los cambios que ocurren en los ecosistemas terrestres se deben a: 1) conversión en la cobertura, 2) degradación de la tierra y 3) intensificación en el uso (Lambin, 1994). Mediante la utilización de imágenes MODIS (Vegetation Continuous Fields - VCF del sensor MODIS de los años 2005 y 2010); Productos MCD44B colección 5, que contiene estimaciones proporcionales para los tipos de cobertura vegetativa: vegetación leñosa, vegetación herbácea y suelo desnudo. El producto se obtiene a partir de las siete bandas de la resolución moderada espectroradiómetro de imágenes de sensor (MODIS). El esquema de clasificación continua del producto VCF puede representar áreas de cobertura de la tierra heterogénea mejor que los esquemas tradicionales de clasificación discreta. Mientras que los sistemas de clasificación tradicionales indican donde se concentran los tipos de cobertura de la tierra, este producto VCF es grande para mostrar la cantidad de cobertura de la tierra como “bosque” o “praderas” existe en cualquier parte de la superficie terrestre. Se calculó el cambio entre estos dos periodos a partir de la diferencia normalizada de los dos productos.

Incidencia de la pobreza extrema y densidad de la pobreza

La incidencia de la pobreza se calcula mediante la combinación de la carencia de servicios básicos con base en la información del Censo de Población y vivienda generada por el INE y el Valor Bruto de Producción (VBP) a partir de la información del Censo Agropecuario 2013.

El VBP de las pequeñas unidades productivas, se calculó para el total de las especies agropecuarias que producen las UPAS (Unidad Productiva Asociativa) de la comunidad. El VBP agropecuario agregado de la comunidad, dividido entre el número de UPAs, nos permite obtener en indicador de VBP promedio por UPA, que es el segundo criterio que permite determinar el rango en el que se encuentran las categorías de comunidades en condición de pobreza.

4.6.3. Indicadores del estado actual de la degradación de tierras

Erosión

Mediante la utilización de métodos de Pedometría o Cartografía digital de suelo³² (en Anexo 4 el flujograma metodológico seguido), insumos y aplicaciones de sensores remotos y especialmente información real de campo (en formato digital, en la Geodatabase, la base de datos edáfica tabular y espacial) permitieron generar las diferentes variables edáficas en la determinación de la erosión de suelos en las tierras secas de Bolivia, mediante la ecuación de pérdida de suelo universal de revisada (RUSLE) para modelar la pérdida de suelo en Tierras Secas de Bolivia (Tierras Áridas, Semiáridas, y Subhúmedas Secas). Los factores que causan la erosión son el clima, las propiedades del suelo, cobertura vegetal y las prácticas de manejo:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Mediante la conjunción de todos los factores en la ecuación RUSLE, se pudo determinar la cantidad de suelo perdido o erosionado en tn/ha/año.

A continuación los métodos de determinación de los diferentes factores de erosión:

³² Cartografía Digital de Suelos (DSM por sus siglas en inglés) o Mapeo Predictivo del Suelo es la generación de mapas digitales de tipos de suelo y propiedades del suelo. En su generación intervienen el uso de datos de observación puntual georeferenciada y no georeferenciada tanto cualitativa como cuantitativa, datos georeferenciados provenientes de análisis de laboratorio. Se aplica la pedometría, que es el uso de modelos matemáticos y estadísticos que combinan información de muestras de suelo con la información contenida de variables medioambientales correlacionadas y aplicaciones de sensores remotos y SIG.

³³ Las badlands o tierras baldías son un tipo de paisaje de características áridas y de litología rica en lutitas, extensamente erosionado por el agua y el viento, debido a la falta de vegetación. Cañones, cárcavas, barrancos, canales, columnas de roca con formas en sus picos y otras formas geológicas del estilo son comunes en las badlands.

Cuadro 5. Métodos de determinación de los factores de erosión

FACTOR/MAPA	MÉTODO/ECUACIÓN	FUENTE METODOLÓGICA
Factor R Es la PP e índice de pérdida por erosividad (en MJ*mm\ha*año)	$R = 0,55 * P - 24,7$ P es la precipitación anual en milímetros basado en la precipitación media anual de cinco años.	Nyssen, 2005 adaptado por Humi, 1985
Factor K Es el factor de erodabilidad del suelo (en ton*ha*h/ha*Mj*mm)	$K = \frac{2,1 * 10^{-4} (12 - 14,83) * M^{1,14} + 2,5 * (p - 3)}{100}$ MO es el porcentaje de la materia orgánica; M es el parámetro del tamaño de la partícula, definido como: M = (%Arena fina + %Limo) * (100 - %Arcilla) 'p' es la clase de permeabilidad del suelo. Se multiplica por 0,1317 para convertirlos al sistema de unidades (t*ha*h/ha*Mj*mm)	Renard et al., 1997
Factor LSt Es la longitud de la pendiente (adimensional)	$LSt = \left(\frac{L}{22,13} \right)^{0,57} (18,13 + 1,56 * \cos^2 \theta + 0,51 * \sin^2 \theta)$ St es la pendiente en grados y m que es el exponente que aborda la relación de pérdida de suelo de un área erosionable.	Morgan, 1986
Factor C Es la cobertura de la tierra	$C = \exp \left(\alpha + \beta \frac{NDVI}{NDVI} \right)$ α y β son constantes. β como 1 y de α como 2	Van der Kniff et al., 1999
Factor P Son las prácticas de conservación de tierras.	valores de P a áreas de agricultura en diferentes rango de pendientes.	Nielsen y Wendroth, 2003; Omuto y Vargas, 2009

Fuente: Elaboración propia

Cárcavas

La aparición de sistemas de cárcavas y de paisajes tipo “badland³³” se debe al acercamiento de eventos de lluvia torrencial sobre zonas con poca o nula cubierta de vegetación y sobre un determinado tipo de suelo y roca madre. La tipología del sustrato y del movimiento del agua superficial y subsuperficial condicionan en gran medida la aparición de las cárcavas siendo frecuente su desarrollo sobre materiales arcillosos, limosos, regolitos, y arenas y conglomerados poco consolidados. No obstante, las actividades agrícolas y la deforestación asociada son en muchos casos, el factor desencadenante de la erosión en canales de incisión que dan lugar a la aparición de cárcavas (Menéndez-Duarte et al., 2007). Para su determinación se tomaron en cuenta las Pendientes y la Red Hidrográfica, extraídos a partir del Modelo Digital de Elevación (SRTM) y aplicaciones del módulo Hydrology. Así mismo, el tipo de material parental y la existencia o no de cobertura de la tierra es importante en la protección del suelo frente a la intensidad de efectos climáticos y para este efecto el NDVI provee la información respectiva.

La fórmula de la asignación de pesos y/o estandarización mediante la suma jerarquizada, calcula el peso o valor W_k para el criterio k de acuerdo a la fórmula donde n es el número de criterios. El peso se ajusta al rango según su orden de los criterios definidos en el conjunto S , y donde se cumple que el peso del factor o criterio más importante (i) siempre es mayor al menos importante por tanto: $w1 \geq w2 \geq \dots \geq wn \geq 0$.

$$W_k = \frac{n + 1 - k}{\sum_{i=1}^n (n + 1 - i)}$$

Salinidad/sodicidad

Para evaluar la degradación del suelo respecto a la salinidad – sodicidad, como en los otros indicadores respecto a suelos, se combinaron técnicas de Pedometría (cartografía digital de suelo), insumos y aplicaciones de sensores remotos y especialmente información real de campo.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad del suelo (extracto de saturación) para conducir la corriente eléctrica, como tal, es determinada en un medio líquido (mmhos/cm). La **CE** está estrechamente correlacionada con la salinidad del suelo.

Cuadro 6. Clasificación de suelos según salinidad

TIPO DE SUELO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	EFFECTOS
Suelos normal	< 2 dS/m	Casi nulos
Salinidad ligera	2 – 4 dS/m	Puede afectar a cultivos sensibles
Salinidad moderada	4 – 8 dS/m	La mayoría de los cultivos son afectados
Salinidad fuerte	8 – 16 dS/m	Solo pueden prosperar cultivos tolerantes
Salinidad extrema	> 16 dS/m	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes

Fuente: Ibáñez, I. 2008

Relación de adsorción de sodio (RAS)

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), representa el porcentaje de sodio respecto a los demás cationes adsorbidos y se expresa en forma de porcentaje.

Otra manera de determinar la sodicidad de un suelo es evaluar la concentración de Na^+ en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como hace el PSI. Para estimar así el grado de sodificación, (Richards et al., 1954) proponen la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en mmol / dm^3 de las soluciones salinas:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{Ca + Mg}{2}}$$

Dependiendo del tipo de suelo, en función de la cantidad de materia orgánica presente, el índice RAS varía. Es así que, de manera estandarizada se tiene que valores de RAS menores a 5 son aceptables; entre 5 – 10 son dudosos y valores mayores a 10 son de alto riesgo.

Pérdida de fertilidad

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Con el fin establecer las bases de información para una plataforma de monitoreo de la pérdida de fertilidad del suelo, estrictamente del medio químico edáfico, se generan diferentes variables o propiedades químicas que sean la base funcional del suelo en cuanto a la productividad, ya que la fertilidad y el medio bioquímico del suelo dependen de estas (Vargas, 2009). En este entendido, los parámetros edáficos analizados son los siguientes, y en el cuadro 4 los rangos de categorización de las variables del medio químico edafológico:

Materia orgánica

La materia orgánica del suelo lo compone una mezcla heterogénea de productos resultantes de las transformaciones microbianas y químicas de los restos orgánicos (hojarasca, organismos muertos, etc.) expresados en porcentaje (%). La materia orgánica puede existir en diferentes patrones morfológicos, clasificándolos de acuerdo al grado de descomposición (humus).

pH

El pH de la solución nutriente puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente: la disponibilidad de los nutrientes, ya que, con los valores extremos de pH se produce la precipitación de ciertos nutrientes permaneciendo en forma no disponible para las plantas.

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, de acuerdo a su contenido en arcilla. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. Se las expresa en me/100gr.

Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de la planta que lo requieren en grandes cantidades (NH_4 o NO_3). El N es necesario para la síntesis de la clorofila y por lo tanto en el proceso de la fotosíntesis. La carencia de N no permite que la planta utilice la luz solar como fuente de energía en el proceso de la fotosíntesis y la planta pierde la habilidad de ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes. Es también un componente esencial de los aminoácidos, los cuales forman proteínas, por lo tanto, el N es directamente responsable del incremento del contenido de proteínas. Es expresado en porcentaje (%).

Cuadro 7. Rangos de los parámetros analizados

Referencia	Landon J. R. (ed.) 1991. Booker soil manual.	Landon J. R. (ed.) 1991. Booker soil manual. Modified for NARL	Olsen and Dean (1965)	Landon J. R. (1991)	NARL
Grado	CEC me/100g	pH	P (ppm)	N	% MO
1	> 40	6.7-6.9	> 15.0	> 0.5	> 4
2	25 - 40	6.0-6.6, 7.0-7.4	10.0-15.0	0.2-0.5	2 - 4
3	15 - 25	5.0-5.9, 7.5-8.4	< 10	< 0.2	< 2
4	5 - 15	4.5-4.9, 8.5-8.9	-	-	-
5	< 5	<4.5, > 9.0	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Fósforo

La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero el papel que desempeña es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN, muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con el fósforo, y los átomos de fósforo proporcionan la base para la formación de los enlaces de alto contenido de energía. Son disponibles para las plantas en forma de fosfatos. Es expresado en ppm.

Pérdida de biodiversidad

Bolivia es uno de los países megadiversos a nivel mundial, por tener un territorio que pertenece a diferentes tipos de biomas (Amazónico, Cerrado, Chaqueño Bosques nublados o el Boliviano-Tucumano, Altiplano), por tener la Cordillera de los Andes, que favorece la existencia un gran número de ecosistemas y por presentar una gradiente latitudinal, que oscila entre 90 y 6.542 msnm, con variedades climáticas (Ibisch y Mérida, 2003).

Biodiversidad: riqueza de especies

El territorio boliviano representa el 0,2% de la superficie mundial. Sus bosques alcanzan alrededor del 3,5% de los bosques del mundo y sin embargo, en el país se encuentran entre el 45 y 55% de toda la diversidad biológica mundial. Su territorio comprende 7 biomas, 36 regiones ecológicas y 205 ecosistemas, destacándose los ecosistemas de los Yungas, la Amazonía, el Bosque Chiquitano, el Gran Chaco y los Bosques Interandinos. En este espacio geográfico megadiverso cohabitan una de las reservas silvestres más grandes del mundo

Para este componente, se ha compilado y sistematizado bases actualizadas de información georeferenciada para diferentes grupos de flora y fauna de Bolivia. Esta información fue utilizada para modelar la distribución potencial de especies de cada grupo y generar mapas sobre los patrones geográficos de su distribución (FAN, 2009). De esta forma se generan centros de riqueza potencial de especies de tres grupos de fauna (murciélagos, reptiles y anfibios), y cinco grupos de plantas (palmeras, gramíneas, fabáceas, moráceas y asteráceas) de Bolivia. Cada mapa presenta una clasificación que varía de acuerdo al número de especies.

Riqueza de endemismo

Es un valor que combina la diversidad con el grado de endemismo, es decir con la restricción del rango geográfico de las especies que ocurren en un lugar, e ilustra la contribución del lugar específico a la diversidad general del área de estudio (Araujo, 2010).

Con base a los mapas de riqueza de especies y endemismo, se elaboró, el mapa de biodiversidad. El índice de diversidad se calcula a través de expresiones matemáticas que relacionan el número de especies y los valores de importancia tales como número de especies. Se realizó la sumatoria de los valores de riqueza de fauna más el valor de riqueza de flora, posteriormente se realizó la clasificación para determinar el índice de diversidad bajo los siguientes criterios: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta diversidad.

Cuando todos los individuos pertenecen a la misma especie, el índice es cero, significa que la diversidad es nula. Por lo contrario, altos valores del índice corresponden a una gran diversidad específica en la comunidad, cuando ocurren condiciones favorables del medio que permite la instalación de numerosas especies.

Pérdida de diversidad ecológica

Actualmente la biodiversidad está siendo amenazada y destruida por los proyectos extractivos la minería sobre todo en nuestra región y en el Chaco y Oriente por los proyectos hidrocarburíferos. Así mismo, existe una sobreexplotación de los suelos producto del monocultivo que está generando la desertificación y la ampliación de la frontera agrícola, lo que significa mayor deforestación y pérdida de especies vivas.

Un caso emblemático es lo ocurrido con nuestro lago Poopó, cuando en noviembre del 2015 se secó completamente, lo que provocó la pérdida de la biodiversidad acuática en flora y fauna afectando de esta forma a las comunidades locales que circundan el lago Poopó.

Para determinar la pérdida de la diversidad ecológica es necesario analizar las áreas con actividad antrópica, crecimiento de la población, ya que esto es una fuerza importante en la pérdida de especies, poblaciones y ecosistemas. Del mapa de cobertura de la tierra, las clases con alta influencia antrópica se restaron del mapa de biodiversidad. El mapa de Biodiversidad representa la sumatoria de los valores de riqueza de fauna y flora.

4.6.4. Indicadores de las respuestas a la degradación de tierras

Los indicadores de respuestas a la degradación de tierras, muestran medidas de respuesta para la conservación y el manejo sustentable de la tierra.

Áreas protegidas

Un área protegida es un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (IUCN, 2013).

Según el SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas), son territorios especiales, geográficamente definidos, jurídicamente declarados y sujetos a legislación, manejo y jurisdicción especial para la consecución de objetivos de conservación de la diversidad biológica

Para representar las áreas protegidas a nivel nacional, se consideraron los mapas de áreas protegidas nacionales, departamentales y municipales del SERNAP (2014).

Visión, extensión y tendencias de la conservación de tierras

La visión de conservación de la biodiversidad, se basa en la combinación de una o más de las siguientes prioridades:

- Viabilidad: Grandes bloques de ecosistemas en buen estado de conservación.
- Funcionalidad de ecosistemas.
- Representatividad de biodiversidad.

Para la representación de la Visión de Conservación de la Biodiversidad, se realizó un análisis de viabilidad, funcionalidad y representatividad para generar la visión de conservación, según:

- Prioridades de funciones/servidumbres ecológicas.
- Grandes bloques de ecosistemas continúa en muy buen estado de conservación.

Los aspectos de funcionalidad para identificar sitios/ecosistemas en buen estado fueron:

- Regulación climática (se priorizaron bosques húmedos a estacionales como reguladores del clima global, regional o local).
- Cambio climático (se priorizaron corredores altitudinales y ribereños, y bosques tropicales húmedos).
- Alto grado de complejidad ecosistémica (áreas de alta diversidad de especies).
- Áreas importantes para procesos hídricos (incluyen cabeceras de cuencas, grandes extensiones de terreno inundable y lagos).
- Alta riqueza de endemismo.
- Representación de unidades ecológicas (15% de cada unidad ecológica con mayores valores de riqueza de endemismo).

4.6.5. Otros indicadores

De acuerdo con el enfoque, indirectamente si hay problemas de degradación de tierras en un área rural determinada, esto puede reflejarse en parte en estos dos indicadores.

Mortalidad infantil

Esta variable da el número de muertes de niños menores de un año de edad en un año determinado por cada 1000 niños nacidos vivos en el mismo año. Esta tasa se utiliza a menudo como un indicador del nivel de salud de un país (INE, 2011).

Indicador proxy de servicios ambientales

Es importante llevar a cabo diferentes acciones para reducir la cantidad de CO₂ que se acumula en la atmósfera. Parte de la solución podría ser la captura de millones de toneladas de CO₂ producidas por los procesos industriales y el almacenamiento del CO₂ en el subsuelo y en los bosques.

El determinar áreas potenciales de almacenamiento de CO₂, refiere a la construcción del mapa de Proxy de Servicios Ambientales, para lo cual la información del mapa global de biomasa generada por Baccini et. al. (2012) a una resolución espacial de 500m.

4.7. Degradación de las tierras secas de Bolivia

4.7.1. Tipos de degradación de tierras

La percepción, la recolección de los datos, la armonización y la calidad se garantizó ser realizada por un grupo de especialistas. Los especialistas nacionales involucrados en este ejercicio cubrieron una gama de temas relacionados con la degradación, el manejo, el uso de la tierra y la conservación del suelo y el agua en el país. Para ello, la información recabada en los cuestionarios, formularios durante el trabajo de campo, con expertos y en talleres fueron muy importantes.

Así mismo, con base a la información geo-procesada, generada sobre los indicadores del estado actual de la degradación de tierras, tales como erosión de suelos, deforestación, déficit hídrico, quemadas e incendios, régimen hídrico, contaminación de suelos por salinidad y sodicidad, pérdida de biodiversidad, erosión de suelos, susceptibilidad a erosión en cárcavas, cambio de cobertura, índice de agresividad climática de Fournier, índice de la concentración de precipitación, duración de periodo de crecimientos se hizo el análisis integral de determinación de los tipos de degradación de tierras por Sistema de Uso de la Tierra SUT.

4.7.2. Grado de degradación

El grado se define como la intensidad del proceso de degradación de la tierra. Pueden producirse mapas similares a los de la magnitud de la degradación para las cuatro clases de grados diferentes: ligeras, moderadas, fuertes y extremas para cada LUS dentro de un límite administrativo. El grado de degradación puede presentarse como un resumen de todos los tipos de degradación para ese SUT específico o para un tipo específico de degradación para un SUT específico.

4.7.3. Áreas críticas y brillantes

Desde el enfoque LADA se denominan áreas críticas (Hot Spots) a aquellas zonas que deben ser priorizadas para reducir la degradación de las tierras y las áreas brillantes (Bright spots) a aquellas zonas donde las medidas de conservación, intervención y/o su propia regeneración natural y nivel de resiliencia hacen que se haya recuperado o mejorado reduciéndose la degradación de las tierras y/o mejorando la conservación y el manejo de las tierras en esas zonas. Para determinar éstas áreas bajo el enfoque LADA, se puede zonificar de dos formas:

- a) Basado solo en parámetros climáticos (Índice de Aridez), sin tener en cuenta el manejo ni las actividades antrópicas.

Este método identifica las áreas críticas (Hot spots) y las áreas brillantes (Bright spots), teniendo en cuenta la tendencia de la aridez para un periodo dado, donde se diferencia:

- Áreas de tierras secas típicas (con un rango promedio de 0,05 – 0,65 para $IA = P/ETP$)
- Hot spots (áreas menores a 0,05 para IA , donde 1 año de cada 10 o más son áridos)
- Bright Spots (áreas mayores a 0,65 para IA donde 1 año de cada 10 o más son húmedos)

- b) Teniendo en cuenta la evaluación participativa de degradación de tierras y los indicadores de degradación de tierras (UNCC – WOCAT - LADA)

4.8. Prácticas de manejo sustentable de tierras (MST)

Como primer paso, se procedió a sistematizar las fichas WOCAT (2011), procedentes de la página <https://www.wocat.net/en/knowledge-base/technologiesapproaches/database.html>, de donde se extractaron 9 fichas de las regiones Tunari (1), Cercado (8), que corresponden a las siguientes MSTs: Barreras vivas y Muros de piedra, Barreras vivas, Diques de madera, Diques de piedra, Estabilización de taludes (biotrampas), Control de cárcavas y protección de cuencas, Muros de Piedras para Terrazas de Formación, Obras Hidráulicas - Gaviones de Piedras, Zanjas de Coronación. Las fichas en formato digital y toda la base de datos cartográfica se encuentran en la Geodatabase.

Siguiendo el formato WOCAT las fichas tienen una representación gráfica de las características de la práctica de manejo así como de la zona donde se identificó por ejemplo las siguientes:

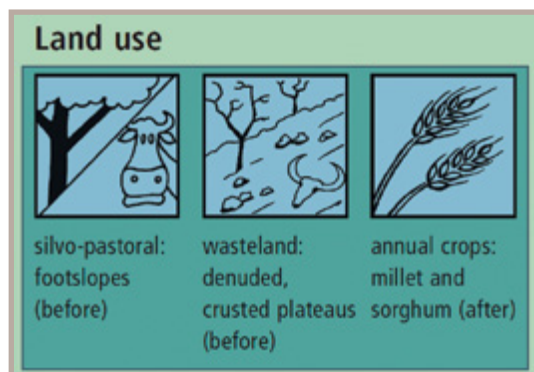


Figura 7. Leyenda y representación gráfica de Uso de la Tierra

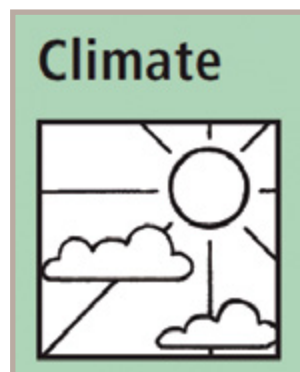


Figura 8. Leyenda y representación gráfica de Clima

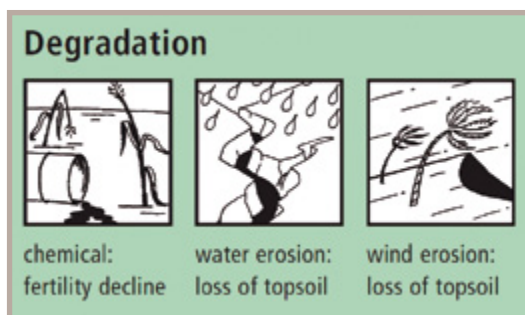


Figura 9. Leyenda y representación gráfica de degradación de las tierras

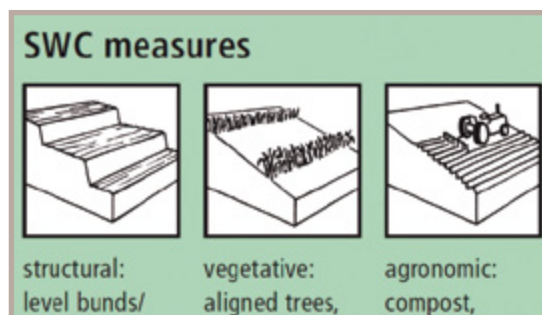


Figura 10. Leyenda y representación gráfica de medidas de conservación

Así mismo, mediante el levantamiento de información primaria a través de las encuestas y fichas WOCAT, se generaron 34 fichas de diferentes zonas del país: Chaco (12), Puna (21) y Valles (1), con casos de estudio más importantes que se aplican en tierras secas de Bolivia:

• Aljibes • Atajados • Cocinas Lorena • Ensilaje • Filtro bioarena • Gestión de Recursos naturales • Henificación manejo de monte diferido • Recuperación de peladares • Sistema silvopastoril para producción • Terrazas de formación lenta. • Abono orgánico • Abono verde • Atajados • Barreras muertas (piedra) • Barreras vivas • Compostación en ecosistema	• Elaboración de compost mejorado Bocashi • Construcción de aspersor artesanal • Construcción de Q'otas (jiska Qota) Tipo Terraplenado • Construcción y reconstrucción de Taqanas(Terrazas Agrícola) • Detectar de agua subterránea "uma ampara" • Diques de piedra para el control de cárcavas • Mejoramiento de praderas nativas • Practicas Afroforestales (Cortinas Rompevientos) • Recuperación de Bofedales • Recuperación de suelos salinos (Q'auchi) • Terrazas Agrícolas • Terrazas de formación lenta (Agrícolas) • Transformación y conservación de forrajes • Zanjales de coronación • Zanjales de infiltración para el manejo de praderas
--	--

La ubicación de proyectos, programas ejecutados en el país, en cuanto a prácticas de manejo sustentable de tierras, es muy importante. Es en este sentido que, con el fin de complementar la información de las fichas WOCAT, se recabó y clasificó datos e información de prácticas de manejo sustentable, procedentes de las siguientes fuentes:

- **GEOSIRH** Infratestructura de Datos Espaciales (MMAyA) <http://geosirh.riegobolivia.org/maps/>, en referencia a ubicación georeferenciada de proyectos referidos a Manejo Sustentable de Tierras, como son los enfocados a manejo de suelos, recursos hídricos, cobertura, etc. que afrontan riesgos de degradación de tierras y el cambio climático.
- **Base de datos MMAyA** particular (Anónimo, 2009), proveídas antes de la implementación del GEOSIRH.
- **Helvetas (2014)**. Información de proyectos de Concursos de manejo y conservación de suelos y aguas ejecutados por Helvetas.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización de las tierras secas de Bolivia

Temperatura y precipitación anual

Los valores de temperaturas mensuales en la zona de estudio varían principalmente con la altura, la temperatura mínima promedio se presenta en el mes de junio con -9.9°C en la estación Oruro (Dpto. de Oruro), la temperatura máxima llega a 35°C en el mes de enero en la estación Villamontes (Dpto. de Santa Cruz).

La variabilidad térmica depende principalmente de la altitud con un gradiente de aumento de 0.6°C por cada 1,000 m de descenso en altura, los valores de temperatura mínima, máxima y media anual oscilan entre -17 a 20°C , 0 a 27°C y -7°C a 24°C respectivamente.

Los valores de precipitación total mensual para la zona de estudio durante el periodo 1980-2016 alcanzan valores que van desde 0 mm para el mes de julio hasta un valor máximo de 294.1 mm en el mes de febrero para la estación Río Azero (Dpto. de Chuquisaca). La variabilidad espacial de la precipitación total anual presenta una tendencia de incremento con dirección suroeste - noreste desde 0 mm en la región del altiplano sur cerca de la frontera con Chile hasta valores máximos de 3,150 mm en la zona tropical del Chapare en el centro del país.

Los **mapas D-6, 7, 8 y 9** muestran la variación y distribución espacial de las temperaturas mínimas, máxima y media, así mismo la precipitación para el periodo 1980-2016.

El análisis de las series de tiempo para los datos mensuales y anuales reflejaron una tendencia positiva para las temperaturas máximas y una tendencia negativa para la precipitación y las temperaturas mínimas, la figura 12 muestra la serie de tiempo de precipitación anual acumulada para dos estaciones contrastantes de la región de estudio, Uyuni en el Departamento de Potosí y San Andrés en el Departamento de Santa Cruz, en ambos casos la tendencia es una disminución de precipitación del orden de 132 a 116 mm anuales respectivamente. La variación anual de la precipitación para ambas estaciones se muestra en la figura 13, donde se observa que Uyuni presenta precipitaciones promedio del orden de 182 mm anuales con una máxima en enero con 74 mm y la mínima en julio con 0.5 mm, a su vez San Andrés muestra una precipitación de hasta 1070 mm anuales con la máxima en enero (214 mm) y la mínima en julio (1.9 mm).

Respecto a las temperaturas mínimas la figura 14 muestra la serie de tiempo de este parámetro para dos estaciones contrastantes, Santiago de Machaca en el Depto. de La Paz y Bermejo en el Depto. de Tarija, se observa que durante el periodo de 1980 al 2016 existe una tendencia negativa del orden de 2°C en Bermejo y de hasta 5°C en Santiago de Machaca. Respecto al comportamiento anual, los valores mínimos se presentan en julio (Bermejo, 8.6°C y Santiago de Machaca, -12°C) y las máximas en enero (Bermejo, 20.9°C y Santiago de Machaca, 2.2°C).

En el caso de las temperaturas máximas la región de estudio presenta una tendencia positiva, la figura 16 muestra la serie de temperaturas máximas promedio anual para el periodo 1980-2016 en las estaciones El Alto y Mizque, que presentan tendencias 2°C y 1.5°C respectivamente. El comportamiento anual oscila entre 28 a 30.5°C para Mizque y entre 13.4 a 16.3°C para El Alto lo que indica una diferencia de temperaturas máximas de entre 1.5 a 3°C durante el año.

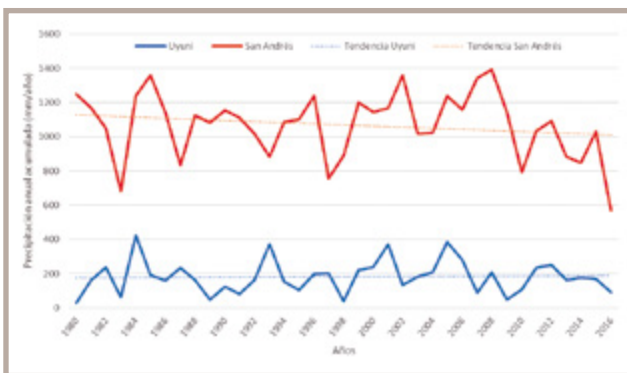


Figura 11. Precipitaciones anuales acumuladas para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

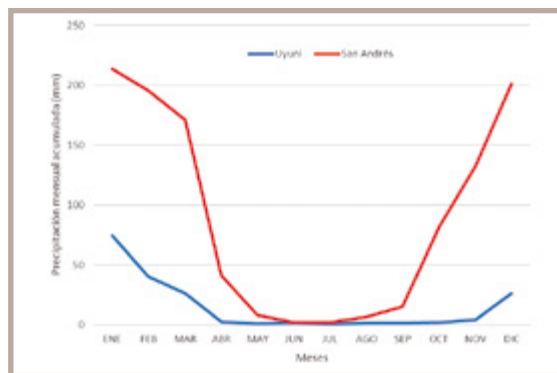


Figura 12. Precipitaciones mensuales acumuladas promedio para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

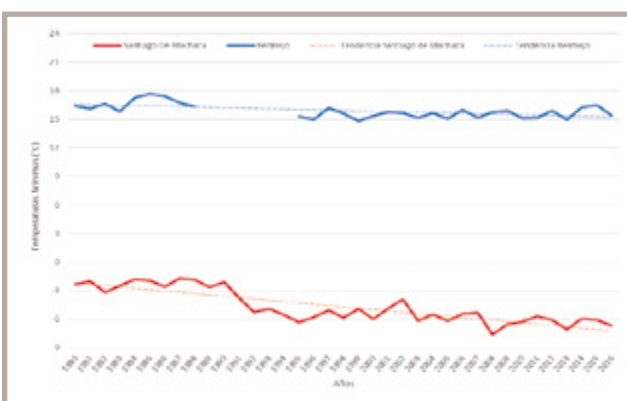


Figura 13. Temperaturas mínimas promedio anuales para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

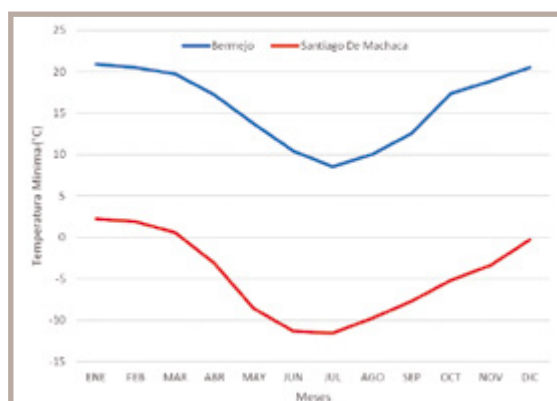


Figura 14. Temperaturas mínimas promedio mensuales para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

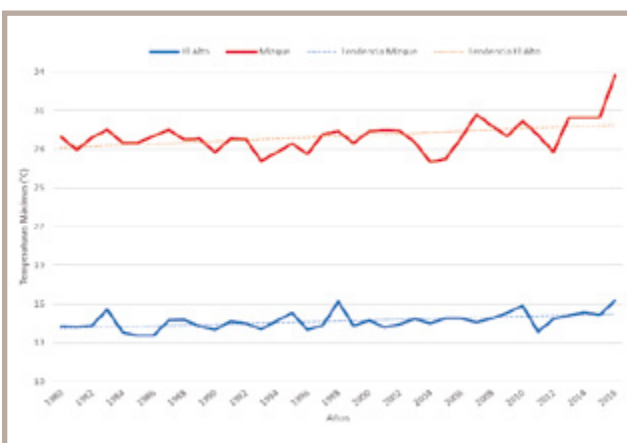


Figura 15. Temperaturas mínimas promedio anuales para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

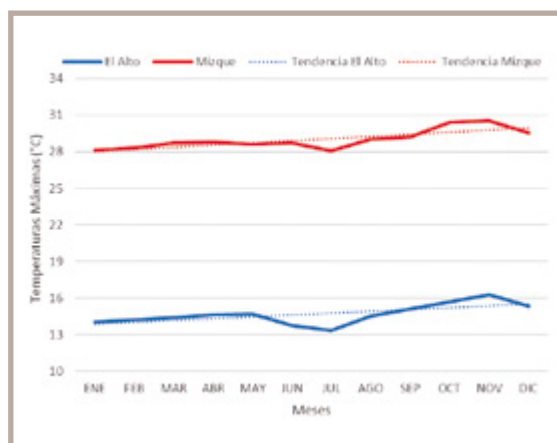


Figura 16. Temperaturas máximas promedio mensuales para el periodo 1980-2016 en dos estaciones contrastantes de la región de estudio

Evapotranspiración potencial anual

La evapotranspiración potencial total anual calculada según Hargreaves et al. (1985) refleja que para la zona de estudio los valores oscilan entre 587 mm en la estación Todos Santos (Dpto. de Oruro) hasta 1,236 mm en la estación Roboré (Dpto. de Santa Cruz).

El **mapa D-10**, muestra la variabilidad espacial de la evapotranspiración potencial, la tendencia muestra un incremento de suroeste a noreste con valores que oscilan desde 720 mm hasta los 1,985 mm al año, los mínimos se ubican en la región suroeste del país cerca de los límites con Chile mientras que los máximos se presentan al oeste en el departamento de Santa Cruz.

Índice de aridez

Las tierras secas del país presentan un evidente déficit hídrico con evapotranspiración potencial anual que supera a la precipitación anual en más del 65%. A estas zonas se denominan hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

El **mapa 1** muestra el índice de aridez para Bolivia y su correspondiente clasificación, se observa que las zonas húmeda y subhúmeda húmeda, se ubican en la zona este del país en los departamentos de Beni, Pando y norte de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, esta zona se caracteriza por valores de precipitación que superan a la evapotranspiración potencial en la mayor parte del año y existe un excedente hídrico con lo que las necesidades hídricas están cubiertas.

Las tierras secas del país, según el análisis climático, se localizan en la parte oeste y sur tal como se observa en el mapa, las zonas hiperáridas y áridas se ubican en el altiplano sur (Sur de Potosí) y parte de Oruro, las zonas semiáridas abarcan el altiplano central y norte (La Paz y Oruro), los valles interandinos (Chuquisaca, Tarija, parte de Potosí y Cochabamba) y la zona sur de Santa Cruz, finalmente la zona subhúmeda seca se sitúa en la parte centro-este de Santa Cruz y límites con Chuquisaca.

Los **mapas D-12 y 13**, muestran una tendencia de incremento, en una diferencia de periodo de 10 años, en las zonas de índice de aridez hiperárido al sudoeste del departamento de Potosí.

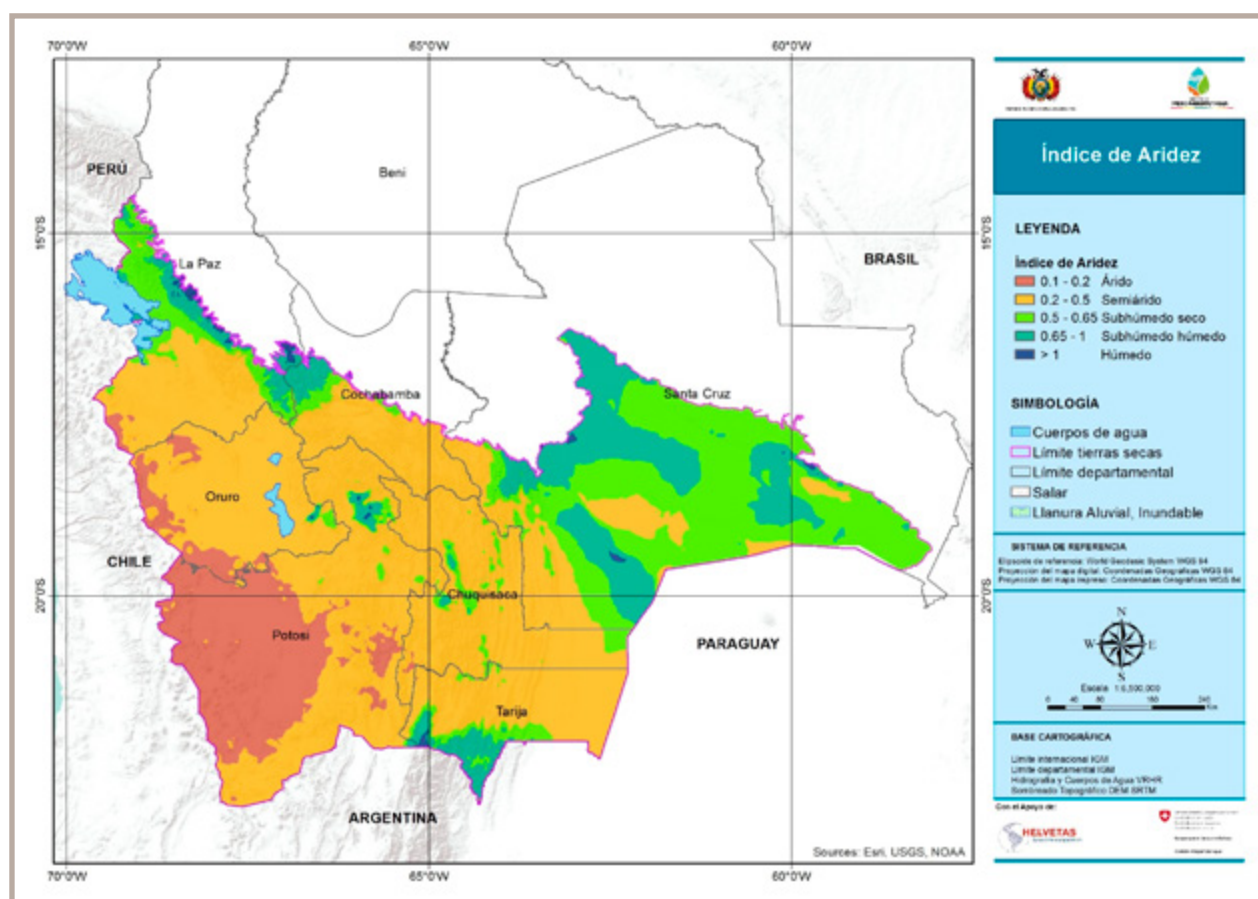
El **mapa 2** muestra el área de las Tierras Secas de Bolivia, así mismo el cuadro 8 muestra la distribución de la superficie perteneciente a tierras secas según el índice de aridez y desglosado por departamento, las tierras secas comprenden la región altiplánica, los valles interandinos y las zonas subhúmedas secas de Santa Cruz distribuidas como se detalla a continuación:

Cuadro 8. Distribución de la superficie por grado de aridez desglosado por departamentos

Departamento	Hiperárido		Árido		Semiárido		Subhúmedo seco		Subhúmedo húmedo		Húmedo	
	Mm ²	%	Mm ²	%	Mm ²	%	Mm ²	%	Mm ²	%	Mm ²	%
Chuquisaca	-	-	3.8	0.3	40.8	3.7	6.2	0.6	0.7	0.1	-	-
La Paz	-	-	11.7	1.1	23.7	2.2	13.0	1.2	14.9	1.4	70.7	6.4
Cochabamba	-	-	0.1	-	20.2	1.8	3.0	0.2	5.5	0.5	26.8	2.4
Oruro	-	-	38.9	1	3.4	0.3	-	-	-	-	-	-
Potosí	11.3	1.0	19.8	3.5	19.3	1.8	-	-	-	-	-	-
Tarija	79.1	7.2	4.2	-	26.2	2.4	5.4	0.5	1.7	0.2	-	-
Santa Cruz	-	-	3.8	-	88.3	8.0	76.5	7.0	167.9	15.3	34.1	3.1
Beni	-	-	-	-	-	-	-	-	109.6	9.9	103.9	9.5
Pando	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63.8	5.8
Total	90.5	8.2	82.3	7.5	221.9	20.2	104.2	9.4	300.2	27.3	299.3	27.4
Mm ² = 1000 km ²												

Fuente: Elaboración propia en base al mapa de tierras secas

Mapa 1. Índice de aridez



Las tierras secas comprenden la región altiplánica, los valles interandinos y las zonas subhúmedas secas de Santa Cruz distribuidas como se detalla a continuación, en el Cuadro 6.

Cuadro 9. Distribución de superficie de tierras secas y húmedas desglosada por departamento

Depto.	T. Secas		Z. Húmedas		Depto.	T. Secas		Z. Húmedas	
	km2	%	km2	%		km2	%	km2	%
Chuquisaca	51,524	4.6	-	-	Tarija	37,623	3.4	-	-
La Paz	53,669	4.9	80,316	7.3	Santa Cruz	144,690	13.2	225,931	20.6
Cochabamba	26,073	2.4	29,558	2.7	Beni	-	0.0	213,564	19.4
Oruro	53,588	4.9	-	-	Pando	-	0.0	63,827	5.8
Potosí	118,218	10.8	-	-	Total	485,384	44.2	613,196	55.8

Las tierras secas de Bolivia comprenden 485,384 km² que representan el 44.2% de la superficie total del país, a esta categoría pertenecen los departamentos de Oruro, Potosí, Chuquisaca y Tarija y parte de los departamentos de La Paz (40%), Cochabamba (47 %) y Santa Cruz (39%). Quedan excluidas de las tierras secas la región oeste del país (norte de Santa Cruz, Beni y Pando) ya que presentan un régimen húmedo.

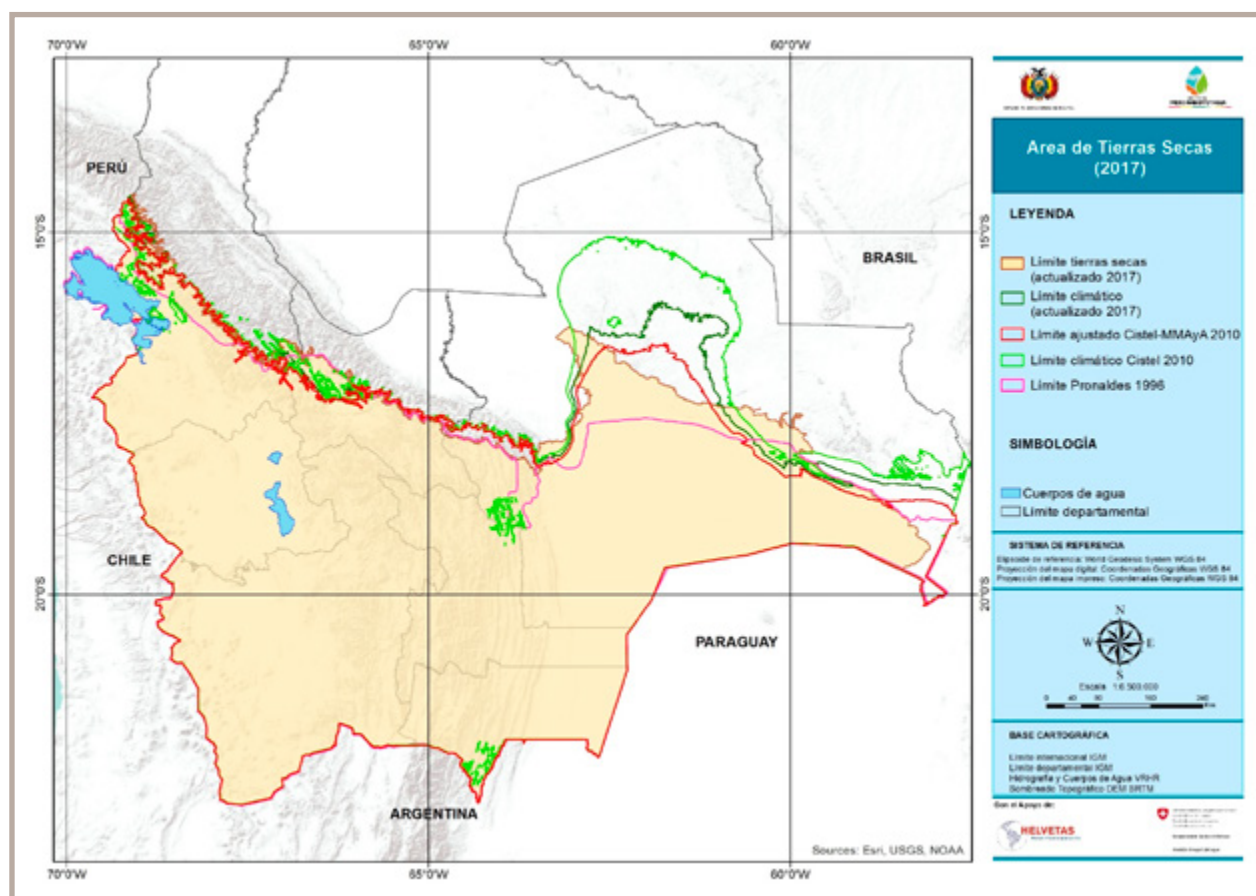
Según el índice de Aridez, quedarían excluidas de las tierras secas de la región sur de Tarija y el límite entre Chuquisaca y Santa Cruz, sin embargo considerando criterios de continuidad y que se trata de una zona de transición de tierras subhúmedas se las ha incluido para que en esas zonas se monitoree los cambios entre la zona subhúmeda seca y subhúmeda húmeda.

Las características climáticas de las tierras secas según el criterio de índice de aridez muestran que las zonas áridas (según el índice de aridez), presentan los valores más críticos en cuanto a las restricciones de crecimiento para el desarrollo de cultivos y estabilidad climática, en estas zonas las temperaturas son más bajas están cerca o por debajo de los 10°C considerado como el límite inferior del crecimiento o cero fisiológico, las precipitaciones son bajas y generalmente no pasan los 600 mm al año, como consecuencia de los altos niveles de radiación la evapotranspiración potencial alcanza valores superiores a los 700 mm al año lo que ocasiona un déficit hídrico que puede llegar a valores mayores a 1,000 mm anuales, estos factores indudablemente influyen en la duración del periodo de crecimiento el cual fue estimado en menos de 100 días al año.

En las zonas semiáridas, subhúmedas secas del índice de aridez, las temperaturas siguen siendo el factor restrictivo para el desarrollo de cultivos, las mínimas extremas alcanzan incluso valores más bajos que los de las zonas áridas (-13.4°C), la precipitación se incrementa hasta valores que van de 853 a 1013 mm anuales aunque la evapotranspiración potencial sigue siendo alta y alcanza valores de hasta 1,338 mm, aún más que las zonas áridas, con estos valores el déficit hídrico anual supera los 1,344 mm anuales y el periodo de crecimiento tiene una duración de hasta 158 días al año.

En **Anexo 5** se detallan los resultados del análisis climático sobre las características climáticas de las zonas secas de Bolivia.

Mapa 2. Área de Estudio de Tierras Secas de Bolivia 2017



5.2. Sistema de uso de la tierra (SUT)

Para el área de tierras secas de Bolivia, el uso predominante corresponde a la explotación de yacimientos mineros con un 21%, en segundo lugar uso productivo ganadero y extractivo forestal y minero: pastoreo directo por sectores, leña, carbón y combustibles fósiles (11%), el tercero es el uso productivo agropecuario, extractivo

forestal: productos maderables y no maderables; cultivos, pastoreo por sectores con un total 9, 5% y otros usos un 58,5 %.

Los **mapas D-14 y D-15** muestran los mapas del Sistema/Clasificación del Uso de la Tierra (SUT) del área de tierras secas.

Cuadro 10. Sistemas de Uso de la Tierra

CODIGO	Área (Km2)	%	CODIGO	Área (Km2)	%
0	552.3	0.1	4.6k(c)	2159.2	0.4
1.1k(b)	90.5	0.0	4.6k(i)	1006.5	0.2
1.2p(i)	6.1	0.0	4.6r(s)	6512.4	1.3
1.2q(f)	1531.5	0.3	4.6v(i)	22478.6	4.6
1.2q(g)	32114.0	6.6	4.6w(j)	40123.3	8.3
1.4k(i)	56777.3	11.7	4.6x(v)	3015.8	0.6
1.4o(j)	5773.7	1.2	6.6k(i)	141.3	0.0
1.5b(y)	5820.6	1.2	6.6v(i)	11068.7	2.3
1.5l(g)	10266.0	2.1	6.6w(j)	9217.3	1.9
2.2p(g)	9997.1	2.1	6.6w(i)	61423.1	12.7
2.2q(g)	4213.4	0.9	6.6w(i)	50741.2	10.5
2.2q(i)	18454.3	3.8	7.01	17568.2	3.6
2.2u(i)	8491.6	1.8	7.02	12978.8	2.7
2.2v(i)	2124.1	0.4	7.03	46.3	0.0
2.4a(i)	130.4	0.0	7.04	51.5	0.0
2.4ñ(i)	17803.6	3.7	7.1	283.8	0.1
3.2q(i)	8693.7	1.8	8.1	12138.9	2.5
3.2v(i)	5399.6	1.1	8.2	12059.4	2.5
3.2z(v)	16.9	0.0	8.3	417.5	0.1
3.4k(j)	252.8	0.1	8.5	677.0	0.1
3.5l(i)	19715.8	4.1	8.6	1154.0	0.2
4.6e(v)	727.2	0.2	9	5395.7	1.1
4.6k(b)	488.9	0.1	TOTAL	484716.7	100.0

5.3. Indicadores de degradación de tierras secas

5.3.1. Indicadores de fuerza motriz

Régimen hídrico o régimen de aridez

Según el mapa de Régimen hídrico (**mapa D-16**), las tierras secas comprenden las regiones xéricas, hiperáridas, áridas y semiáridas, ubicadas en el altiplano, los valles interandinos y la región centro-sur de Santa Cruz. Es decir que, el 45.4% de la superficie total del país corresponde a zonas xéricas, hiperáridas, áridas y semiáridas y el restante 54.6 % a zonas subhúmedas, húmedas, hiper húmedas, hídricas e hiperhídricas. Las regiones más secas se ubican al sur de Potosí en los límites con Chile, las zonas hiperáridas están localizadas en el altiplano sur y el sur de Santa Cruz, las regiones áridas se sitúan en el altiplano central y norte, los valles interandinos y parte de la región sur de Santa Cruz y norte de Tarija, finalmente las regiones semiáridas están ubicadas en la parte central de Chuquisaca y Tarija y el centro y norte de Santa Cruz.

Duración del periodo de crecimiento

Según el mapa de Duración de la Estación de Crecimiento (**mapa D-17**), las zonas con una condición de aridez y menor cantidad de días en la estación de crecimiento (hasta 30 días) se ubica en el altiplano sur de Potosí y al sur del departamento de Santa Cruz; las condiciones de aridez disminuyen hacia el norte y el centro, es así que en el altiplano central se presenta entre 30 a 75 días de periodo de crecimiento; más hacia el norte, en los valles interandinos y la zona central de Santa Cruz, la duración del periodo de crecimiento alcanza entre 75 a 180 días a año.

Gran parte de las tierras secas de Bolivia presentan una duración corta del periodo de crecimiento menos de 60 días, lo que limita su productividad y capacidad para el desarrollo de vegetación e incrementa el riesgo de erosión hídrica y por consecuencia el riesgo de degradación, El mapa presenta las zonas con mayor riesgo ubicadas en el altiplano sur de Potosí y en el chaco cruceño, mientras que las regiones con mayor duración del periodo de crecimiento están en el centro y oriente de Santa Cruz, el altiplano norte en La Paz y los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Potosí.

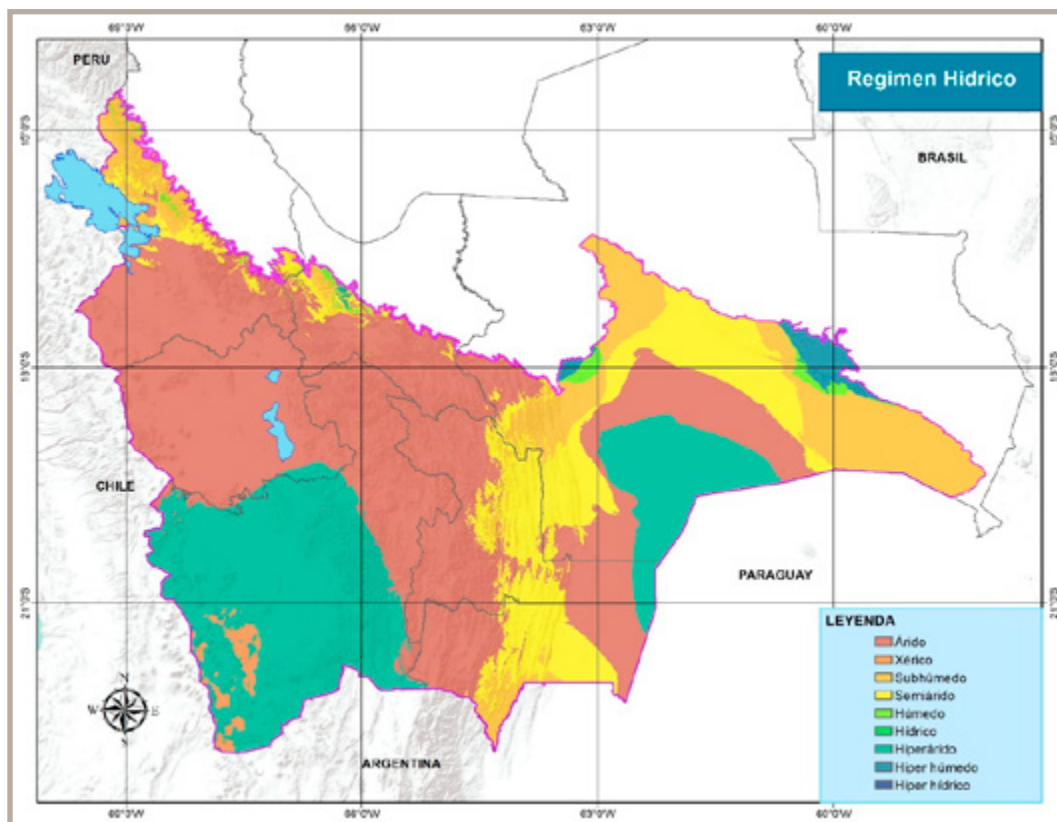
Déficit hídrico

Los valores de déficit hídrico (**mapa D-18**) para el país se presentan en las regiones con valores de evapotranspiración potencial mayor a la precipitación se ubican en el altiplano central y norte (Oruro y Potosí); centro de Cochabamba y la región sur de Santa Cruz con valores que van desde los 1.300 a 1.100 mm/año; le continúan los valles interandinos con déficit entre 800 a 1.100 mm/ año.

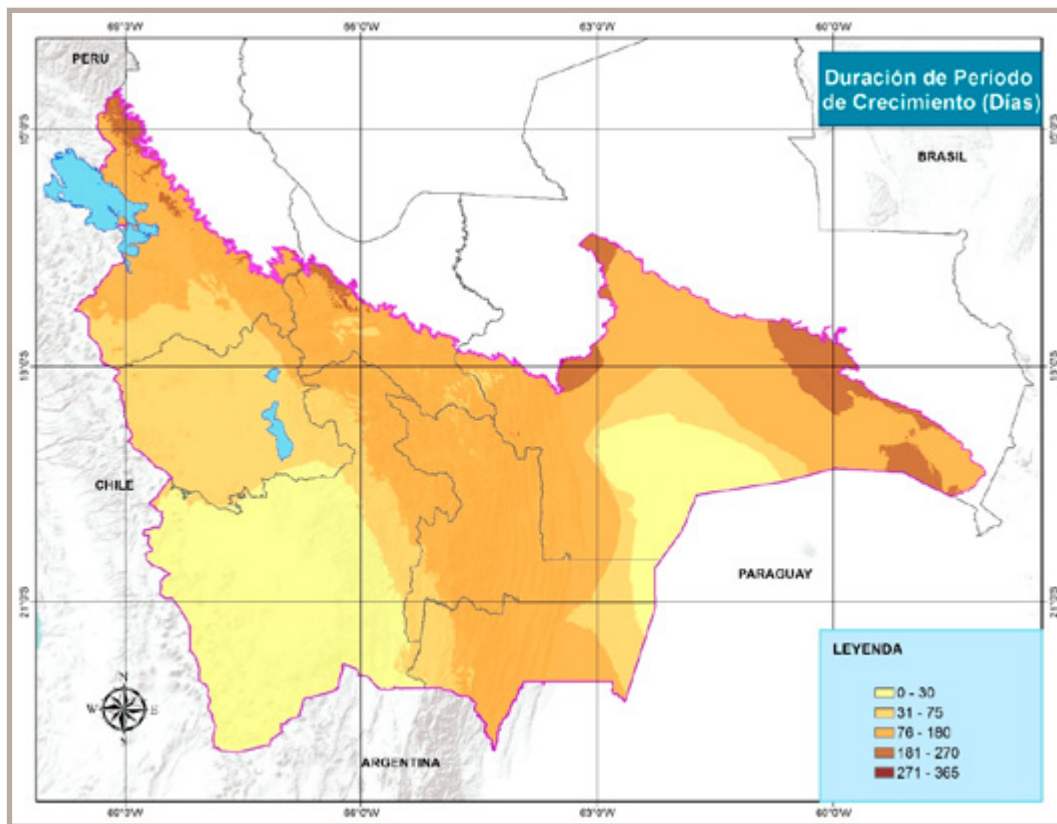
Índice de agresividad climática de fournier modificado

La agresividad de la precipitación, de acuerdo con los valores observados (**mapa D-19**), refleja que en Bolivia, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, presentan un potencial erosivo climático de muy bajo al sur y centro del departamento de Potosí, hasta niveles de muy alto en la región de la cordillera de los departamentos de Tarija y Chuquisaca y norte potosí, lo que indica que las lluvias en estas regiones representan alto riesgo de erosión hídrica, incrementándose en la medida en que la altitud es mayor; es decir, el relieve determina en gran medida la vulnerabilidad a la erosión y a los procesos erosivos por la intensidad de la lluvia, aspecto que en forma artificial se incrementa por factores tales como la deforestación y el cambio de uso del suelo.

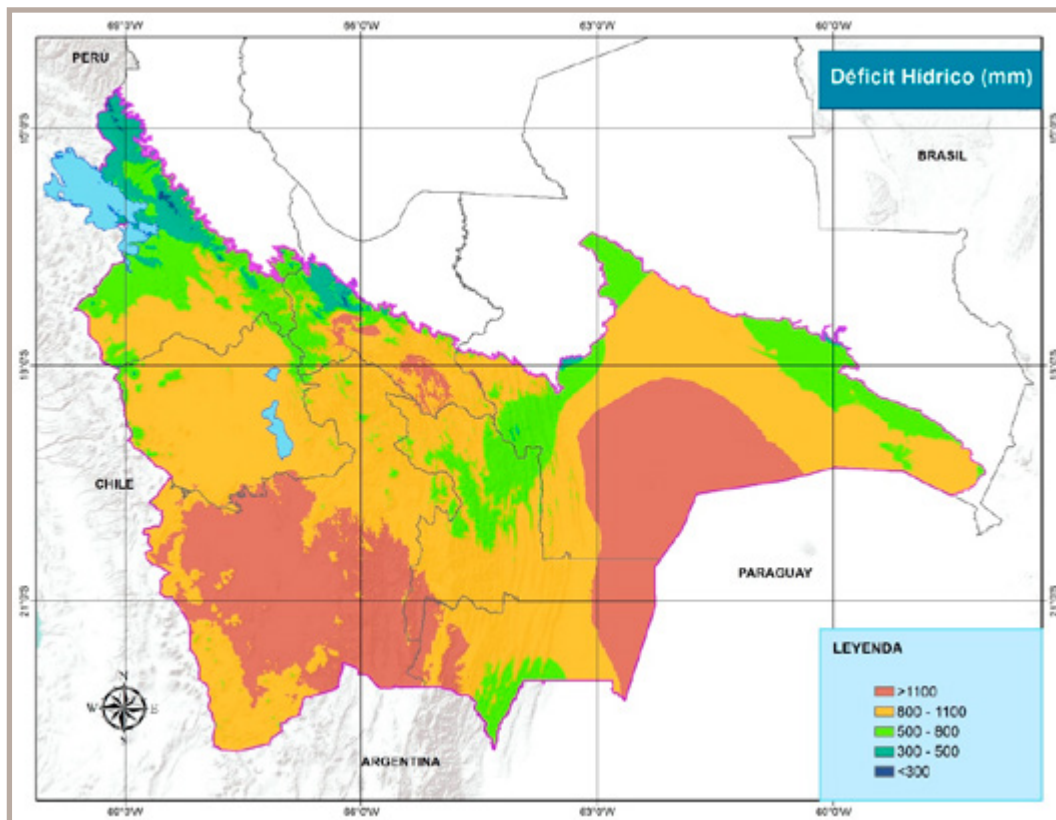
Mapa 3. Régimen Hídrico



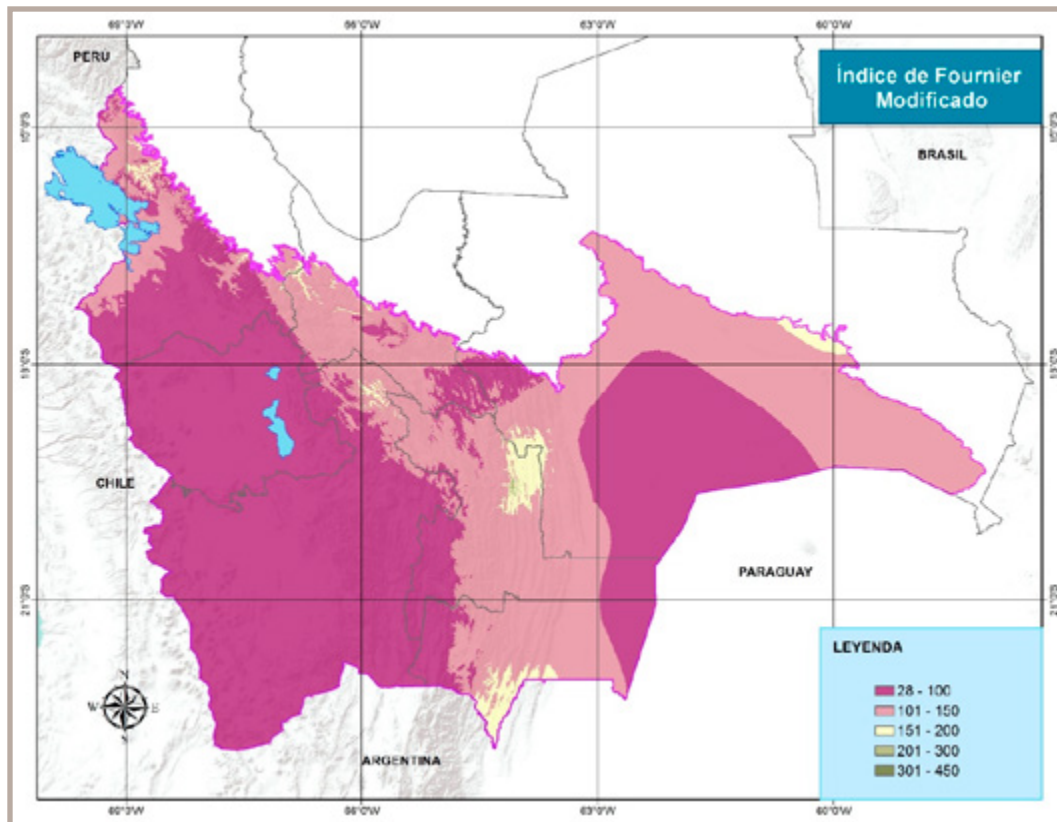
Mapa 4. DPC



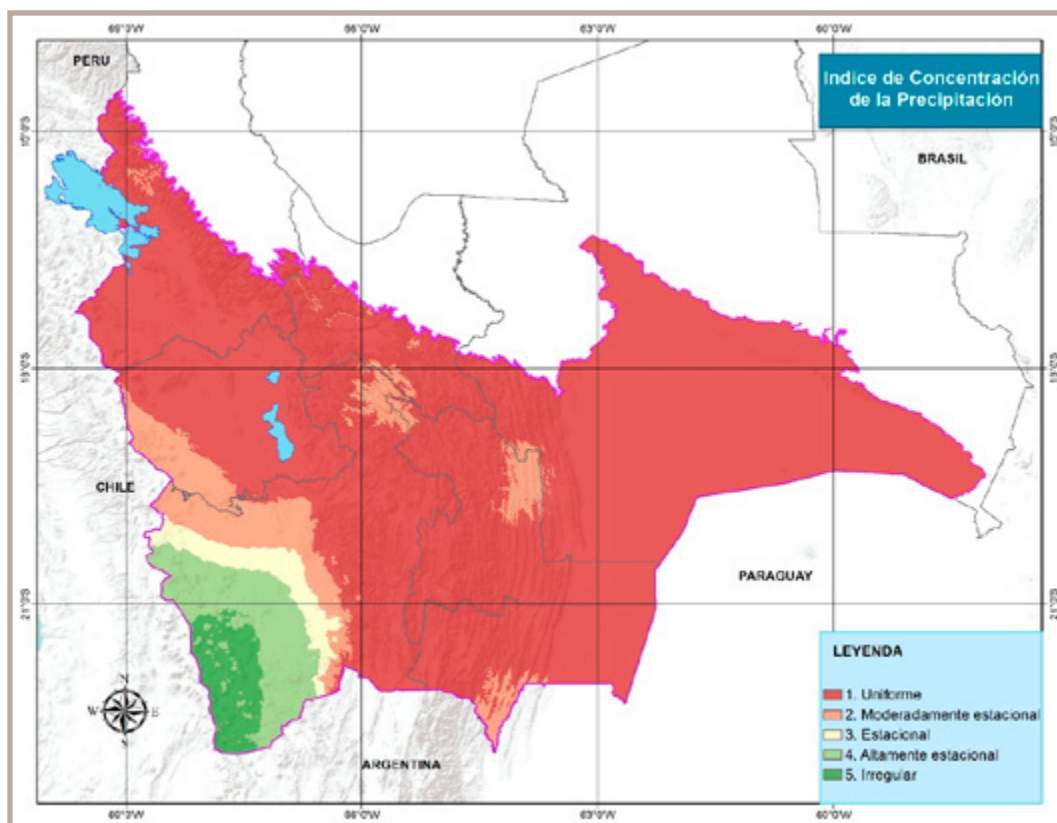
Mapa 5. Déficit Hídrico



Mapa 6. Deforestación



Mapa 7. Deforestación



Índice de la concentración de precipitación

El índice de la concentración de precipitación caracteriza la variabilidad y distribución de la precipitación a lo largo del año en las tierras secas de Bolivia. De acuerdo a este parámetro una distribución uniforme no implica mayor riesgo para el desarrollo de cobertura vegetal o actividades agrícolas y por el contrario una distribución irregular o estacional de la precipitación (valores de ICP altos) significan mayores riesgos en cuanto a la disponibilidad hídrica.

El índice de la concentración de precipitación (**mapa D-20**), muestra que la mayor parte del país presenta una distribución moderadamente estacional de la precipitación, solamente las regiones del altiplano central, sur y los valles interandinos tienen una distribución entre estacional y altamente estacional.

Análisis de tendencias de la precipitación

Los resultados de la prueba de Mann Kendall indican que en la mayoría de las estaciones existe una reducción de la precipitación. El cuadro 6 muestra la cantidad de estaciones que presentan una tendencia positiva, negativa o sin cambio en cada una de las series temporales analizadas (época seca, época de lluvias y total anual). La predominancia de las tendencias negativas es notoria en todos los casos, el 57% o más del total de estaciones exhiben este comportamiento. La cantidad de estaciones con esta tendencia es mucho mayor en los meses secos del periodo 2001 a 2016 (81%) y para el periodo total de 1980-2016 (92%); mientras que, en la década de los ochenta, la época de lluvias y el valor total anual de precipitación presentaron mayor cantidad de estaciones con una disminución de la precipitación. Durante los noventa la tendencia de precipitación estuvo distribuida en proporciones similares para los cambios positivos (41% a 57%) y negativos (44% a 58%).

Cuadro 11. Tendencias de precipitación en las tierras secas de Bolivia expresadas como valor porcentual del total de estaciones meteorológicas analizadas

Periodos	1980-1990			1991-2000			2001-2016			1980-2016		
Tendencia	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio
Época Seca	57,8	41,3	0,9	58,8	41,2	0,0	81,1	17,7	1,2	92,3	7,1	0,6
Época de lluvias	75,4	18,5	6,1	44,1	56,9	0,0	73,1	26,1	0,8	58,9	41,1	0,0
Total anual	67,3	32,4	0,3	46,5	53,5	0,0	59,6	39,4	1,0	74,9	24,1	0,0

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al análisis por periodos se puede observar que las máximas diferencias entre los valores de precipitación se dan durante los 40 años analizados, seguido por la década del 2000 y por último la década de los noventa, esto sugiere que los mayores cambios positivos y/o negativos se produjeron en los últimos 20 años.

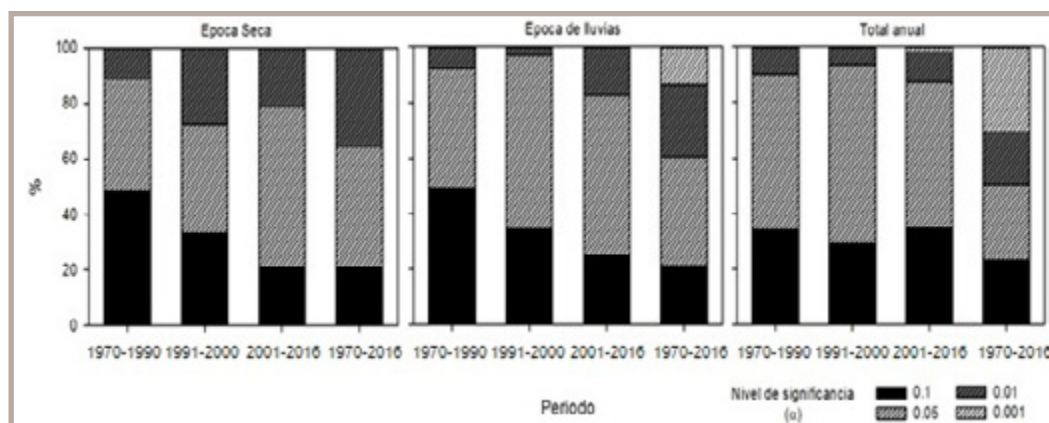


Gráfico 1. Distribución porcentual de la cantidad de estaciones que presentan diferencias estadísticas significativas en la precipitación para cada uno de los periodos analizados y diferentes niveles de significancia (a).

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior podemos concluir que las tendencias de precipitación durante los últimos 46 años en las tierras secas de Bolivia fueron mayormente negativas es decir que se observó una reducción de la cantidad de precipitación en especial en las regiones subhúmedas secas como Santa Cruz y por el contrario se observó un incremento de la precipitación en las regiones áridas y semiáridas principalmente en el altiplano. La década de los noventa fue la que presentó mayor tendencia tanto positiva como negativa. Las tendencias en la época de lluvias son un incremento de la precipitación al oriente de Santa Cruz y en el altiplano y una reducción en las zonas semiáridas y subhúmedas secas, mientras que para la época seca las zonas áridas y semiáridas se hacen más húmedas y las subhúmedas más secas. Las diferencias encontradas solo son estadísticamente significativas a niveles de significancia más altas ($\alpha \geq 0.05$), si se considera el análisis por décadas, pero alcanzan mayor significancia cuando se considera el periodo de 46 años, estas diferencias se ubican generalmente en los valles interandinos del sur principalmente entre Potosí, Chuquisaca y Tarija y parte del altiplano central en Oruro.

5.3.2. Indicadores de presión directa

Presiones: deforestación, quemas

El departamento con mayor presión por deforestación y por incendios forestales en tierras secas es Santa Cruz. Debido a las características de tierras secas, 2,8% está afectada por quemas e incendios (2015). Un 14,5 % de la zona de estudio ha sido deforestada hasta el año 2013. Fuera de Santa Cruz, los demás departamentos no tienen superficies significativas en las categorías de presiones por deforestación y quemas (**mapa D-21**).

Es importante considerar que para el departamento de Santa Cruz la principal presión de conversión de las tierras es impulsada por la agricultura a gran escala y la ganadería. El mapa D-22 muestra el incremento de los incendios forestales responde a la demanda de nuevas áreas para la agricultura, dada la metodología utilizada en Bolivia de roza, tumba y quema, más la inadecuada planificación del uso de fuego transforman las quemas en incendios (Rodríguez A., 2012).

Causas climáticas: amenazas naturales

Exposición física a sequía

El **mapa D-23**, muestra el grado de exposición a la sequía para las tierras secas de Bolivia, las zonas más vulnerables o expuestas se ubican en las ciudades más pobladas como La Paz y Cochabamba; mientras en las zonas con menor población la exposición se reduce a valores inferiores a 2,000 personas afectadas. Las zonas más expuestas deben ser consideradas prioritarias para emprender acciones que disminuyan los efectos de la degradación principalmente estrategias orientadas a la reducción de la pobreza y mejoramiento de la calidad de vida.

Inundaciones

Los resultados obtenidos para las tierras secas de Bolivia se muestran en el **mapa D-24**, donde se observa que las zonas con mayor frecuencia se ubican a lo largo de los ríos Grande, Parapetí y Piraí en Santa Cruz donde ocurren más de 40 inundaciones al año, a estos le sigue en Tarija el río Pilcomayo con 30 inundaciones al año. En el altiplano norte de Potosí y centro de Oruro (en la región de los salares) las inundaciones se dan con una frecuencia de diez veces al año, una situación similar se observa en muchos de los ríos de la zona central de Santa Cruz en la región de la Chiquitanía. En los valles es menos frecuente, pero se presentan desbordes en la región del valle central y bajo de Cochabamba.

El río Desaguadero discurre en dirección sureste, cruzando el departamento de La Paz y luego el departamento de Oruro, donde desemboca en el Lago Poopó, tras un recorrido de 436 km.

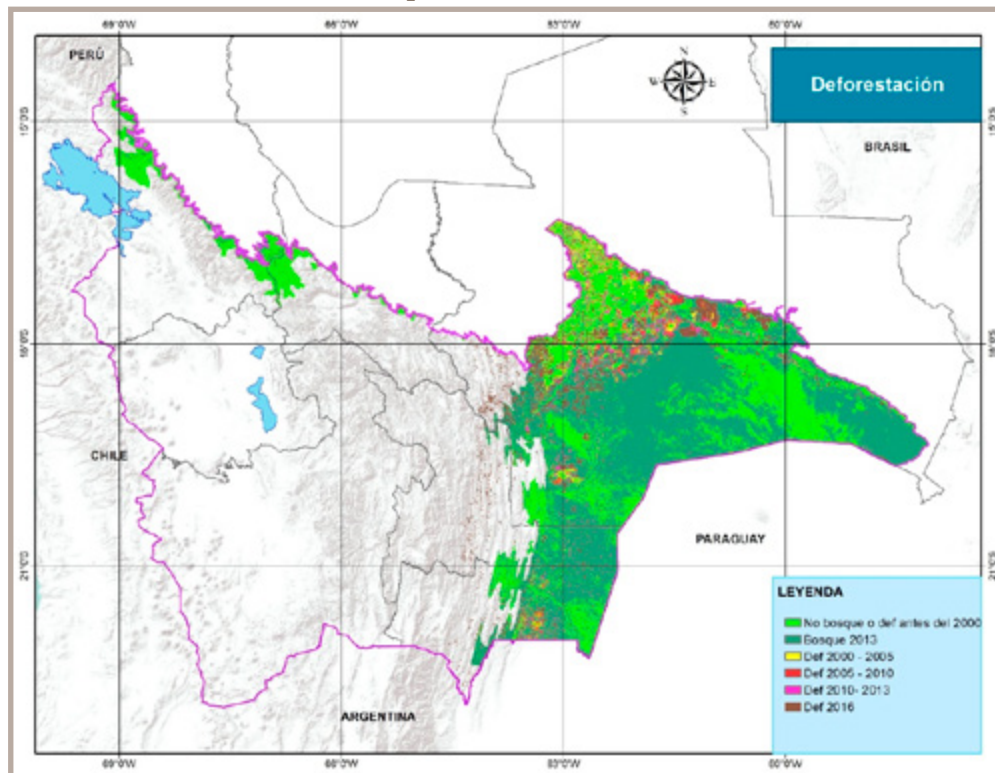
La inundación que el río Desaguadero trae son las llanuras anchas (del Puente Internacional a Nazacara); Zona montañosa (de Nazacara a Chilahuala); y las Llanuras de inundación (de Chilahuala al lago Poopó). La pendiente media es del 0.45 por mil (45 cm por cada km).

Cambio de vegetación

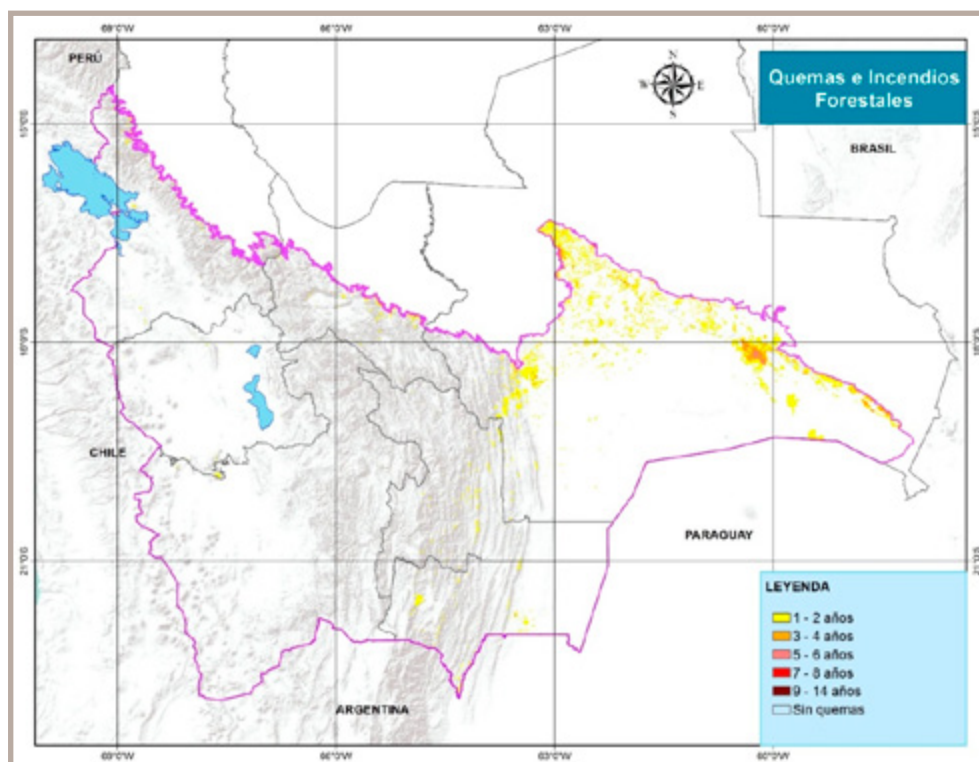
El mapa de cambio de vegetación (mapa D-25), muestra el porcentaje de cobertura de vegetación por pixel, donde se advierte un cambio de vegetación preponderante en los valles de la cordillera oriental, gran parte de

la región del departamento de Santa Cruz y al lado este de los departamentos de Chuquisaca y Tarija. Es muy probable que la mayor parte de los cambios que ocurren en estos ecosistemas se deben a: 1) conversión en la cobertura, 2) degradación de la tierra e 3) intensificación en el uso.

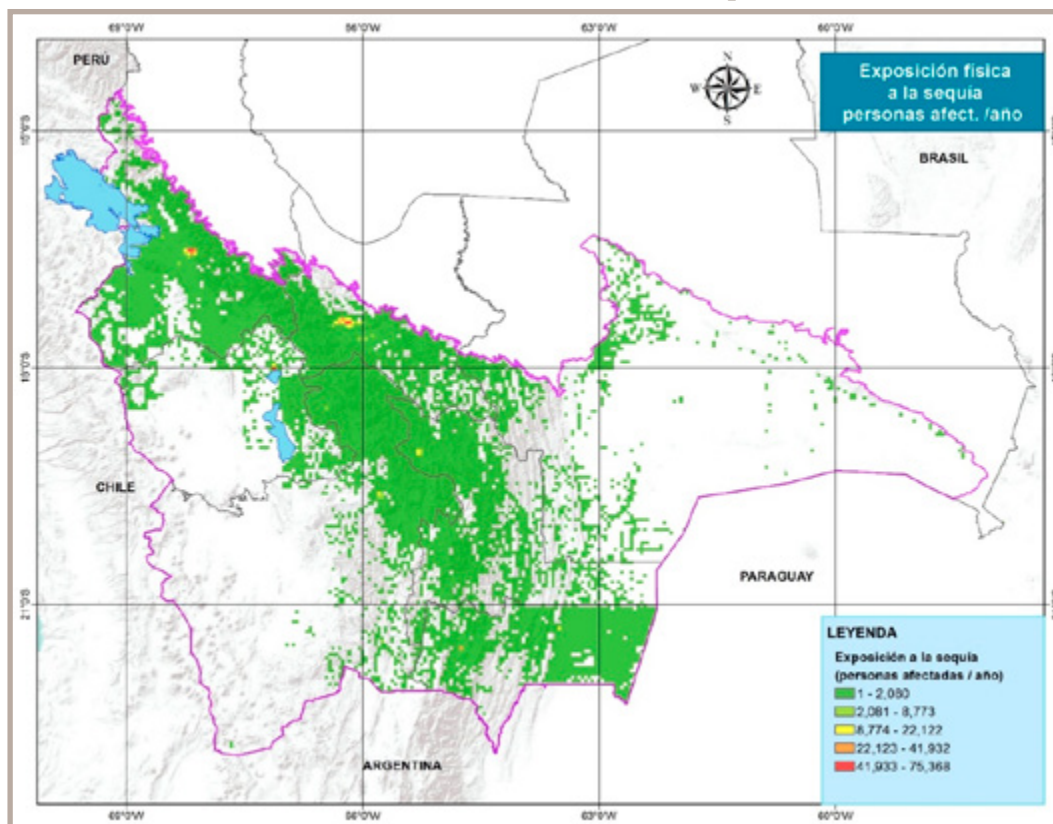
Mapa 8. Deforestación



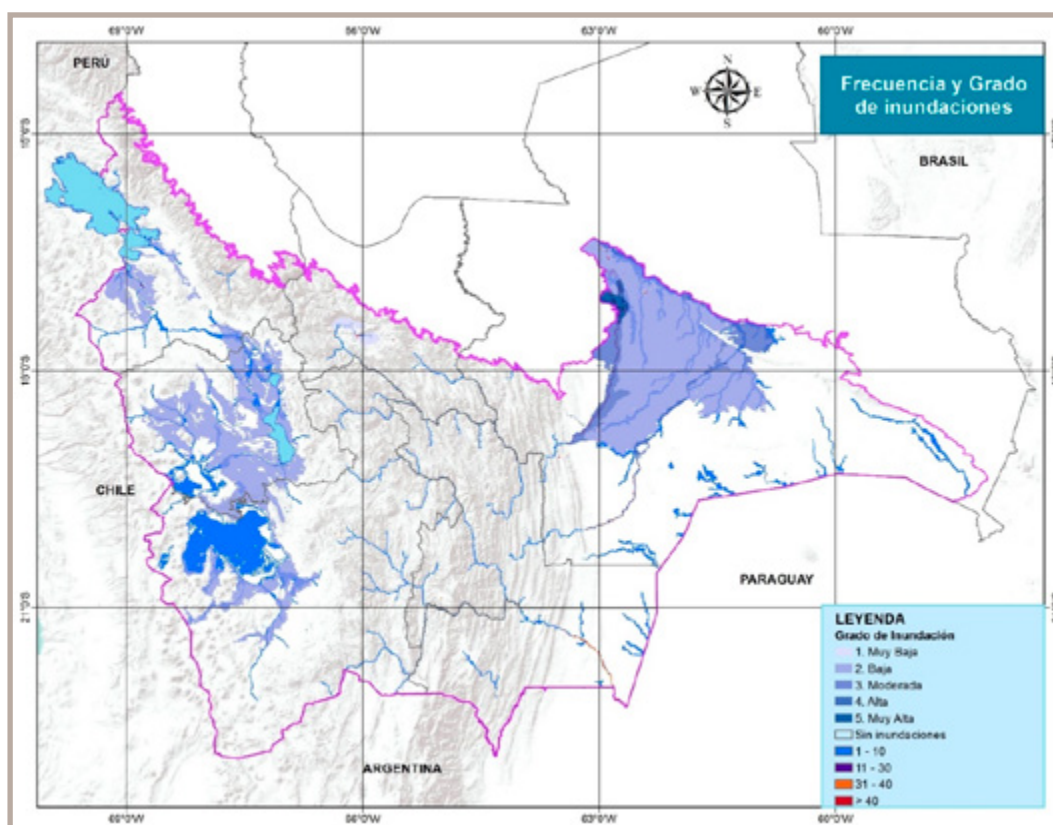
Mapa 9. Quemas e Incendios forestales



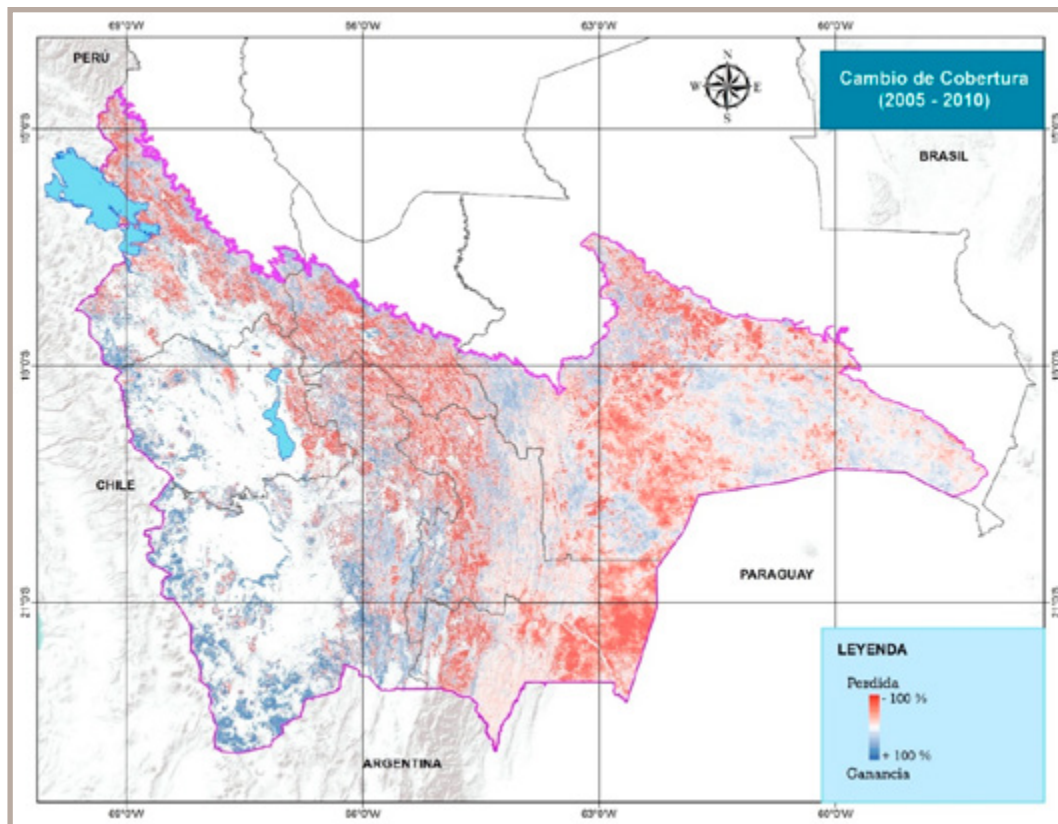
Mapa 10. Exposición física a la sequía



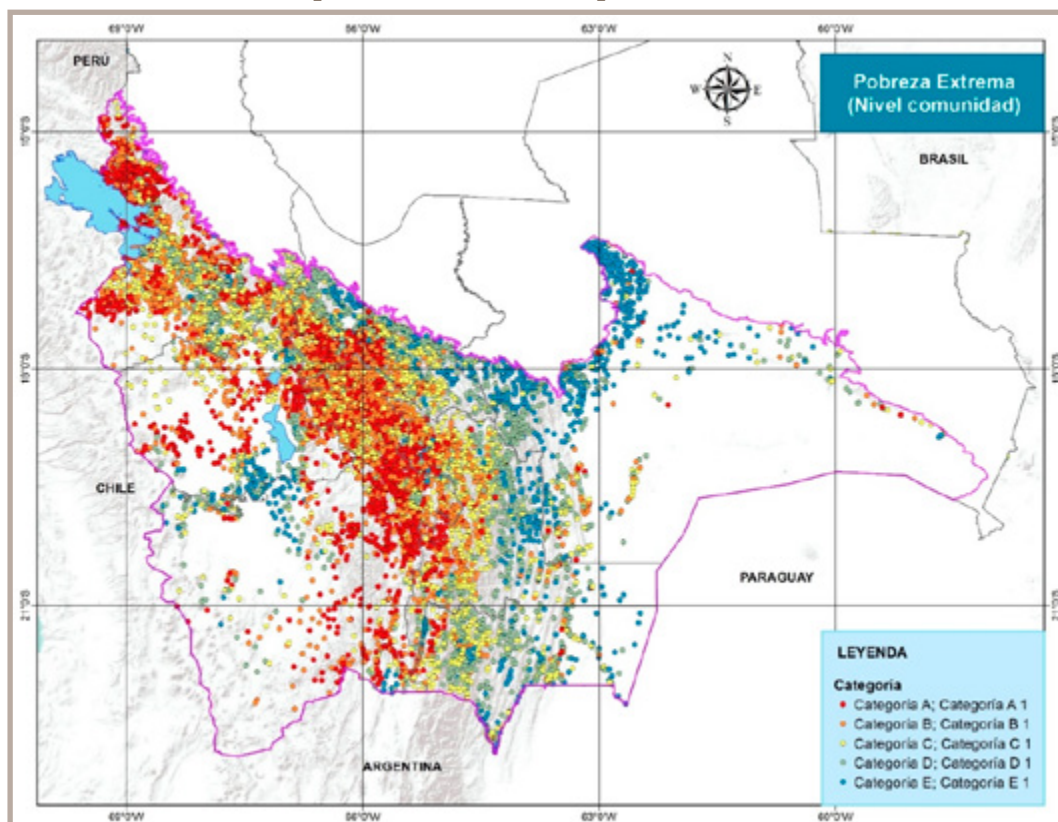
Mapa 11. Frecuencia y grado de Inundaciones



Mapa 12. Cambio de vegetación



Mapa 13. Incidencia de la pobreza extrema



Incidencia de la pobreza

El mapa **D-26** muestra que los municipios con mayor incidencia de pobreza se encuentran en la región central del área de estudio: oeste y sur del departamento de La Paz, sur de Cochabamba, gran parte de los departamentos de Oruro y Potosí.

Para definir las categorías de comunidades según los dos criterios de análisis, se ha distribuido el total de comunidades en cinco grupos, situando a las comunidades de las categorías A, B y C como las de mayor pobreza en relación a las de las categorías D y E, que generan un mayor VBP promedio por UPA y que cuentan con un mayor porcentaje de su población que cuenta con acceso a servicios básicos.

5.3.3. Indicadores del estado actual de la degradación de tierras

Erosión de suelos

Las mayores cantidades de suelo erosionado se tienen en la cordillera occidental ya que las fuertes intensidades de lluvia, aunque en periodos cortos, ocasionan un desgaste de suelo. A esto se suma la poca cobertura del suelo por las fuertes pendientes y elevadas altitudes. En las partes planas, el desgaste de suelo se debe de sobremanera a la poca agregación de las partículas de suelo, especialmente la zona del intersalar al predominar texturas arenosas. De la misma forma, la indiscriminada ampliación de la frontera agrícola hace que la cobertura natural desaparezca haciendo que se cambie el ecosistema que por demás ya es muy frágil (mapa D-38).

A continuación se hace una comparación entre los resultados de PRONALDES (1996) y el presente estudio (2016) con respecto a los grados de erosión y superficie erosionada. Notar que las metodologías son distintas en su elaboración: Pronaldes (convencional área-polígono-subjetivo); el presente estudio (moderno-continuo-cuantitativo).

Cuadro 12. Grados de erosión en la región árida, semiárida y subhúmeda seca (1996)

	Año 1996	Km²	%
Erosión	Nula o áreas de deposición	42733,0	9,5
	Ligera (0-10 tn/ha/año)	44497,0	9,9
	Moderada (11-30 tn/ha/año)	65926,0	14,6
	Fuerte (31-50 tn/ha/año)	111543,0	24,7
	Muy fuerte (51-100 tn/ha/año)	118112,0	26,2
	Grave (101-200 tn/ha/año)	41870,0	9,3
	Muy grave (>2001 tn/ha/año)	4019,0	0,9
Otras áreas	Afloramientos rocosos*	0,0	0,0
	Llanura Aluvial, Inundable	2379,0	0,5
	Cuerpos de Agua	6831,0	1,5
	Salares	13033,0	2,9
	Total	450943,0	100,0

Fuente: PRONALDES

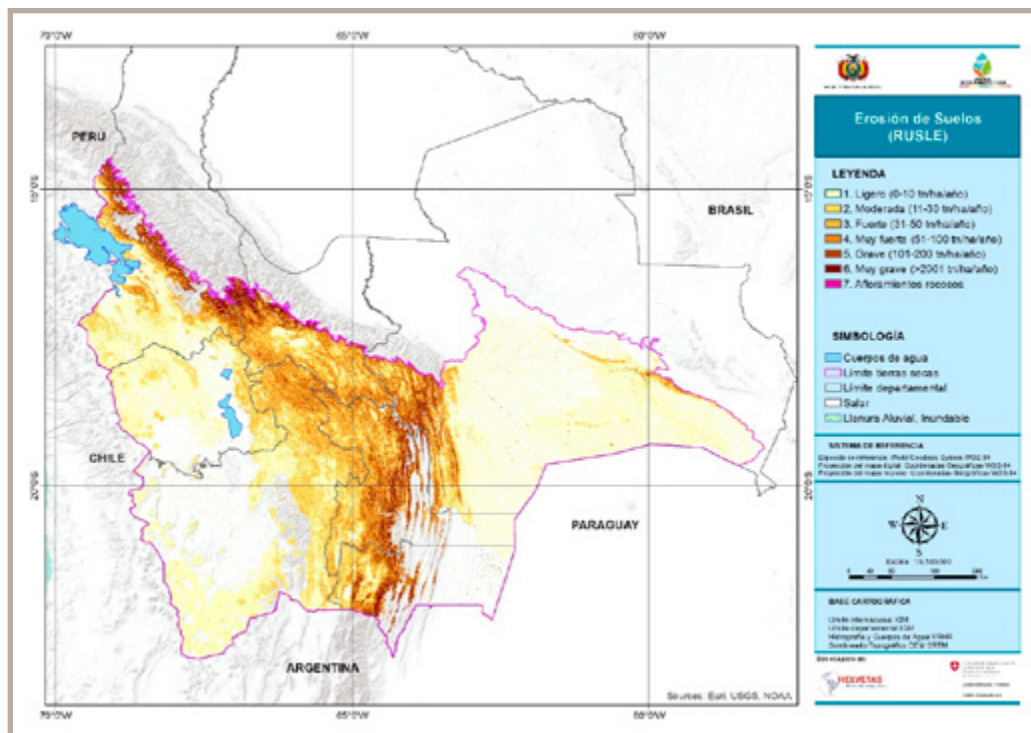
Cuadro 13. Grados de erosión en la región árida, semiárida y subhúmeda seca (2016)

	Año 2016	Km²	%
Erosión	Nula o áreas de deposición	182794.3	37.7
	Ligera (0-10 tn/ha/año)	133967.4	27.7
	Moderada (11-30 tn/ha/año)	48731.6	10.1
	Fuerte (31-50 tn/ha/año)	32743.6	6.8
	Muy fuerte (51-100 tn/ha/año)	39029.4	8.1
	Grave (101-200 tn/ha/año)	19655.1	4.1
	Muy grave (>2001 tn/ha/año)	5304.3	1.1
Otras áreas	Afloramientos rocosos*	373.8	0.1
	Llanura Aluvial, Inundable	2339.3	0.5
	Cuerpos de Agua	6714.2	1.4
	Salares	12782.6	2.6
	Total	484435.6	100.0

Nota: Las zonas de afloramientos rocosos se incluyeron por el avance del límite de tierras secas

Fuente: Elaboración Propia

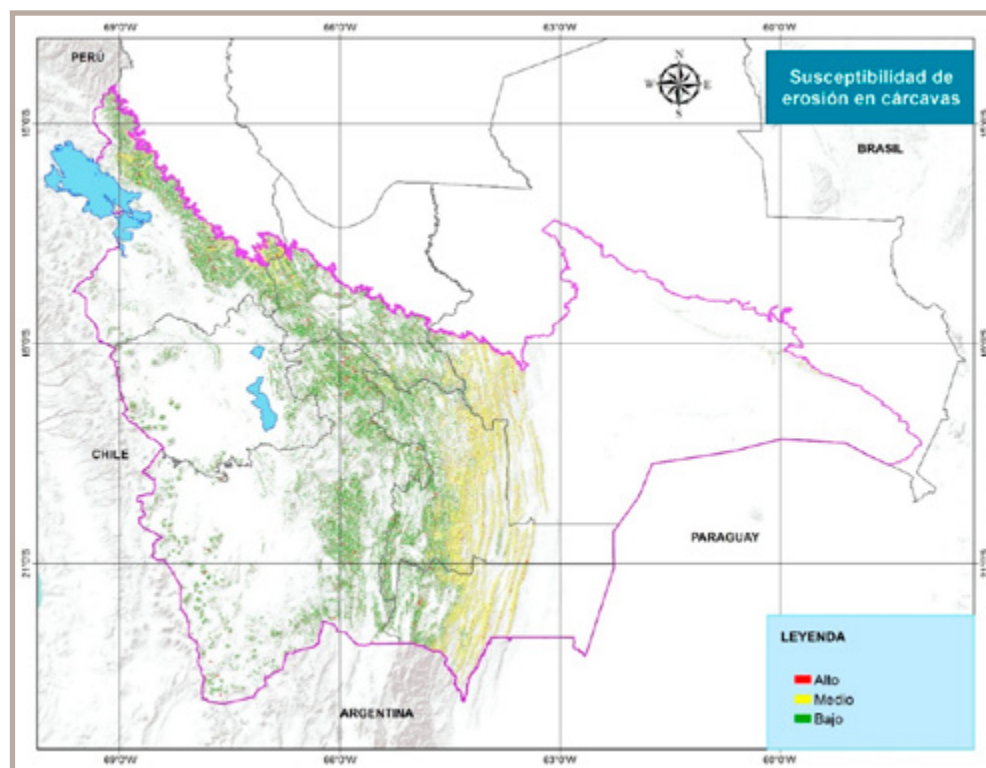
Mapa 14. Erosión de suelos



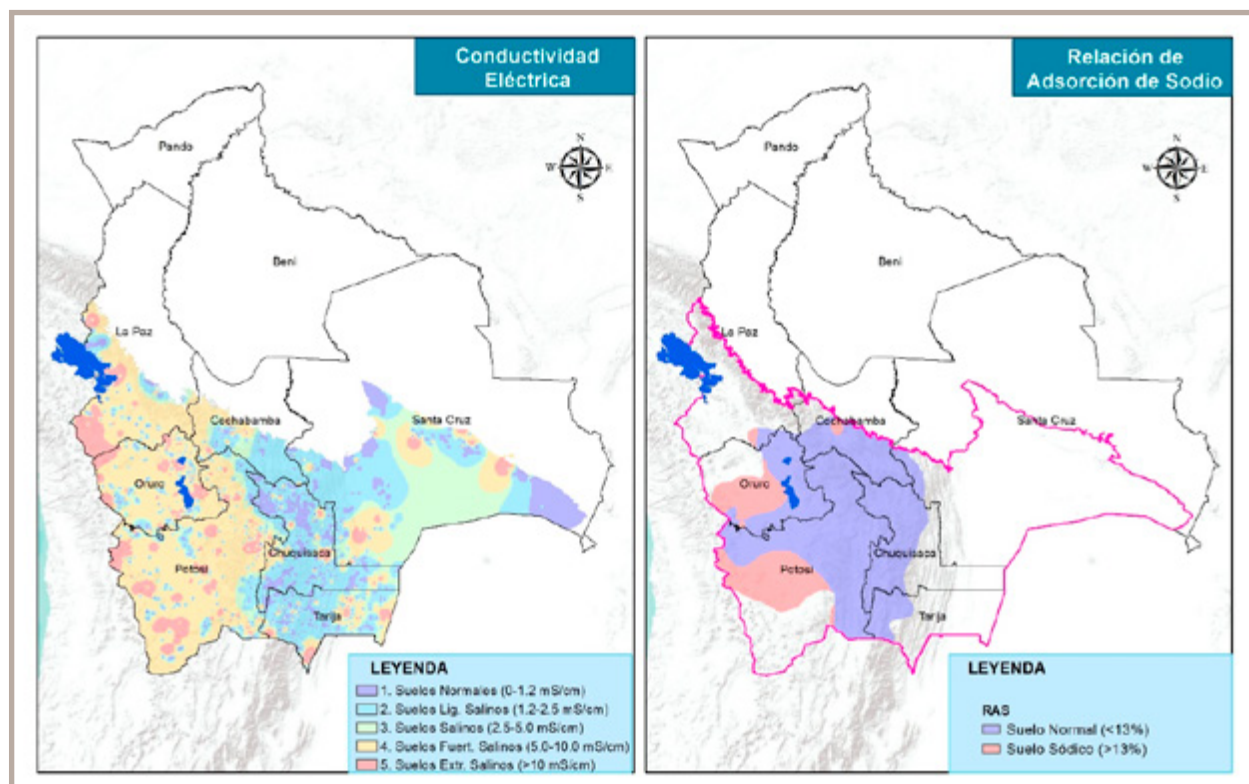
Cárcavas

Según el mapa de susceptibilidad a erosión por cárcavas (mapa D-39), se tiene un área total afectada por esta forma extrema de erosión, de 6292,2 Km², que representa un 9,5% del área de tierras secas, de los cuales 3789,4 Km² están en una categoría Alta (0,78%); 11924 Km² Moderada (2,5%) y 30578,8 Km² en una categoría Baja (6,3%).

Mapa 15. Susceptibilidad a erosión por cárcavas



Mapa 16. Salinidad Sodicidad



Salinidad/sodicidad

Los suelos salinos en Bolivia abarca, de forma regional, no solamente la cuenca del río Desaguadero en el altiplano boliviano, sino también el valle alto y central de Cochabamba, corroborado por Torres et al. (1996), los valles de Santa Cruz, el Chaco y las llanuras de depresión en el Beni, afectando áreas extensas con sistemas productivos importantes. Este problema es más extenso en las tierras secas, específicamente en climas semiáridos a áridos, donde la evapotranspiración supera a la precipitación.

En la región occidental del área, la conductividad eléctrica se tiene suelos mayores a 5 mS/cm, catalogándose como suelos con serios problemas de salinidad (**mapa D-40**). En el oriente, aunque los suelos tienden a ser normales existen áreas ligeramente a moderadamente salinos 1,2-5 mS/cm.

Los problemas de suelos sódicos se tienen específicamente en gran parte del departamento de Oruro, con un RAS mayor a 13% (**mapa D-41**).

Pérdida de fertilidad

La materia orgánica en una variable primordial para relacionar el suelo a su fertilidad. En las tierras secas, debido a las condiciones, no se tienen tenores altos, al contrario, se tienen bajas cantidades. Esta característica es corroborada con los niveles bajos a muy bajos de su capacidad de intercambio catiónico (5-25 meq/100g), así mismo los bajos tenores que predominan de nitrógeno total, menor a 0,2% (**mapas D-42, D-3, D-44, D-45 y D-46**).

Existe mucha variabilidad del pH del suelo en el área de tierras secas. Esta variable es el responsable en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la mayor o menor asimilabilidad de los nutrientes, y también define si es un medio ácido o básico, lo cual, a su vez, está directamente relacionado a la fertilidad del suelo.

Pérdida de biodiversidad

La riqueza de especies (**mapa D-47**) representa los centros de riqueza potencial de especies de tres grupos de fauna (murciélagos, reptiles y anfibios), y cinco grupos de plantas (palmeras, gramíneas, fabáceas, moráceas y asteráceas).

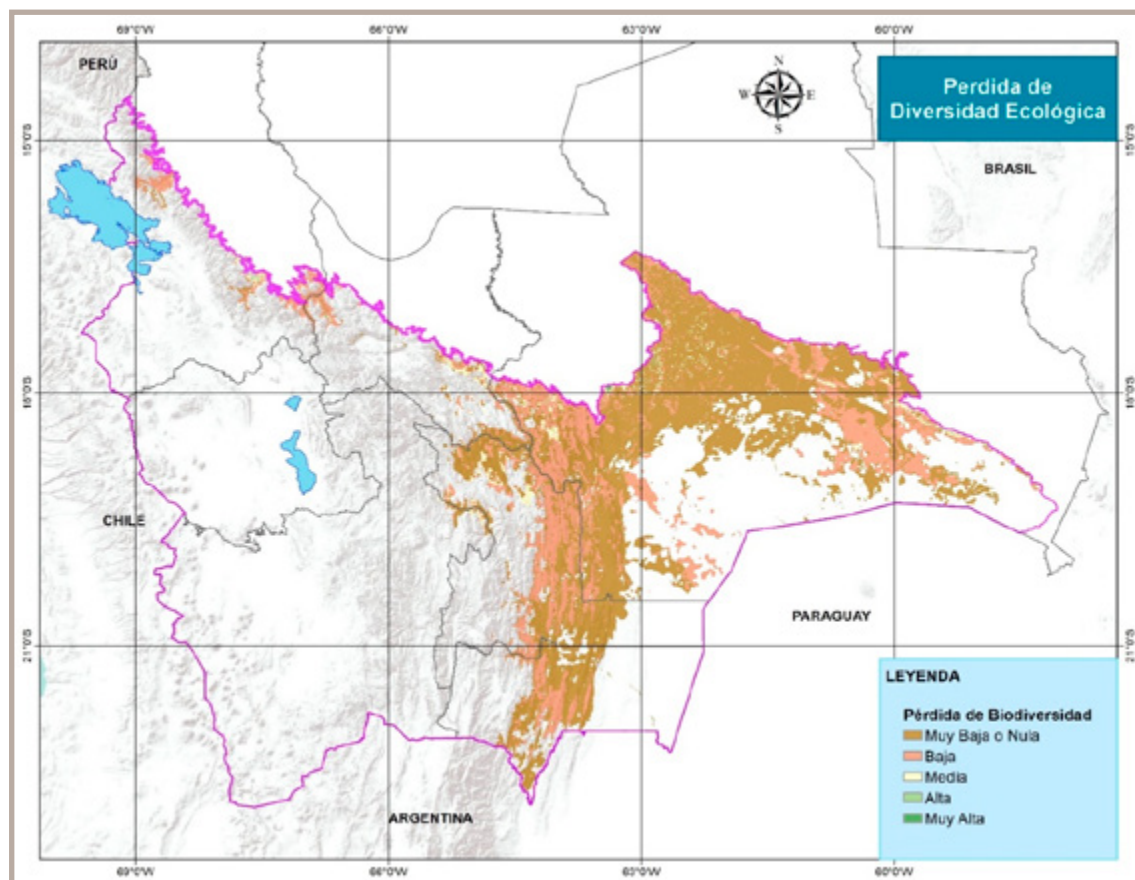
La riqueza de endemismo (**mapa D-48**) señala que cuando todos los individuos pertenecen a la misma especie, el índice es cero, significa que la diversidad es nula. Por lo contrario, altos valores del índice corresponden a una gran diversidad específica en la comunidad, cuando ocurren condiciones favorables del medio que permite la instalación de numerosas especies.

En el mapa de riqueza de especies se muestran los gradientes de diversidad, siendo los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba, Oruro Potosí, Tarija, La Paz y Santa Cruz, gradientes muy bajas y bajas, principalmente.

Para los departamentos de Oruro, Potosí y parte de La Paz se reporta índice cero, esto quiere decir que la diversidad para algunos sectores de estos departamentos es nula.

El **mapa D-49** representa la pérdida de biodiversidad ecológica, resultado de la resta del mapa de Biodiversidad, las áreas antrópicas, es decir, áreas donde la intervención humana es alta la presencia de biodiversidad es muy baja o nula, siendo el departamento de Santa Cruz donde existe una gran superficie de pérdida de biodiversidad resultado de la actividad antrópica. Al contrario áreas donde no se verifica impacto por los humanos la biodiversidad será alta lo que significa que no existe pérdida de biodiversidad, estas áreas según el mapa se encuentran en el departamento de La Paz.

Mapa 17. Pérdida de biodiversidad



5.3.4. Indicadores de las respuestas a la degradación de tierras

Áreas protegidas

De acuerdo al **mapa D-52**, las áreas protegidas (incluye todas las categorías) representan un 18,51% del país, aproximadamente 201.710 Km².

Visión, extensión y tendencias de la conservación de tierras

Visión de conservación

Las áreas más extensas se encuentran en Santa Cruz coincidiendo con las áreas protegidas y sus zonas de influencia (**mapa D-56**). Según el análisis del SERNAP las áreas que tendrían prioridad para ser protegida, además de las existentes, se muestran en color oscuro y tienen alta prioridad de conservación.

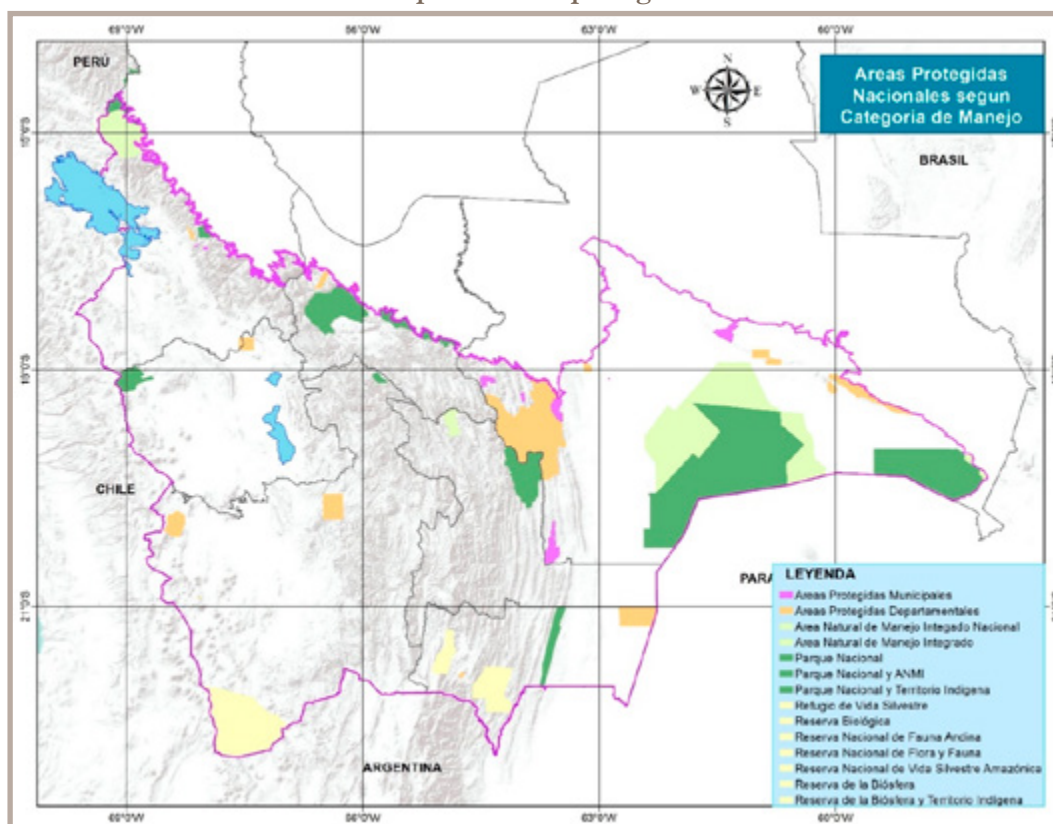
Estado de conservación actual

Se determinó con base a los indicadores: vías de acceso, centros poblados y deforestación, variación topográfica, uso actual de la tierra y cobertura de bosque. Las áreas con menor valor de conservación son las marcadas con tonos rojizos en cambio aquellas en verde son las que mejor estado de conservación actual tienen (**mapa D-57**).

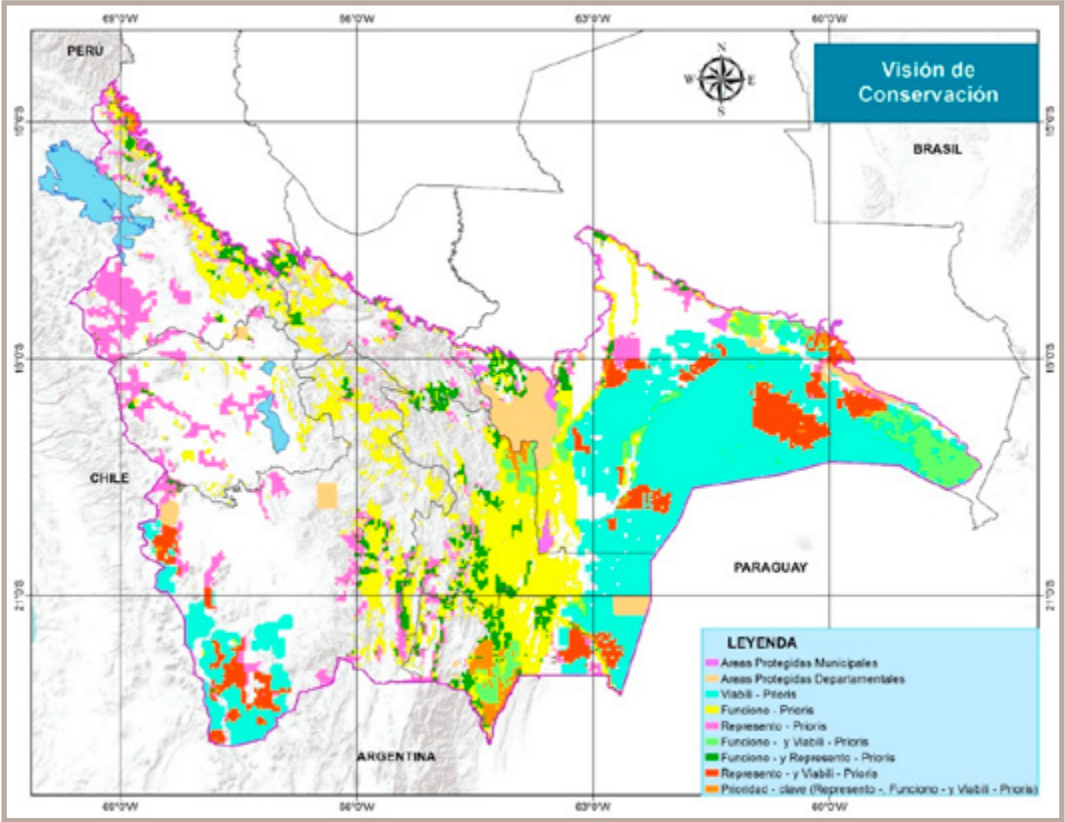
Estado de conservación futura-escenarios

El análisis indica las zonas de mayor riesgo de perturbación en el futuro (**mapa D-58**), para ello se utilizaron indicadores como: crecimiento poblacional proyectado, proyección de mejora de vías de acceso y proyectos viales nuevos, proyección de desarrollo agropecuario.

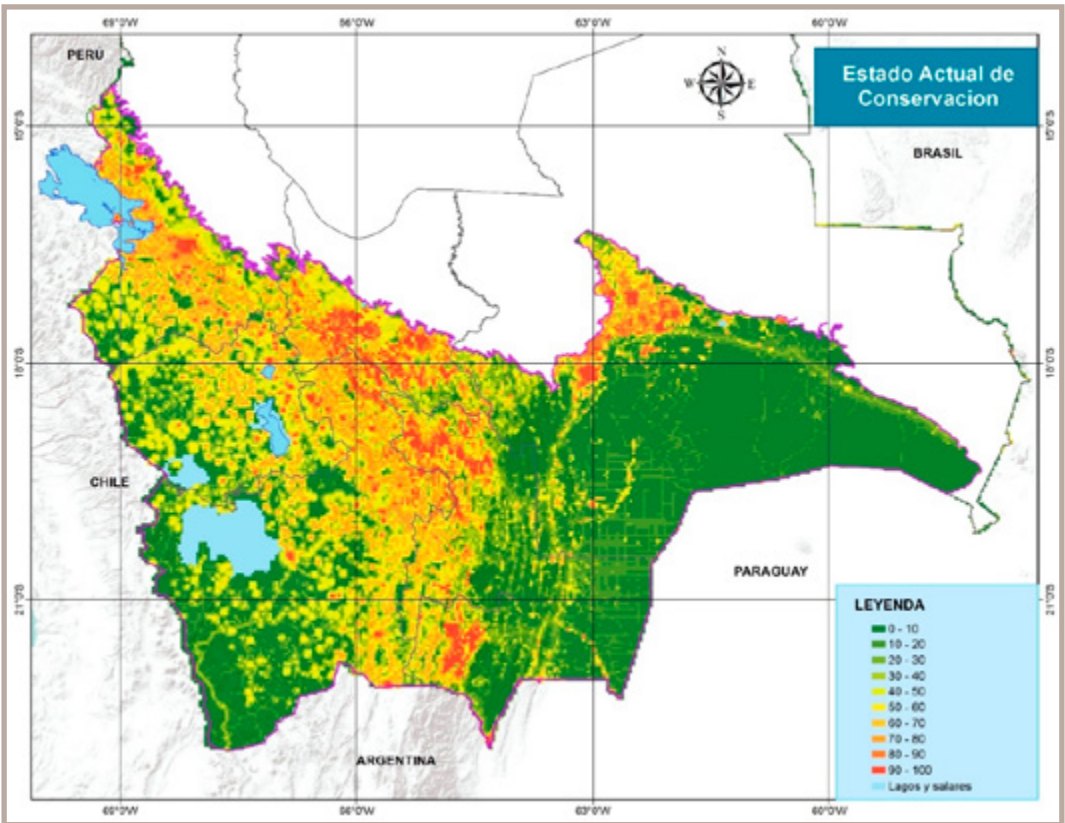
Mapa 18. Áreas protegidas



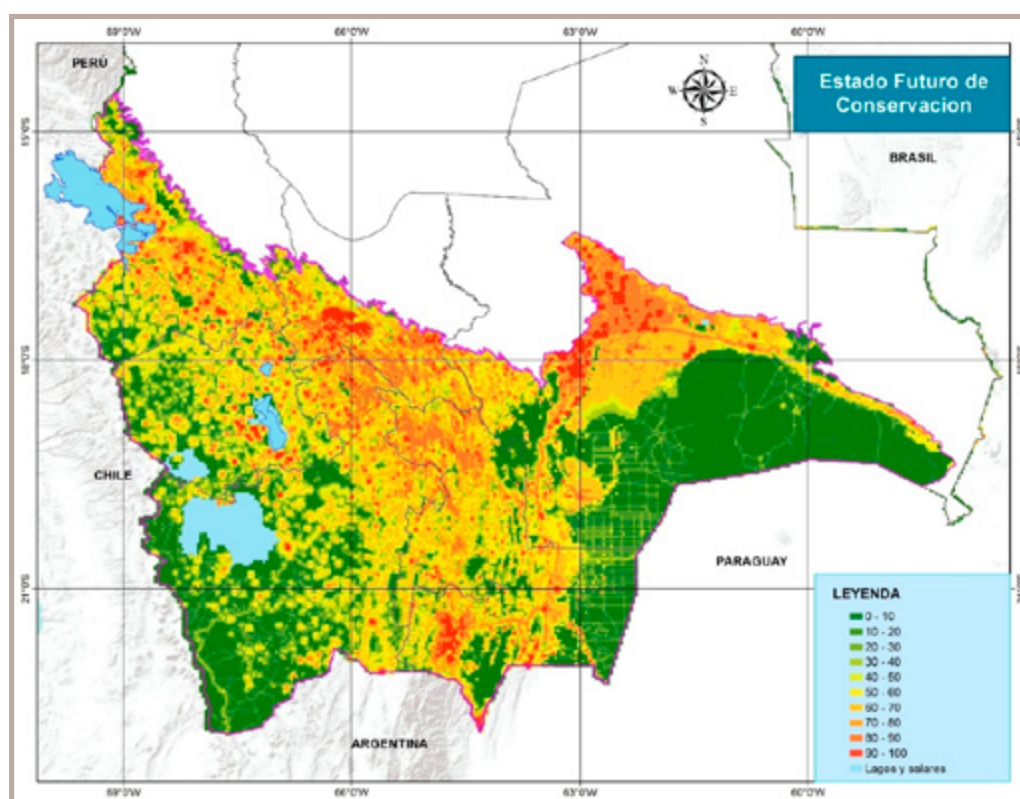
Mapa 19. Visión de conservación



Mapa 20. Estado de conservación actual



Mapa 21. Incidencia de la pobreza extrema



Otros indicadores

Mortalidad infantil

El mapa D-59, muestra que los municipios con mayor mortalidad infantil están en La Paz, Oruro y Santa Cruz, en municipios predominantemente rurales. La mayor parte de los municipios de la zona de estudio en tierras secas, especialmente en los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba y Chuquisaca tienen una evolución positiva de reducción de la tasa de mortalidad infantil para el periodo 2001 - 2011, mientras que en el Chaco, en los municipios de Tarija y Santa Cruz algunos tienen una evolución negativa, ya que aumentó la mortalidad infantil.

Indicador proxy de servicios ambientales

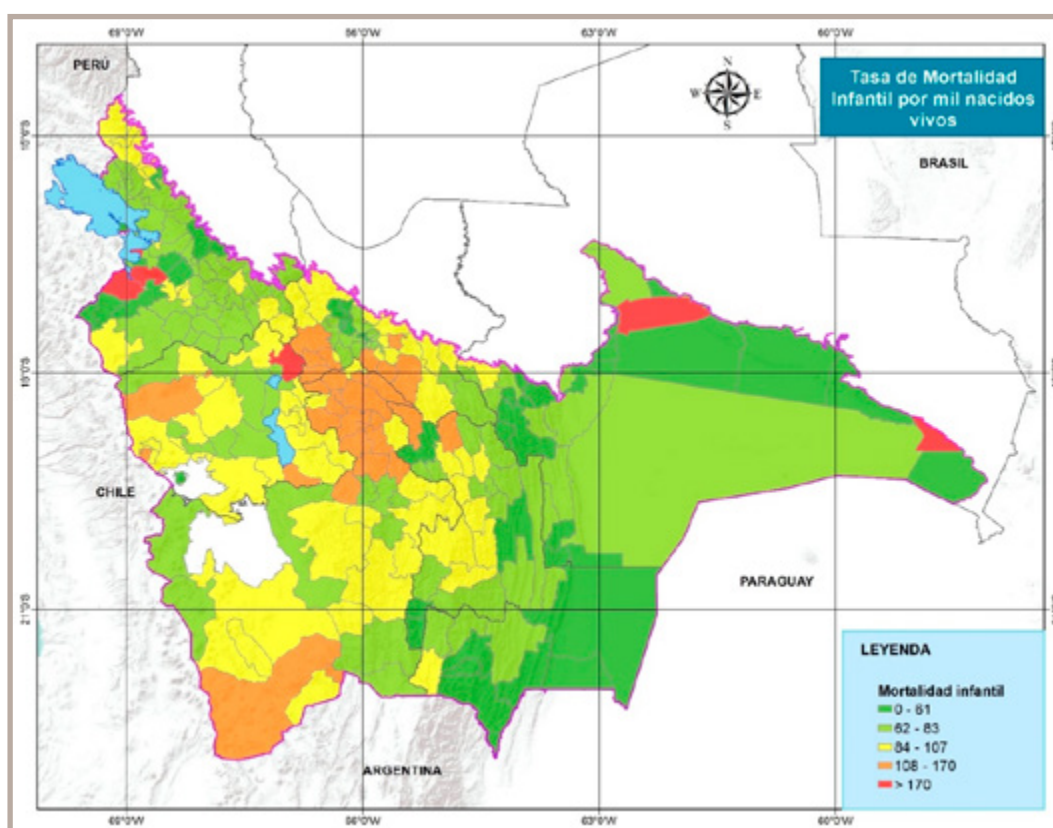
De acuerdo al **mapa D-60**, los departamentos de esta zona que tienen mayor biomasa son Santa Cruz, Tarija, y Chuquisaca. El valor máximo de biomasa por hectárea lo tienen Cochabamba (371tn/ha), Santa Cruz (366 tn/ha), Chuquisaca (361 Tn/ha) y Tarija (352 tn/ha).

Cuadro 14. Cantidad de Biomasa promedio por departamento, dentro de los límites de tierras secas de Bolivia, expresadas en Toneladas por hectárea

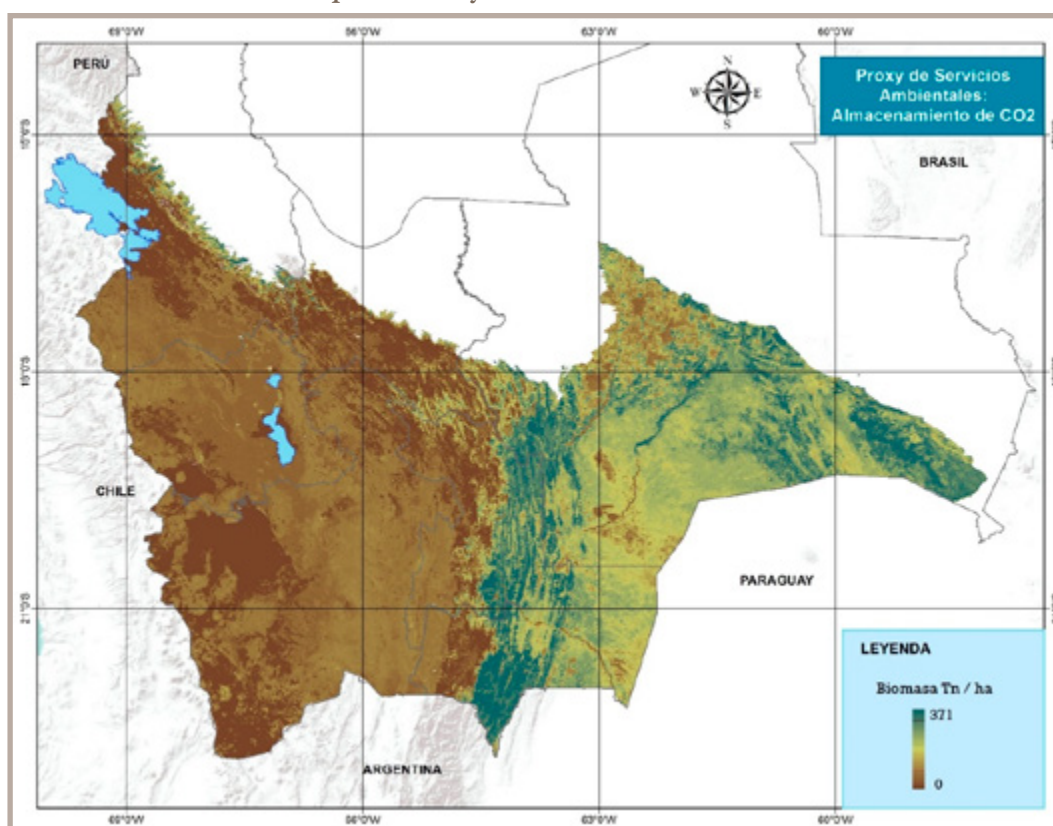
Departamento	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv. Estándar
Chuquisaca	0	361	361	90	72
Cochabamba	0	371	371	37	64
Santa Cruz	0	366	366	147	63
Tarija	0	352	352	115	76
Potosí	0	230	230	28	21
Oruro	0	236	236	29	17
La Paz	0	367	367	38	55

Fuente: Elaboración Propia

Mapa 22. Mortalidad infantil



Mapa 23. Proxy de servicios ambientales



5.4. Degradación de las tierras secas de Bolivia

5.4.1. Tipos de degradación de tierras

Con base a la información generada sobre los indicadores del estado actual de la degradación de tierras, tales como erosión de suelos, deforestación, déficit hídrico, quemas e incendios, deforestación, índice de concentración de la precipitación, índice modificado de Fournier, cambio de vegetación, pérdida de biodiversidad, etc. y la recabada en las fichas WOCAT, a través de la evaluación participativa de degradación de las tierras; además de los resultados de las percepciones y aportes/contribuciones de expertos; se han elaborado bases de datos y mapas de grados y tipos de degradación de las tierras secas de Bolivia, categorizadas en 5 grados o niveles de acuerdo a las categorizaciones del cuadro 15.

Los resultados muestran que existen diversos tipos de degradación de tierras en diferentes grados, en cada zona.

Cuadro 15. Indicadores y grados de degradación

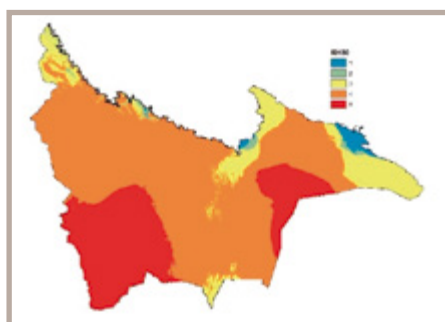
CATEGORÍA	Régimen hídrico o régimen de aridez	DPC (días)	Déficit hídrico (mm/año)	Índice de agresividad climática de Fournier (IFM)	Índice de la concentración de precipitación (ICP)	Deforestación	Quemas incendios
0	-	-	-	-	-	Bosque/No bosque	No quemado
1	subhúmedas secas, húmedo, hiper húmedo	270 - 365	0 - 120	> 160	0.03 - 0.1	-	-
2	semiáridas	180 - 270	121 - 400	120 - 10	0.11 - 0.15	-	-
3	áridas	75 - 180	401 - 650	90 - 120	0.16 - 0.2	-	-
4	hiperáridas	31 - 75	651 - 900	60 - 90	0.21 - 0.5	-	-
5	xérico	0 - 30	901 - 1278	< 60	0.51 - 1.35	Deforestado	Quemado

CATEGORÍA	Cambio de cobertura		Cárcava	Pérdida de Biodiversidad	Erosión	Salinidad CE	Sodicidad
0	-	-	-	Nula	-	-	-
1	60	100	Ninguna	Muy baja	Ligero-moderado	0 – 2 No salino	Normales
2	20	60	Ninguna	Baja	Fuerte	2 – 4 Ligeramente salino	Sódico
3	-20	20	Baja	Media	Muy fuerte	4 – 8 Moderadamente salinos	Sódico
4	-60	-20	Media	Alta	Grave	8 – 16 Fuertemente salinos	Sódico
5	-100	-60	Alta	Muy alta	Muy grave	> 16 Muy fuertemente salinos	Sódico

La categorización de cada uno de los indicadores de degradación es importante en la determinación de áreas con mayores grados de degradación de tierras, considerando cada uno de los indicadores. De esta manera se podrá conocer los tipos de degradación de tierras de degradación de tierras categorizadas que existen en un área determinada. A continuación los indicadores, el área afectada y el porcentaje de las superficies con respecto al área de las tierras secas de Bolivia.

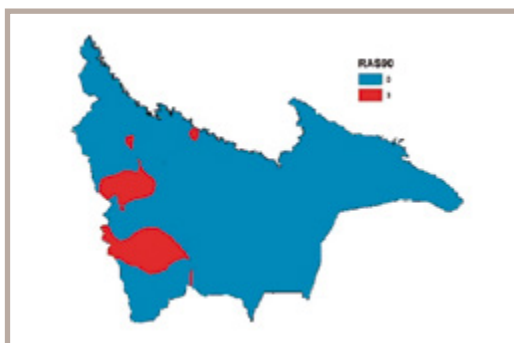
Figura 17. Indicadores de degradación de tierra categorizadas (a-m)

a. Régimen Hídrico



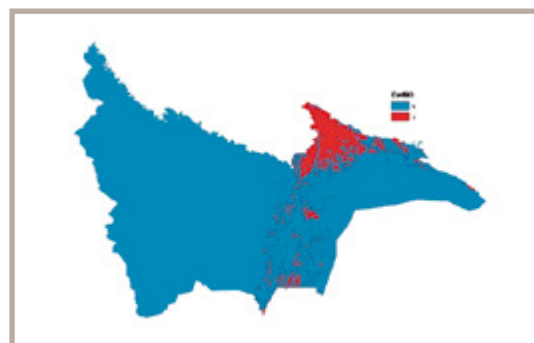
CATEGORÍA	Área	%
1	6184.8	1.3
2	4595.0	0.9
3	58605.4	12.1
4	296402.0	61.1
5	117280.7	24.2
Total	484716.7	100.0

b. Sodicidad



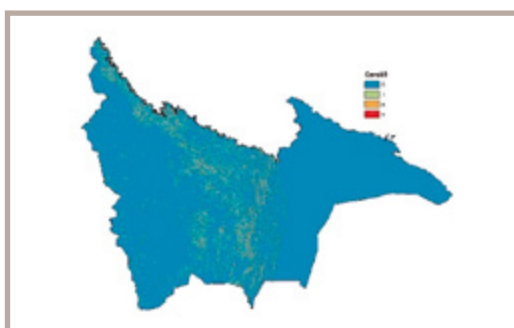
CATEGORÍA	Área	%
0	442880.1	91.4
5	41836.6	8.6
Total	484716.7	100.0

c. Deforestación



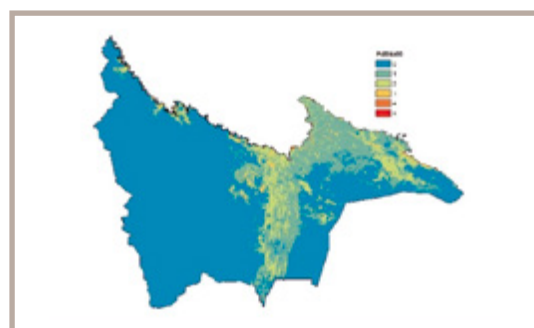
CATEGORÍA	Área	%
0	454124.2	93.7
5	29207.7	6.0
Total	484716.7	100.0

d. Carcavas



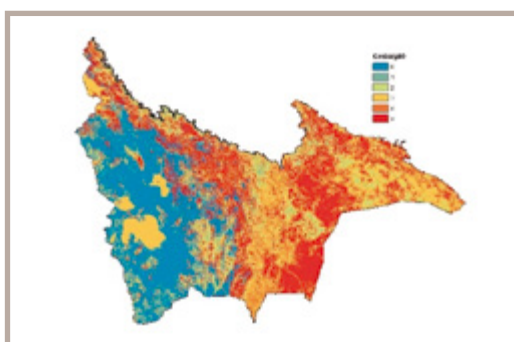
CATEGORÍA	Área	%
0	447474.7	92.3
3	25110.0	5.2
4	9140.0	1.9
5	2708.6	0.6
Total	484716.7	100.0

e. Pérdida de Biodiversidad



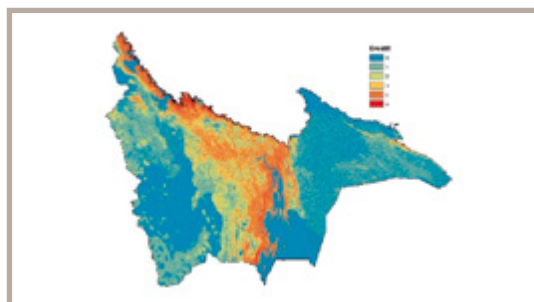
CATEGORÍA	Área	%
0	356427.4	73.5
1	82571.0	17.0
2	40753.0	8.4
3	4664.8	1.0
4	416.7	0.1
5	56.3	0.0
Total	484716.7	100.0

f. Cambio de cobertura vegetal



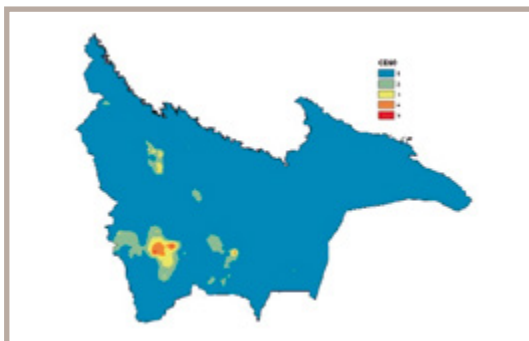
CATEGORÍA	Área	%
0	120394.2	24.8
1	37273.6	7.7
2	58333.6	12.0
3	118695.1	24.5
4	31480.9	6.5
5	118275.4	24.4
Total	484716.7	100.0

g. Erosión hídrica



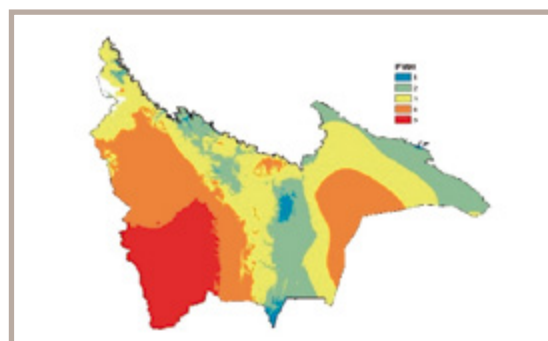
CATEGORÍA	Área	%
0	203664.3	42.0
1	134842.3	27.8
2	49004.5	10.1
3	32843.5	6.8
4	58588.5	12.1
5	5625.1	1.2
Total	484716.7	100.0

h. Salinidad



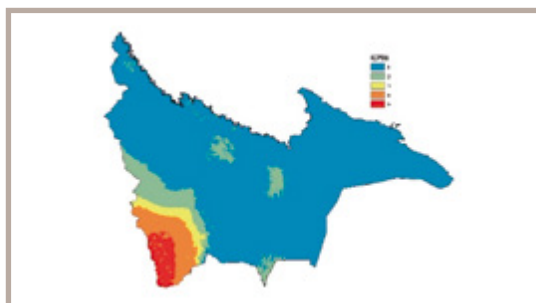
CATEGORÍA	Área	%
1	457938.7	94.5
2	19703.1	4.1
3	4774.9	1.0
4	1917.2	0.4
5	102.1	0.0
Total	484716.7	100.0

i. Índice de Fournier Modificado



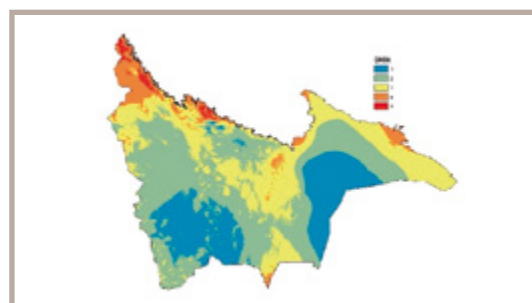
CATEGORÍA	Área	%
1	6391.6	1.3
2	93788.5	19.3
3	154086.8	31.8
4	149039.3	30.7
5	76900.2	15.9
Total	484716.7	100.0

j. Índice de Concetracion de la Precipitación



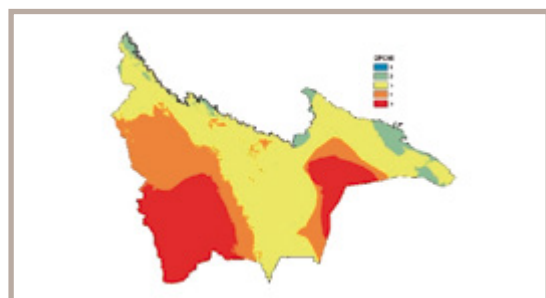
CATEGORÍA	Área	%
1	394635.2	81.4
2	40833.7	8.4
3	10848.4	2.2
4	25446.4	5.2
5	12694.4	2.6
Total	484716.7	100.0

k. Déficit Hídrico



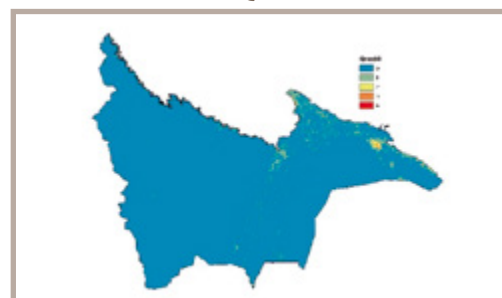
CATEGORÍA	Área	%
1	101431.5	20.9
2	202407.1	41.8
3	140301.1	28.9
4	35042.3	7.2
5	4801.3	1.0
Total	484716.7	100.0

l. Duración de Periodo de Crecimiento



CATEGORÍA	Área	%
1	59.2	0.0
2	23201.7	4.8
3	230337.5	47.5
4	111349.9	23.0
5	118602.7	24.5
Total	484716.7	100.0

m. Quemas



CATEGORÍA	Área	%
0	469448.6	96.9
1	12474.6	2.6
2	1338.2	0.3
3	246.2	0.1
4	9.6	0.0
Total	484716.7	100.0

5.4.2. Grado de degradación

El grado se define como la intensidad del proceso de degradación de la tierra. Pueden producirse mapas similares a los de la magnitud de la degradación para las cuatro clases de grados diferentes: ligeras, moderadas, fuertes y extremas para cada LUS dentro de un límite administrativo. El grado de degradación puede presentarse como un resumen de todos los tipos de degradación o para un tipo específico de degradación. Para nombrar las categorías o grados de degradación de tierras se basó en las categorías propuestas por LADA/WOCAT v2 (FAO, 2008).

Tomando en cuenta la superficie en estado de degradación por departamento, dentro de las tierras secas, se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 16. Grados de degradación por departamento

DEPARTAMENTO	GRADO	ÁREA	%	DEPARTAMENTO	GRADO	ÁREA	%
Chuquisaca	1	9558.2	18.8	Potosí	1	15298.3	12.8
	2	10268.9	20.2		2	24946.9	20.9
	3	12252.1	24.1		3	30541.4	25.6
	4	14288.1	28.1		4	39760.0	33.3
	5	4553.1	8.9		5	8765.0	7.3
Total		50920.4	100.0	Total		119311.5	100.0
Cochabamba	1	4838.1	18.1	Santa Cruz	1	29785.5	20.8
	2	4762.9	17.8		2	37995.2	26.5
	3	7378.8	27.6		3	38121.5	26.6
	4	7210.6	27.0		4	31573.9	22.1
	5	2498.7	9.4		5	5711.4	4.0
Total		26689.0	100.0	Total		143187.5	100.0
La Paz	1	20070.4	41.1	Tarija	1	6260.7	17.0
	2	8312.1	17.0		2	12320.0	33.4
	3	8175.6	16.7		3	8866.7	24.0
	4	9342.9	19.1		4	7397.8	20.1
	5	2957.5	6.1		5	2026.7	5.5
Total		48858.5	100.0	Total		36871.8	100.0
Oruro	1	34513.8	66.6				
	2	10185.6	19.7				
	3	3326.0	6.4				
	4	3264.7	6.3				
	5	532.5	1.0				
Total		51822.7	100.0				

Del *cuadro 16 y gráfico 1*, se puede observar que las categorías Leve, Moderado, Fuerte y Muy fuerte, tienen similar porcentaje en superficie en las tierras secas de Bolivia.

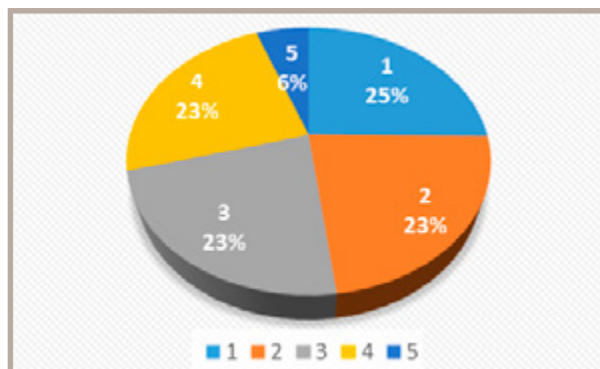
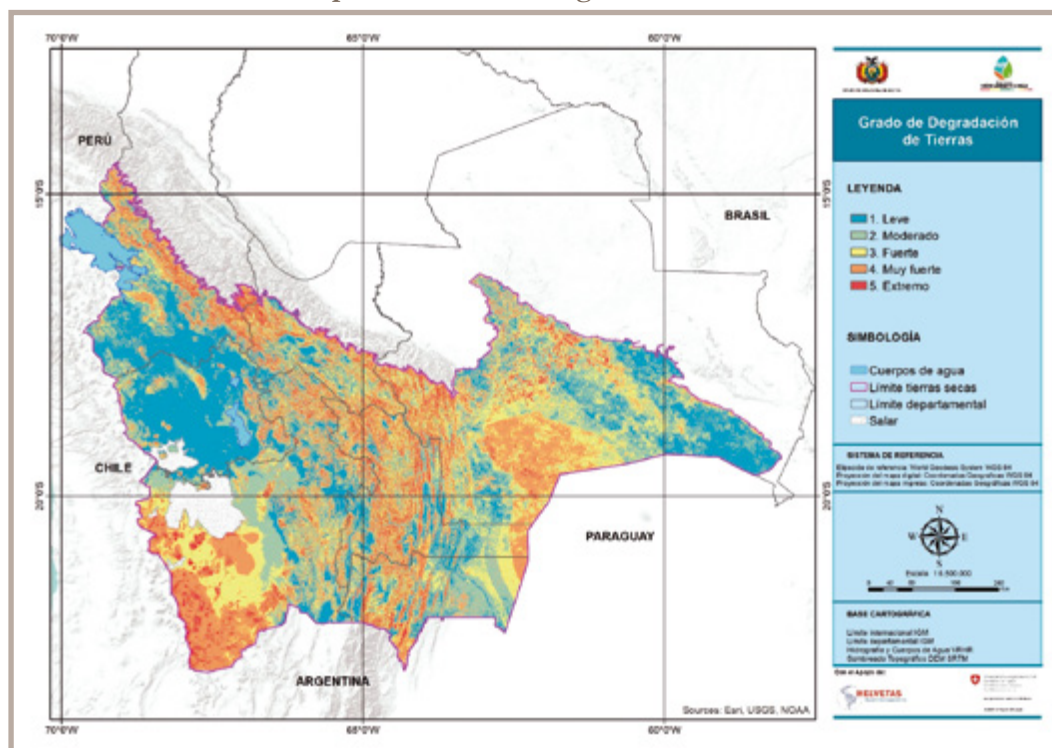


Gráfico 2. Distribución porcentual de los grados de degradación de tierras

Mapa 24. Grados de degradación de tierras



Considerando solamente las categorías de grados más altos de degradación (Fuerte, Muy fuerte y Extremo) en correspondencia de cada categoría de Sistema de Uso de la Tierra (SUT), se puede obtener información de los grados de degradación de tierras por SUT, teniendo los siguientes resultados:

Cuadro 17. Grados altos de degradación por SUT

Codigo	Categoría	Área (Km²)	Codigo	Categoría	Área (Km²)	Codigo	Categoría	Área (Km²)
0	4	109.3	2.4ñ(i)	3	5105.1	6.6v(i)	3	1024.1
	5	182.3		4	3357.8		4	942.1
	3	103.5		5	156.0		5	16.6
1.1k(b)	3	19.7	3.2v(i)	3	130.6	6.6v(j)	3	2497.2
	4	26.0		4	107.6		4	2232.7
	5	4.3		5	23.6		5	96.3
1.2p(i)	3	0.6	3.2z(v)	3	6.8	6.6w(i)	3	13500.9
	4	0.2		4	7.5		4	16078.6
	5	0.2		5	1.4		5	3896.2
1.2q(f)	3	298.0	3.2q(i)	3	2729.0	6.6w(j)	3	10287.8
	4	503.0		4	2302.0		4	12705.3
	5	422.2		5	670.6		5	3885.7
1.2q(g)	3	7283.9	3.4k(i)	3	90.5	7.01	3	4658.4
	4	9169.6		4	147.3		4	3118.5
	5	3691.2		5	2.0		5	1555.7
1.4k(i)	3	18012.7	3.5l(i)	3	4604.9	7.02	3	2503.6
	4	16660.2		4	1766.8		4	1746.6
	5	1100.7		5	72.2		5	282.6
1.4o(j)	3	1770.5	4.6e(v)	3	113.6	7.03	3	2.6
	4	383.2		4	27.5		4	0.6
	5	34.0		5	1.3		5	0.1

1.5b(y)	3	18.8	4.6k(b)	3	52.7	7.04	3	16.0
	4	7.1		4	13.3		4	12.4
	5	0.1		5	1.8		5	3.8
1.5l(g)	3	1344.7	4.6k(c)	3	594.4	7.1	3	33.7
	4	788.3		4	830.8		4	4.7
	5	147.0		5	203.3		5	0.8
2.2p(g)	3	2481.8	4.6k(i)	3	311.6	8.1	3	2656.9
	4	2448.6		4	223.7		4	1979.8
	5	647.2		5	61.4		5	748.5
2.2q(g)	3	1164.5	4.6r(s)	3	1612.9	8.2	3	3404.1
	4	1485.1		4	2262.9		4	6076.7
	5	761.6		5	796.7		5	932.9
2.2q(i)	3	5603.3	4.6v(i)	3	1774.3	8.3	4	37.0
	4	6986.6		4	1452.9		3	61.7
	5	2618.4		5	276.8		5	5.6
2.2u(i)	3	2325.4	4.6x(v)	3	462.0	8.5	3	2.0
	4	2042.7		4	315.3		5	0.0
	5	454.2		5	40.0		4	0.3
2.2v(i)	3	481.8	4.6w(j)	3	8754.4	8.6	3	71.7
	4	775.4		4	12339.1		4	930.8
	5	463.1		5	2423.4		5	136.3
2.4a(i)	3	4.2	6.6k(i)	3	12.3	9	3	283.9
	4	1.9		4	5.3		4	175.7
	5	0.0		5	0.8		5	145.9

A continuación se muestra la descripción de la cobertura en función de la codificación.

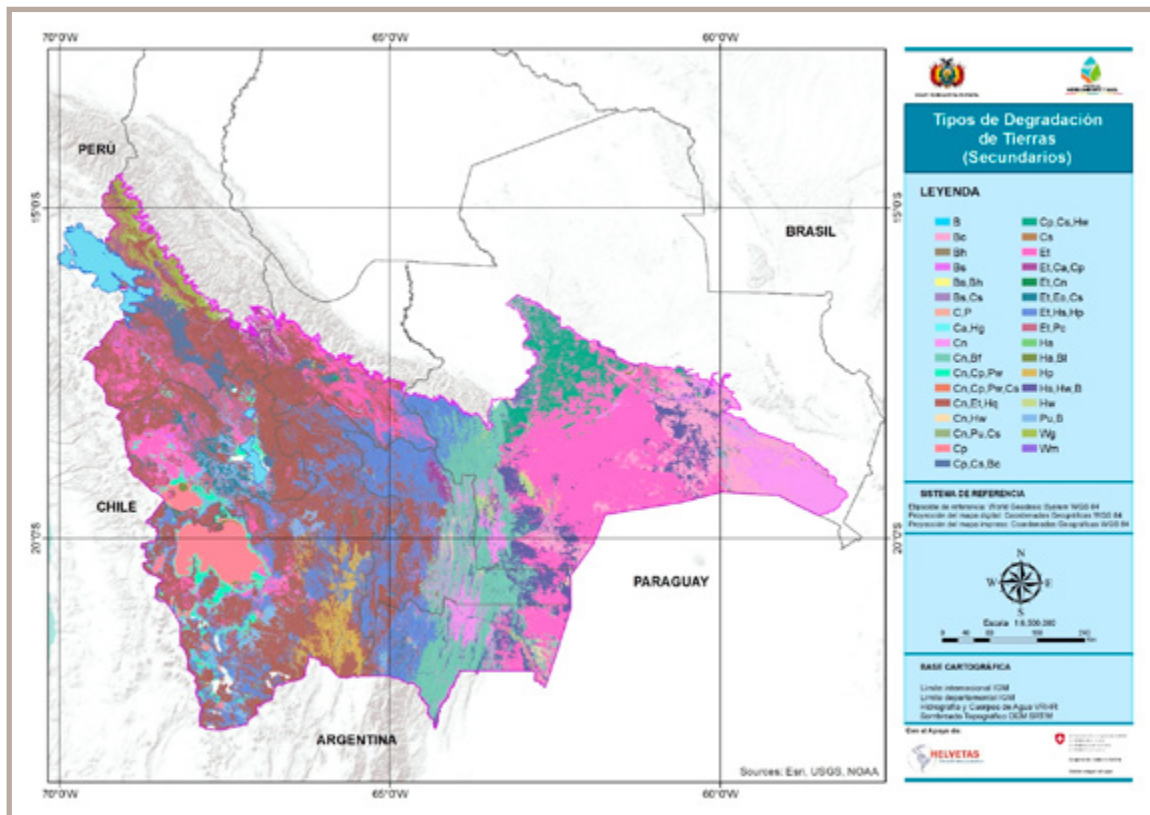
Cuadro 18. Descripción de la cobertura

CODIGO	COBERTURA
1.1k(b)	Bosque Denso Amazónico en Llanura Inundada Estacionalmente
1.2p(i)	Bosque Denso Andino Montano Bajo Semiárido
1.2q(f)	Bosque Denso Andino Montano Húmedo
1.2q(g)	Bosque Denso Andino Montano Subhúmedo
1.4k(i)	Bosque Denso Chaqueño de Llanura Semiárida
1.4o(j)	Bosque Denso Chaqueño Premontano Árido
1.5b(y)	Bosque Denso Chiquitano Inundado estacionalmente con Palmeras
1.5l(g)	Bosque Denso Chiquitano sobre Ondulaciones y/o Planicies ligeramente Disectadas Subhúmedo
2.2p(g)	Bosque Ralo Andino Montano Bajo Subhúmedo
2.2q(g)	Bosque o Monte Ralo Andino Montano subhúmedo
2.2q(i)	Bosque o Monte Ralo Andino Montano Semiárido
2.2u(i)	Bosque o Monte Ralo Andino Subpuna Semiárida
2.2v(i)	Bosque Ralo Andino Puna Semiárida
2.4a(i)	Bosque Ralo Chaqueño Ribereño Semiárido
2.4ñ(i)	Bosque Ralo Chaqueño Basimontano Semiárido
3.2q(i)	Matorral Pajonal Andino Montano Semiárido
3.2v(i)	Matorral Andino Puna Semiárida
3.2z(v)	Matorral Andino o Cardonal Puneño
3.4k(j)	Matorral Chaqueño Llanura Árida
3.5l(i)	Matorral Chiquitano sobre Ondulaciones y o Llanuras Ligeramente Disectadas semiárido
4.6e(v)	Herbazal Graminoide Vivaz Pantanoso o Palustre Puna
4.6k(b)	Herbazal Graminoide Vivaz Llanura Inundada Estacionalmente
4.6k(c)	Herbazal Graminoide Vivaz Llanura inundada por periodos cortos
4.6k(i)	Herbazal Graminoide Vivaz en Llanura Semiárida
4.6r(s)	Herbazal Graminoide Vivaz Altimontano Pluvionebular

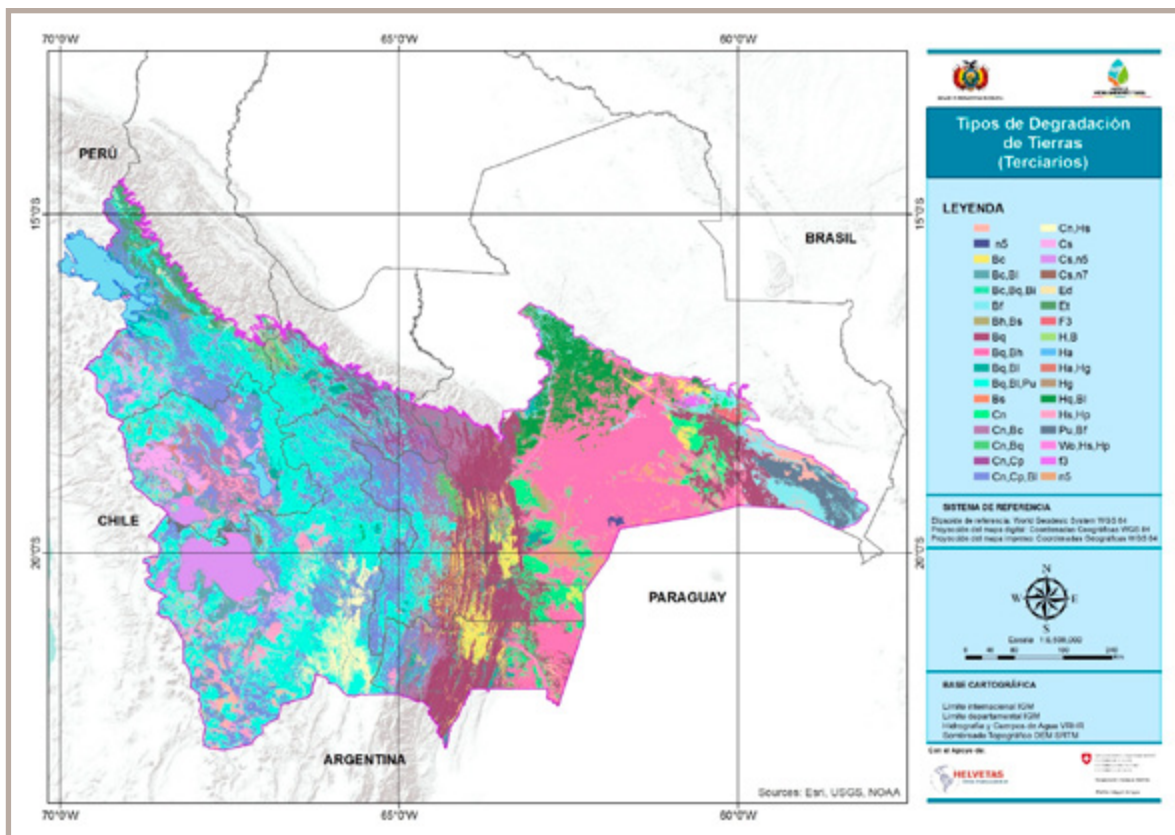
4.6v(i)	Herbazal Graminoide Vivaz Puna semiárida
4.6w(j)	Herbazal Graminoide Vivaz Puna Altoandina Árida
4.6x(v)	Herbazal Graminoide Vivaz Bofedal Puneño
6.6k(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en llanura semiárida (Valles)
6.6v(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en arenales Puna semiárida
6.6v(j)	Vegetación Dispersa Vivaz en playas salinas Puna árida
6.6w(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en pedregales Puna Altoandina semiárida
7.02	Agricultura Múltiple
7.1	Estructura urbana y rural ciudades y pueblos
8.1	Depósitos de Arena Playas y Dunas
8.2	Depósitos Salinos Salares y Salinas
8.3	Derrumbes o Deslizamientos Erosivos, Cárcavas
8.5	Sedimentos Lacustres Limo, Cieno
8.6	Depósitos Volcánicos Tobas
9	Cuerpos y Cursos de Agua: Lagos, Lagunas, Embalses, Estanques de decantación o Sedimentación, Ríos y Arroyos
0	Campos de Nieve
7.03	Agricultura de Plantaciones Plurianuales
7.01	Agricultura Comercial
7.04	Plantaciones Forestales

Mapa 25. Tipos de Degradación de Tierras (Principales)

Mapa 26. Tipos de Degradación de Tierras (Secundarios)



Mapa 27. Tipos de Degradación de Tierras (Terciarios)



Considerando solamente las categorías de grados más altos de degradación (Fuerte, Muy fuerte y

5.4.3. Áreas críticas y brillantes

El **mapa D-37**, identifica las áreas críticas (Hot spots) y las áreas brillantes (Bright spots), teniendo en cuenta la tendencia de la aridez para un periodo dado donde se diferencia:

- Áreas de tierras secas típicas (con un rango promedio de 0,05 – 0,65 para $IA = P/ETP$)
- Hot spots (áreas menores a 0,05 para IA , donde 1 año de cada 10 o más son áridos)
- Bright Spots (áreas mayores a 0,65 para IA donde 1 año de cada 10 o más son húmedos)

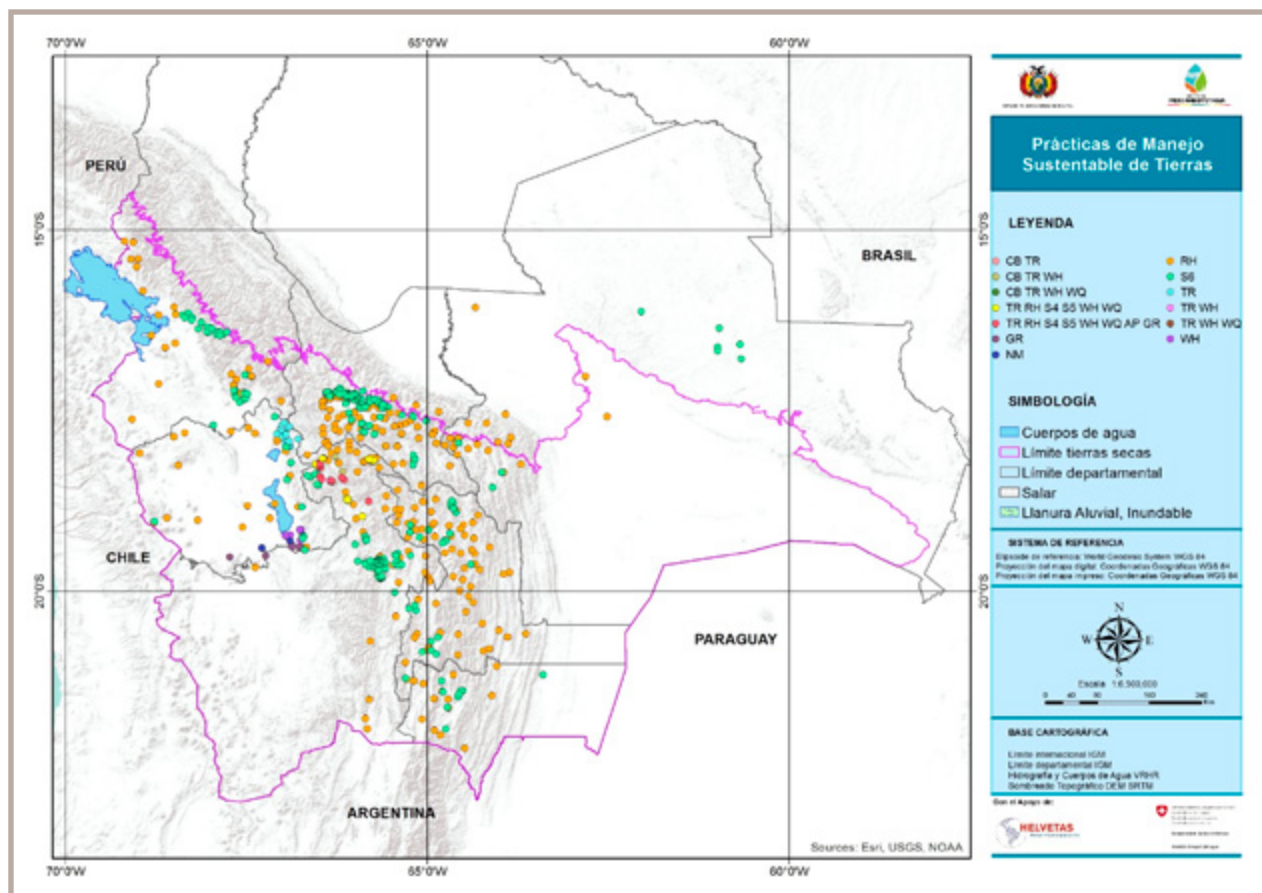
Es necesario hacer notar que al tratarse de índices pensados para un análisis regional, no van a mostrar particularidades de la degradación y conservación en proyectos muy puntuales de impacto reducido o problemas de degradación de tierras puntuales.

5.5. Prácticas de manejo sustentable de tierras

El **mapa D-33** resume las prácticas de manejo más representativas de cada zona con base a los resultados de los talleres participativos, el conocimiento experto y la inclusión de prácticas de manejo sustentable de tierras a través de los proyectos realizados por el MMAyA, de acceso libre.

Con fines de representatividad, a continuación se muestran las prácticas más difundidas de manera puntual, es decir, en los sitios donde se desarrollaron los proyectos y/o actividades de varias prácticas de manejo sustentable de tierras.

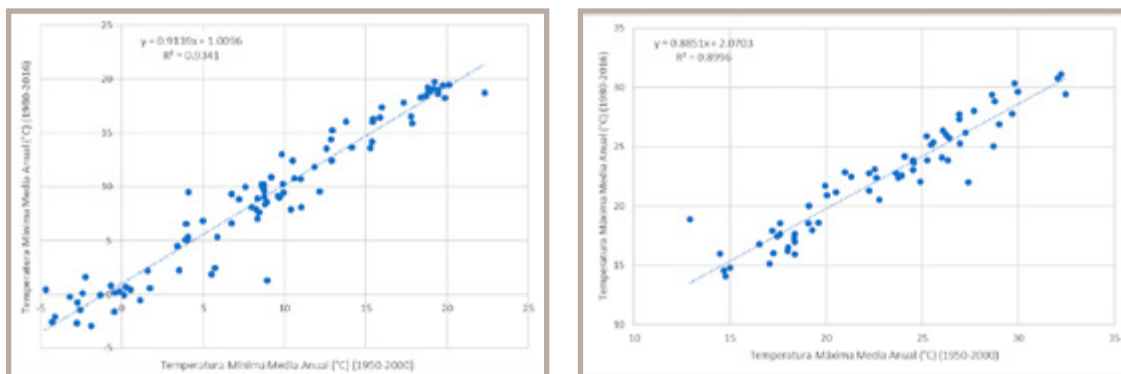
Mapa 28. Prácticas de Manejo Sustentable



6. ANEXOS

ANEXO 1. Comparación entre datos Senamhi y Worlclim

Los resultados reflejan que la diferencia promedio de temperaturas entre ambas bases de datos es de 0.5 °C para las máximas y de -0.2 °C para las mínimas, el 63% de las estaciones presentaron un incremento de las temperaturas máximas de hasta 5.3 °C, para las temperaturas mínimas el 55% de las estaciones presentan una reducción de 5.4 °C. La figura muestra el análisis de regresión entre los valores de temperaturas máximas y mínimas promedio anual en ambos periodos (1950-2000 y 1980-2016), donde se obtuvo un R2 de 0.93 y 0.90 respectivamente.



Regresión lineal entre valores de temperatura mínima y máxima anual para el periodo 1950-2000 y 1980-2016.

Los modelos que permiten actualizar la base de datos climática del periodo 1950-2000 al periodo 1980-2016 con adecuada precisión vienen dados por la siguiente expresión:

$$Tmin_{1980-2016} = 0.9139 * Tmin_{1950-2000} + 1.0096 \quad (R^2= 0.93)$$

$$Tmax_{1980-2016} = 0.8851 * Tmax_{1950-2000} + 2.0703 \quad (R^2= 0.90)$$

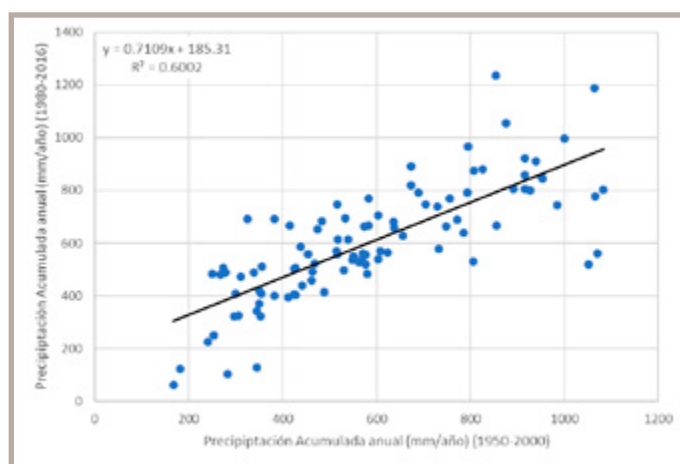
Donde $Tmin_{1980-2016}$ es la temperatura promedio mínima anual en grados centígrados para el periodo 1980-2000 y $Tmin_{1950-2000}$ es la temperatura promedio mínima anual en grados centígrados del periodo 1950-2000. Mientras que $Tmax_{1980-2016}$ es la temperatura promedio máxima anual en grados centígrados para el periodo 1980-2000 y $Tmax_{1950-2000}$ es la temperatura promedio máxima anual en grados centígrados del periodo 1950-2000.

Para el caso de la precipitación total anual se observa un comportamiento variable en ambos periodos, un descenso de la precipitación se observó en 48% de las estaciones consideradas en el análisis con valores que van desde 1 a 380 mm al año, mientras el restante de estaciones presentó un incremento de la precipitación con valores desde 1 a 533 mm al año, esto indica que no existe una tendencia marcada de disminución de la precipitación en la zona de estudio.

El modelo de regresión que permite actualizar los valores de precipitación del periodo 1950-2000 al periodo 1980-2016 y viene dado por la siguiente relación:

$$PREC_{tot1980-2016} = 0.7109 * PREC_{tot1950-2000} + 185.31$$

Donde $PREC_{tot1980-2016}$ es la precipitación total anual para el periodo 1980-2016 y $PREC_{tot1950-2000}$ es la precipitación total anual para el periodo 1950-2000.



Regresión lineal entre valores de precipitación acumulada anual para el periodo 1950-2000 y 1980-2016.

Anexo 2. Hoja de datos para la captura de datos e información

Se realizó el llenado de las planillas tomando los 4 pasos de la evaluación participativa que permitió generar mapas de indicadores de fuerza motriz y presión directa, estado, impacto y respuesta a la degradación de tierras.

Paso 2: Los cambios en la extensión del área del SUT

a) Unidad de Mapeo	b) SUT	c) Tendencia del área SUT	d) Intensidad en la tendencia SUT	e) Observaciones (por ejemplo razones para la tendencia)

Fuente: FAO 2013 Cuestionario de Evaluación de Degradación y Conservación de Tierras

Paso 3: Degradación del área del SUT

a) Tipo de estado			b) Extensión	c) Grado	d) Tasa	e) Causas directas	f) Causas indirectas	g) Impacto sobre los servicios del Ecosistema	h) Observaciones
i	ii	iii							

Fuente: FAO 2013 Cuestionario de Evaluación de Degradación y Conservación de Tierras

Paso 4: Llenado de evaluación de conservación de tierras en talleres

i) Nombre	j) Grupo	k) Medida	l) Propósito	m) Abordaje de la degradación	n) Eficacia	o) Tendencia de la eficacia	p) Impacto sobre los ES	q) Periodo	r) Referencia al QT	s) Obs.

Fuente: FAO 2013 Cuestionario de Evaluación de Degradación y Conservación de Tierras

Paso 5: Recomendaciones de Expertos

Recomendaciones de Expertos	Observaciones e Información adicional

Fuente: FAO 2013 Cuestionario de Evaluación de Degradación y Conservación de Tierras

Anexo 3. Indicadores de Degradación de Tierras de las zonas secas de Bolivia

Indicadores de Fuerza Motriz

- Índice de Aridez
- Régimen Hídrico o Régimen de Aridez
- Duración de la Estación de Crecimiento
- Déficit Hídrico
- Índice de Agresividad Climática de Fournier Modificado
- Tendencia de la Aridez
- Índice de la Concentración de Precipitación
- Tendencia de la Precipitación
- Densidad de la Población

Indicadores de Presión Directa

- Presiones: Deforestación, Quemas
- Causas Climáticas: Amenazas Naturales
- Cambio de Vegetación
- Incidencia de la Pobreza Extrema

Indicadores del Estado Actual de la Degradación de Tierras

- Erosión
- Presencia de Cárcavas
- Salinidad/Sodicidad
- Pérdida de Fertilidad
- Cobertura de la Tierra
- Uso de la Tierra
- Pérdida de Biodiversidad
- Productividad Primaria Neta
- Eficiencia del Uso de la Lluvia

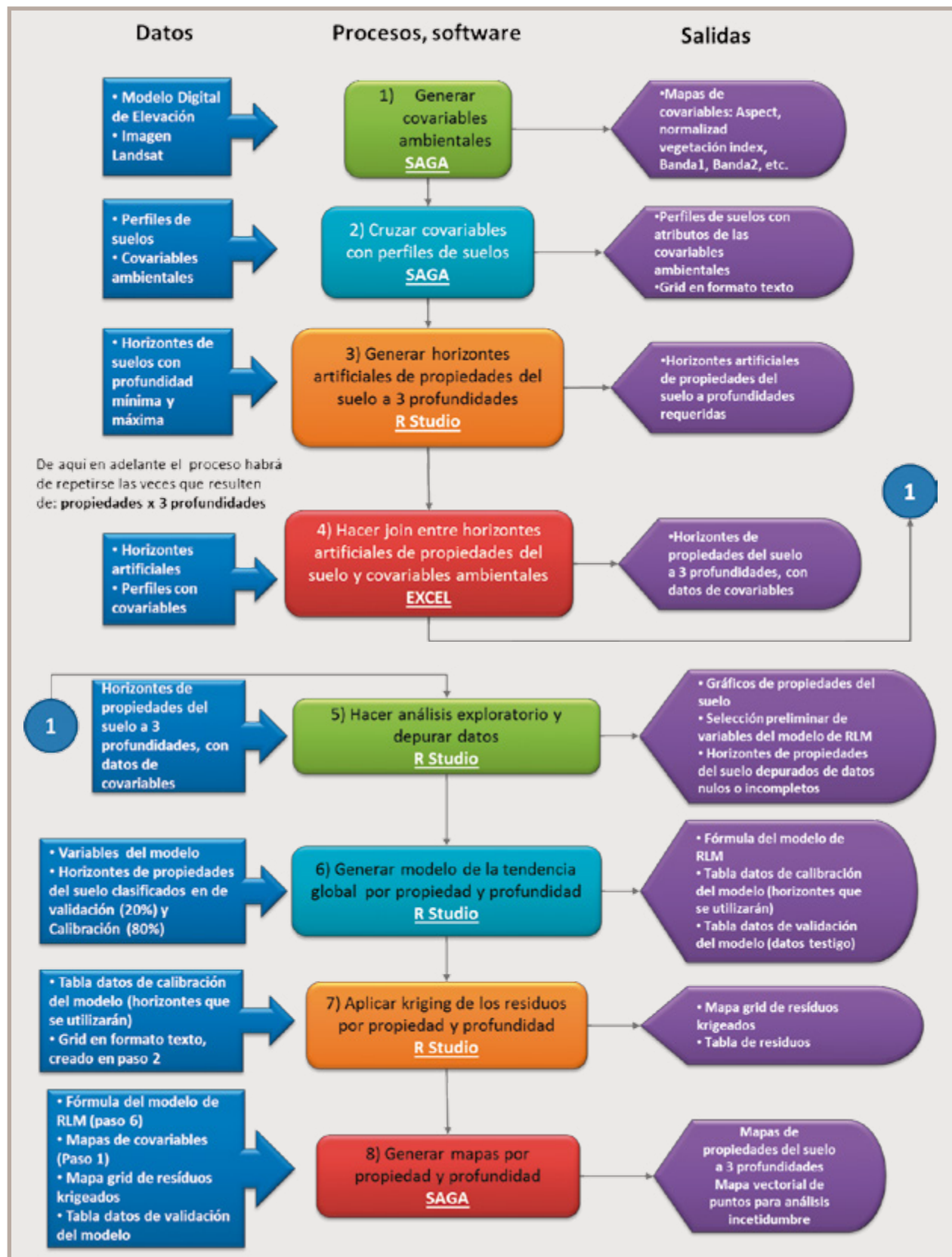
Indicadores de las Respuestas a la Degradación de Tierras

- Áreas Protegidas
- Visión, Extensión y Tendencias de la Conservación de Tierras

Otros indicadores

- Mortalidad Infantil
- Indicador Proxy de Servicios Ambientales

Anexo 4. Método de Evaluación Edafológica



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5. Características climáticas de las zonas secas de Bolivia

Condición	Índice de aridez			
	Hiperárido	Árido	Semiárido	Subhúmedo Seco
Temperatura media anual (°C)				
Mínima	-4.1	-4.5	-6.7	-4.4
Máxima	13.2	21.6	21.9	22.7
Promedio	5.9	8.6	16.2	18.6
Desv. Est.	2.3	4.4	5.5	5.3
Temperatura mínima anual (°C)				
Mínima	-10.9	-11.3	-13.4	-10.2
Máxima	7.5	17.7	18.3	19.4
Promedio	-0.4	2.4	11.6	14.6
Desv. Est.	2.5	5.1	6.3	5.6
Temperatura máxima anual (°C)				
Mínima	2.7	2.4	0.1	1.4
Máxima	18.9	25.6	25.9	26.3
Promedio	12.1	14.7	20.8	22.6
Desv. Est.	2.2	3.8	4.9	5.1
Precipitación total anual (mm/año)				
Mínima	215.9	354.5	413.5	567.8
Máxima	372.3	540.8	853.6	1013.5
Promedio	280.8	429.1	645.1	874.9
Desv. Est.	42.6	40.6	90.4	86.7
Evapotranspiración total anual (mm/año)				
Mínima	688.0	686.9	572.5	681.4
Máxima	1263.8	1287.7	1338.7	1315.4
Promedio	1048.7	1111.5	1155.2	1135.1
Desv. Est.	76.5	77.3	77.1	105.9
Duración de la estación de crecimiento (días/año)				
Mínima	-	-	-	106
Máxima	75	106	166	289
Promedio	-	43	95	158
Desv. Est.	20	26	42	26
Déficit hídrico anual (mm/año) *				
Mínima	1351.9	1364.9	1344.9	1090.9
Máxima	493.9	451.9	297.9	251.9
Promedio	1114.4	1038.2	979.0	735.9
Desv. Est.	103.9	146.1	181.8	118.7

* Se interpreta la como cantidad de agua que falta para llegar a la precipitación caída en un año

Fuente: Elaboración propia

ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

CISTEL	Centro de Investigaciones y de Servicios en Teledetección
COSUDE	Cooperación Suiza en Bolivia
ETP	Evapotranspiración Potencial
FAN	Fundación Amigos de la Naturaleza
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
FPEIR	Fuerzas Motrices - Presión - Estado - Impacto - Respuesta
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
IA	Índice de Aridez
ICP	Índice de la Concentración de Precipitación
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
LADA	Land Degradation Assessment in Drylands Project (Proyecto de Evaluación de la Degradación de Tierras Secas)
Landsat	Land Remote-Sensing Satellite (Satélite de Teledetección Tierra)
MIC	Manejo Integral de Cuencas
MMAy A	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio)
ONU	Organización de Naciones Unidas
PRONALDES	Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía
RA	Radiación Solar extraterrestre
RRD y ACC	Reducción del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático
UMSS	Universidad Mayor de San Simón
UNCCD	United Nations to Combat Desertification (Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía)
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de Naciones Unidas para Medio Ambiente)
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego
WMO	World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial)
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Technologies (Sinapsis Mundial de las Tecnologías y Enfoques de Conservación)

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandris, S., Stricevic, R. y Petkovic, S. (2008). Comparative analysis of reference evapotranspiration from surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith equation. *European Water* (21/22), 17-28
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO
- Annual Global Automated MODIS Vegetation Continuous Fields (MOD44B) at 250 m Spatial Resolution for Data Years Beginning Day 65, 2000 - 2010,
- Baccini, A., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta and R. A. Houghton (2012) Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Clim. Change*, advance
- Bai ZG, Dent DL, Olsson L., Schaepman M E., 2008. Global assessment of land degradation and improvement - 1. Identification by remote sensing. Report 5 2008/08, GLADA - World Soil Information
- Bartsch, K.P., Van Miegroet, H., Boettinger, J. and Bobrowolski, J.P., 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams, Utah. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- Bastian Bertzky, Colleen Corrigan, James Kemsey, Siobhan Kenney, Corinna Ravilious, Charles Besançon y Neil Burgess (2012) Protected Planet Report 2012: Seguimiento del progreso de las metas globales de las áreas protegidas. UICN, Gland, Suiza y UNEP-WCMC, Cambridge, Reino Unido
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R. Karmalkar, A., y Celleri, R. 2012. Uncertainties in climate change projections and regional downscaling: implications for water resources management. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7:1821–1848.
- Cachaca B., 2009. Evaluación de la Degradación de tierras a través del Indicador RESTREND en la Provincia Loayza del Departamento La Paz, Bolivia
- Caldas, E., Jarvis, A., Ramirez, J., Lau, C. 2011. Potenciales impactos del Cambio Climático en Cultivos Andinos. Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático. Decision and Policy Analysis Program (DAPA). CONDESAN, SGCAN. Lima-Quito.
- CAO (Cámara Agropecuaria del Oriente) (2008) Números de nuestra tierra. Cámara Agropecuaria del Oriente. Santa Cruz, Bolivia
- CAZALAC. 2001. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. La Serena, Chile. 59 p.
- Collection 5 Percent Tree Cover, University of Maryland, College Park, MD, USA
- Collins, F.C. and Bolstad, P.V., 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation, Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara.
- CONAFOR-U. A. Chapingo. 2014. Protocolo para el Sistema Nacional de Monitoreo de Tierras con Degradación y Desertificación. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jalisco. 115pp.
- Cuéllar, S.; Rodríguez, A.; Arroyo, J.; Espinoza, S.; Larrea, D.M. Mapa de deforestación de las Tierras Bajas y los Yungas de Bolivia 2000-2005-2010. Proyección Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS84, Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2012. 1 mapa col. 75 x 70 cm.
- DiMiceli, C.M., M.L. Carroll, R.A. Sohlberg, C. Huang, M.C. Hansen, and J.R.G. Townshend (2011),
- Droogers, P. and Allen, R.G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, 16(1), 33-45.
- Euroclima-Unión Europea, 2014. Guía metodológica Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: escenarios, políticas y respuesta
- FAO 1963 “La idoneidad de los Estudios de Suelos de Paraguay, Bolivia. Serie Informes de Recursos de Suelos del Mundo N°9.
- FAO 2003. Evaluación de la Degradación de la Tierra en Zonas Áridas LADALIN
- FAO 2007. Secuestro de carbón en tierras áridas. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N°. 102. ISSN 1020-430X

- FAO 2009. Guidelines for the identification, selection and description of nationally based indicators of land degradation and improvement
- FAO 2010. Land degradation assessment in drylands (LADA) Project findings and recommendations
- FAO 2013. Cuestionario para el mapeo de degradación de tierras y el manejo sustentable de la tierra. LADA
- FAO 2013. Mapeando Sistemas de Uso de la Tierra a escalas Globales y Regionales. Versión 1.1 LADA.
- FAO 2013. Método y Resultados. Proyecto LADA.
- FAO 2016. Manual for Local Level Assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management Field methodology and tools
- FAO 2014 Última visita página junio <http://www.fao.org/nr/land/degradation/en/>
- FAO. 2002. Guidelines for the Qualitative Assessment of Land Resources and Degradation. AGL/MISC/33/2001. FAO, Roma. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/misc33.pdf>
- Figueredo H., 2013. Agroecological Zoning of 20 municipalities at south of Oruro. Ministry of Planning of Development.
- G. Gisladottir, M. Stocking 2004 Land Degradation Control And Its Global Environmental Benefits. Land degradation and Development. 16: 99–112 (2005).
- G. van Lynden et. al. ISRIC-Wageningen. 2012. 'Mapping the impact of SLM – the WOCAT –DESIRE experience
- Galopo, Erwin 2002 Desertificación y Conservación de Suelos. Superintendencia Agraria, en Memorias del Encuentro Desarrollo de los Ecosistemas de Montaña y Biodiversidad en Bolivia. Zambrana, Gonzalo. Departamento de Desarrollo Rural, FCAPFyV UMSS.
- Giordani C. and Zanchi C. 1995. Elementi di conservazione del suolo, Bologna, pp. 260.
- Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York, 483 pp.
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, R.H. & Riley, J.P. (1985). Irrigation water requirements for Senegal River Basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 111(3), 265-275.
- Hartemink, A.E., P. Krasilnikov and J.G. Bockheim 2013 Soil maps of the world. Geoderma 207-208: 256-267
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International. International Journal of Climatology, 25(15), 1965-1978.
- Houérou HN le, 1984. Rain-use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. Journal of Arid Environments 7, 213-247
- Houérou HN le, RL Bingham and W Skerbek, 1988. Relationship between the variability of primary production and variability of annual precipitation in world arid lands. Journal of Arid Environments 15, 1-18
- Hurni H. 1988. Degradation and Conservation of the Resources in the Ethiopian Highlands.
- IUCN and UNEP-WCMC (2011) The World Database on Protected Areas (WDPA): January 2011. Cambridge, UK: UNEP-WCMC
- Janssen, P.H.M., y P.S.C. Heuberger. 1995. Calibration of process-oriented models. Ecol. Mod. 83:55-66.
- Johnston, R. Z. y Matlock, M. D. 2011. Geospatial climate data. The sustainability consortium. 20 p.
- Laboratorio Nacional Oak Ridge 2006 LandScan. EE.UU
- LADA 2014 Cierre de proyecto LADA, Última visita página junio. http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=187%3Aclosure-of-the-lada-project&catid=1&Itemid=171&lang=es
- Li, J. y Heap, A. D. 2008. A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. Geoscience Australia Record 2008/23. Canberra. Australia.
- Lindeque L. LADA South África. 2010. Training manual for the assessment of land degradation and sustainable land management based on the LADA/WOCAT Mapping methodology (QM)
- Lindeque L. LADA - WOCAT 2009. Mapping land degradation and conservation in South Africa
- Liniger Hanspeter et. al. 2012. Tools for Better SLM Knowledge Management and Informed Decision-Making in Addressing Land Degradation at Different Scales: The WOCAT–LADA–DESIRE Methodology
- Mayer, D.G., y D.G. Butler. 1993. Statistical validation. Ecol. Mod. 68:21-32.
- Merrit, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. Environmental Modelling and Software, 18: 761-799.
- Metternicht GI, Zinck JA (1998). Evaluating the information content of JERS-1 SAR and Landsat TM data for discrimination of soil erosion features. ISPRS J. Photogram. Remote Sens. 53 (3): 143-153

- M. S. Reed et. al. 2011. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological Framework for knowledge management
- Mitasova, H., 2000. Terrain Modelling and Soil Erosion Simulation. Final Report, Geographic Modelling and Systems Laboratory, University of Illinois, Illinois.
- MMAyA, VRHyR, UMSS 2010 Convenio Interinstitucional de Financiamiento N° 34, Estado Plurinacional de Bolivia. N° 51. 2 de Diciembre.
- Muller, R., D. Muller, F. Schierhorn, G. Gerold and P. Pacheco. 2011. Proximate causes of deforestation in the Bolivian lowlands: an analysis of spatial dynamics. In an analysis of spatial dynamics.
- Nyssen et al. 2004. Human impact on the environment in the Ethiopian Eritrean Highlands.
- Nyssen. 2005. Effectiveness of stone bunds in controlling soil erosion on cropland in the Tigray Highlands, northean Ethiopia.
- Oldeman L.R., van Engelen, V.W.P. y Palles, I.H.M. 1990. The Extent of Human-Induced Soil Degradation. Annex 5 of Oldeman L.R., R.T.A. Hakkeling and W.G. Sombroek. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note, rev. 2d ed. ISRIC, Wageningen.
- Organización Meteorológica Mundial - Asociación Mundial para el Agua. 2016. Manual de indicadores e índices de sequía
- Peduzzi, P. (2012). Flood frequency. UNEP/DEWA/GRID-Europe. Disponible en internet: <http://preview.grid.unep.ch>
- Peduzzi, P. (2012). Physical exposition to droughts events 1980-2001. UNEP/DEWA/GRID-Europe. Disponible en internet: <http://preview.grid.unep.ch>
- Pullido J., Bocco G., 2010. ¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? Panorama global y local.
- Renard, K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K. and Yoder D.C. 1997-Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No. 703, pp.404.
- Rodriguez Montellano A. 2012. Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio. Ecología en Bolivia 47 53-71
- Roose E. 1996. Land husbandry: Components and strategy. FAO Soils Bulletin N° 70, Rome, 380 pp.
- Saavedra 2005 Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques. A case study in Cochabamba, Bolivia. Ph.D. dissertation at Wageningen University, The Netherlands.
- Sánchez R., Gómez C. 2012. Programa Nacional de Monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras en Colombia. Bogotá, Colombia
- SERNAP 2010 Reglamento General de Áreas Protegidas
- UNESCO. (2001). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. La Serena, Chile: Autor
- UNEP (1997). World atlas of desertification. Londres: John Wiley & Sons. UNEP (United Nations Environment Programme), 1997. World atlas of desertification 2ED. UNEP, Londres.
- UNESCO, 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de America Latina y el Caribe. CAZALAC, Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°3
- WDPA 2011 basado en las ecorregiones de Olson et al. 2001
- White, P., Hilario, F., Guzmán R.G., Cinco, T., Aberly, N.W., De Silva, S. 2010. A review of climate change model predictions and scenario selection. 29 p.
- Williams, J.R., 1975. Sediment Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor, U.S. Department of Agriculture.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. USDA Agriculture Handbook No. 537.
- WMO 2006 Overview of Drought Management.
- http://www.wamis.org/agm/meetings/slovenia10/S1-Stefanski_Drought_Management.pdf
- Velasco I., Cortés G. 2006. Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. Soil erosion and desertification