



Línea Base del Estado del Proceso de Degradación de Tierras Secas de Bolivia (Tierras áridas, semi-áridas y subhúmedas secas) y Diseño del Esquema del Sistema de Monitoreo de la Degradación de Tierras en Tierras secas en base al Enfoque LADA



Memoria Explicativa Técnica





**Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego**

**Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria
Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección (CISTEL)**

Convenio Interinstitucional No 34

**Proyecto: “Línea Base del Estado del Proceso de Degradación de Tierras
Secas de Bolivia (Tierras áridas, semi-áridas y subhúmedas secas) y Diseño
del Esquema del Sistema de Monitoreo de la Degradación de Tierras en
Tierras Secas en base al Enfoque LADA”**

Memoria técnica de degradación de tierras secas

Bolivia
Versión 2014

Impreso para respaldo POA

AUTORIDADES:**MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA**

Lic. María Alexandra Moreira López

VICEMINISTRO DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO

Ing. Carlos René Ortuño Yañez

EDITORES:

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)
Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR)

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

AUTORES INSTITUCIONALES:

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR)

Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección (CISTEL)

DEPÓSITO LEGAL:**ISBN:****PUBLICACIÓN A SER CITADA COMO:**

Memoria técnica de Degradación de Tierras Secas de Bolivia.. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, Universidad Mayor de San Simón, Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección. 227 p.

Está permitida la reproducción del presente documento, siempre que se cite la fuente de la sección utilizada y los autores institucionales.

Presentación

En los últimos años se han hecho varios esfuerzos por comprender, evaluar y vigilar la degradación de tierras en general, y la desertificación en particular. Para responder a la necesidad de disponer de información actualizada y comparable sobre la degradación de las tierras, 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).

El enfoque LADA tiene como objetivo evaluar el alcance y las causas de la degradación de tierras en zonas áridas. Mismo que 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 y la 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 principios de armonía, cuyos elementos afirman esta voluntad de cambio y la importancia que da ahora el Estado Plurinacional de Bolivia al respeto del medio ambiente, a un mejor aprovechamiento y manejo 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 Diseño del Esquema del Sistema de Monitoreo de la Degradación de Tierras en Tierras Secas (Desertificación) en base al Enfoque LADA”, en este sentido pone a disposición de los profesionales e instituciones del sector la presente “Memoria Técnica de Degradación de Tierras Secas de Bolivia”.

Ing. Carlos René Ortuño Yañez
Viceministro de Recursos Hídricos y Riego

Índice

PRESENTACIÓN.....	4
Índice	5
Lista de Cuadros.....	8
Lista de Mapas	9
Lista de Figuras	11
Lista de Gráficos	13
Abreviaciones y acrónimos.....	14
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS	18
1.2.1. ESTUDIOS SOBRE DEGRADACIÓN DE TIERRAS: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA	22
1.2.1.1. AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	23
1.2.1.2. BOLIVIA	24
2. MÉTODO.....	27
2.1. DELIMITACIÓN DE TIERRAS SECAS.....	27
2.1.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS DE LAS TIERRAS SECAS	29
2.2. ENFOQUE FPEIR DE LADA	32
3. INDICADORES.....	35
3.1. INDICADORES DE FUERZA MOTRIZ.....	36
3.1.1. ÍNDICE DE ARIDEZ	44
3.1.2. RÉGIMEN HÍDRICO O RÉGIMEN DE ARIDEZ	46
3.1.3. DURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO.....	46
3.1.4. DÉFICIT HÍDRICO.....	46
3.1.5. ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA DE FOURNIER MODIFICADO.....	46
3.1.6. TENDENCIA DE LA ARIDEZ.....	51
3.1.7. ÍNDICE DE LA CONCENTRACIÓN DE PRECIPITACIÓN	57
3.1.8. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN.....	57
3.1.9. DENSIDAD DE LA POBLACIÓN.....	71
3.2. INDICADORES DE PRESIÓN DIRECTA.....	79
3.2.1. PRESIONES: DEFORESTACIÓN, QUEMAS.....	79
3.2.2. CAUSAS CLIMÁTICAS: AMENAZAS NATURALES	81
3.2.3. CAMBIO DE VEGETACIÓN.....	90

3.2.4. INCIDENCIA DE LA POBREZA EXTREMA Y DENSIDAD DE LA POBREZA.....	92
3.3. INDICADORES DEL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS	96
3.3.1. EROSIÓN	96
3.3.1.1. CARTOGRAFÍA DIGITAL DE SUELOS	96
3.3.1.2. BASE DE DATOS EDAFOLÓGICA	98
3.3.1.3. MAPA DE EROSIÓN.....	100
3.3.2. PRESENCIA DE CÁRCAVAS.....	118
3.3.3. SALINIDAD/SODICIDAD	126
3.3.4. PÉRDIDA DE FERTILIDAD.....	134
3.3.5. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	141
3.3.6. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD.....	145
3.3.7. PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA.....	150
3.3.8. EFICIENCIA DEL USO DE LA LLUVIA	153
3.4. INDICADORES DE LAS RESPUESTAS A LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS.....	156
3.4.1. ÁREAS PROTEGIDAS	156
3.4.2. VISIÓN, EXTENSIÓN Y TENDENCIAS DE LA CONSERVACIÓN DE TIERRAS	163
3.5. OTROS INDICADORES	171
3.5.1. MORTALIDAD INFANTIL.....	171
3.5.2. INDICADOR PROXY DE SERVICIOS AMBIENTALES	174
4. PRÁCTICAS DE MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS IDENTIFICADAS Y CARACTERIZADAS EN FORMATO WOCAT	177
DEGRADACIÓN DE TIERRAS.....	182
5. TIPOS DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS.....	183
6. ÁREAS CRÍTICAS Y BRILLANTES.....	187
7. PROPUESTA – ESQUEMA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS DE BOLIVIA	194
7.1. INTRODUCCIÓN.....	194
7.2. OBJETIVO	196
7.3. PROPUESTA.....	196
7.3.1. PRE-DIAGNÓSTICO	197
7.3.2. ELABORACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL.....	197
7.3.3. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN EN SITIOS PILOTO	197
7.3.4. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN A NIVEL NACIONAL Y PLANTEAMIENTOS BÁSICOS PARA UN PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS.....	203

7.3.4.1. INDICADORES A NIVEL NACIONAL.....	203
7.3.5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN	206
7.3.6. DIFUSIÓN Y COOPERACIÓN INSTITUCIONAL	207
7.3.7. RESULTADOS ESPERADOS: SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS DE BOLIVIA - SINADETI	207
8. CONCLUSIONES	208
9. RECOMENDACIONES	209
BIBLIOGRAFÍA	211
ANEXOS.....	220

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Síntesis de factores de degradación de tierras por zona	20
Cuadro 2. Distribución de superficie de tierras secas según departamentos.....	27
Cuadro 3. Equivalencias entre los criterios de Índice de Aridez y Régimen de Aridez que definen las tierras secas de Bolivia	29
Cuadro 4. . Características climáticas de las zonas secas de Bolivia	29
Cuadro 5. Clasificación de tierras según el índice de aridez.....	44
Cuadro 6. Tendencias de precipitación en las tierras secas de Bolivia expresadas como valor porcentual del total de estaciones meteorológicas analizadas.....	66
Cuadro 7. Rangos de densidad de población.....	71
Cuadro 8. Unidades de los parámetros	98
Cuadro 9. Número de perfiles y muestras de suelos por departamento	98
Cuadro 10. Relación de Pendiente y Actividades de MCS con el factor P	111
Cuadro 11. Grados de erosión en la región árida, semiárida y subhúmeda seca 1996.....	115
Cuadro 12. Grados de erosión en la región árida, semiárida y subhúmeda seca	115
Cuadro 13. Rangos de pendientes para reclasificación del SRTM	119
Cuadro 14. Valores esperados en ILWIS.....	120
Cuadro 15. Asignación de valor a la Cobertura de la Tierra	121
Cuadro 16. Asignación del valor de estandarización a la pendiente	122
Cuadro 17. Valores según la suma jerarquizada en ILWIS	123
Cuadro 18. Unidades de los parámetros	126
Cuadro 19. Rangos de los parámetros analizados	135
Cuadro 20. Crecimiento en porcentaje por año de las áreas protegidas de Bolivia	161
Cuadro 21. Cantidad de Biomasa promedio por departamento, dentro de los límites de tierras secas de Bolivia, expresadas en Toneladas por hectárea.....	174
Cuadro 22. Acuerdos preliminares con actores de sitios piloto	198
Cuadro 23. Indicadores en temas de agua y clima a utilizarse a nivel local.....	200
Cuadro 24. Indicadores de suelos a utilizarse a nivel local	201
Cuadro 25. Indicadores en temas de suelo Uso de la tierra a nivel local	202
Cuadro 26. Indicadores en temas de Biodiversidad a Nivel Local	202
Cuadro 27. Indicadores en la temática de recursos hídricos y climatología para evaluar la degradación de tierras a nivel nacional.....	203
Cuadro 28. Indicadores en la temática de uso y cobertura para evaluar la degradación de tierras.....	205
Cuadro 29. Indicadores en temas de Biodiversidad a Nivel Nacional	206

Lista de Mapas

Mapa 1. Mapa de Región Árida, Semiárida, y Subhúmeda Seca de Bolivia 1996 (PRONALDES)	25
Mapa 2. Área de Estudio de Tierras Secas de Bolivia 2014.....	28
Mapa 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio	37
Mapa 4. Variabilidad espacial de la temperatura mínima anual para el periodo 1980-2010.....	39
Mapa 5. Variabilidad espacial de la temperatura máxima anual para el periodo 1980-2010.....	40
Mapa 6. Variabilidad espacial de la temperatura media anual para el periodo 1980-2010.....	41
Mapa 7. Variabilidad espacial de la precipitación total anual para el periodo 1980-2010	42
Mapa 8. Evapotranspiración potencial total anual para el periodo 1980-2010.....	43
Mapa 9. Índice de aridez.....	45
Mapa 10. Clasificación del régimen hídrico o régimen de aridez para el periodo 1980-2010.....	47
Mapa 11. Duración de la estación de crecimiento según el criterio FAO (1996)	48
Mapa 12. Valores de déficit hídrico total anual para el periodo 1980-2010	49
Mapa 13. Índice de agresividad climática de Fournier modificado para el periodo 1980-2010	50
Mapa 14. Índice de aridez para Bolivia durante el periodo 1980-1990.....	53
Mapa 15. Índice de aridez para Bolivia durante el periodo 1991-2000.....	54
Mapa 16. Índice de la concentración de precipitación para el periodo 1980-2010	59
Mapa 17. Densidad de la población 1995.....	72
Mapa 18. Densidad de la población 2000.....	73
Mapa 19. Densidad de la población 2005.....	74
Mapa 20. Densidad de la población 2010.....	75
Mapa 21. Densidad de la población 2015.....	76
Mapa 22. Luz de Bolivia – imagen satelital nocturna de tierras secas	77
Mapa 23. Presiones: Deforestación y quemas	80
Mapa 24. Distribución espacial de los cambios de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia durante el periodo 1970-2010	86
Mapa 25. Duración del periodo de crecimiento en las tierras secas de Bolivia.....	87
Mapa 26. Exposición a la sequía en las tierras secas de Bolivia expresada como la cantidad de personas afectadas por año	88
Mapa 27. Frecuencia de inundaciones en las tierras secas de Bolivia	89
Mapa 28. Cambio de vegetación	91
Mapa 29. Incidencia de la Pobreza Extrema	93
Mapa 30. Puntos de muestreo de suelos.....	99
Mapa 31. Mapa del factor R.....	102
Mapa 32. Factor K – Erodabilidad del Suelo.....	106
Mapa 33. Factor LS – Grado y longitud de la pendiente.....	108
Mapa 34 . Factor C – Cobertura vegetal	112
Mapa 35. Factor P. Prácticas de Manejo y Conservación de suelos	113
Mapa 36. Mapa de grados de erosión de PRONALDES 1996	116
Mapa 37. Mapa de grados de erosión	117
Mapa 38. Grado de susceptibilidad a la formación de cárcavas	125
Mapa 39. Puntos de muestreo suelos – salinidad / sodicidad	130
Mapa 40. Puntos de muestreo suelos – salinidad / sodicidad - RAS	131
Mapa 41. Conductividad Eléctrica	132
Mapa 42. Relación de Sodio Intercambiable RAS.....	133
Mapa 43. Nitrógeno Total	136

Mapa 44. Capacidad de Intercambio Catiónico	137
Mapa 45. Materia Orgánica	138
Mapa 46. Fosforo Intercambiable	139
Mapa 47. PH	140
Mapa 48. Cobertura.....	143
Mapa 49. Uso de la tierra.....	144
Mapa 50. Biodiversidad: Riqueza de Especies	147
Mapa 51. Riqueza de Endemismos.....	148
Mapa 52. Pérdida de Biodiversidad.....	149
Mapa 53. Productividad Primaria Neta.....	152
Mapa 54. Eficiencia en el uso de la lluvia.....	154
Mapa 55. Áreas Protegidas	162
Mapa 56. Visión de conservación	167
Mapa 57. Estado actual de la conservación	168
Mapa 58. Estado futuro de la conservación.....	169
Mapa 59. Mortalidad infantil	172
Mapa 60. Proxy de Servicios Ambientales: Almacenamiento de CO ₂	175
Mapa 61. Prácticas de Manejo Sustentable – Fichas WOCAT.....	181
Mapa 62. Tipos principales de degradación de tierras.....	184
Mapa 63. Tipos secundarios de degradación de tierras	185
Mapa 64. Tipos terciarios de degradación d	186
Mapa 65. Hot spots y Bright spots en base a P/ETP 1980 - 2010.....	189
Mapa 66. Índice de degradación de tierras	190
Mapa 67. Índice de conservación de tierras	191
Mapa 68. Índice de prioridad de intervención de tierras secas	192

Lista de Figuras

Figura 1. Tierras secas en el mundo	19
Figura 2. Línea del tiempo de Convenio 34.....	26
Figura 3. Flujograma: Análisis de tendencias climáticas.....	31
Figura 4. Esquema de enfoque LADA – FPEIR.....	32
Figura 5. Esquema de ejecución del Convenio 34	33
Figura 6. Variación del índice de aridez y distribución porcentual de la cantidad de estaciones que presentan diferencias estadísticas significativas en el índice de aridez para cada uno de los periodos analizados y diferentes niveles de significancia (α)	56
Figura 7. Variabilidad espacial y temporal de la tendencia de la precipitación durante la época seca (abril a septiembre) en las tierras secas de Bolivia.....	61
Figura 8. . Distribución espacial de la tendencia de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia para cuatro periodos en época de lluvias Fuente: Elaboración propia	63
Figura 9. Distribución espacial de la tendencia de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia	65
Figura 10. 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 (α).	67
Figura 11. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación durante la época seca	68
Figura 12. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación durante la época de lluvias	69
Figura 13. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación anual	70
Figura 14. Tipos de sequía y sus efectos	83
Figura 15. Densidad de la Pobreza.....	94
Figura 16. Metodo de Evaluación Edafológica	97
Figura 17. Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla (a-c). Coberturas para la fórmula del factor K (d-f)	105
Figura 18. NDVI generado con base a la Imagen satelital.....	110
Figura 19. mapas utilizados en la unión espacial para la obtención del Factor de erosión P.....	111
Figura 20. Distribución porcentual de áreas según susceptibilidad a la formación de cárcavas - Bolivia.....	123
Figura 21. Distribución porcentual de las Zonas susceptibles a erosión en cárcava en Tierras Secas de Bolivia.....	124
Figura 22. Áreas Protegidas del Mundo.....	156
Figura 23 Porcentaje de cada ecorregión terrestre resguardada por áreas protegidas designadas nacionalmente en el 2010.....	157
Figura 24. Áreas importantes del mundo para almacenamiento de carbono	158
Figura 25. Extensión total de áreas protegidas IUCN 2011.....	159
Figura 26. Crecimiento en porcentaje por año de las áreas protegidas de Bolivia	161
Figura 27. Esquema del proceso de identificación de vacíos de conservación	163
Figura 28. Mapa de áreas de prioridad por su viabilidad.....	164

Figura 29. Mapa de áreas de prioridad por su rol en funciones ecológicas.....	165
Figura 30. Mapa de áreas de prioridad por su representatividad.....	166
Figura 31. Evolución de tasa de mortalidad infantil 2001-2011 a nivel municipal.....	173
Figura 32. Leyenda y representación gráfica de Uso de la Tierra.....	178
Figura 33. Leyenda y representación gráfica de Clima	178
Figura 34. Leyenda y representación gráfica de degradación de las tierras.....	178
Figura 35. Leyenda y representación gráfica de medidas de conservación.....	179
Figura 36. Distribución porcentual de los principales tipos de degradación identificados LADA ...	183
Figura 37. Fases de propuesta para generar un sistema de monitoreo y evaluación de tierras áridas.....	196
Figura 38. Acciones a realizarse en los sitios piloto.....	199

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Variación de la precipitación mensual para dos estaciones en las tierras secas de Bolivia.....58

Abreviaciones y acrónimos

CISTEL	Centro de Investigaciones y de Servicios en Teledetección
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
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)
MMAyA	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
SPOT	Satellite pour l'observation de la Terre (Satélite para la Observación de la Tierra)
Tmed	Temperatura media mensual
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)

Introducción



**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA
VICEMINISTERIO DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS, FORESTALES Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS EN TELEDETECCIÓN (CISTEL)**

**CONVENIO INTERINSTITUCIONAL No 34
MEMORIA TÉCNICA DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS**

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La aplicación de la geomática ha cobrado relevancia, esto debido a su gran utilidad para la generación de cartografía digital, especialmente para la caracterización y análisis biofísicos y socioeconómicos de un área de estudio, generación de bases de datos geográficos, el análisis y monitoreo de cambio de cobertura y uso de la tierra (áreas urbanas, cultivos, bosques y praderas), diagnósticos y propuestas de planificación territorial y evaluación de tierras, modelamiento hidrológico, generación de mapas de tendencias y escenarios a futuro (por ejemplo climáticos), etc.

En ese contexto, el Centro de Investigación y de Servicios en Teledetección (CISTEL), fue creado en 1990 con el objetivo de apoyar y desarrollar programas de capacitación para estudiantes, profesionales e instituciones sobre el uso de sistemas de información geográfica para procesamiento de imágenes satelitales, fotografías aéreas, elaboración de mapas de diversos temas (cartografía digital e impresa) para el manejo sustentable de los recursos naturales, Planificación Territorial, Reducción del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático (RRD y ACC). CISTEL desarrolla trabajos con instituciones y organizaciones internacionales (WWF, FAO, etc) nacionales y locales como ministerios, mancomunidades de municipios y municipios.

El 2 de diciembre del 2010 la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) a través de CISTEL y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) a través del 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 LADA”¹.

El enfoque LADA (por su acrónimo del inglés Land Degradation Assessment 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 actividades en 5 años en varios países piloto de África y América Latina² 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

¹ Convenio Interinstitucional de Financiamiento N° 34

² Fuente: 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

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

De acuerdo a lo especificado para el proyecto según el Convenio Interinstitucional Nº 34, para Bolivia se ha seleccionado una lista de indicadores como Línea Base a escala Nacional de la Degradación de Tierras Secas en Bolivia. Los indicadores, de acuerdo con lo previsto en el proyecto, se seleccionaron con las contrapartes técnicas del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego y fueron validados en talleres de evaluación participativa de la degradación de tierras con expertos nacionales.

Durante los talleres también se seleccionaron indicadores preliminares para el nivel departamental y municipal. Estos indicadores son preliminares, ya que posteriormente el MMAyA y el VRHR deberán trabajar en coordinación con las gobernaciones y municipios para implementar el sistema de monitoreo de degradación de tierras. Como aporte a lo anterior, según **el alcance del Convenio 34** se ha elaborado un esquema a manera de una primera propuesta del diseño del sistema de monitoreo de degradación de tierras³, que luego deberá ser trabajada en su diseño final por el VRHR.

Objetivos del proyecto

El objetivo de esta parte del estudio es:

- ✓ Elaborar en base a información secundaria una línea base de indicadores de degradación de tierras
- ✓ Proponer un esquema para el diseño del sistema de monitoreo de degradación de tierras.

1.2. DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS

Actualmente 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, los “bienes eco-sistémicos” son productos de la tierra que tienen un valor económico y/o social: incluyendo disponibilidad de tierra, 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 esta limitados a aquellos inducidos por fenómenos antrópicos, pero también incluye sus impactos y efectos naturales (UNCCD, 1994 en LADA, 2011).

³ Ver documento “Diseño del Esquema del Sistema de Monitoreo de la Degradación de Tierras en Tierras secas de Bolivia”

G. Gisladottir y M. Stocking señalan que según la UNEP, la degradación de tierras ha sido reconocida como un problema global asociado con la desertificación y pérdida de diversidad biológica en zonas áridas, semiáridas y áreas sub-húmedas (UNEP, 1992 en G. Gisladottir y M. Stocking, 2004)

Las tierras que podrían ser catalogadas como áridas, según UNEP representan un 47 % de la tierra (UNEP, 1992 en FAO, 2007). La FAO en el documento citado, señala también 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”, 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 (conocida como índice de aridez).

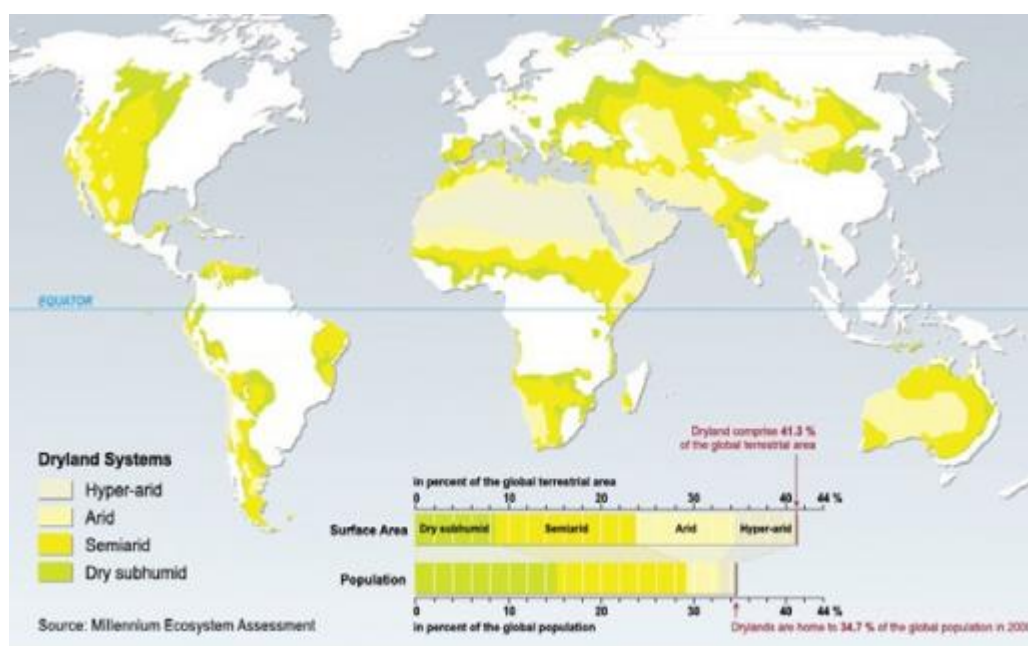


Figura 1. Tierras secas en el mundo

Fuente: http://www.iofc.org/index.php?q=img_assist/popup/68730

Es importante señalar respecto a la degradación de las tierras, que debido a su complejidad, dependiendo incluso del punto de vista o el enfoque del análisis, es altamente variable, discontinuo,

ligado a muchas causas y efectos que afectan a las personas de acuerdo a sus diversas circunstancias económicas, políticas y sociales. G. Gisladdottir y M. Stocking además de remarcar lo anterior señalan que: "es muy común que exista incertidumbre respecto al alcance y el impacto de la degradación de la tierra, que algunas fuentes informan que un 70 % de todas las tierras secas son -desertificadas- ; mientras que otros sugieren que la cifra es de no más de 17 %.

En medio de estas discrepancias, es difícil identificar cuándo y cómo la degradación de la tierras debe ser un tema de preocupación global" (G. Gisladdottir y M. Stocking, 2004). El objetivo general de este trabajo, por tanto, implica uno de los primeros pasos para identificar y entender los procesos de degradación de tierras que se dan en el país, comenzando con una línea base nacional de indicadores relativos a la degradación de tierras en tierras secas, guiándonos para tratar de simplificar el análisis de este fenómeno complejo en el enfoque LADA de acuerdo a lo establecido en el Convenio 34.

Teniendo en cuenta lo anterior, de acuerdo a las características de nuestro país, las principales causas de la degradación de tierras inducidas por las actividades humanas son:

- ✓ Prácticas de manejo no sustentables de cultivos, forestería y ganadería.
- ✓ Inadecuada explotación de recursos naturales.
- ✓ Incremento de la población.
- ✓ Escasez de alimento y combustible.
- ✓ Pobreza.
- ✓ Inseguridad en la tenencia de tierras.

Otras causas naturales son:

- ✓ Acción natural del agua y el viento.
- ✓ Desastres naturales.
- ✓ Variabilidad climática.

Existen diferentes tipos de degradación de tierras que se derivan de estas causas y son:

- ✓ Degradación física: como erosión hídrica y eólica, compactación, etc.
- ✓ Degradación química: Acidificación, salinización, sodificación, contaminación (exceso de fertilizantes químicos, desechos industriales y domésticos no orgánicos), reducción de nutrientes.
- ✓ Degradación Biológica: reducción de la biomasa, reducción de la biodiversidad, reducción del valor nutricional del alimento para ganado y animales silvestres, eutrofización.

Lo anterior muestra que hay múltiples factores que inciden en la degradación de tierras secas tales como el clima, la forma del terreno, geología, los suelos, la cobertura vegetal, el uso de la tierra, etc. y se constituyen en factores de degradación biofísica que dependiendo de la zona varían los tipos de degradación de la tierra como en sus impactos, a continuación el cuadro 1 sintetiza para Bolivia según la zona, estos aspectos:

Cuadro 1. Síntesis de factores de degradación de tierras por zona

Impreso para respaldo POA

20

Zona	Clima	Formas del Terreno	Geología	Suelos	Cobertura vegetal	Uso de la tierra	Factores de degradación biofísica
Montañas amplias y secas de la cordillera oriental	Semiárido frío a templado seco 300 a 700 mm 5 a 19 °C	Serranías y pequeños valles Altitud 2000 a 6421 m	Sedimentos consolidados plegados del ordovícico al terciario en las serranías. Sedimentos cuaternarios no consolidados en los valles intrusivos en la Cordillera Real	Muy poco profundos en laderas, profundos en valles, pedregosos, texturas variables	Dispersa de pastos y arbustos Relictos de bosque seco hacia el este	Ganadería y agricultura extensiva en las serranías, agricultura intensiva en los valles	Erosión hídrica moderada a grave, pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo, extracción de leña y uso agrícola, salinización en valles y depresiones
Altiplano Norte, Central y Sur	Semiárido frío, aumentando el frío y la aridez hacia el sur 200 a 800 mm 5 a 9 °C	Llanuras y Serranías aisladas Altitud 3600 a 4800 m	Sedimentos cuaternarios no consolidados	Profundos, pedregosos, texturas variables	Pastos y arbustos de cobertura variable	Al norte ganadería y agricultura extensiva, Hacia el sur principalmente ganadería extensiva,	Erosión hídrica moderada. Erosión cólica moderada a grave. Pérdida de cobertura vegetal por agricultura, extracción de thola y sobrepastoreo, salinización en depresiones y zonas de microriego
Montañas volcánicas de la cordillera occidental	Semiárido frío 200 a 400 mm 5 a 8 °C	Mesetas y conos volcánicos , Altitud 4000 a 6542 m	Rocas volcánicas pilocénicas	Muy poco profundos, livianos y pedregosos	Dispersa de pastos y arbustos, Keñuales en quebradas y faldas de los conos. Bofedales en depresiones	Pastoreo extensivo En Bofedales pastoreo intensivo	Erosión eólica moderada a grave. Pérdida de cobertura vegetal por extracción de keñua y yareta. Salinización en algunos bofedales
Montañas subhúmedas y boscosas de la vertiente sur oriental de los Andes (Subandino Subhúmedo)	Subhúmedo calido 700 a 2000 mm 20 a 24 °C	Serranías estrechas 500 a 2000 m	Sedimentos consolidados terciarios	Poco profundos a moderados pedregosos	Bosques secos xerofíticos	Ganadería extensiva por ramoneo, cultivos anuales en los estrechos valles	Erosión hídrica ligera a moderada. Pérdida de cobertura vegetal por extracción selectiva de especies forestales y agricultura

Fuente: Galopo, 2002.

1.2.1. ESTUDIOS SOBRE DEGRADACIÓN DE TIERRAS: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

A nivel mundial entre los primeros mapas temáticos de recursos naturales según Hartemink, A.E se encuentra un mapa de Egipto en papiro de Turín considerado el primer mapa geológico (1150 A.C.) y el primer mapa geológico científico publicado que data de 1815 cuando William Smith presento su mapa “Una delineación de estratos de suelos”. Respecto a las características biogeográficas el primer mapa publicado aparece en 1805 mostrando las regiones florísticas de Francia. Mientras que el primer mapa climático apareció en 1823 como un mapa de isotermas publicado por Woodbridge en base al trabajo de Alexander vonHumboldt (Hartemink, A.E., *et al*, 2013).

Específicamente en el tema suelos, los mismos autores señalan que los primeros mapas de características de suelos se elaboraron en China hace unos 4000 años. Muchos estudios se empezaron a realizar en Europa a partir de 1850 aproximadamente, luego Dokuchaev inspirado en los trabajos de Von Humboldt y Grossul-Tolstoi en 1883 realizó un primer esquema o intento de dibujar un mapa de suelos del mundo. Entre los estudiantes de Dokuchaev resalta la continuidad de este trabajo en Glinka que elaboró un mapa a escala 1:80 millones en el año 1908. En Estados Unidos de América los primeros trabajos publicados fueron los de Milton Whitney que en 1909 publico el primer mapa de suelos por regiones de ese país (Hartemink, A.E., *et al*; 2013) y el primer mapa completo del país fue publicado en 1938 por Baldwin, Kellogg y Thorp (Baldwin, Kellogg y Thor, 1938).

Posteriormente de acuerdo con la FAO, se desarrollaron: “métodos empíricos para calcular la erosión total laminar y en surcos en un segmento de pendiente: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos⁴ (FAO, 1992; Wischmeier y Smith, 1978); el Método OnstadFoster, (Onstad y Foster, 1975), y la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos⁵ (Renard *et.al.*, C.A. Jones R.H. Griggs, J.R. Williams y R. Srinivasan 1991).

El estudio de la degradación de la tierra propiamente dicho, no fue encarado 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 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). El programa y la FAO convocaron en 1974 a Roma a expertos para tratar el tema de la degradación de suelos, que recomendaron elaborar un estudio, que luego de muchas gestiones internacionales se plasmó en el “mapa de la degradación de los 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). Cabe resaltar que el documento “Mapa del Estado de la Degradación del Suelos Inducida por el Hombre” señala también que “mientras GLASOD siga siendo de características cualitativas, la Base Digital de Datos SOTER deberá ser utilizada como una fuente de datos cuantitativos específicos para expresar la degradación no solamente del suelo sino también de las tierras” (Oldeman *et al* 1990)

⁴ Universal Soil Loss Equation (USLE)

⁵ Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE),

Impreso para respaldo POA

1.2.1.1. AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En América Latina y el Caribe, los Aztecas tenían una clasificación de suelos de 45 clases y registraban las características del terreno junto con las de tenencia de la tierra (códices de Santa María Asunta y Vergara) y se constituyen en los primeros documentos de registro en los primeros años de la colonia española en México (1544 aproximadamente) de características de los suelos y de la población asentada y las dimensiones de cada terreno, y se constituyen en una muestra documentada del conocimiento ancestral de nuestros pueblos indígenas en la gestión territorial.

Los primeros estudios de suelos en la región documentados se elaboraron a partir de 1880 aproximadamente como iniciativas privadas de empresas transnacionales que para invertir encararon los estudios de suelos (por ejemplo en Honduras para la siembra de banano⁶). Sin embargo las iniciativas institucionales estatales y de investigación no se formalizaron hasta 1920 aproximadamente, por ejemplo en México desde la creación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1927; la cual al inicio de sus actividades creó su departamento agronómico el cual inició estudios sistemáticos de suelos⁷. En Colombia, los primeros estudios fueron realizados en la zona cafetera, el Instituto Geográfico realizó estudios a partir de 1942 y posteriormente en 1950 se creó el Servicio de Defensa y Conservación de Suelos⁸. El 6 de octubre de 1947 se forma la Sociedad Brasileña de la Ciencia del Suelo y a partir de un congreso de la “ALAF” en 1954 varios países le siguieron el ejemplo, impulsados por la iniciativa del Dr. Antonio Arena que invitó a los edafólogos asistentes a participar en la organización de una Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo (SLCS) y formar sociedades nacionales de edafólogos en cada país de Latinoamérica; proponiendo según pláticas ya realizadas, que el primer congreso de esa sociedad en formación se realizó en Abril de 1962⁹.

A raíz de los trabajos realizados en los años 40 y 50, en 1963 la FAO emitió un informe sobre “La idoneidad de los Estudios de Suelos de Paraguay, Bolivia y Perú, como parte de los Informes de Recursos de Suelos del Mundo (FAO, 1963)

Posteriormente uno de los trabajos más completos fue el compilado de los resultados del Taller sobre la Utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la Erosión Actual de Suelos y la Predicción del Riesgo de Erosión Potencial de la FAO que se realizó en 1992 que se publicó como “Erosión de Suelos en América Latina”¹⁰. También se cuenta con el trabajo de Rafael Valenzuela que se presentó en 1991 y se publicó en 1993 bajo el nombre de “Pérdida y Degradación de Suelos en América Latina y el Caribe”¹¹.

“El proyecto de Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) nació en 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

⁶ http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica_Atlas/Meeting2010/08Sep/4_HONDURAS.pdf

⁷ <http://www.chapingo.mx/suelos/nosotros/historia.php>

⁸ http://www.sogeocol.edu.co/documentos/072_est_sob_col_acer_rec_nat.pdf

⁹ <http://www.slcs.org.mx/img/NUESTRAHISTORIA.pdf>

¹⁰ <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>

¹¹ http://www.eure.cl/wp-content/uploads/2010/07/Doc0005_____pdf

nivel mundial para el monitoreo futuro”. En el proyecto participaron los siguientes seis países junto con sus organismos nacionales: Argentina, China, Cuba, Senegal, Sudáfrica y Túnez”.¹². Por lo que Argentina y Cuba fueron los pioneros en aplicar el enfoque LADA en América Latina y el Caribe hasta el cierre del proyecto en 2010 – 2011.

1.2.1.2. BOLIVIA

La mayor parte de los estudios en el país se han concentrado en la evaluación de la erosión a nivel local, es así que desde los años 90’s se han realizado muchos estudios de la erosión a nivel de microcuencas, cuencas, municipios y comunidades.

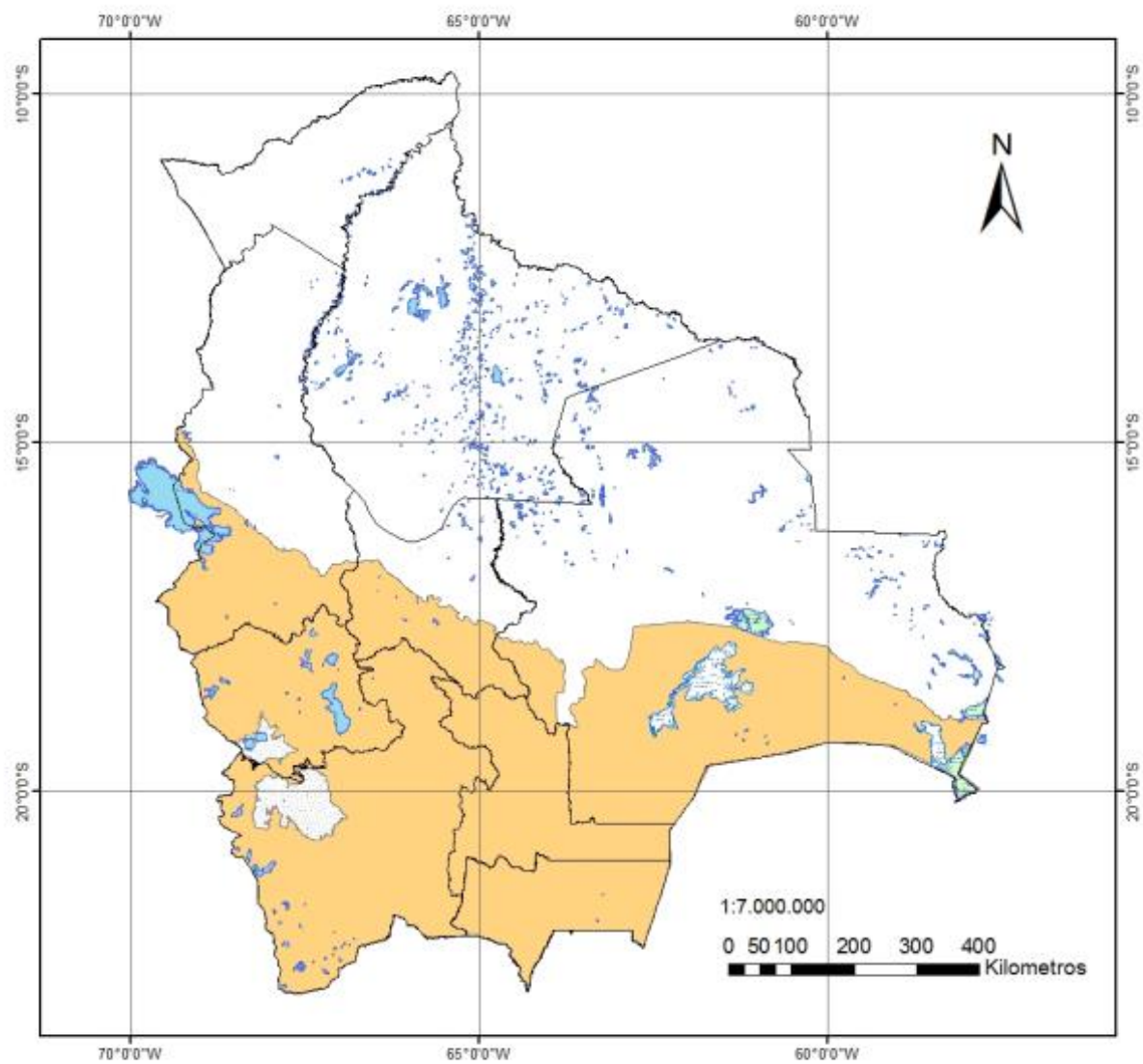
PRONALDES

A nivel nacional en 1996 el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, publico dos mapas: un mapa preliminar de desertificación y uno de erosión. Ese año PRONALDES resaltaba que:

“Según estudios y estimaciones efectuadas, se indica que en las tierras agrícolas del país ... se pierde anualmente por erosión alrededor de 1.800.000 t. de suelo de la capa arable, haciendo que la capacidad productiva de estas tierras disminuya paulatinamente; los pobladores poseedores de estas tierras, generalmente son pobres y con escasa percepción acerca de esta problemática, situación que percute en el deterioro de las condiciones de vida, con graves consecuencias para las futuras generaciones” (PRONALDES, 1996)

En la memoria técnica del Mapa Preliminar de Erosión de Suelos, explican que la elaboración del mapa se basó en “la interpretación de imágenes de satélite LANDSAT-TM Y SPOT; y el análisis integrado de los factores y agentes físicos que causan la erosión (geomorfológicos, geológicos, climatológicos y edafológicos, así como de cobertura vegetal y uso de la tierra o actividad antrópica) a un nivel de Gran Visión (escala 1:1.000.000); y el conocimiento, análisis de la información secundaria existente y los resultados de estudios de evaluación de los recursos naturales anteriormente realizados en la Región”. En el contexto de ese programa también se elaboró el Mapa Preliminar de Desertificación de Tierras de la región árida, semiárida y subhúmeda seca del país, a escala 1:1.000.000, ajustado al Mapa Político de Bolivia (IGM, 1994 en PRONALDES, 1996). Según el informe técnico MMAyA/VRHR/DCRH/UGR/00120/2010 de fecha 4 de octubre 2010 el mapa preliminar de desertificación “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) celebrada septiembre 2009, se considera de carácter prioritario hacer un estudio. En este sentido se considera que el enfoque es apropiado y técnicamente viable”.

¹² http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=113&lang=es



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Area de Tierras Secas - PRONALDES 1996

Legenda

-  Cuerpos de Agua
-  Bañados
-  Salar
-  Llanura Aluvial, Inundable
-  Region Arida, Semiárida y Subhúmeda Seca

Fuente: MDSMA 1996

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es importante señalar que el enfoque del estudio 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. Esto se resume en lo que señala 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”, publicado por la FAO en 2011: Que los “estudios recientes han ampliado la definición de degradación de la tierra más allá de simplemente 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.

“los ecosistemas en los que predominan los cultivos, la actividad forestal o el pastoreo suelen verse afectados negativamente por causas de origen humano sobre todo por el uso y cambios de uso de la tierra que influyen en las características biofísicas de una determinada zona (por ejemplo, la contaminación, la salinización o el agotamiento de nutrientes). Cuando las prácticas de manejo no están bien adaptadas a las condiciones ecológicas locales, puede haber degradación. Incluso una serie de causas aparentemente naturales pueden ser debidas total o parcialmente a la acción humana (invasión de matorrales, incendios forestales, inundaciones, etc.)” (FAO 2011).

Por ello, para el convenio se definió que era necesario tener un conjunto de indicadores que además de la erosión incluyeran otros aspectos relevantes acerca de la degradación de tierras, en función a la información existente y aplicando un enfoque más integral como el Enfoque LADA.

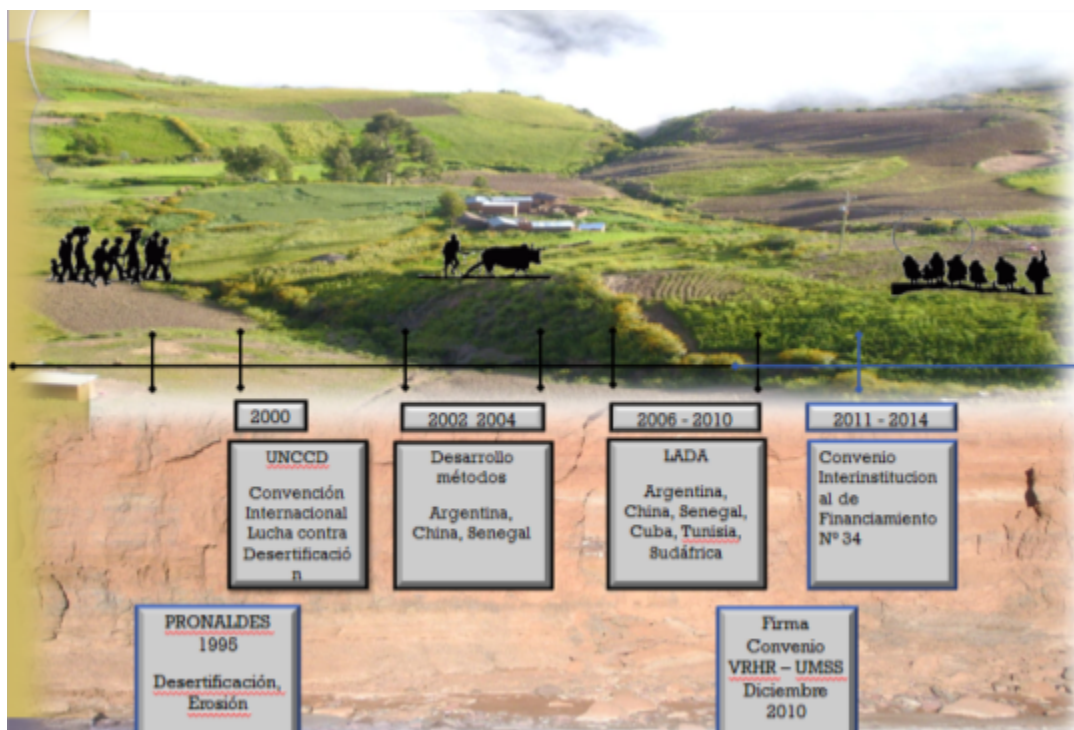


Figura 2. Línea del tiempo de Convenio 34

2. MÉTODO

2.1. DELIMITACIÓN DE TIERRAS SECAS

La combinación de índices climáticos permitieron obtener la delimitación de las tierras secas de Bolivia, de esta manera el país fue dividido 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 generado por Ontiveros 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). Obteniéndose de esta manera una ecuación ajustada de la ETP y, a partir de este se derivó un índice de aridez (IA) ajustado para la delimitación final de tierras secas.

El cuadro 2, 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:

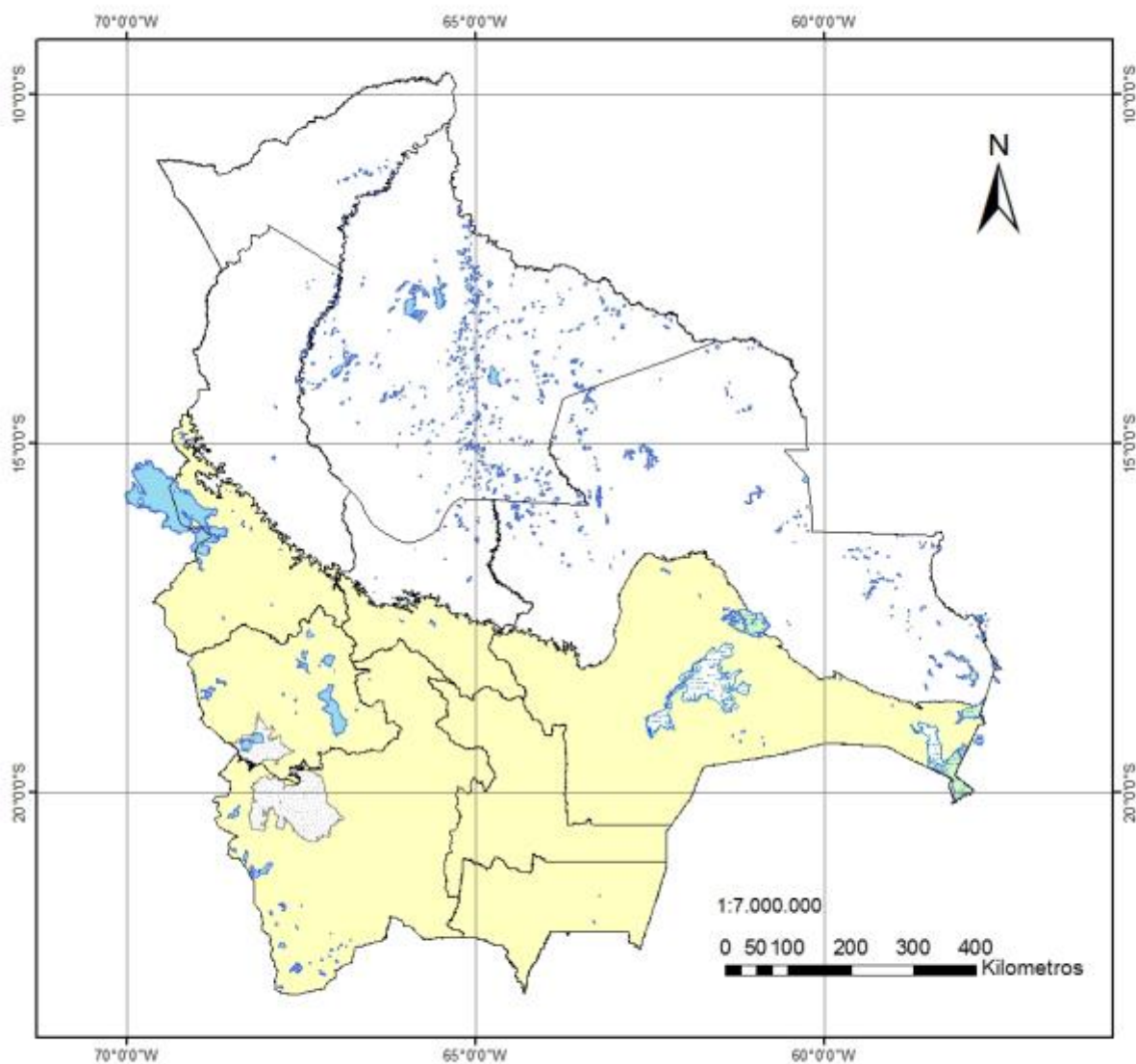
Cuadro 2. Distribución de superficie de tierras secas según departamentos

Depto.	T. Secas	
	km ²	% del total de tierras secas
La Paz	49.738,96	10,27
Oruro	52.245,19	10,79
Potosí	121.339,01	25,05
Cochabamba	24.135,32	4,98
Chuquisaca	51.669,26	10,67
Santa Cruz	147.365,95	30,42
Tarija	37.870,23	7,82
Total	484.363,92	100,00

Fuente: Elaboración propia en base al mapa de tierras secas

Teniendo en cuenta que oficialmente nuestro país tiene una superficie de 1.098.581 Km² el área de tierras secas de Bolivia según el índice de aridez comprendería 484.363,92 km² que representa el 44,09 % de la superficie total del país, a esta categoría pertenecen por tanto los departamentos de Oruro y Potosí, gran parte de los departamentos de Chuquisaca y Tarija, parte de los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. Las tierras húmedas corresponden al Norte de Santa Cruz, Beni y Pando.

Según el índice de Aridez, quedarían excluidas de las tierras secas la región sur de Tarija y el límite entre Chuquisaca y Santa Cruz ya que presentan un régimen húmedo (Ver índice de aridez secciones posteriores), 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.



Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradacion de Tierras Secas de Bolivia

Area de Tierras Secas - Convenio 34 (2014)

Legenda

- Cuerpos de Agua
- Bañados
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Tierras Aridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas

Fuente: VRHR - MMAyA, CISTEL - UMSS 2014

2.1.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS DE LAS TIERRAS SECAS

Las características climáticas de cada una de las zonas secas según el criterio de índice de aridez y régimen de aridez se muestran en el cuadro siguiente, las zonas hiperáridas y áridas (según el índice de aridez), xérico y árido (según el régimen de humedad) 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 incluso por debajo de los 50 mm y generalmente no pasan los 200 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 60 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 (-15,80°C), la precipitación se incrementa hasta valores que van de 557 a 983 mm anuales aunque la evapotranspiración potencial sigue siendo alta y alcanza valores de hasta 1.690 mm, aún más que las zonas áridas, con estos valores el déficit hídrico anual supera los 1.000 mm anuales y el periodo de crecimiento tiene una duración de hasta 100 días al año.

Las características climáticas de las zonas áridas y semiáridas del régimen hídrico, reflejan que las temperaturas medias oscilan entre 14 a 21°C, la precipitación es mayor a 100 mm al año aunque difícilmente supera los 1.000 mm, la evapotranspiración potencial promedio supera los 1.200 mm anuales lo que indica que se tiene un déficit hídrico durante todo el año de entre 500 a 1.500 mm, bajo estas condiciones, la duración del periodo de crecimiento es de dos a cinco meses.

Esta comparación permite proponer ciertas equivalencias entre ambos criterios, en el cuadro abajo se muestran estas equivalencias según las características climáticas.

Cuadro 3. Equivalencias entre los criterios de Índice de Aridez y Régimen de Aridez que definen las tierras secas de Bolivia

Índice de aridez	Régimen de aridez	Índice de aridez	Régimen de aridez
Hiperárido	→ Xérico	Semiárido	→ Árido
Árido	→ Hiperárido	Subhúmedo seco	→ Semiárido

Fuente: Elaboración propia

A partir de este análisis comparativo y sus equivalencias entre ambos criterios es posible delimitar con mayor certeza las tierras secas de Bolivia principalmente considerando no solo el déficit hídrico anual sino también la variación estacional de estas diferencias que en muchos casos sobre todo en lo que se refiere a las actividades agrícolas resultan ser más importantes que un único valor total.

Cuadro 4. Características climáticas de las zonas secas de Bolivia

Condición	Índice de aridez	Régimen de aridez
-----------	------------------	-------------------

	Hiperárido	Árido	Semiárido	Subhúmedo Seco	Xérico	Hiperárido	Árido	Semiárido
Temperatura media anual (°C)								
Mínima	-	-3,50	-5,80	-6,00	-	-2,60	-5,60	-3,30
Máxima	8,40	16,20	25,00	25,00	8,80	24,70	24,70	24,70
Promedio	5,70	7,50	16,50	21,10	6,20	12,00	13,90	20,90
Desv. Est.	1,50	2,70	7,00	5,30	1,50	7,40	6,10	4,80
Temperatura mínima anual (°C)								
Mínima	-7,00	-12,80	-13,80	-15,20	-7,00	-12,80	-15,80	-12,40
Máxima	-0,30	7,70	18,10	19,30	-0,30	17,80	17,80	18,20
Promedio	-3,40	-1,50	8,50	14,40	-3,40	3,10	5,40	13,80
Desv. Est.	1,50	2,80	7,80	5,50	1,60	8,50	7,10	5,10
Temperatura máxima anual (°C)								
Mínima	-	-	-	-	-	-	2,80	4,30
Máxima	17,60	24,60	32,30	32,60	17,60	32,20	32,20	32,2
Promedio	15,10	16,80	24,70	28,80	15,10	20,60	22,10	28,30
Desv. Est.	1,50	2,60	6,10	5,10	1,50	6,90	5,60	4,80
Precipitación total anual (mm/año)								
Mínima	-	49,00	167,00	347,00	-	-	83,00	440,00
Máxima	64,00	336,00	1.082,00	1.479,00	23,00	565,00	874,00	1.054,00
Promedio	55,00	142,00	557,00	983,00	15,00	177,00	428,000	754,00
Desv. Est.	5,00	63,00	171,00	149,00	4,00	165,00	152,00	118,00
Evapotranspiración total anual (mm/año)								
Mínima	948,00	731,00	643,00	583,00	100,00	200,00	462,00	605,00
Máxima	1.296,00	1.612,00	1.844,00	1.889,00	468,00	1.568,00	1.581,00	1.619,00
Promedio	1.168,00	1.253,00	1.552,00	1.690,00	321,00	944,00	1.210,00	1.446,00
Desv. Est.	75,00	128,00	231,00	210,00	84,00	394,00	211,00	179,00
Duración de la estación de crecimiento (días/año)								
Mínima	-	-	-	90,00	-	-	58,00	150,00
Máxima	-	60,00	273,00	304,00	0,00	31,00	121,00	151,00
Promedio	-	9,00	103,00	174,00	0,00	4,00	96,00	151,00
Desv. Est.	-	20,00	35,00	31,00	0,00	10,00	28,00	-
Déficit hídrico anual (mm/año) *								
Mínima	1.233,00	1.342,00	1.355,00	919,00	1.134,00	633,00	551,00	536,00
Máxima	939,00	636,00	407,00	302,00	1.397,00	1.506,00	1.454,00	1.394,00
Promedio	1.114,00	1.112,00	1.000,00	735,00	1.290,00	1.333,00	1.145,00	1.031,00
Desv. Est.	71,00	102,00	162,00	89,00	63,00	105,00	142,00	137,00
* Se interpreta la como cantidad de agua que falta para llegar a la precipitación caída en un año								

. Fuente: Elaboración propia

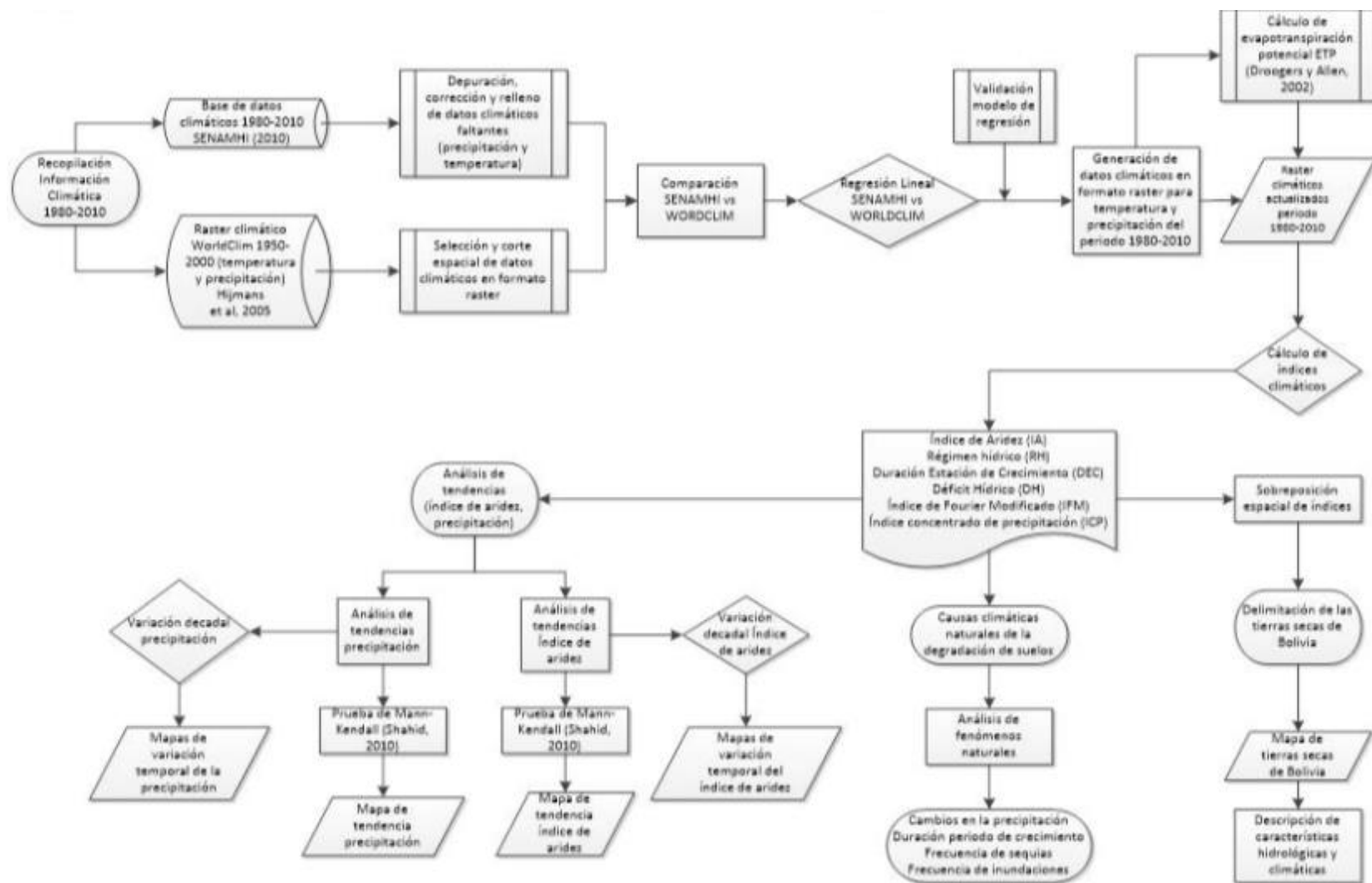


Figura 3. Flujograma: Análisis de tendencias climáticas

Fuente: Elaboración propia

2.2. ENFOQUE FPEIR DE LADA

El enfoque de LADA se basa en el marco teórico que relaciona "Fuerzas Motrices - Presión - Estado - Impacto - Respuesta (FPEIR)" y que sirve para entender cómo tiene lugar el proceso de degradación de las tierras a nivel sub-nacional, nacional y mundial (FAO, 2013), como muestra la figura 4:



Figura 4. Esquema de enfoque LADA – FPEIR

Fuente: 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 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 considerar en la formulación de la metodología de evaluación a todos los niveles.

Como se mencionó en antecedentes, considerando que cada país y cada escala de trabajo tiene sus particularidades, de acuerdo a lo previsto y según el enfoque LADA, además de la selección y obtención de indicadores de una línea base nacional para la zona de tierras secas, a tiempo de los talleres de evaluación participativa de la degradación de tierras secas, se ha identificado con los expertos que participaron en estas actividades, una lista de indicadores que son importantes para incluirlos en la propuesta del esquema de monitoreo de la degradación de tierras ya a nivel departamental y local.

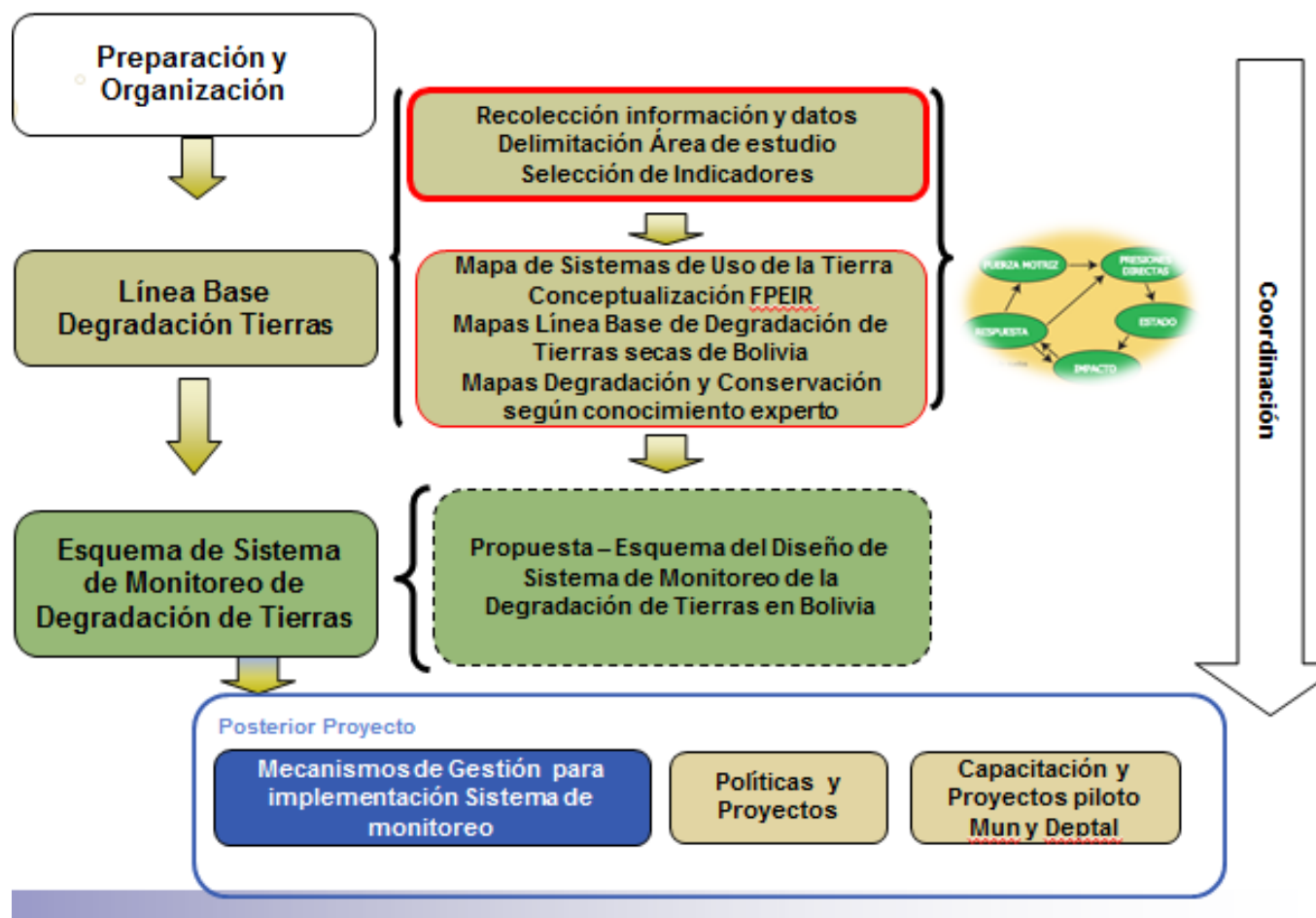


Figura 5. Esquema de ejecución del Convenio 34

Fuente: Elaboración propia

Línea Base de Indicadores de degradación de tierras secas



3. INDICADORES

Una vez definida el área de estudio, de acuerdo al alcance y objeto del Convenio 34, como se ha mencionado anteriormente se elaboró una línea base de indicadores en base a la compilación y procesamiento de información secundaria (mapas y memorias técnicas) por una parte y por otra los resultados de la evaluación participativa de la degradación de tierras en talleres con expertos nacionales. Los indicadores elaborados en base a la información secundaria son:

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

3.1. INDICADORES DE FUERZA MOTRIZ

Los indicadores de fuerza motriz representan actividades humanas, procesos y patrones que tienen impacto sobre la degradación y conservación de la tierra (LADA, 2003)

Los indicadores seleccionados y concertados en los talleres para la línea base respecto a la fuerza motriz a nivel nacional (1:250.000) son:

- ✓ Índice de Aridez
- ✓ Régimen Hídrico - 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

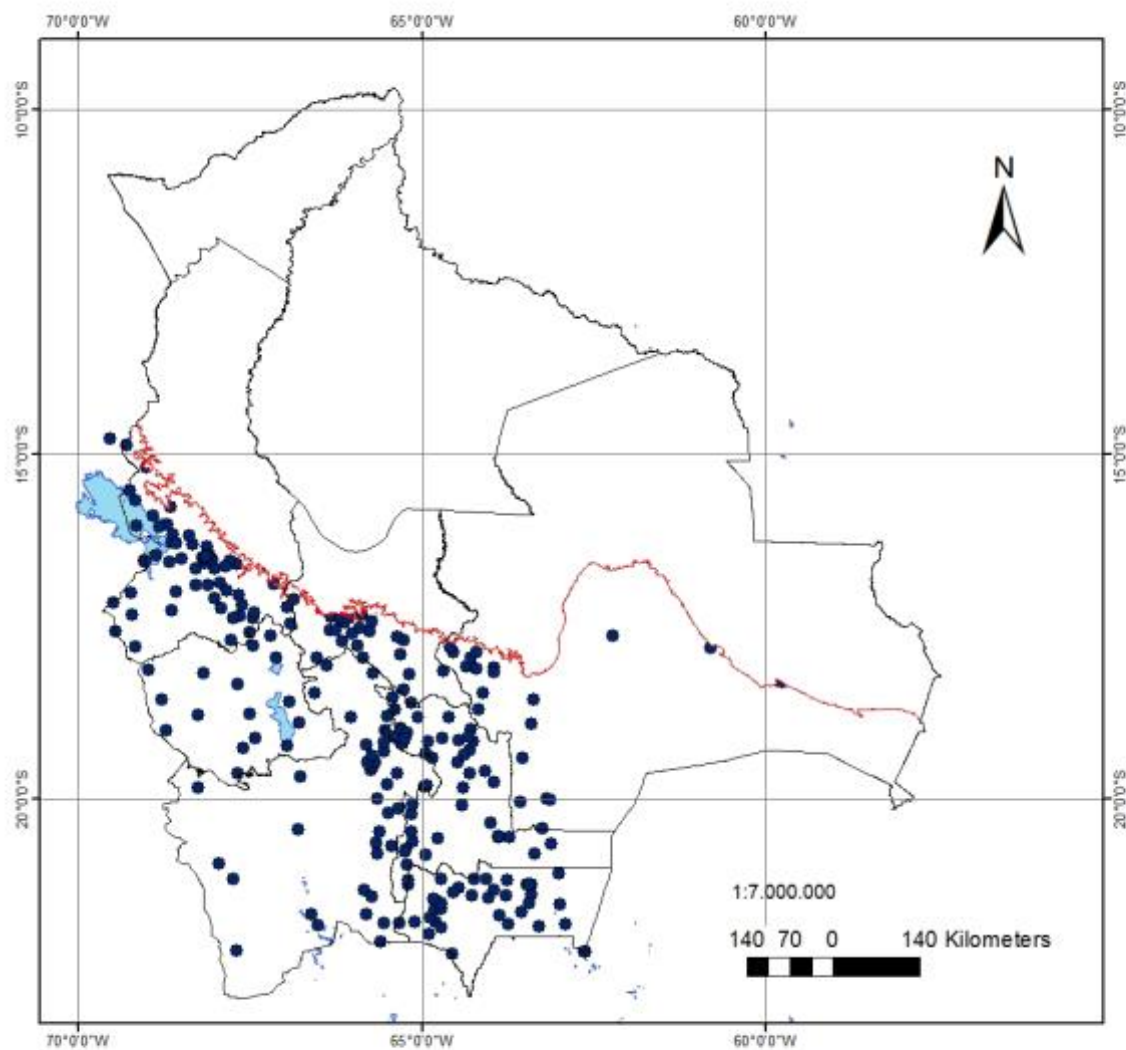
Estos indicadores de acuerdo al enfoque LADA por una parte caracterizan los aspectos naturales que tienen impacto sobre la degradación y las variaciones en la densidad de la población como fuerza motriz que impulsa procesos de degradación si no existe un adecuado manejo.

ANÁLISIS CLIMÁTICO

Los datos climáticos (precipitación y temperatura) fueron proporcionados por el SENAMHI a nivel mensual para un periodo de 30 años desde 1980 a 2010 para un total de 250 estaciones que se ubican en las tierras secas de Bolivia y las zonas de transición (ver mapa), los datos corresponden a temperaturas media, mínima y 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.* para el periodo 1950-2000, para obtener un modelo de regresión que permita obtener superficies climáticas actualizadas para el periodo de estudio (1980-2010) a una resolución espacial de 1 km (Hijmans *et al.* 2005).



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

**Ubicación de las estaciones meteorológicas
 en la zona de estudio
 (tierras secas)
 Periodo de datos climáticos 1980-2010**

Leyenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas
- Cuerpos de Agua
- Salar
- Estaciones Meteorológicas

Fuente:
 Base de datos SISMET (SENAMHI, 2010)

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°C en la estación El Belén (Dpto. de La Paz), la temperatura máxima llega a 36°C en el mes de febrero en la estación Puerto Margarita (Dpto. de Santa Cruz), dependiendo la variabilidad térmica principalmente por 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 -16 a 21°C, 0 a 33°C y -5,6°C a 27°C respectivamente.

Los valores de precipitación total mensual durante el periodo 1980-2010 alcanzan valores que van desde 0,1 mm para el mes de julio en la estación Uyuni (Dpto. de Potosí) hasta un valor máximo de 224,8 mm en el mes de enero para la estación La Florida (Dpto. de Santa Cruz).

Los mapas 4, 5, 6 y 7 muestran la variación y distribución espacial de las temperaturas mínima, máxima y media, y la precipitación para el periodo 1980-2010.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ANUAL

La evapotranspiración potencial total anual fue calculada según Hargreaves-Samani, en el cual se considera como dato de entrada la temperatura media mensual y es recomendable para regiones con poca cantidad de datos (Hargreaves-Samani, 1985 en Ontiveros, 2014), por lo que evapotranspiración potencial está determinada por la siguiente relación:

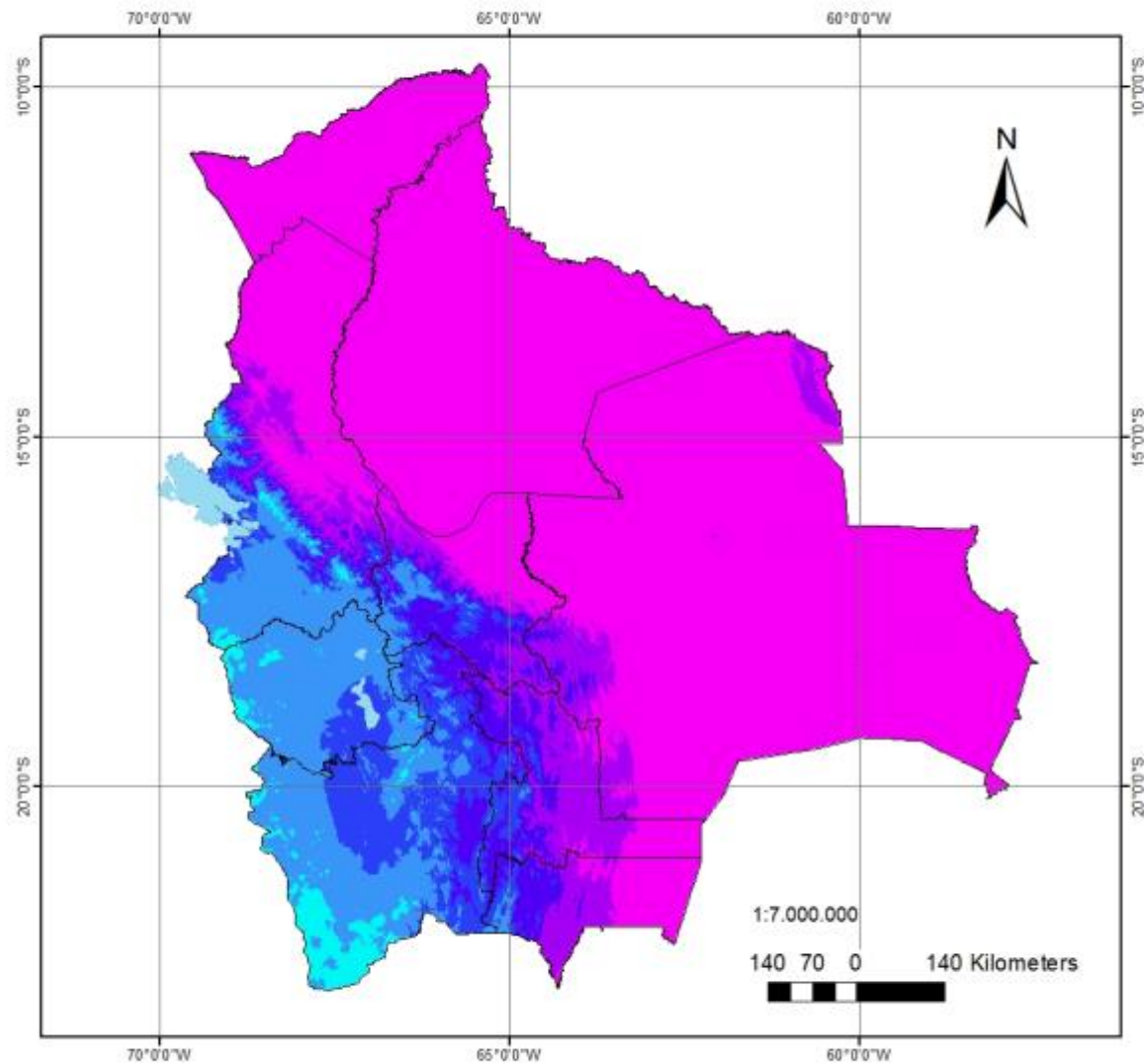
$$ETP = 0,0023 * RA * (Tmed + 17,8) * TD 0,50$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial mensual en mm determinada a partir de la radiación solar extraterrestre RA (mm/mes) estimada según la metodología propuesta por Allen *et al.*, la temperatura media mensual (Tmed) en grados centígrados y del rango de temperaturas diarias (TD) calculada como la diferencia entre la temperatura media máxima mensual menos la temperatura media mínima mensual en grados centígrados (Allen *et al.* 1998). Llegando los valores a oscilar para la zona de estudio entre 1065 mm para la estación Antaquilla (Dpto de La Paz) y hasta 1,816 mm en la estación Quimome (Departamento de Santa Cruz).

Revisando otros trabajos, se llegó a la conclusión de que está comprobado que el uso de este método sobrestima los valores de evapotranspiración potencial con relación a otros métodos como el de Penman Modificado (Droogers *et al.* 2002). Considerando lo anterior se ajustó evapotranspiración potencial correlacionando con el método Penman-Monteith, a partir de la base de datos de la FAO en cropwat (VRHR, 2014).

El mapa 8, muestra la variabilidad espacial de la evapotranspiración potencial, la tendencia muestra un incremento de suroeste a noreste con valores que oscilan desde 348 mm hasta los 1491 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.

.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Valores de temperatura mínima anual (°C) para el período 1980 - 2010

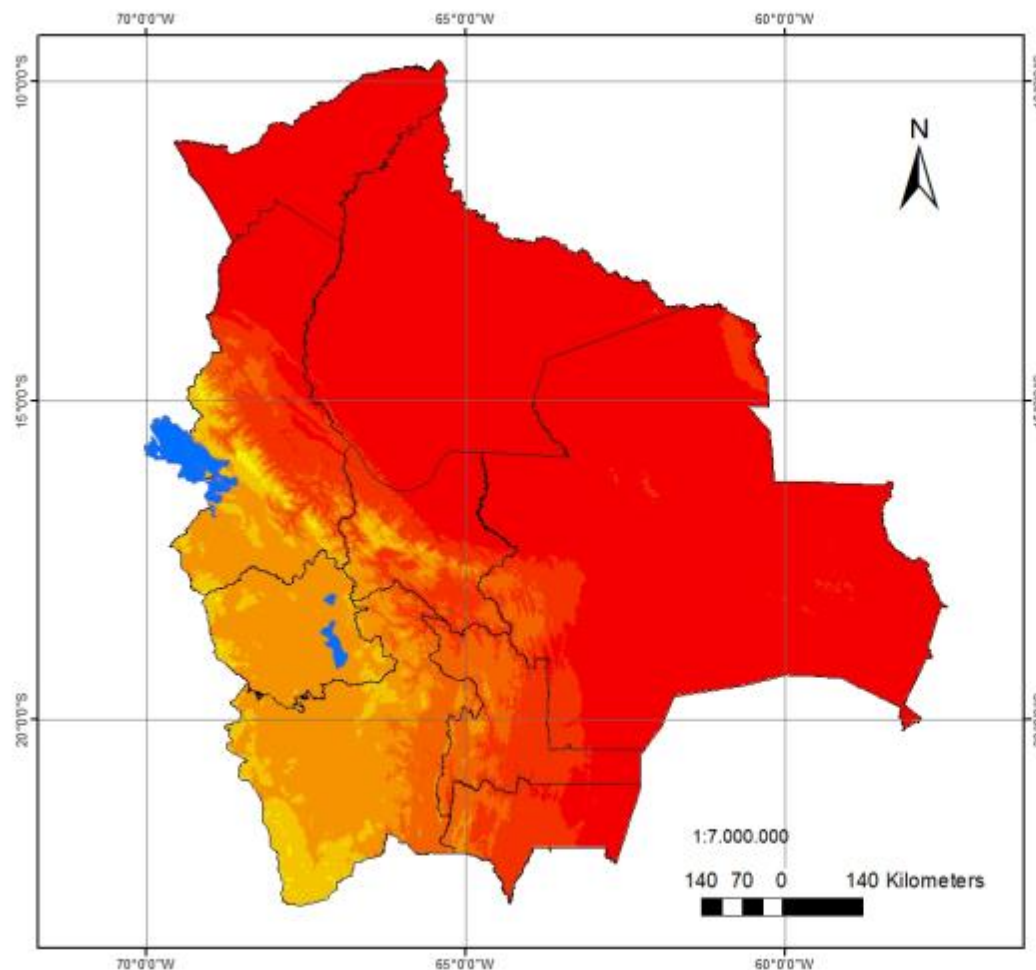
Leyenda

Departamentos

Temperatura mínima anual (°C)

- 16 - -5
- 4 - 0
- 1 - 5
- 6 - 10
- 11 - 15
- 16 - 21

Fuente: Elaborado en base a
 Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
 (2010) para el período 1980 - 2010.
 Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
 land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Valores de temperatura máxima anual (°C) para el periodo 1980 - 2010

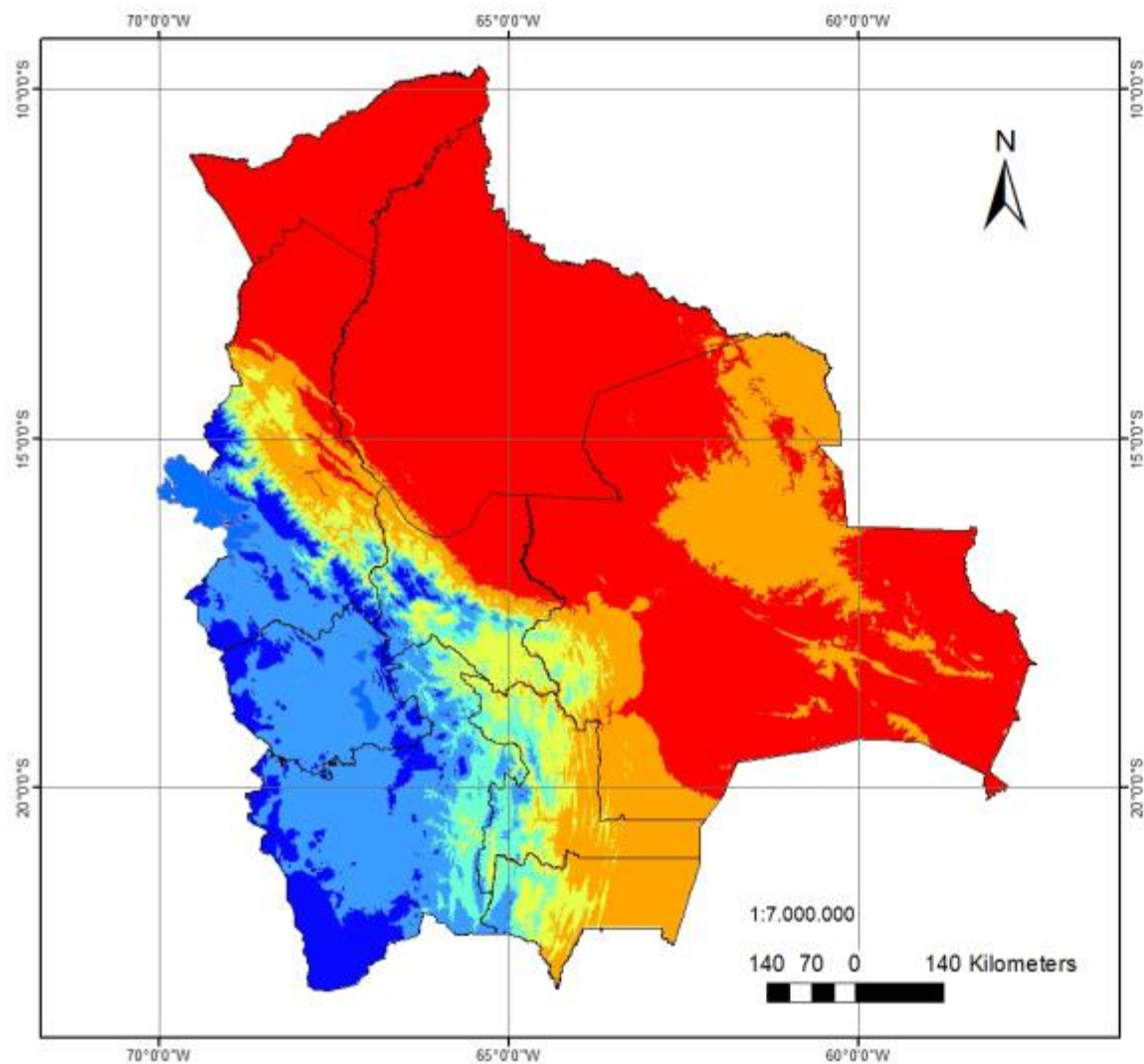
Leyenda

Departamentos

Temperatura máxima anual (°C)

- 0 - 10
- 11 - 15
- 16 - 20
- 21 - 25
- 26 - 30
- 31 - 33

Fuente: Elaborado en base a
 Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
 (2010) para el periodo 1980 - 2010.
 Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
 land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



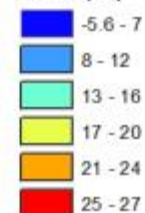
Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradacion de Tierras Secas de Bolivia

Valores de temperatura media anual (°C) para el periodo 1980 - 2010

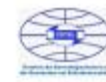
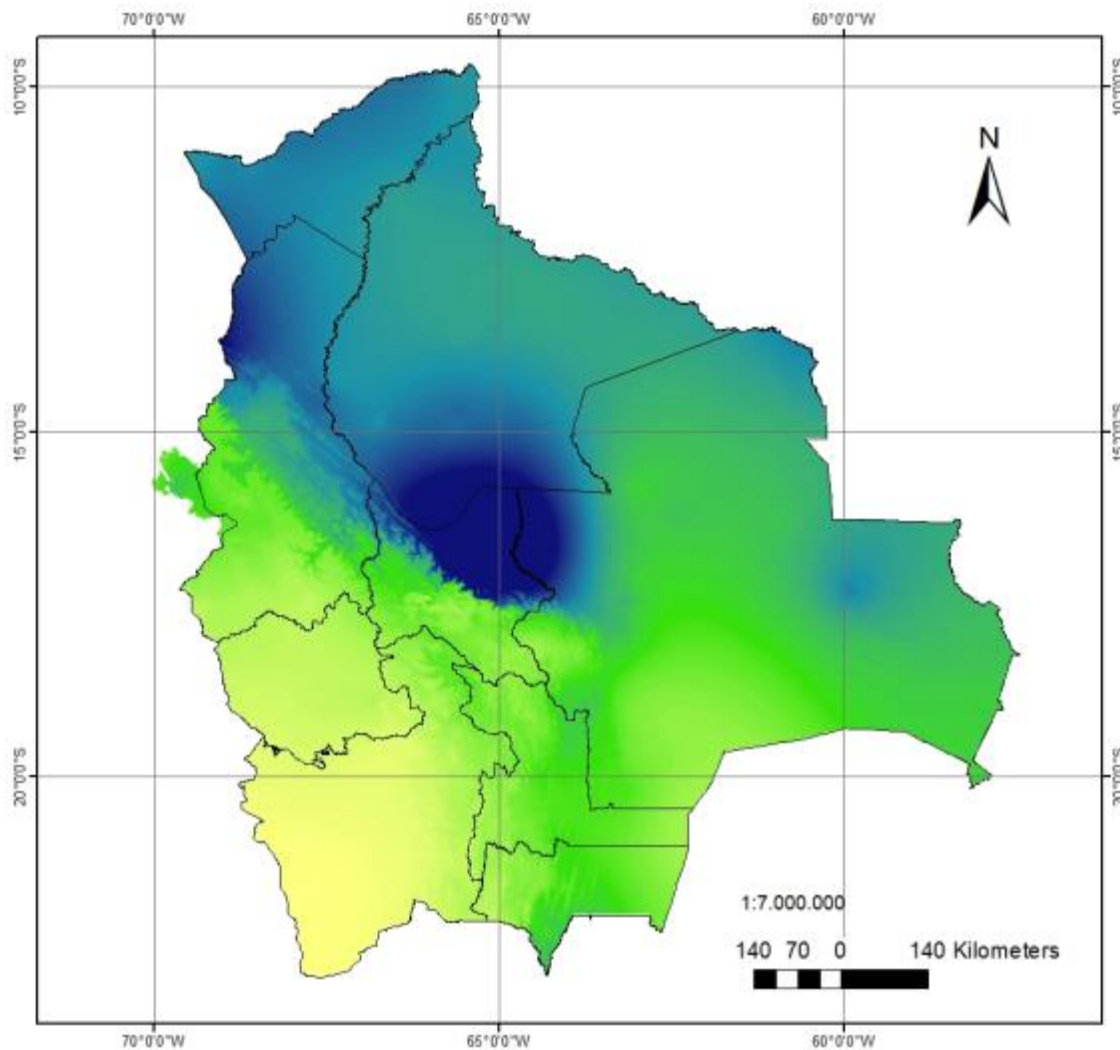
Leyenda

Departamentos

Temperatura media anual (°C)



Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1980 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Valores de precipitación total anual (mm/año) para el periodo 1980 - 2010

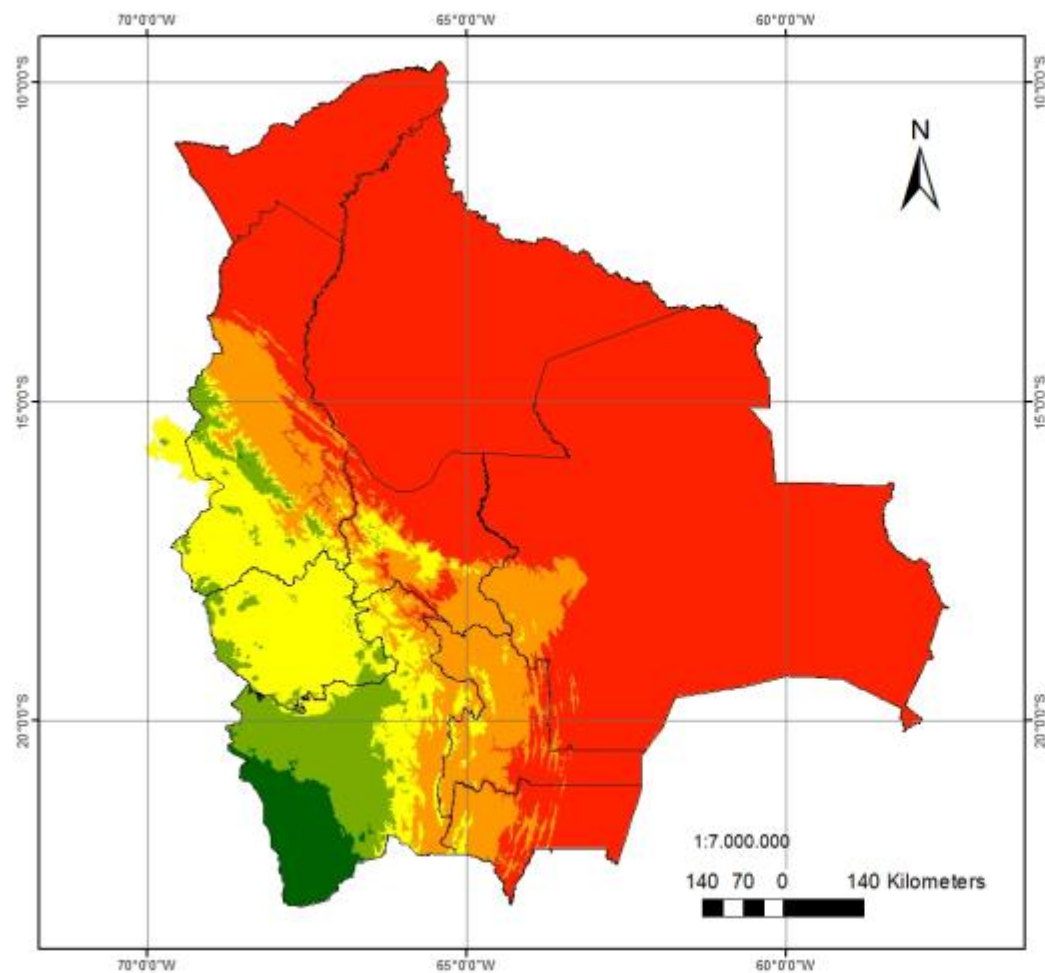
Leyenda

Departamentos

Precipitación Total Anual (mm/año)

- 0 - 200
- 200 - 800
- 800 - 1,200
- 1,200 - 1,700
- 1,700 - 2,300
- 2,300 - 3,720

Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1980 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Evapotranspiración potencial anual (mm/año) para el periodo 1980 - 2010

Leyenda

Departamentos

Evapotranspiración potencial anual (mm/ año)

- 348 - 770
- 770 - 980
- 980 - 1151
- 1151 - 1334
- 1334 - 1491

Fuente:
 Elaborado en base a Chapi, N 2014, Ontiveros 2014.
 VRHR - CISTEL UMSS

3.1.1. 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) según el cuadro 5.

Cuadro 5. 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

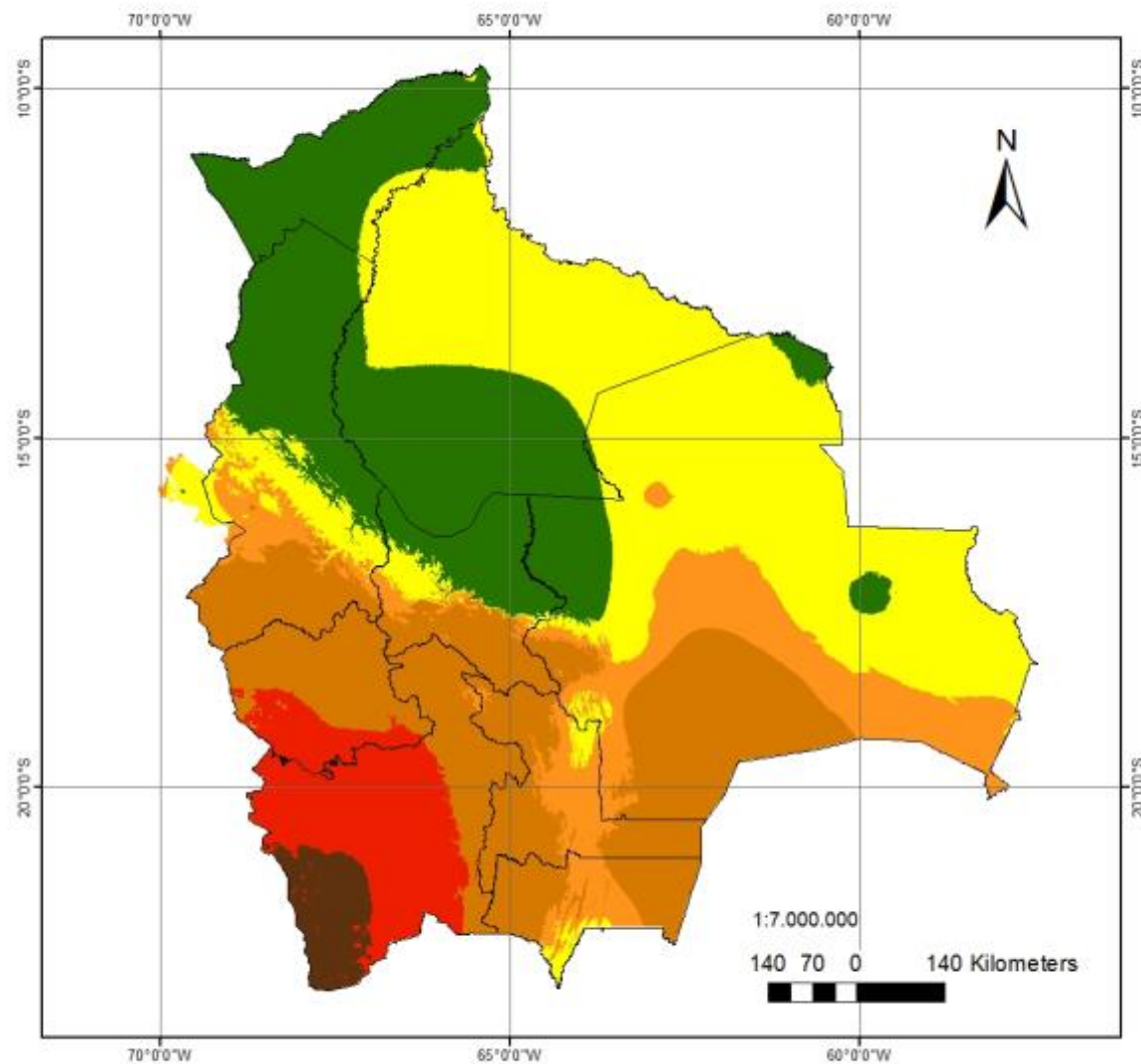
Fuente: UNEP 1997

Considerando lo anterior, 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.

El mapa 9 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 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.

Las tierras secas del país 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.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Índice de Aridez (IA)

Leyenda

Departamentos

Índice de aridez (IA)

< 0.05	Hiperárido
0.05 - 0.2	Árido
0.2 - 0.5	Semiárido
0.5 - 0.65	Subhúmedo seco
0.65 - 1	Subhúmedo húmedo
> 1	Húmedo

Fuente:
 Elaborado en base a Chapi, N 2014 en base a Ontiveros 2014.
 VRHR - CISTEL UMSS

3.1.2. RÉGIMEN HÍDRICO O RÉGIMEN DE ARIDEZ

Un segundo criterio para definir los niveles de aridez en 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).

Los resultados obtenidos se muestran en el mapa 10, según este criterio 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. Según este criterio el 44,4% de la superficie total del país corresponde a zonas xéricas, hiperáridas, áridas y semiáridas y el restante 55,6 % a zonas subhúmedas, húmedas, hiper húmedas, hídricas e hiper hídricas. Las regiones más secas se ubican al sur de Potosí en los límites con Chile, las zonas hiper áridas 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.

3.1.3. DURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO

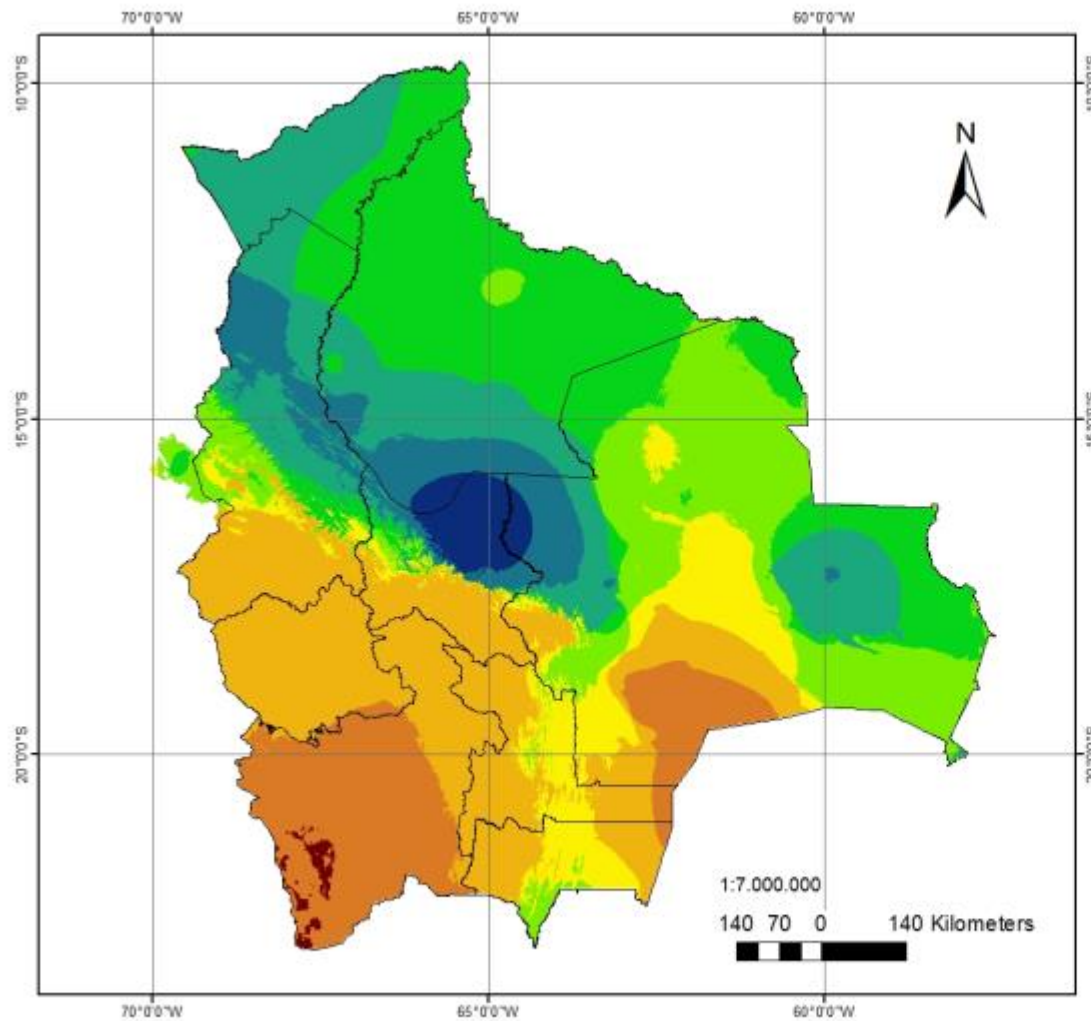
La duración de la estación de crecimiento según el criterio de la FAO, viene establecido por la cantidad de días al año en que la evapotranspiración es menor al doble de la precipitación mensual, un régimen árido está determinado por una predominancia de días secos en el año esto quiere decir que presenta 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 (FAO, 1996) . El mapa 11, muestra la duración de la estación de crecimiento expresada en días al año. 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.

3.1.4. DÉFICIT HÍDRICO

Los valores de déficit hídrico para el país se muestran en el mapa 12, 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 1.200 a 1.355 mm/año, le continúan los valles interandinos con déficit entre 600 a 1.200 mm/ año.

3.1.5. ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA DE FOURNIER MODIFICADO

El índice modificado de Fournier expresa el grado de agresividad climática o potencial erosivo de las lluvias, este índice resulta importante en aquellas zonas con alta fragilidad a la erosión hídrica (ver mapa). En Bolivia el índice modificado de Fournier refleja que las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas presentan un potencial erosivo climático muy bajo hasta moderado, lo que indica que las lluvias en estas regiones representan bajo riesgo de erosión hídrica (ver mapa 13).



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Regimen Hidrico

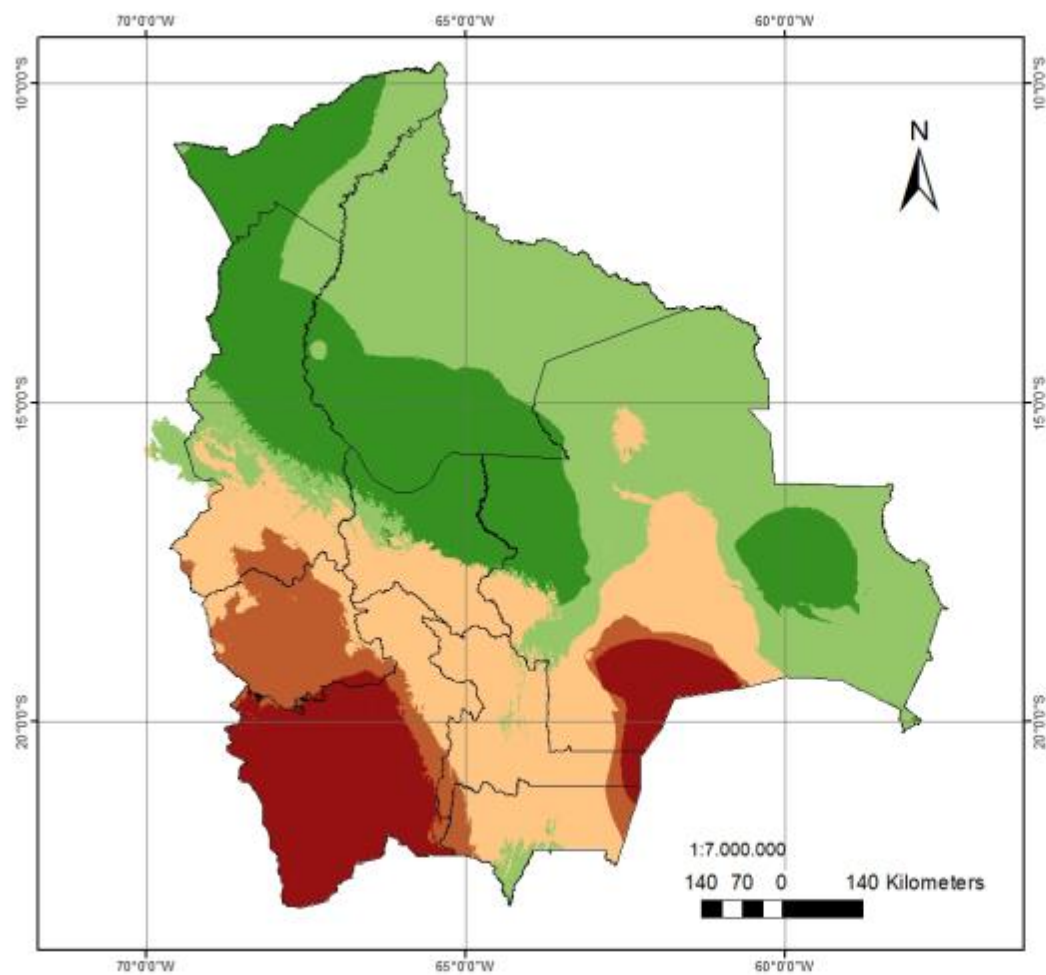
Leyenda

— Limite departamental

Régimen hídrico

- Xérico
- Hiperárido
- Árido
- Semiárido
- Subhúmedo
- Húmedo
- Hiperhúmedo
- Hídrico
- Hiperhidrico

Fuente:
 Elaborado en base a Ontiveros 2014.
 VRHR - CISTEL UMSS



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Duración de la estación de crecimiento (días/año)

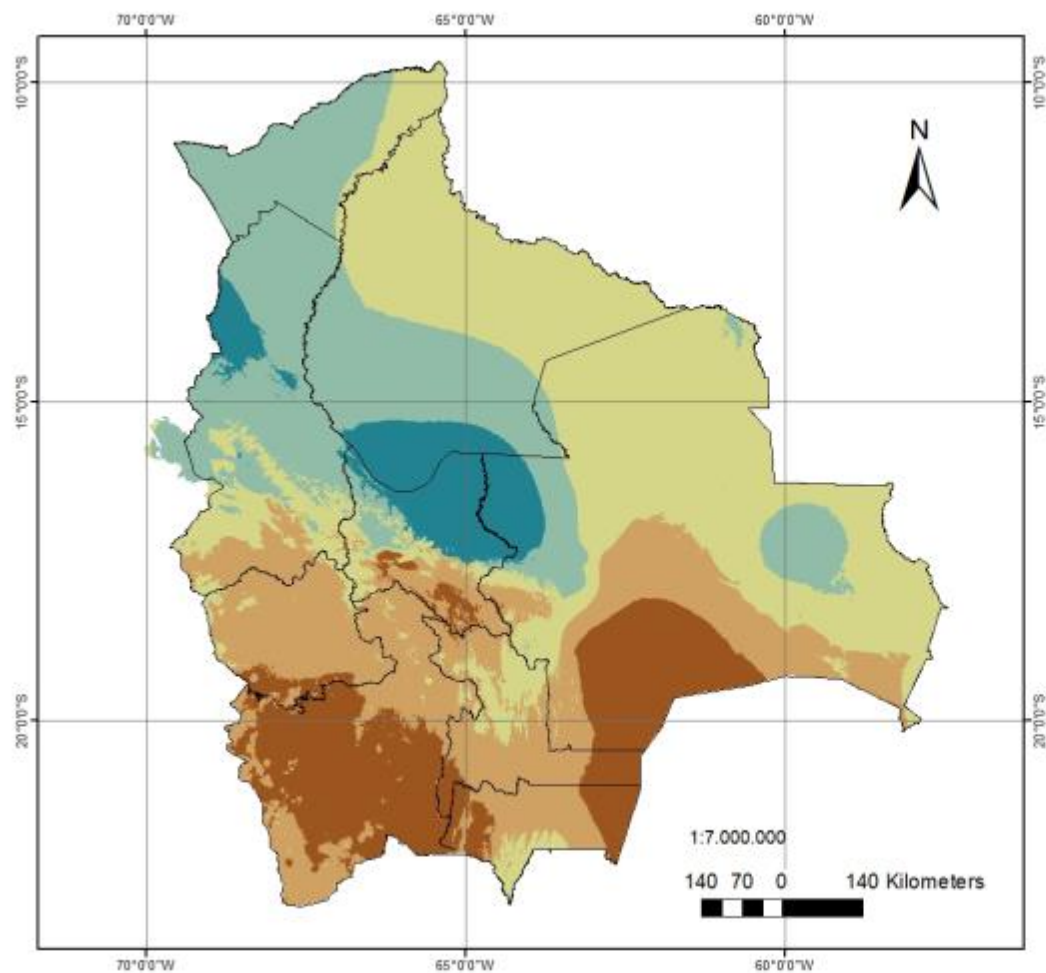
Leyenda

Departamentos

Duración de la estación de crecimiento (días/año)

- 0 - 30
- 31 - 75
- 76 - 180
- 181 - 270
- 271 - 365

Fuente:
 Elaborado en base a Ontiveros 2014;
 VRHR - CISTEL UMSS



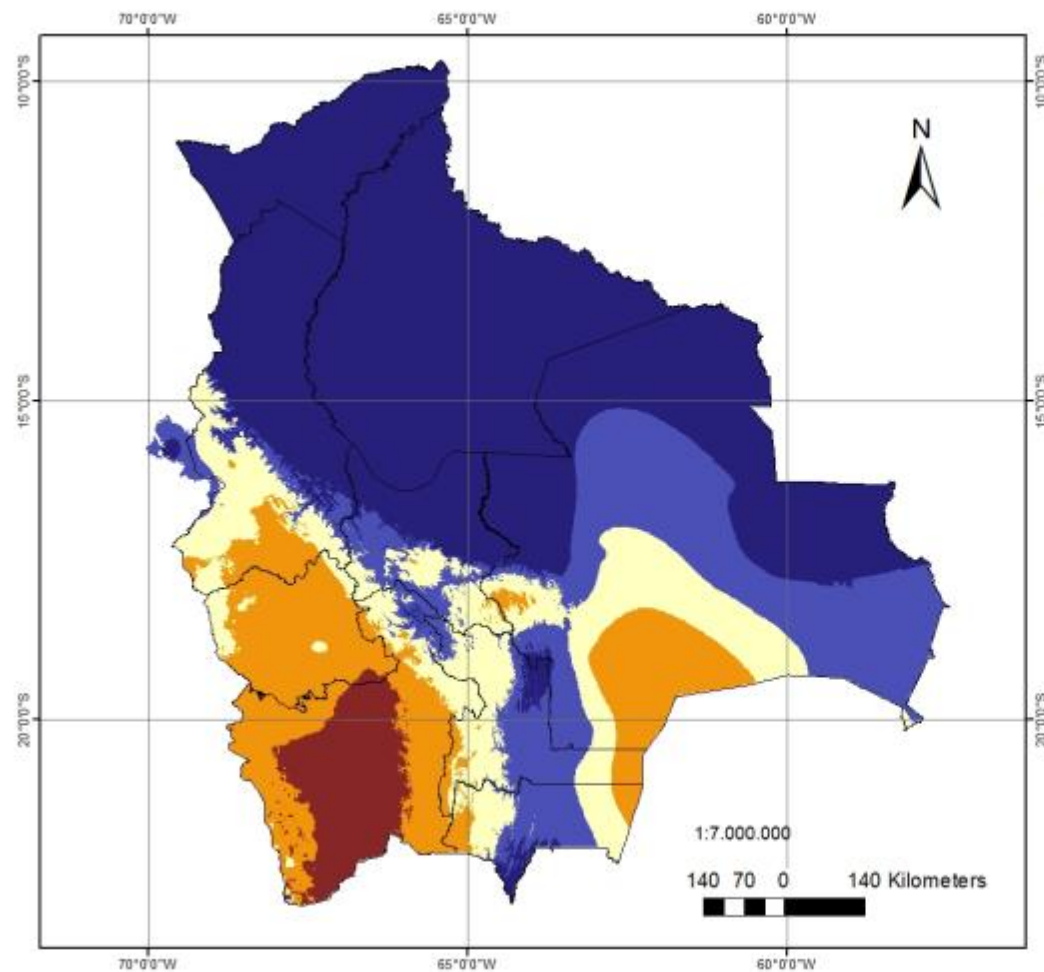
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Deficit Hídrico total anual (mm/año)

Leyenda

- Departamentos
- Deficit hídrico total anual (mm/año)**
 - 296 - 500
 - 500 - 750
 - 750 - 1,000
 - 1,000 - 1,250
 - 1,250 - 1,506

Fuente:
 Elaborado en base Ontiveros 2014.
 VRHR - CISTEL UMSS



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Índice de agresividad climática de Fournier Modificado

Leyenda

Departamentos

Índice de agresividad climática de Fournier modificado (IFM)

- < 60
- 60 - 90
- 90 - 120
- 120 - 160
- > 160

Fuente:
 Elaborado en base a Ontiveros 2014,
 VRHR - CISTEL UMSS

3.1.6. TENDENCIA DE LA ARIDEZ

El clima es el factor más determinante sobre los procesos de degradación de suelos en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas porque define condiciones extremas de precipitación y temperatura, que se han intensificado por efecto del cambio climático.

Los cambios en las variables climáticas han sido objeto de estudio desde hace algunos años con el propósito de entender el comportamiento histórico y predecir los cambios futuros en el clima. La detección, estimación y predicción de las tendencias climáticas se ha convertido en una valiosa herramienta de planificación porque permite conocer hacia dónde y en que magnitud ocurren los cambios en escalas de tiempo y espacio.

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. Los métodos no paramétricos han demostrado ser muy útiles en los casos en los que se presentan series de datos heterogéneas y que presentan variabilidad alta como es el caso de los datos climáticos especialmente la precipitación y evapotranspiración y por consecuencia también los parámetros que derivan de estos como el índice de aridez. El presente trabajo presenta el análisis de tendencias del índice de aridez para Bolivia en un periodo de 30 años.

Análisis de tendencias

El análisis de tendencias del índice de aridez fue realizado mediante una prueba de Mann-Kendall en el que cada dato de una serie de tiempo es comparado con su valor subsecuente, el resultado neto de sumar todos los incrementos y disminuciones representa el valor final de S (Shahid, 2010). Si expresamos lo anterior matemáticamente se tiene que si $X_1, X_2, X_3, \dots, X_j$ representa un conjunto de n puntos con datos climáticos en el tiempo j entonces S viene dado por:

$$s = \sum_{j=1}^{j=n-1} \sum_{i=j+1}^{i=n} \text{Sign}(x_i - x_j)$$

Donde S es denominada la suma neta de Mann-Kendall, x es la serie de datos que van desde i hasta n en el tiempo j , la función Sign es una función que asigna un valor de -1 si el valor de la diferencia entre el datos evaluado y su inmediato posterior es negativa, un valor de $+1$ si esta suma es positiva y cero si ambos datos son iguales con estos valores se construye una nueva serie de datos que definen si la serie tiene o no tendencia (Tabari y Aghajanloo, 2012). Posteriormente se calcula los valores de tendencia mediante las siguientes expresiones, donde un valor positivo de S o de τ indica una tendencia positiva y un valor negativo una tendencia negativa.

$$s_{\max} = \frac{1}{2}n(n-1) \quad \tau = \frac{S}{s_{\max}}$$

Posteriormente se calcula la probabilidad asociada con el estadístico S y la muestra n para estimar la significancia de la tendencia, así el valor de Z es calculada mediante las siguientes expresiones.

$$Z = \begin{cases} \frac{1}{\sigma}(s-1) & \rightarrow s > 0 \\ 0 & \rightarrow s = 0 \\ \frac{1}{\sigma}(s+1) & \rightarrow s < 0 \end{cases}$$

Donde S es la suma neta de Kendall y σ es la varianza de la serie de datos, finalmente la hipótesis de que no existe tendencia es rechazada en cualquiera de los siguientes casos: si $|Z| > 2,575$ para un $\alpha = 1\%$, si $|Z| > 1,96$ para un $\alpha = 5\%$ y si $|Z| > 1,645$ para un $\alpha = 10\%$. Finalmente, según Sen (1968) para estimar la tendencia de una serie se debe calcular la pendiente de cambio en el tiempo denominada comúnmente estimador o pendiente de Sen, que se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$Q = \text{Mediana} \left\{ \left[\left[\frac{x_i - x_j}{i - j} \right]_{j=1}^{j=n-1} \right]_{i=j+1}^{i=n} \right\}$$

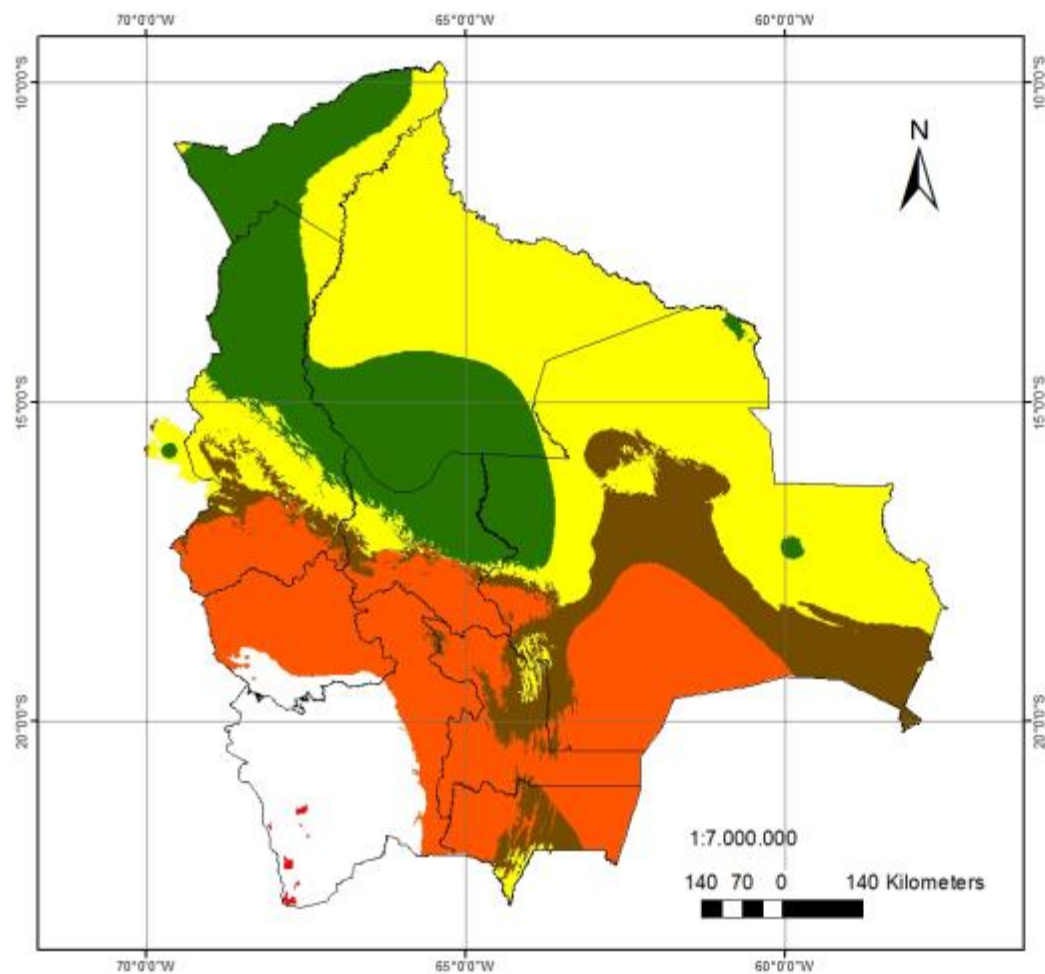
El signo de Q refleja el sentido de la tendencia mientras que el valor indica la magnitud del cambio.

Variabilidad temporal del índice de aridez

El análisis de variabilidad temporal para el índice de aridez se llevó a cabo para periodos decenales (1980-1990, 1991-2000) a partir de los datos climáticos proporcionados por el SENAMHI en las estaciones ubicadas en las tierras secas de Bolivia. Los mapas muestran la variabilidad espacial y temporal del índice de aridez para los tres periodos analizados, donde se observa que la década de 1980 a 1990 fue la más húmeda en los últimos 30 años, las tierras secas cubren la menor superficie en todo el periodo analizado cerca del 45% de la superficie total del país (ver mapa 14).

La década de 1991 a 2000 representa una década más árida que en los setenta y ochenta, las tierras secas cubren cerca de unos 46% de la superficie total del país y las zonas hiperáridas, áridas y subhúmedas secas alcanzan su máxima extensión (ver mapa 15).

La máxima extensión de la zona árida ya se incluyó en la clasificación del IA en la sección anterior.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Índice de aridez (IA) para el periodo 1980 - 1990

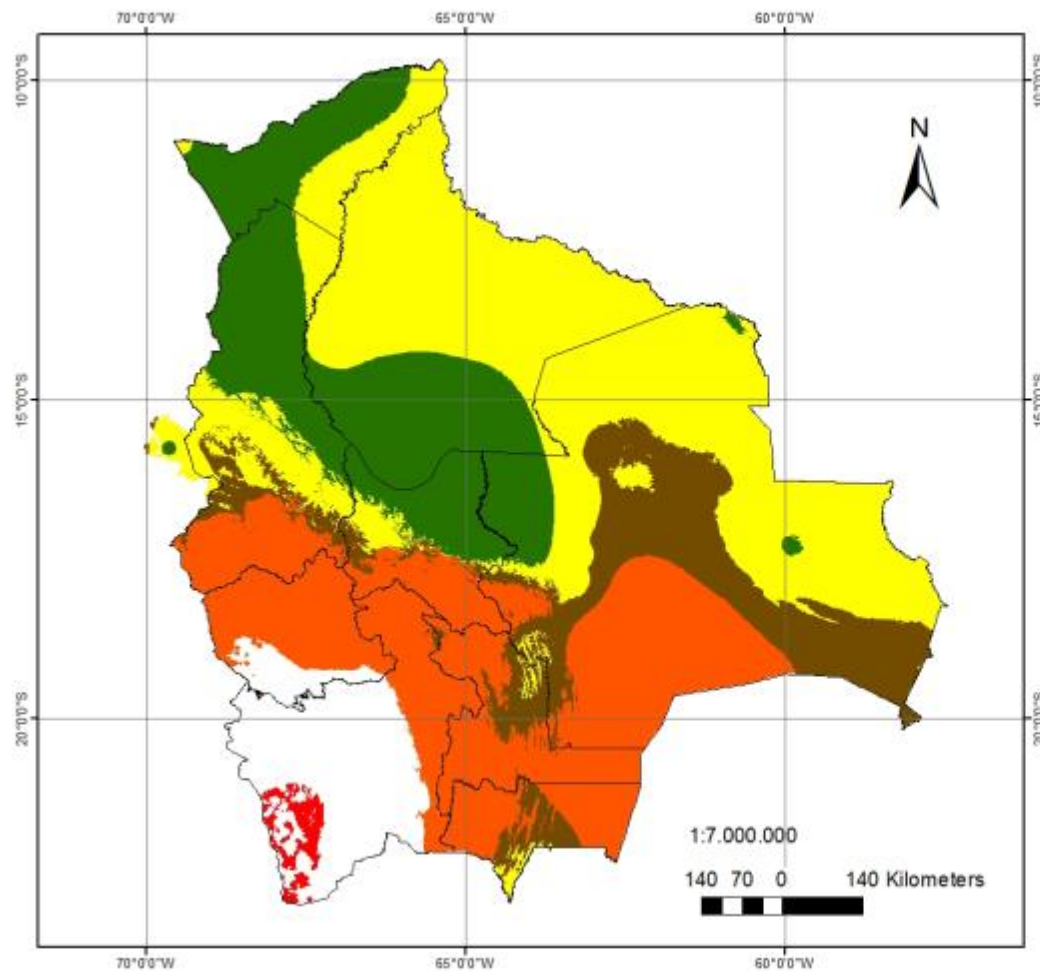
Leyenda

Departamentos

Índice de aridez (IA)

	< 0.05	Hiperárido
	0.05 - 0.2	Árido
	0.2 - 0.5	Semiárido
	0.5 - 0.65	Subhúmedo seco
	0.65 - 1	Subhúmedo húmedo
	> 1	Húmedo

Fuente: Elaborado en base a
 Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
 (2010) para el periodo 1980 - 2010.
 Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
 land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradacion de Tierras Secas de Bolivia

Índice de aridez (IA) para el periodo 1991 - 2000

Leyenda

Departamentos

Índice de aridez (IA)

< 0.05	Hiperárido
0.05 - 0.2	Árido
0.2 - 0.5	Semiárido
0.5 - 0.65	Subhúmedo seco
0.65 - 1	Subhúmedo húmedo
> 1	Húmedo

Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1960 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

. Tendencia del índice de aridez

La figura 6 muestra cuatro mapas según el nivel de significancia y las estaciones meteorológicas en las cuales las diferencias de precipitación son estadísticamente significativas en cada uno de los periodos. Las estaciones que presentan mayores diferencias significativas se ubican predominantemente en los valles interandinos (centro de Chuquisaca y oriente de Tarija) y el altiplano central (centro de Oruro) donde se tienen los valores más bajos de nivel de significancia. Las variaciones espaciales del índice de aridez son similares en los cuatro periodos, las máximas diferencias se dan en el periodo que comprende los últimos 40 años, seguido por la década de 2001 a 2010 y por último por la década de los noventa.

Teniendo en cuenta lo anterior, es probable que los mayores cambios, sean positivos o negativos, ocurrieron en los últimos 20 años. Por otro lado, se observa que las zonas subhúmedas secas tuvieron un régimen más árido en las dos últimas décadas mientras que las regiones áridas y semiáridas se hicieron más húmedas, excepto en la década de 2001-2010 donde ocurre un comportamiento inverso. En este periodo el altiplano norte, la región central de Chuquisaca, el centro y sur de Santa Cruz se hicieron más áridos mientras que el altiplano del sur de Potosí se hizo más húmedo. Por lo tanto, alcanzaron su máxima superficie (44,09 % del territorio nacional), debido principalmente a un incremento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones. Las diferencias encontradas en los valores de índice de aridez son más notorias y adquieren mayor significancia si se considera el análisis de un periodo de 30 años en comparación al análisis por décadas esto se debe a que los cambios ocurren en periodos más largos. Los cambios en los valores del índice de aridez son estadísticamente más significativos en la región de los valles interandinos (Chuquisaca, Tarija y Potosí), el altiplano central y norte (La Paz y Oruro) que en el resto de las regiones y es donde existe mayor evidencia de las variaciones en el periodo estudiado.

.

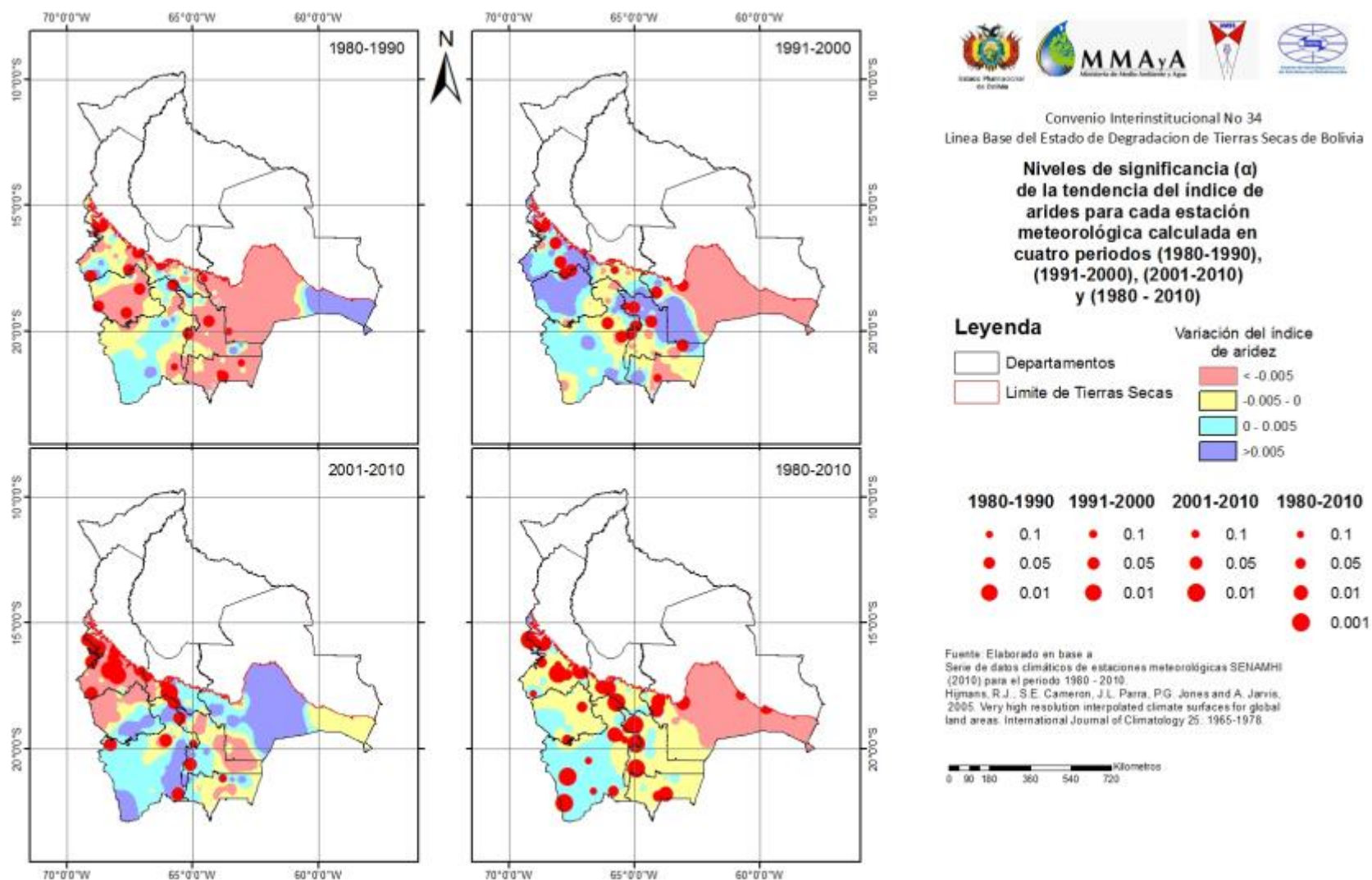


Figura 6. Variación del índice de aridez y distribución porcentual de la cantidad de estaciones que presentan diferencias estadísticas significativas en el índice de aridez para cada uno de los periodos analizados y diferentes niveles de significancia (α)

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. 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, 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 mapa 16 muestra los valores del índice de la concentración de la precipitación (ICP) para Bolivia, se observa 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.

3.1.8. TENDENCIA 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. El presente trabajo presenta el análisis de tendencias de la precipitación para las tierras secas de Bolivia en un periodo de 40 años.

Análisis de tendencias

De forma similar a las tendencias de la precipitación, el análisis de tendencias de precipitación mensual fue realizado mediante una prueba de Mann-Kendall (ver sección anterior Tendencias de la aridez).

Variabilidad temporal de la tendencia de precipitación

La precipitación en las tierras secas de Bolivia presentan un comportamiento monomodal a lo largo del año, es decir existe un máximo que se da en enero y un mínimo que se dan en junio (ver gráfico), con este comportamiento resulta práctico agrupar el análisis de variabilidad temporal en dos periodos estacionales, el periodo seco (abril a septiembre) y el periodo de lluvias (octubre a marzo).

De esta manera el análisis de la tendencia de precipitación se llevó a cabo bajo la consideración de los cambios ocurridos en los últimos 40 años según los reportes de la OMM, para finalmente dividirlos en tres periodos: de 1970-1990 considerado como el periodo con menores cambios y los periodos de 1991 – 2000 y 2001 – 2010 fueron los decenios con mayores cambios en las variables climáticas (OMM, 2013).

.

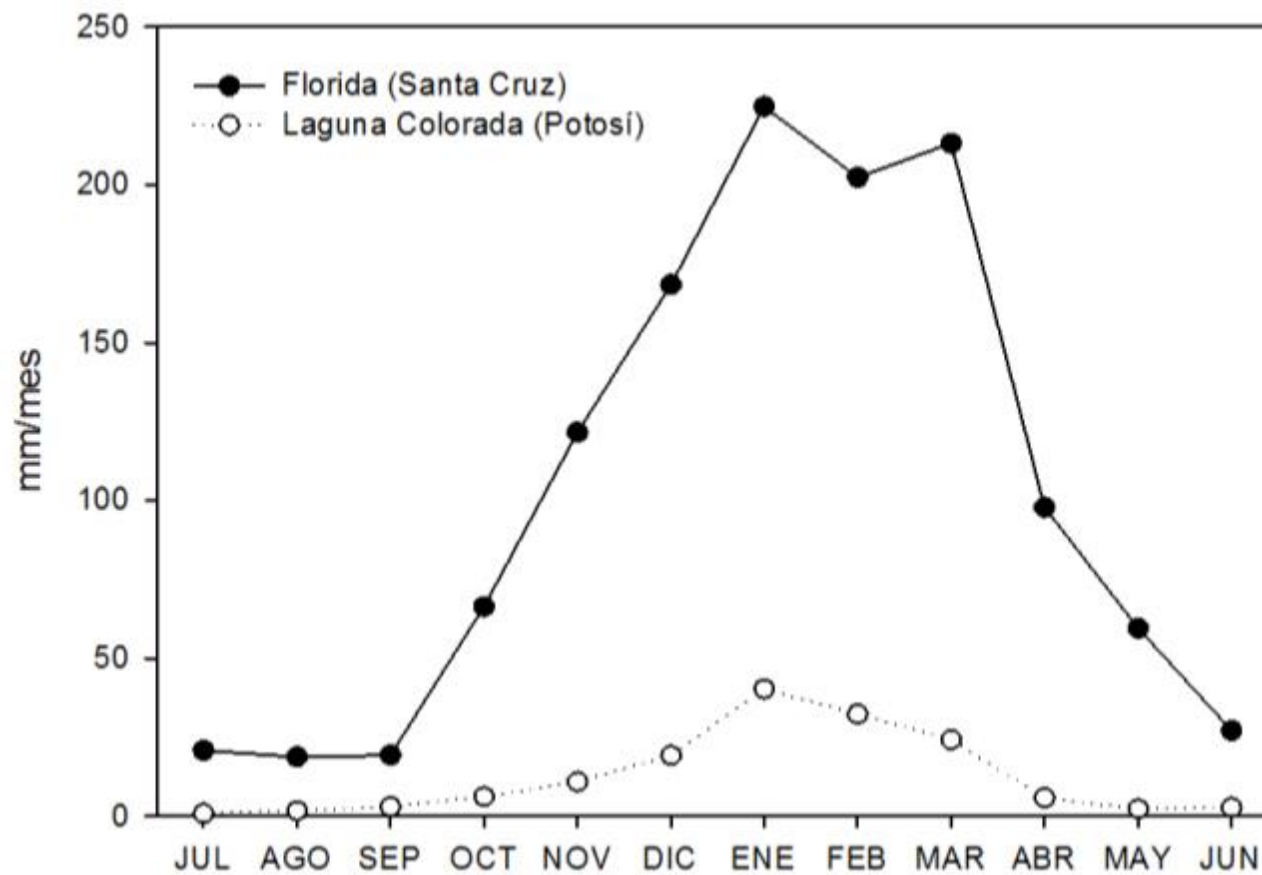
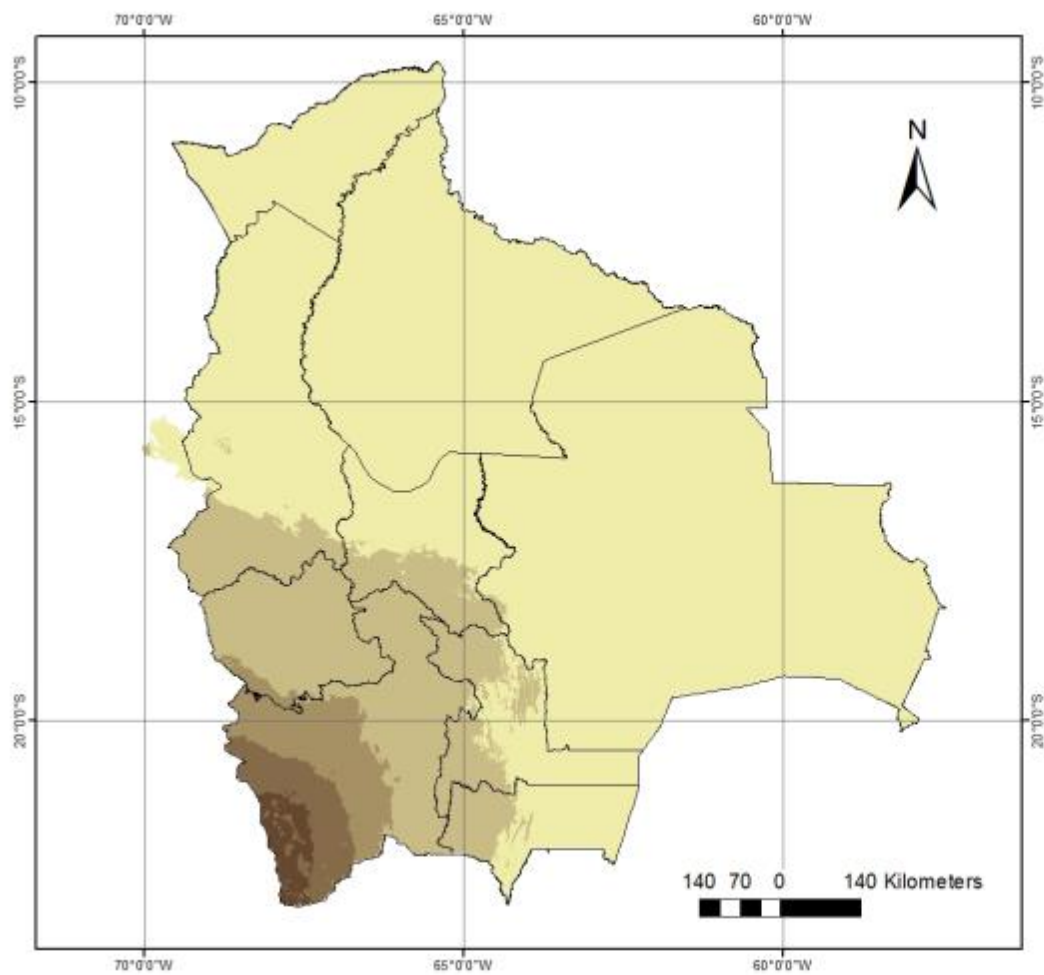


Gráfico 1. Variación de la precipitación mensual para dos estaciones en las tierras secas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia



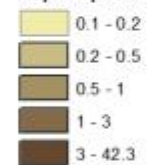
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Índice de Concentración de la Precipitación (ICP)

Leyenda

Departamentos

Índice de concentración de la precipitación (ICP)



Fuente:
 Elaborado en base a Ontiveros 2014.
 VRHR - CISTEL UMSS

Variabilidad espacial de las tendencias de precipitación en época seca

Los resultados del análisis de tendencias mediante la prueba de Mann-Kendall en la época seca se muestran en la figura 7 que incluye cuatro mapas para las tierras secas de Bolivia y los periodos analizados, se observa que durante los setenta y ochenta la precipitación se incrementó únicamente en la región occidental del altiplano central y sur (Oruro y Potosí) y la región oriental del sur de Santa Cruz con valores de hasta 2,70mm/mes, mientras que en gran parte del altiplano y valles interandinos los valores no sufrieron cambios significativos, sin embargo la región central y sur de Santa Cruz y oriente de Chuquisaca y norte de Tarija sufrió una disminución de hasta 4,20 mm/mes. Para el decenio de los noventa la precipitación se reduce en la zona central y occidental de Santa Cruz hasta en 3,80 mm/mes, en la zona central y sur de Santa Cruz, centro de Chuquisaca y occidente de Tarija la tendencia es un incremento en la precipitación de hasta 3,30 mm/mes y finalmente en gran parte del altiplano y los valles interandinos la precipitación no sufre cambios significativos.

En el decenio de 2001 a 2010 predomina una disminución de la precipitación en los valles interandinos y la región central de Santa Cruz de hasta 1,80 mm/mes, la mayor disminución se da en la región central, norte y oriente de Santa Cruz con valores de hasta 3,30 mm/mes mientras que en gran parte del altiplano, Tarija y occidente de Chuquisaca los cambios son insignificantes (<1 mm/mes). El análisis de tendencias durante el periodo de 40 años refleja que gran parte de la región altiplánica y los valles interandinos no presentan una tendencia significativa, únicamente una pequeña región al norte de La Paz refleja tendencias positivas de hasta 0,70 mm/mes, mientras que en la zona norte centro y oriente de Santa Cruz se observa una disminución de hasta 1,40 mm/mes

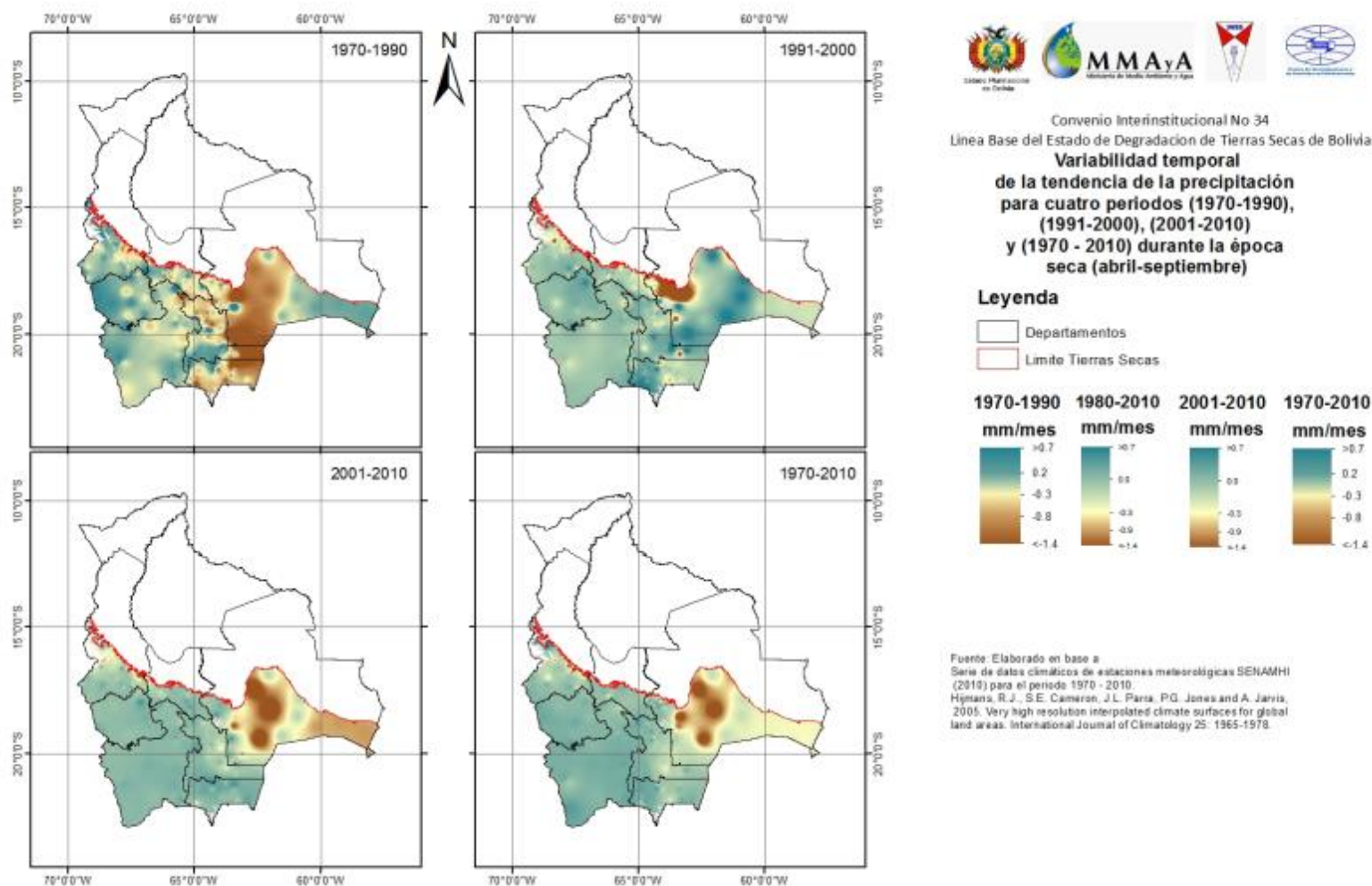


Figura 7. Variabilidad espacial y temporal de la tendencia de la precipitación durante la época seca (abril a septiembre) en las tierras secas de Bolivia.

Fuente: Elaboración propia

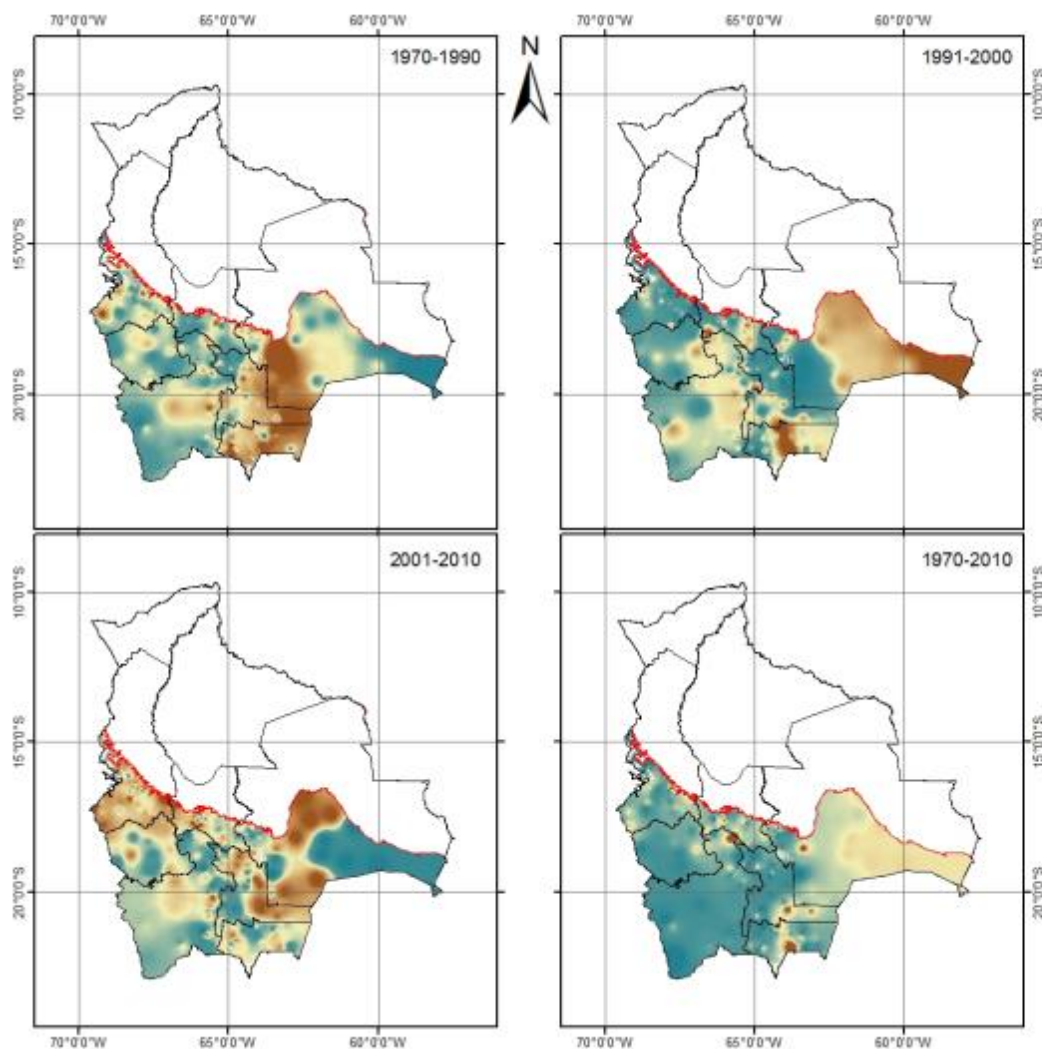


Variabilidad espacial de las tendencias de precipitación en época de lluvias

En época de lluvias las tendencias de precipitación (ver Figura 8) mostraron que para las décadas del setenta y ochenta predomina una reducción de la precipitación en el altiplano, valles interandinos y la región norte centro y sur de Santa Cruz con valores de hasta 8,00 mm/mes, esta disminución alcanza su máximo valor en la región occidental de Santa Cruz, oriente de Chuquisaca y Tarija con valores de hasta 22,30 mm/mes, solo en algunas regiones aisladas del altiplano central, la región occidental de Potosí y el oriente de Santa Cruz se observa un incremento de la precipitación de hasta 5,60 mm/mes.

Durante la década del noventa la tendencia muestra que gran parte de área del altiplano, los valles interandinos y la zona occidental de Santa Cruz tuvo un incremento de la precipitación de hasta 15 mm/mes, por otra parte la región central y norte de Santa Cruz y algunas regiones del altiplano central no presentaron cambios significados mientras que la región central de Tarija y oriente de Santa Cruz mostraron una disminución de la precipitación de hasta 10,20 mm/mes. El decenio de 2001 a 2010 está dominado por un incremento de la precipitación en la región norte y oriental de Santa Cruz y algunas zonas aisladas de los valles interandinos con valores de hasta 7 mm/mes, los mayores cambios se dan en gran parte del altiplano con una disminución de hasta 7 mm/mes que alcanzan un valor máximo en la región central y sur de Santa Cruz de hasta 11,50 mm/mes.

Para el periodo de 1970-2010 la tendencia de la precipitación refleja que las zonas de reducción e incremento están claramente diferenciadas, el altiplano central y sur y gran parte de los valles interandinos exhiben un incremento de la precipitación de hasta 2,00 mm/mes, mientras que el altiplano norte, parte de los valles interandinos al sur de Cochabamba, Santa Cruz, centro de Chuquisaca y Tarija presentan una marcada reducción de hasta 4,00 mm/mes.

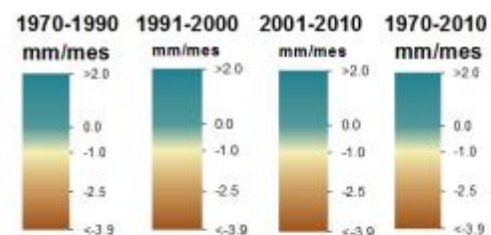


Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

**Variabilidad temporal
de la tendencia de la precipitación
para cuatro periodos (1970-1990),
(1991-2000), (2001-2010)
y (1970 - 2010) durante la época
de lluvias (octubre-marzo)**

Legenda

- Departamentos
- Limite de Tierras Secas



Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1970 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

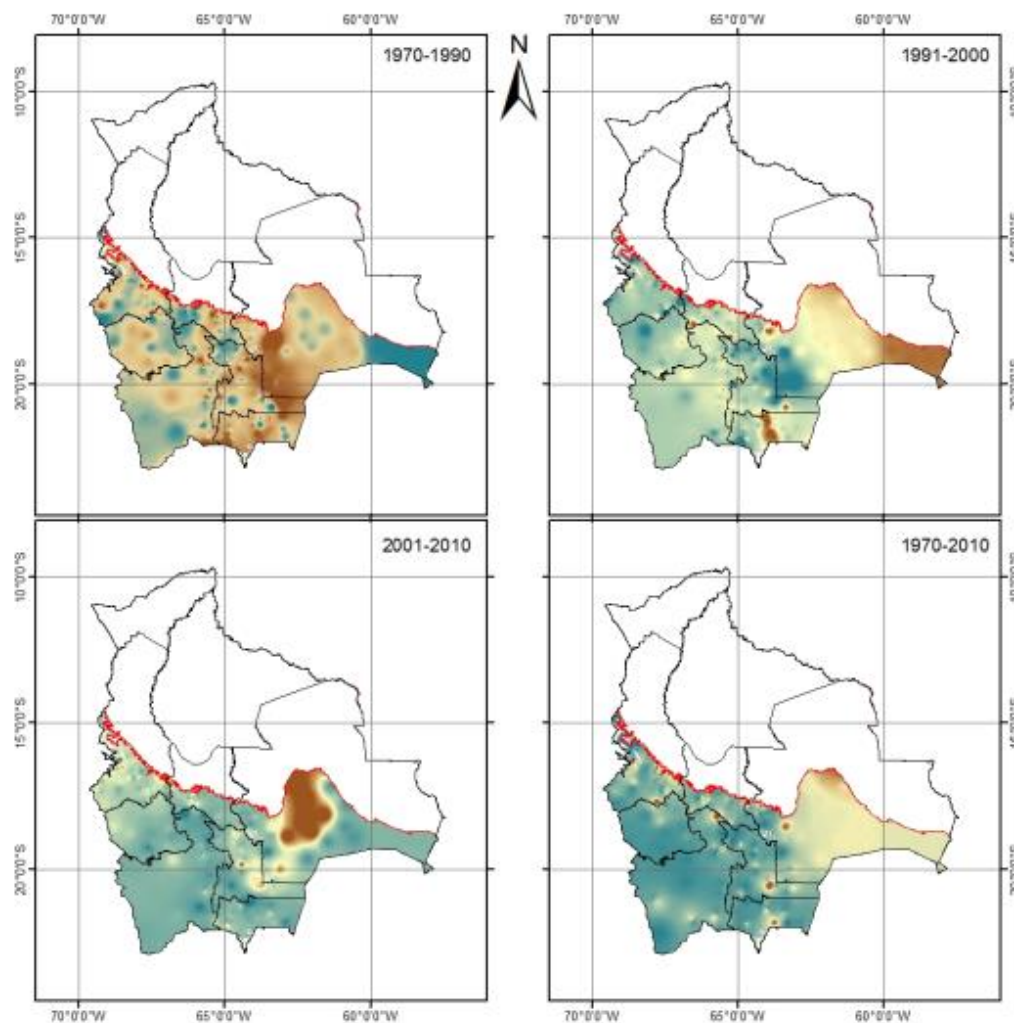
Figura 8. . Distribución espacial de la tendencia de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia para cuatro periodos en época de lluvias
Fuente: Elaboración propia

Variabilidad espacial de las tendencias de precipitación anual

La figura 9 muestra cuatro mapas con la distribución espacial de las tendencias de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia: Durante las décadas de los setenta y ochenta las zonas del norte y sur de Santa Cruz así como algunas regiones aisladas en el altiplano central y al sur de Tarija presentaron una reducción de hasta 135 mm/mes, lo que podría significar un factor limitante para los cultivos, a su vez gran parte del altiplano sur y occidente de Oruro no muestran cambios significativos, mientras que un incremento de la precipitación se da en el oriente de Santa Cruz, los valles interandinos, altiplano norte y sur con valores que alcanzan hasta 60 mm/mes.

Durante la década de los noventa la región sur de Santa Cruz, oriente de Chuquisaca y parte del altiplano central tuvieron un incremento considerable de la precipitación anual de hasta 116 mm/mes, y por otro lado gran parte de la región de estudio no sufrió cambios significativos mientras que las reducciones más relevantes se observan en el centro de Tarija, norte y oriente de Santa Cruz. La década de 2001-2010 está dominada por incrementos en la precipitación en los valles interandinos del norte y en el centro de Potosí, sur de Chuquisaca y norte de Tarija con valores que alcanzan los 93 mm/mes, así mismo gran parte de la zona de estudio no sufrió cambios significativos y la reducción de la precipitación solo se da en la parte norte y central de Santa Cruz con valores de hasta 106 mm/mes.

Las tendencias durante las cuatro décadas analizadas (1970-2010) reflejan predominancia de la reducción de la precipitación en la región del departamento Santa Cruz, algunas regiones de los valles interandinos ubicados al sur de Cochabamba, sur de La Paz y centro de Chuquisaca y Tarija con valores de hasta 27 mm/mes; mientras que en el altiplano central y sur y los valles interandinos al occidente de Chuquisaca y Tarija se observa un incremento de las precipitaciones de hasta 22 mm/mes.

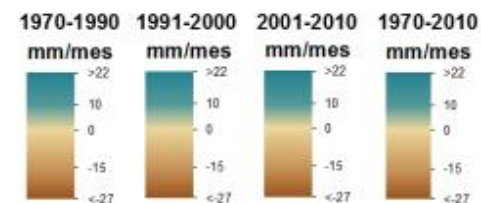


Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Variabilidad temporal de la tendencia de la precipitación anual para cuatro periodos (1970-1990), (1991-2000), (2001-2010) y (1970 - 2010)

Legenda

- Limite de Tierras Secas
- Limite Departamental



Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1970 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

Figura 9. Distribución espacial de la tendencia de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia

Fuente: **Elaboración propia**



Análisis de tendencias de 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 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 2010 y para el periodo total de 1970-2010; mientras que en la década de los setenta, 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 (49% a 56%) y negativos (48% a 53%)

Cuadro 6. Tendencias de precipitación en las tierras secas de Bolivia expresadas como valor porcentual del total de estaciones meteorológicas analizadas

Periodos	1970-1990			1991-2000			2001-2010			1970-2010		
	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio	-	+	sin cambio
Época Seca	60,30	38,50	1,30	50,60	49,40	0,0	79,1	19,7	1,3	88,3	10,9	0,8
Época de lluvias	80,30	19,70	0,00	48,10	51,90	0,0	57,3	42,7	0,0	56,9	43,1	0,0
Total anual	72,80	27,20	0,00	43,50	56,50	0,0	57,7	41,4	0,8	59,8	40,2	0,0

Fuente: Elaboración propia

Estos cambios no son estadísticamente significativos al mismo nivel de significancia, el nivel de significancia determina el límite de rechazo o aceptación de la hipótesis nula que en este caso establece si existen cambios en los valores de precipitación. La figura 10 muestra la comparación de los periodos analizados en relación a la cantidad de estaciones que presentan cambios a diferentes niveles de significancia estadística ($\alpha=10\%$; $\alpha=5\%$; $\alpha=1\%$; $\alpha=0.1\%$).

Un nivel de significancia más bajo indica que existen mayores evidencias estadísticas que respaldan el rechazo de la hipótesis nula, en este estudio el análisis refleja que cuando se consideran los periodos cada 20 o 10 años las diferencias que predominan son solo significativas a valores de alfa de 0,1 y 0,05, mientras que si se considera el periodo completo de 40 años existe predominancia de las diferencias a valores de 0,01 y 0,001 lo que indica que estas diferencias encontradas serian estadísticamente más significativas.

Las figura 11 muestra el nivel de significancia y las estaciones meteorológicas en las cuales las diferencias de precipitación son estadísticamente significativas en cada uno de los periodos analizados y para cada época, las estaciones que presentan mayores diferencias significativas se ubican predominantemente en los valles interandinos (centro de Chuquisaca y oriente de Tarija) y el altiplano central (centro de Oruro) que arrojaron los valores más bajos de nivel de significancia. El comportamiento de las tendencias de precipitación es muy similar en la época seca y de lluvias, únicamente cabe resaltar que en la época de lluvias existe mayor cantidad de estaciones que son

estadísticamente diferentes a valores de significancia más bajos lo que indica que la tendencia sea positiva o negativa es más marcada.

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.

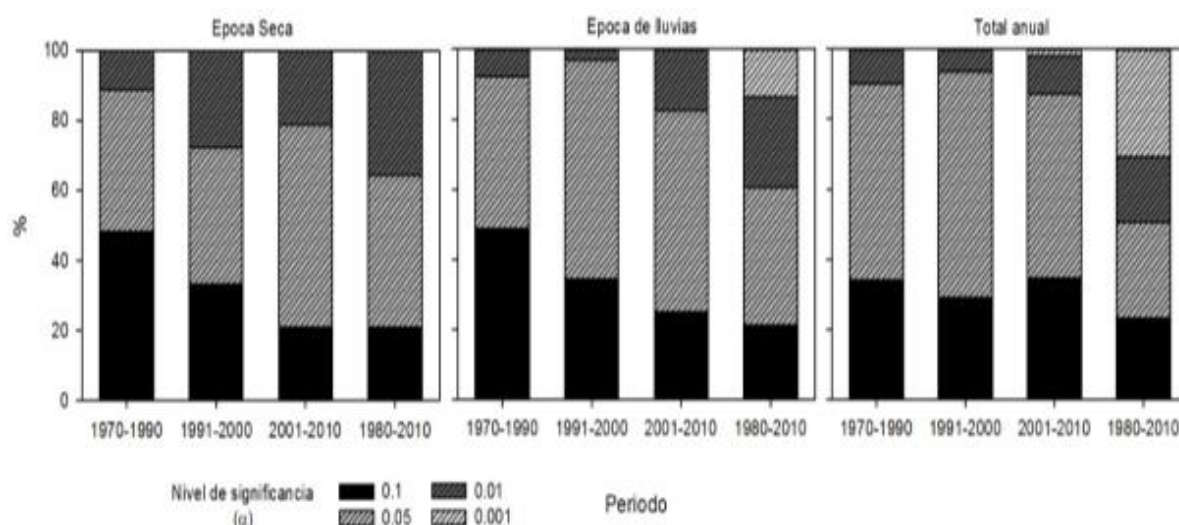


Figura 10. Distribución porcentual de la cantidad de estaciones que presentan diferencias estadísticas significativas en la precipitación para cada uno de los periodos analizados y diferentes niveles de significancia (α).

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior podemos concluir que las tendencias de precipitación durante los últimos 40 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 de 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 40 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.

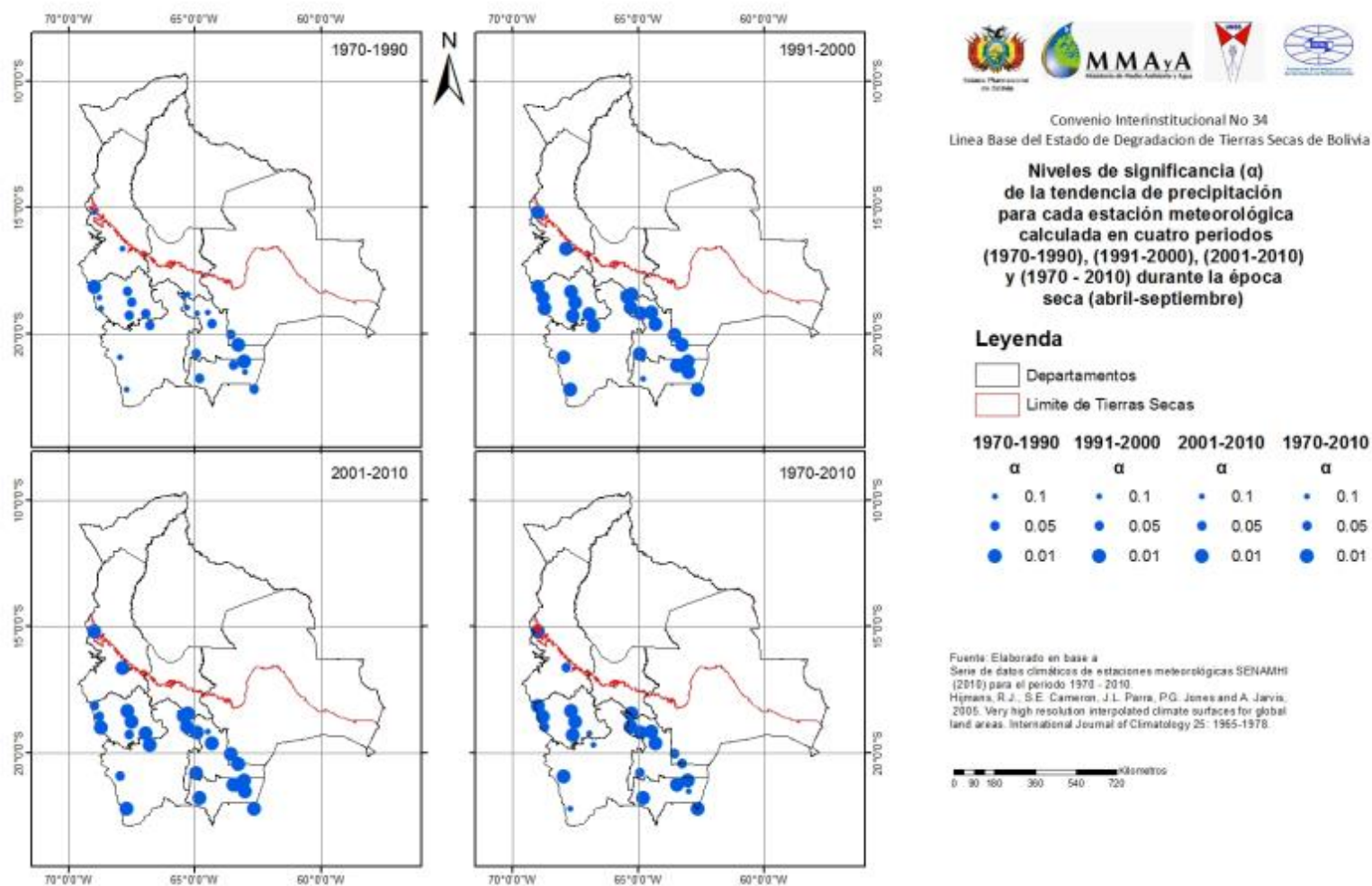


Figura 11. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación durante la época seca

Fuente: Elaboración propia

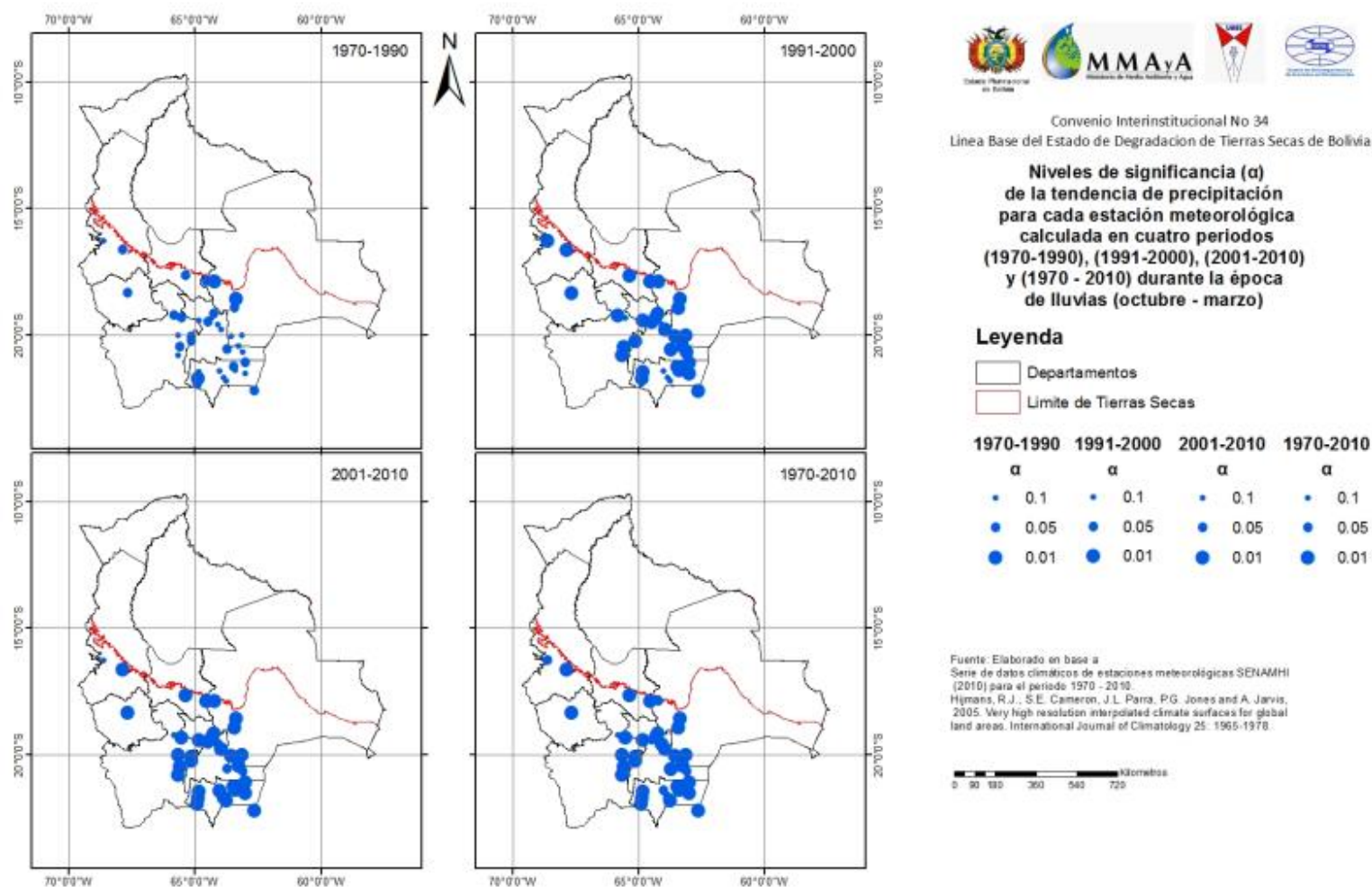


Figura 12. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación durante la época de lluvias
Fuente: Elaboración propia

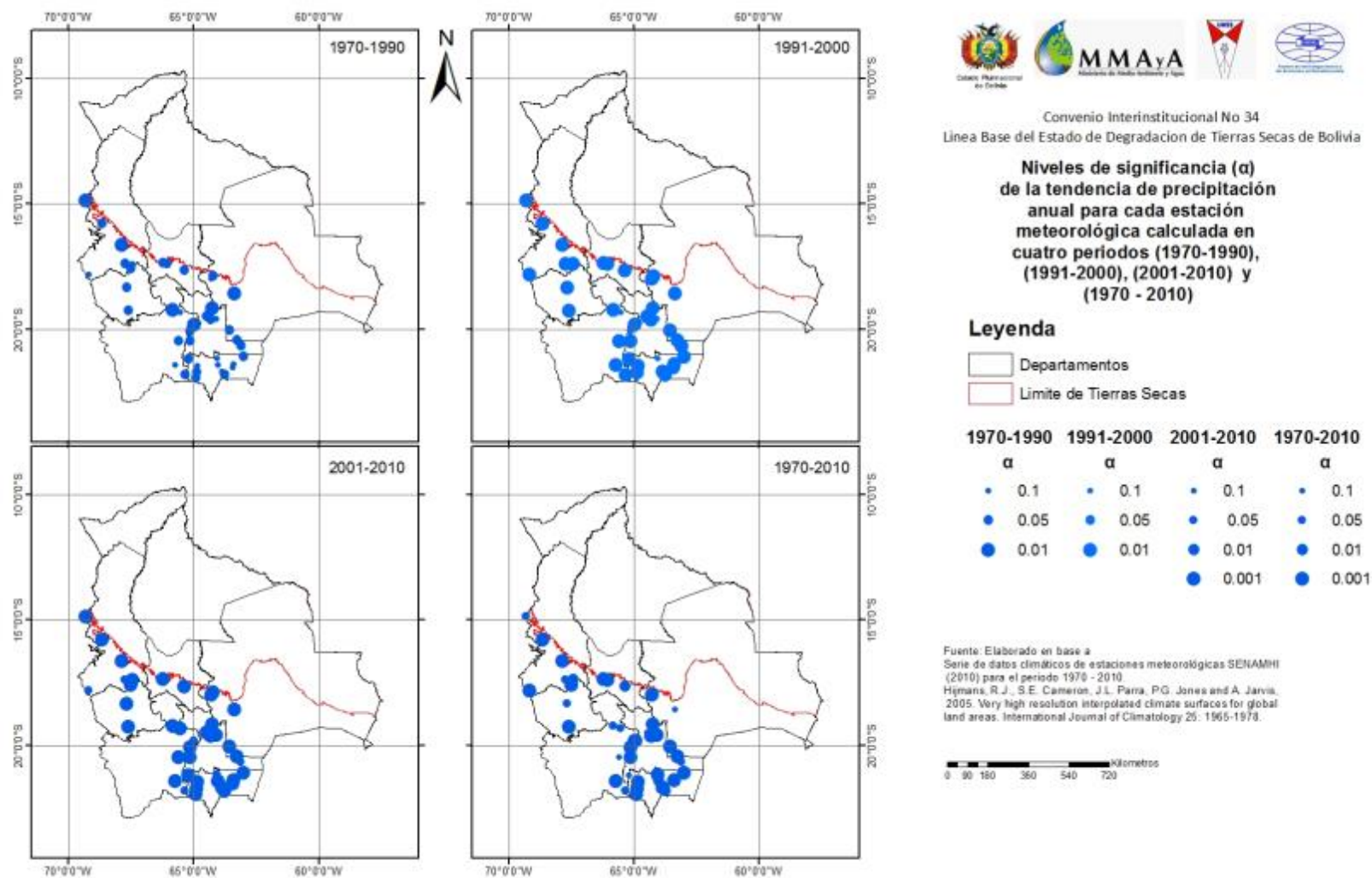


Figura 13. Niveles de significancia para las estaciones meteorológicas analizadas de las tierras secas de Bolivia en las que se tienen diferencias estadísticamente significativas en la precipitación anual
Fuente: Elaboración propia

3.1.9. DENSIDAD DE LA POBLACIÓN

Como indicador de la densidad de la población se ha utilizado la serie cartográfica del Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra (CIESIN), la Universidad de Columbia; y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) de densidad poblacional (CIESIN 2014). La ventaja de este set de datos, es que ha sido ajustado por CIESIN para que coincida con los totales nacionales reportados a la Organización de Naciones Unidas (ONU)¹³.

A partir de esta información base, se clasificó la densidad en número de habitantes por Km², para posteriormente reclasificar estos valores de acuerdo a los rangos siguientes:

Cuadro 7. Rangos de densidad de población

Densidad	Rangos en hab./Km ²
Muy Baja	0 - 25
Baja	26 - 100
Moderada	101 - 500
Alta	> 500

Fuente: Elaboración propia

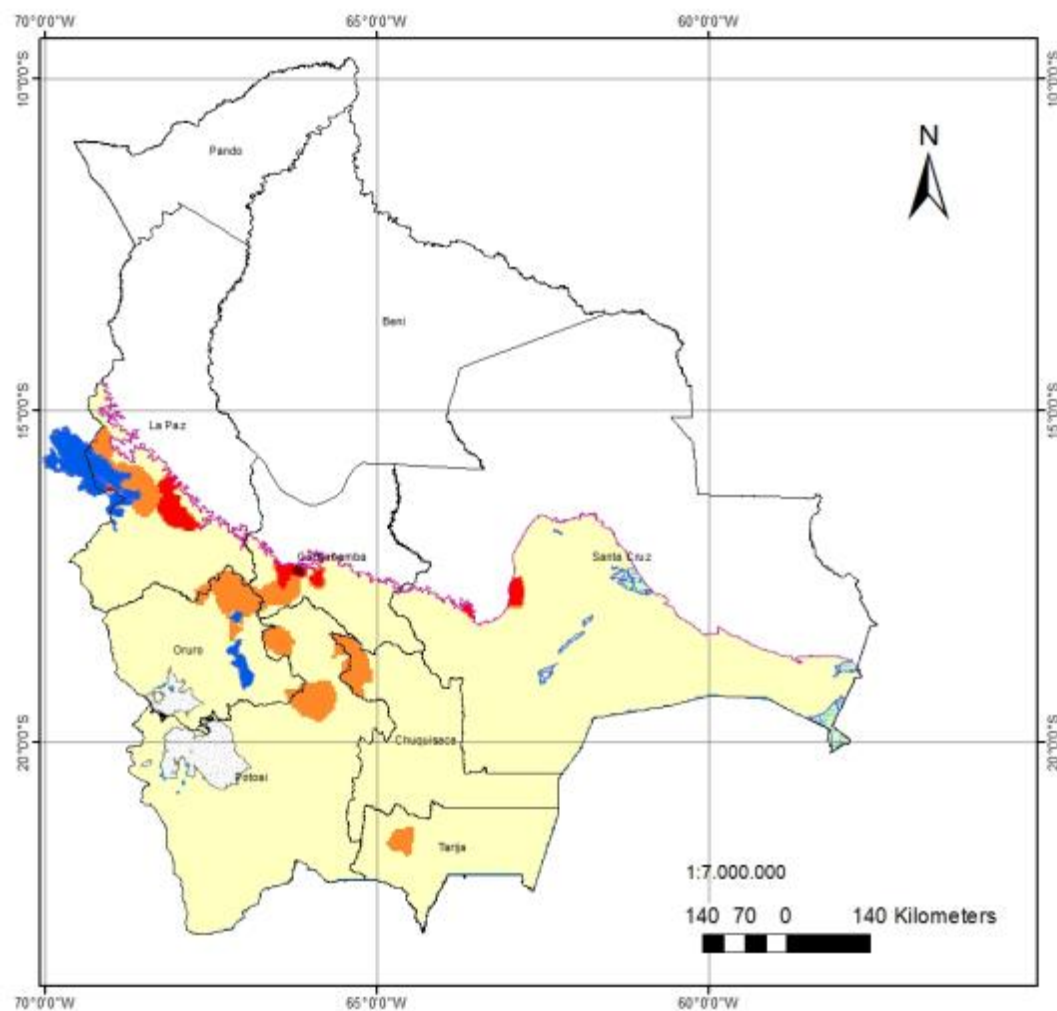
Estos rangos se han definido sobre la base de los valores de la muestra (todos los píxeles de tierras secas), de acuerdo a la clasificación nacional. Cabe recordar que las clasificaciones cualitativas son en general relativas al contexto territorial al que pertenecen, más aun en un país como el nuestro con reducida población, ya que total nacional no supera los quince millones de habitantes, y en contextos internacionales (Ejemplo: África y Asia) algunas ciudades superan esta cifra.

La serie cartográfica muestra el cambio de la densidad poblacional para los años 1995, 2000, 2005, 2010 y la estimación para el año 2015 (ver mapas del 17 al 21). Es posible identificar en todos los mapas de la serie, que las zonas de mayor densidad se encuentran entre las ciudades del eje central La Paz y Cochabamba, y localmente alrededor de la ciudad de Tarija, para la zona de tierras secas.

A fin de tener un dato referencial adicional de la densidad se ha incluido en el set de datos una imagen satelital nocturna del sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) de la misión Suomi NPP (2012), que muestra áreas iluminadas por luces emitidas y reflejadas, distinguiendo la intensidad y las fuentes que originan las luces nocturnas artificiales. Donde la mayor concentración se presenta en coincidencia con los mapas de densidad en el eje central entre La Paz y Cochabamba y en zonas específicas de Oruro y Tarija, dentro del área de estudio. (Ver mapa 22).

Impreso para respaldo POA

¹³ Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2014. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4), Preliminary Release 2 (2010). Palisades, NY. <http://www.ciesin.columbia.edu/data/gpw-v4>.



MMAyA
Ministerio de Medio Ambiente y Agua



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Densidad Poblacional

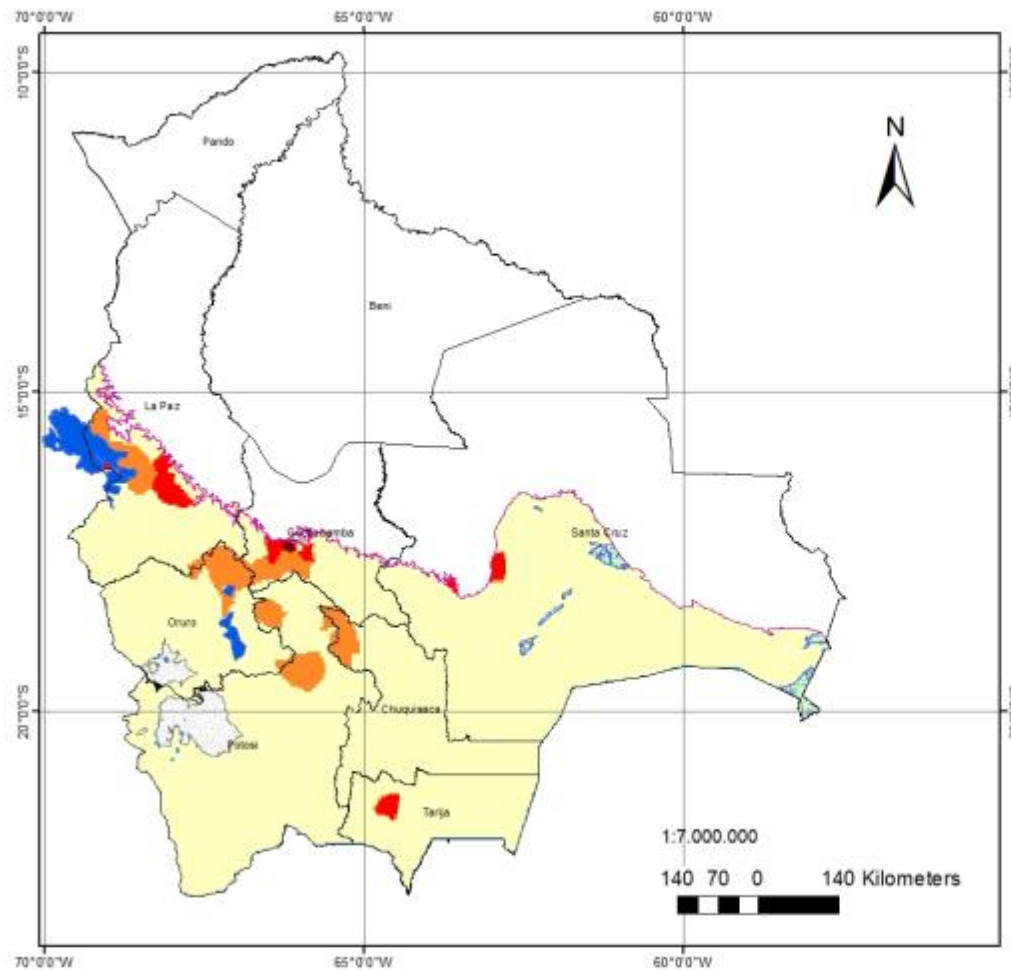
Leyenda

- Departamentos
- Límite de Tierras Secas
- Cuerpos de Agua
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable

Densidad de la Población 1995 (Hab./Km²)

- 0 - 25
- 26 - 100
- 101 - 500
- > 500

Fuente: Elaborado en base a CIESIN 2014



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Densidad Poblacional

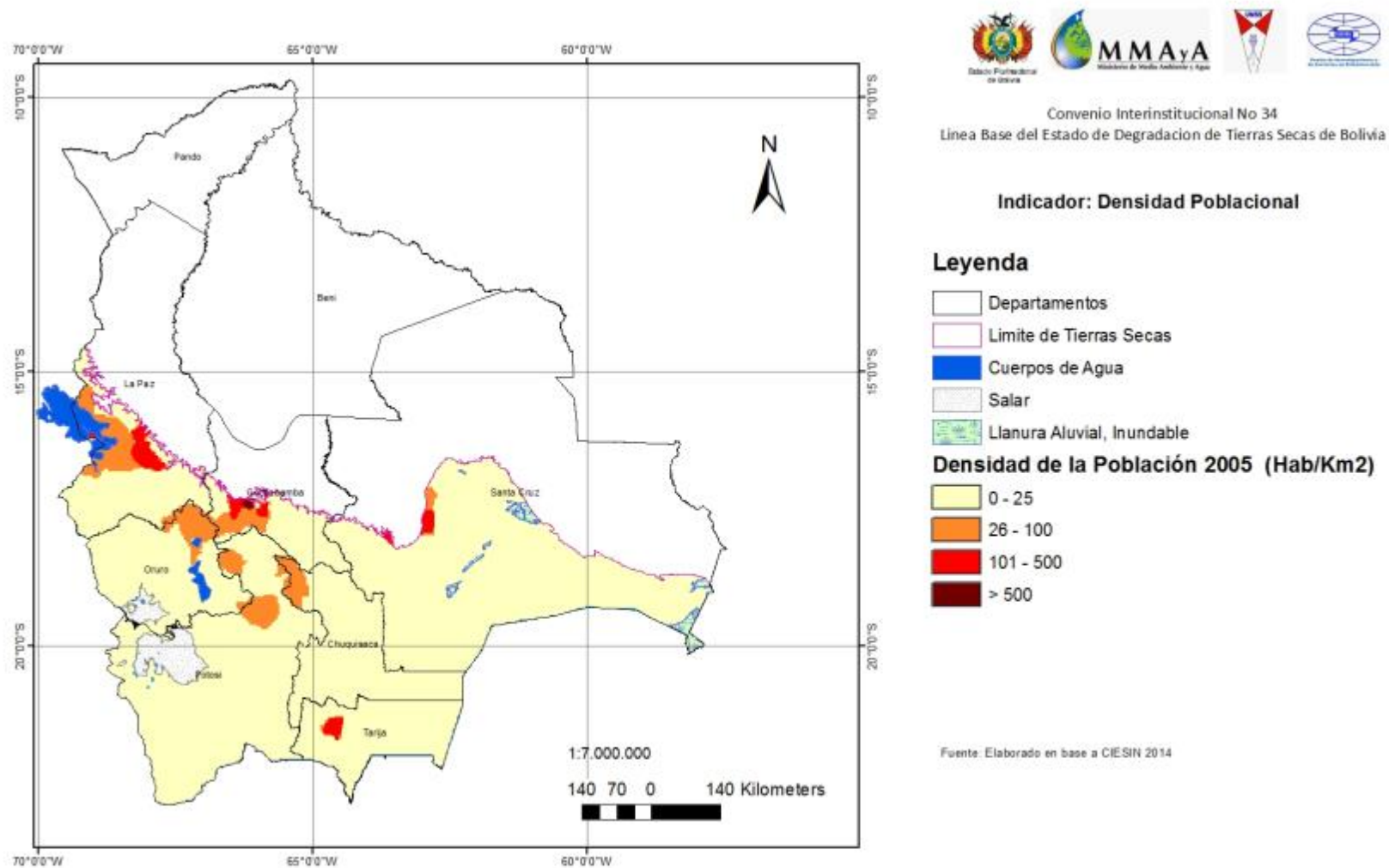
Leyenda

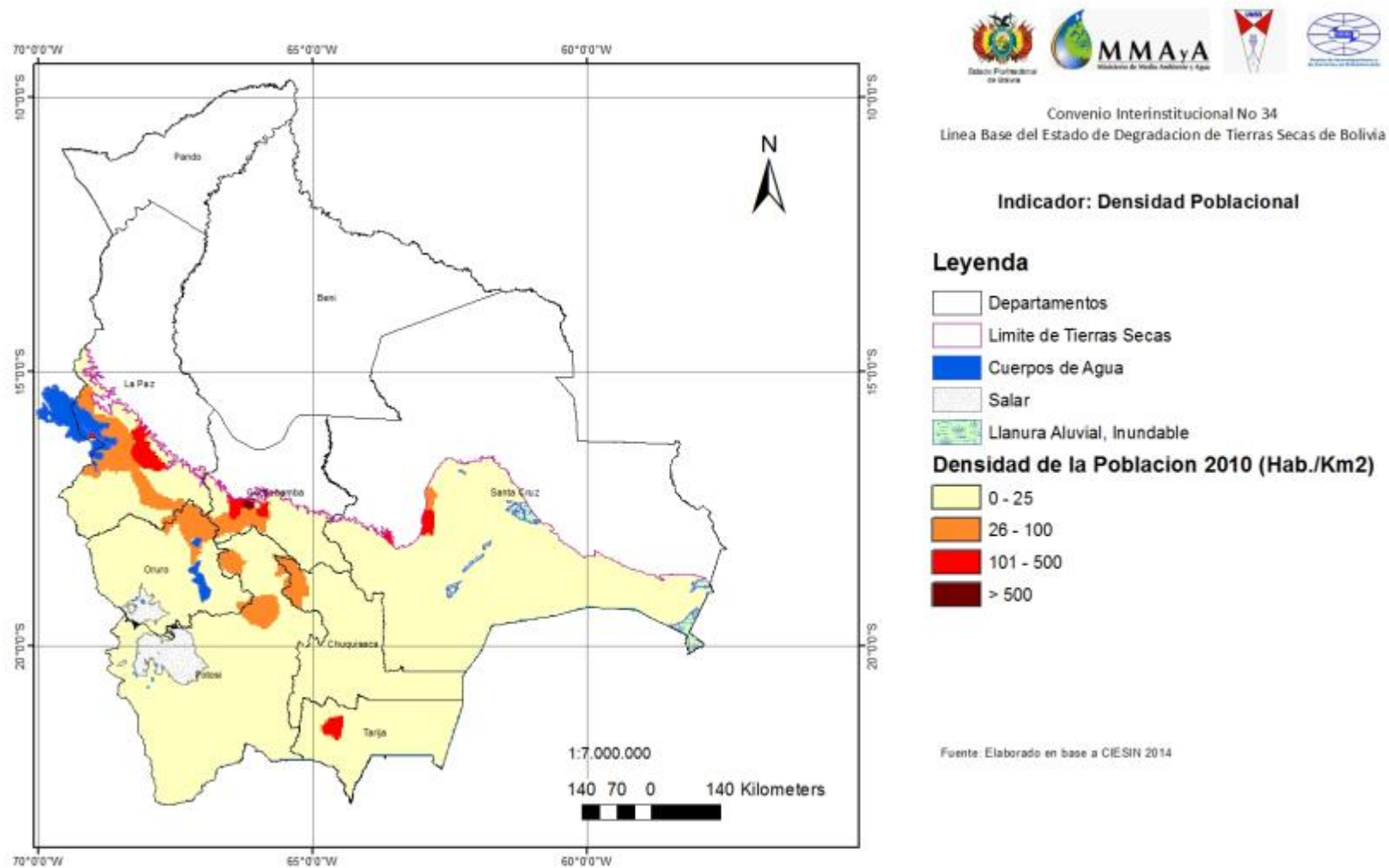
- Departamentos
- Limite de Tierras Secas
- Cuerpos de Agua
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable

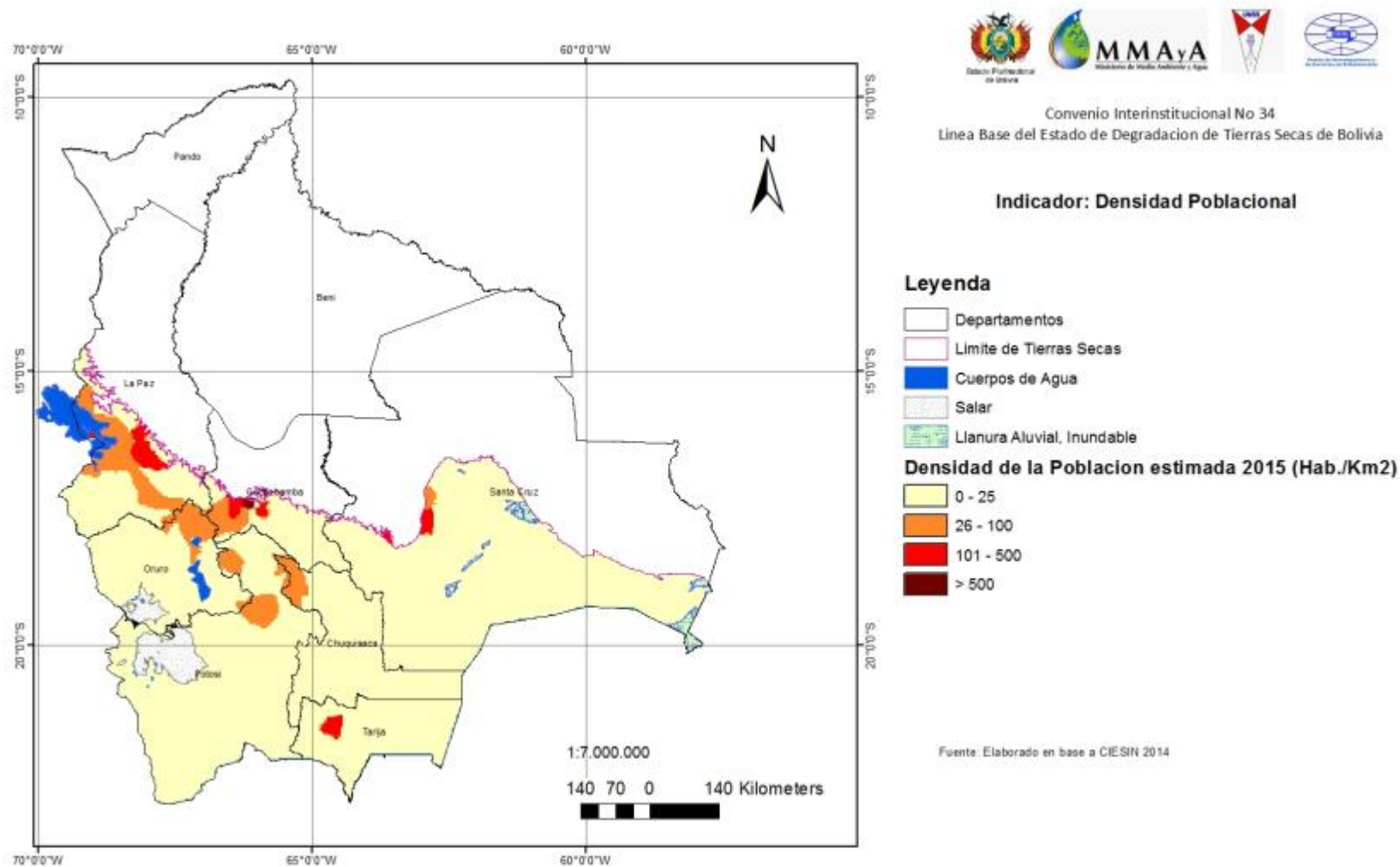
Densidad de la Poblacion 2000 (Hab./Km2)

- 0 - 25
- 26 - 100
- 101 - 500
- > 500

Fuente: Elaborado en base a CIESIN 2014







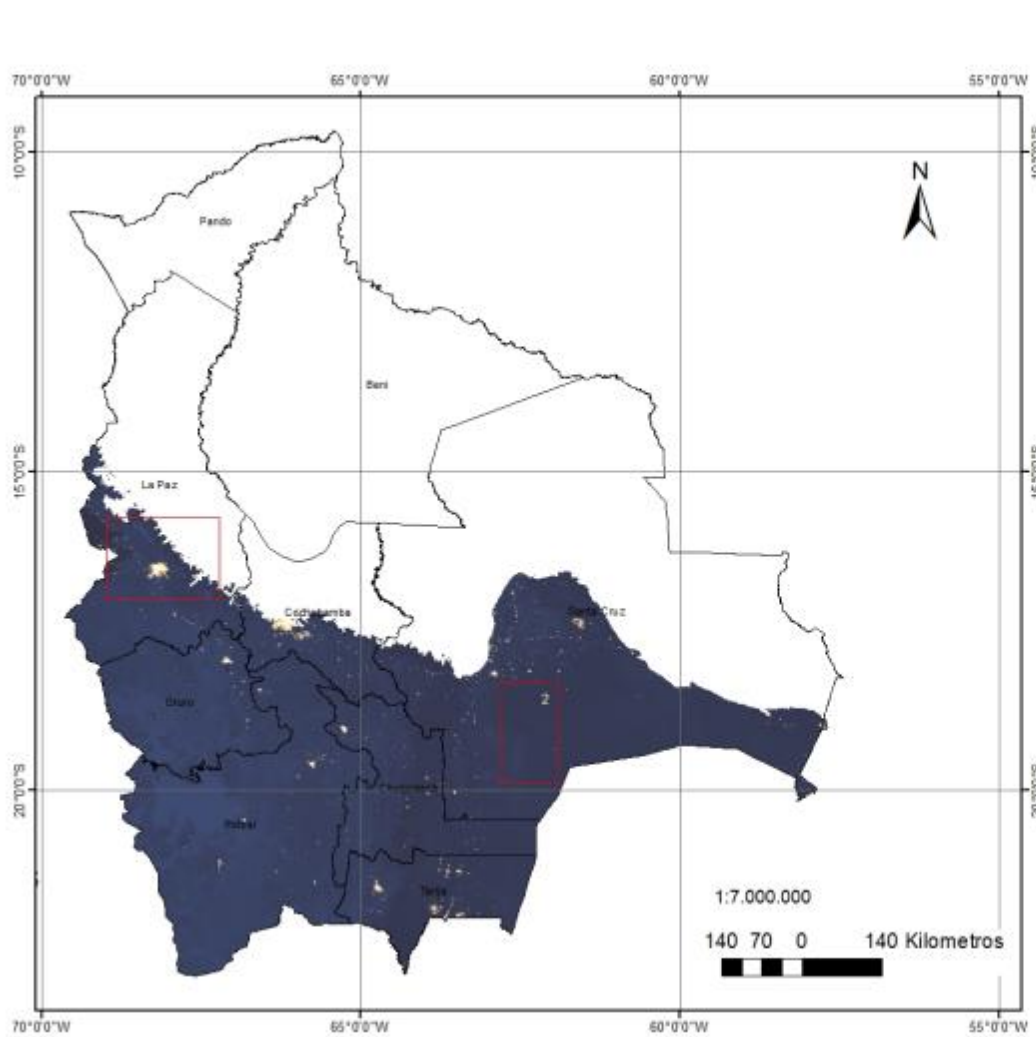


Imagen nocturna 2012

Leyenda

departamentos

Ciudad del Alto y Ciudad de La Paz Zona de Parapetí - Santa Cruz

Nota: La imagen nocturna muestra las zonas pobladas y con iluminación artificial en color amarillo y las zonas sin iluminación en azul a azul oscuro.

La interpretación visual de la imagen se realiza bajo el supuesto de que las áreas más densamente pobladas están iluminadas por el tendido eléctrico de las ciudades.

Fuente: Elaborado en base a SEDAC - NASA 2014

SÍNTESIS: INDICADORES DE FUERZA MOTRIZ

Los indicadores más importantes para analizar la fuerza motriz que impulsa la degradación de las tierras son los indicadores climáticos y por otra parte la densidad de la población.

Cambios identificados en los factores climáticos revelan las tendencias de avance de la aridez, mientras que el incremento de la densidad poblacional sugiere por una parte crecimiento y densificación de asentamientos humanos, que si no son planificados y adecuadamente gestionados, inciden negativamente incrementando la degradación de las tierras.

En las tierras secas de Bolivia el estudio de los indicadores de fuerza motriz muestra que:

- ✓ Las tendencias durante las cuatro décadas analizadas (1970-2010) reflejan predominancia de la reducción de la precipitación en la región del departamento Santa Cruz, algunas regiones de los valles interandinos ubicados al sur de Cochabamba, sur de La Paz y centro de Chuquisaca y Tarija con valores de hasta 27 mm/mes; mientras que en el altiplano central y sur y los valles interandinos al occidente de Chuquisaca y Tarija se observa un incremento de las precipitaciones de hasta 22 mm/mes.
- ✓ Los valores de temperaturas mensuales en la zona de estudio varían principalmente con la altura. La evapotranspiración potencial muestra un incremento de suroeste a noreste con valores que oscilan desde 348 mm hasta los 1491 mm al año, los mínimos se presentan en la región suroeste cerca de los límites con Chile, mientras que los máximos al oeste en el Departamento de Santa Cruz.
- ✓ Las zonas con una condición de aridez y de menor cantidad de días en la estación de crecimiento se ubican 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 del país.
- ✓ Las zonas de mayor densidad se encuentran en las ciudades del eje central La Paz y Cochabamba.

Impreso para respaldo POA

3.2. 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)

3.2.1. PRESIONES: DEFORESTACIÓN, QUEMAS

En base a información secundaria, se presenta el mapa de presiones por deforestación y por quemas (ver mapa 23).

En el caso de deforestación los datos de entrada de una resolución espacial de 30m que fue elaborada por Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN). El procedimiento de generación del mapa fue realizar una corrección geográfica en base a mapa de cobertura y uso a resolución 50m.

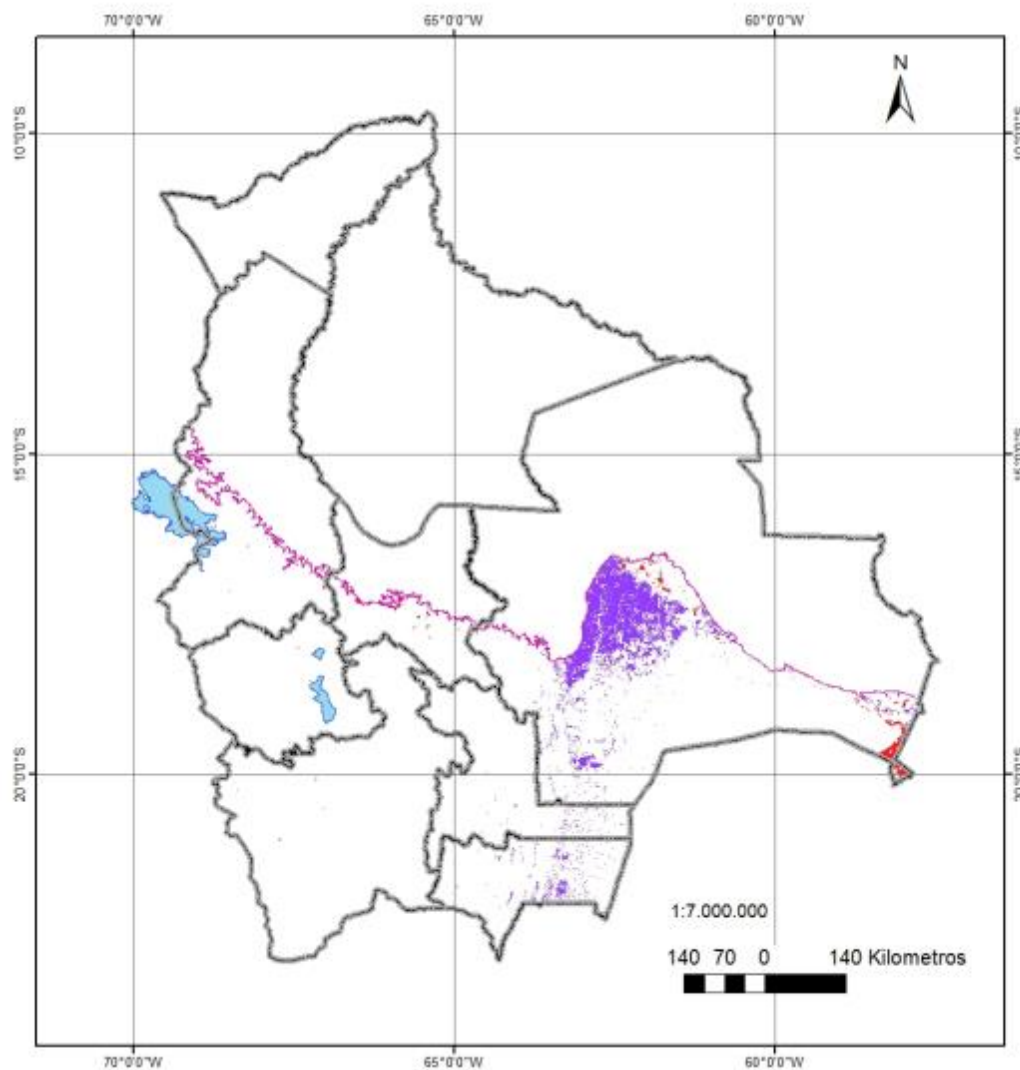
Para el mapa de áreas quemadas se utilizó la información disponible y se sumaron las capas para obtener una sola capa (FAN, 2012)¹⁴.

El departamento con mayor presión por deforestación y por incendios forestales en tierras secas es Santa Cruz. Debido a las características de tierras secas, menos del 1 % (0,61%) está afectada por quemas. Un 13,47 % de la zona de estudio ha sido deforestada. Fuera de Santa Cruz, los demás departamentos no tienen superficies significativas en las categorías de presiones por deforestación y quemas.

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. Según Müller et al 2011, las tres causas principales para la deforestación son la agricultura mecanizada con cultivos de soya, caña de azúcar, y arroz. La agricultura a pequeña escala incluye diferentes formas de producción manual; principalmente se cultivan arroz, maíz y cultivos perennes. La ganadería lleva a reemplazar los bosques por pastizales, mayormente para la producción de carne para el mercado nacional (CAO 2008). 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 mala planificación del uso de fuego transforman las quemas en incendios (Rodríguez-Montellano, 2012)

Impreso para respaldo POA

¹⁴ <http://incendios.fan-bo.org/>



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Mapa de Presiones: Deforestación y quemas

Leyenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas
- Deforestación
- Quemas

Fuente: Rodriguez, Armando 2012 Fundación Amigos de la Naturaleza

3.2.2. CAUSAS CLIMÁTICAS: AMENAZAS NATURALES

El clima es el factor más determinante sobre los procesos de degradación de tierras, en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas 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.

El proceso de degradación de tierras comprende dos sistemas complejos conectados entre sí: el ecosistema natural y el sistema social humano, el primero comprende el desgaste periódico ocasionado por fenómenos climáticos extremos y el segundo implica el uso que hace el ser humano de los sistemas naturales.

El clima influye en el tipo de vegetación, biomasa y diversidad de tierra secas, así la precipitación y temperatura determinan la distribución de la vegetación y es un factor esencial la génesis y evolución del suelo, mientras que la precipitación influye en la producción de biomasa. A continuación se presenta una breve descripción de cada factor.

Precipitación/ escorrentía

Es quizá el factor más determinante sobre las áreas amenazadas por la degradación del suelo y la desertificación, por cuanto la variabilidad de la precipitación y lluvias extremas pueden ocasionar erosión, que si no es manejada de forma oportuna puede dar lugar a desertificación. Incluso en el caso de que existan lluvias aparentemente benignas, un manejo deficitario puede convertir zonas en vulnerables a la degradación y agravarse por efecto del cambio climático.

La precipitación en conjunto con la temperatura determinan el clima y por ende influyen sobre la biomasa producida, es así que el índice de aridez se utiliza para la clasificación de las áreas áridas y semiáridas; en las áreas secas la evaporación es superior a la precipitación por lo que se produce un déficit hídrico continuo.

La precipitación puede erosionar el suelo por efecto de las gotas de lluvia, de la escorrentía superficial y subsuperficial, y de las crecidas fluviales. La velocidad con la que la lluvia cae en la superficie produce una gran cantidad de energía cinética capaz de arrancar partículas del suelo, este tipo de erosión puede producirse también cuando un suelo se convierte en hidrosoluble debido a ácidos moderadamente agresivos en el agua de lluvia. Posteriormente sucede el arrastre de las partículas de suelo, en el caso de que no exista escorrentía superficial el grado de erosión es bajo. Por el contrario con lluvia intensa mayor será la cantidad de las partículas de suelo arrastradas por la escorrentía. Mientras que en el caso de lluvia ligera de larga duración casi todo el arrastre de suelo sucede bajo el agua y las partículas del suelo son mayormente finas, y en el caso de lluvias intensas y escorrentía superficial el tamaño de las partículas son mayores.

La escorrentía superficial suele ser más abundante en zonas secas ya que los suelos tienden a formar cortezas impermeables por efecto de tormentas intensas y carece de cubierta vegetal, por lo cual el transporte de suelo puede ser mayor (por unidad de cantidad de movimiento) que en zonas con abundante vegetación.

Granizo

El granizo puede afectar el suelo debido a la energía cinética liberada, superior a la de lluvia, destruyendo gran cantidad de suelo, en caso de presentarse simultáneamente con fuertes lluvias se potencia el arrastre de partículas en especial en tierras agrícolas. Otro caso es el de erosión por deshielo de suelo congelado que causa arranque de partículas finas de la superficie; las áreas más susceptibles son las zonas montañosas secas y con escasa vegetación.

Crecidas/Inundaciones

La pérdida de vegetación en las cabeceras de los ríos de zonas secas puede contribuir a aumentar la carga de sedimento, causando que este se convierta en menos estable y más estacional con una serie de canales cambiantes. Las lluvias excesivas producidas por tormentas, huracanes, o tifones pueden generar procesos de degradación al generar acumulación de agua en zonas específicas ocasionando la anegación de la cuenca hidrológica. Las crecidas de ríos pueden suceder en todos los climas pero en las tierras secas constituyen un problema agudo.

Sequías

La sequía es un fenómeno natural proveniente de una deficiencia de precipitación que ocasiona escasez de agua para algunas actividades o grupos, y puede estar asociado a factores climáticos como temperatura, vientos fuertes y humedad relativa baja que agrava el fenómeno (Figura 14), esta disminución se sucede en un periodo de tiempo prolongado (una estación o más). Es un rasgo existente y hasta normal en casi todos los regímenes climáticos, generalmente sucede en zonas con índice de precipitación alto o bajo, sin embargo, es de tipo temporal a diferencia de la aridez.

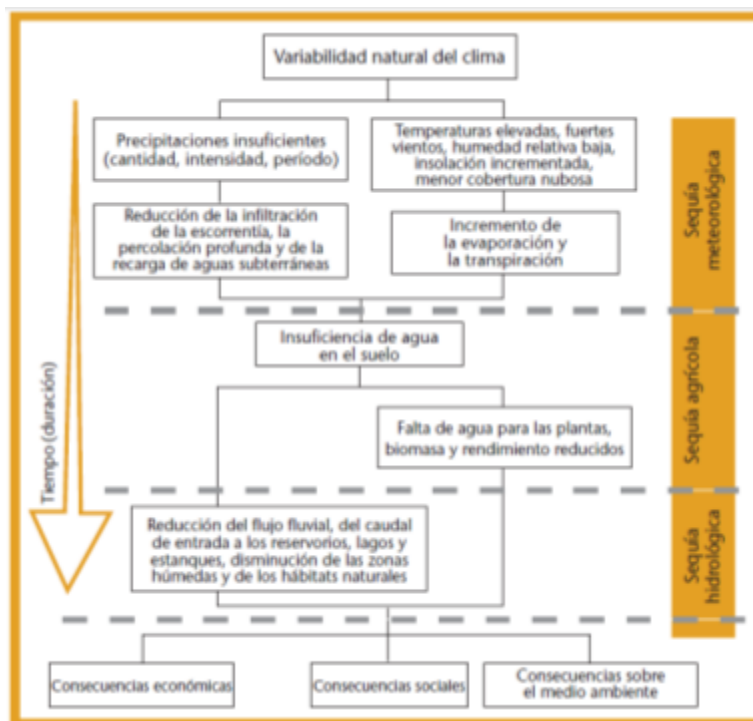


Figura 14. Tipos de sequía y sus efectos

Fuente: (WMO, 2006)¹⁵

La sequía que reduce la humedad del suelo y por tanto la evaporación y nubosidad, e incrementa el albedo de superficie a medida que destruye la cubierta vegetal, tiene como efectos el aumento de la temperatura del aire en el suelo y cerca de la superficie, reducción del balance de radiación de superficie y un mayor déficit del balance de radiación en el sistema superficie-atmósfera local, en consecuencia se produce mayor subsidencia atmosférica y mayor disminución de las precipitaciones.

Radiación solar, temperatura y evaporación

La radiación solar está correlacionada con la nubosidad, y en la mayoría de los climas de tierras secas hay pocas nubes o ninguna y la radiación solar puede ser intensa. El calentamiento solar de la superficie terrestre contribuye a la temperatura del aire.

La temperatura junto con la precipitación es el principal factor determinante del clima y, por ende, de la distribución de la vegetación y de formación de los suelos, ésta implica varios factores: material de base, topografía, clima, actividad biológica, y tiempo. La temperatura y la precipitación dan lugar a distintos tipos de meteorización y lixiviación de los suelos. Las variaciones estacionales y diarias

¹⁵ . WMO World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial) 2006 Overview of Drought Management. http://www.wamis.org/agm/meetings/slovenia10/S1-Stefanski_Drought_Management.pdf
Impreso para respaldo POA



de la temperatura pueden afectar a la humedad del suelo, a la actividad biológica, a las tasas de reacción química y a los tipos de vegetación.

En los trópicos en el verano las altas temperaturas contribuyen al agrietamiento de los suelos arcillosos exponiendo la superficie y subsuperficie a la erosión del agua y del viento, y al incremento de la evaporación de suelos y reducción de humedad disponible para la vegetación. En tierras templadas el ciclo congelación-deshielo puede afectar la composición del suelo por el desplazamiento de material desde las profundidades hasta la superficie.

La evaporación es la conversión de agua líquida o sólida en vapor, que se difunde en la atmósfera, para lo cual es necesario un gradiente de la presión de vapor entre la superficie de evaporación y la atmósfera, además de una fuente de energía. La radiación solar es la fuente principal de energía, que determina los límites de la evaporación en general. En los trópicos los valores de radiación solar son elevados, e inducen una gran demanda de evaporación de la atmósfera. En regiones áridas y semiáridas, una cantidad considerable de energía puede ser transportada por advección hacia zonas de regadío desde las áreas secas circundantes.

En tierras degradadas, la propia superficie de la tierra influye en la demanda de evaporación en función de su albedo y de rugosidad de su superficie, que influye en las turbulencias. En regiones áridas y semiáridas, valores de evaporación superiores a los de la precipitación producen acumulación de sales en la superficie del suelo. Los suelos con horizonte sódico se dispersan fácilmente, y los bajos niveles de humedad se traducen en una actividad biológica limitada.

Cambio en la precipitación: Como resultado del análisis de tendencias se observó que la precipitación anual en las tierras secas de Bolivia en el periodo de 1970 a 2010 presentó una reducción en la región del departamento Santa Cruz, algunas regiones de los valles interandinos ubicados al sur de Cochabamba, sur de La Paz y centro de Chuquisaca y Tarija con valores de hasta 329 mm al año es decir unos 27 mm/mes; mientras que en el altiplano central y sur y los valles interandinos al occidente de Chuquisaca y Tarija se observa un incremento de las precipitaciones de hasta 270 mm al año es decir unos 22 mm/mes (ver mapa 24).

Duración del período de crecimiento: 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. 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, en el mapa siguiente se observa la distribución espacial de la duración del periodo de crecimiento en las tierras secas de Bolivia, donde las zonas con mayor riesgo se ubican 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 (ver mapa 25).



Frecuencia de sequías:

Para el análisis de la frecuencia de sequías se recopiló la información referente a la exposición física anual a la sequía, obtenida en base al índice estandarizado de precipitación (SPI) y los datos de población mediante un modelo espacial SIG, estos valores expresan el grado de exposición a la sequía (Peduzzi, 2012) para lo cual se utilizó 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 LandScan¹⁶.

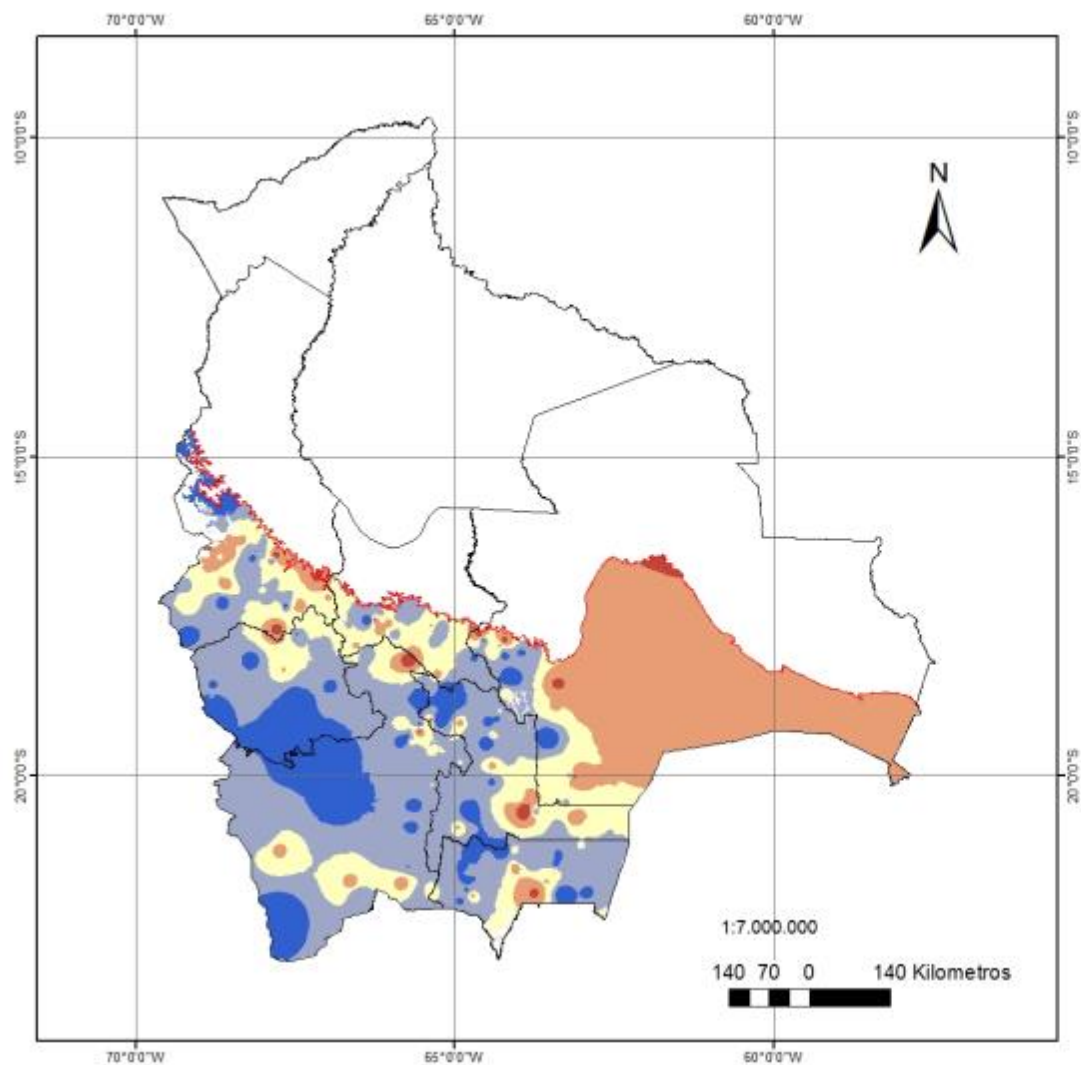
El mapa 26, muestra el grado de exposición a la sequía para las tierras secas de Bolivia, las zonas más vulnerables o expuestas se ubican en las ciudades más pobladas como La Paz y Cochabamba; mientras en las zonas con menor población la exposición se reduce a valores inferiores a 2,000 personas afectadas. 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.

Frecuencia de 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.

Los resultados obtenidos para las tierras secas de Bolivia se muestran en el mapa 27, donde se observa que las zonas con mayor frecuencia se ubican a lo largo de los ríos Grande, Parapetí y Pirá 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.

¹⁶ 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).



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Distribución espacial de los cambios de precipitación anual en las tierras secas de Bolivia durante el periodo 1970-2010

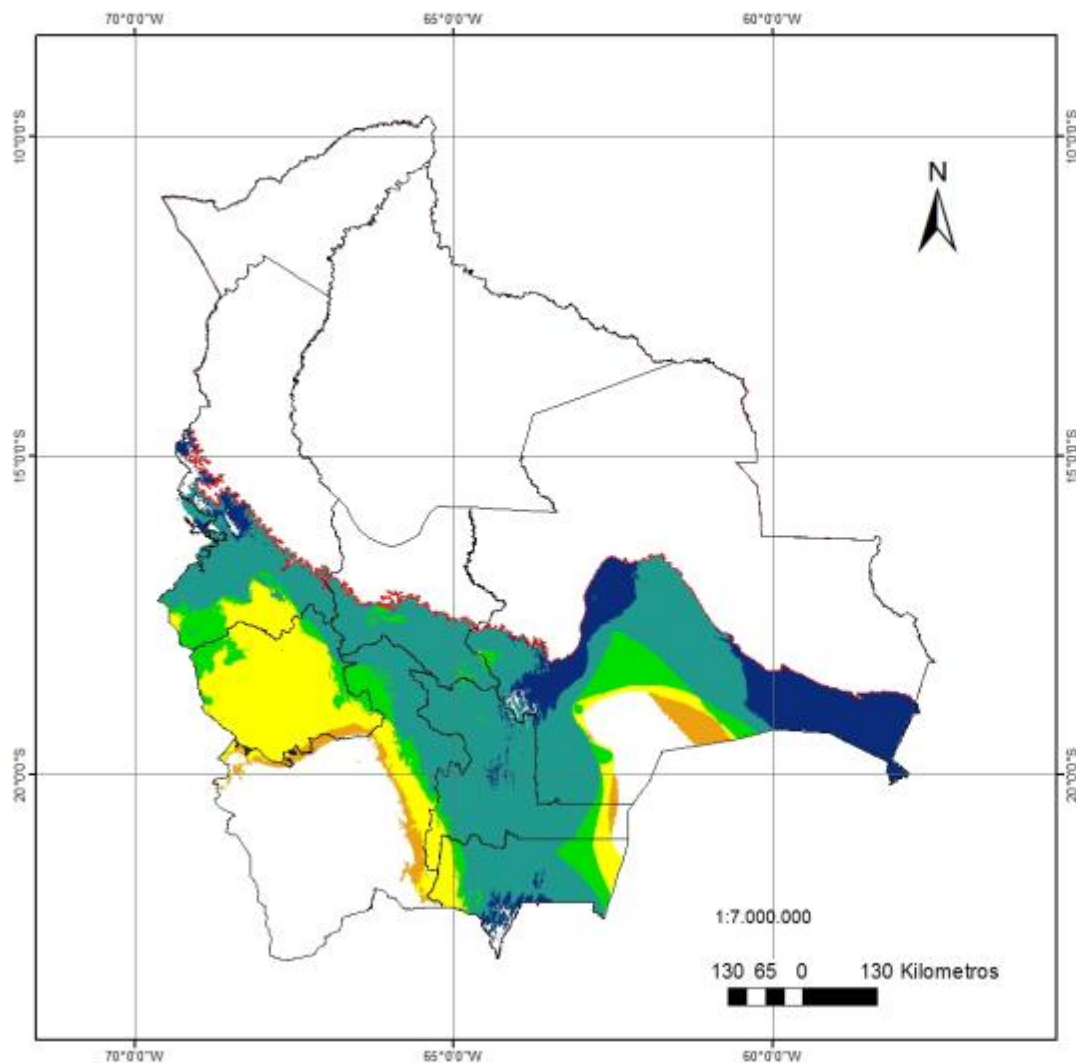
Legenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas

Cambio en los valores de Precipitación anual (mm/año)

- 329 - -200
- 199 - -100
- 99 - -40
- 39 - 15
- 16 - 270

Fuente: Elaborado en base a
 Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI (2010) para el periodo 1970 - 2010.
 Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Duración del periodo de crecimiento en las tierras secas de Bolivia

Leyenda

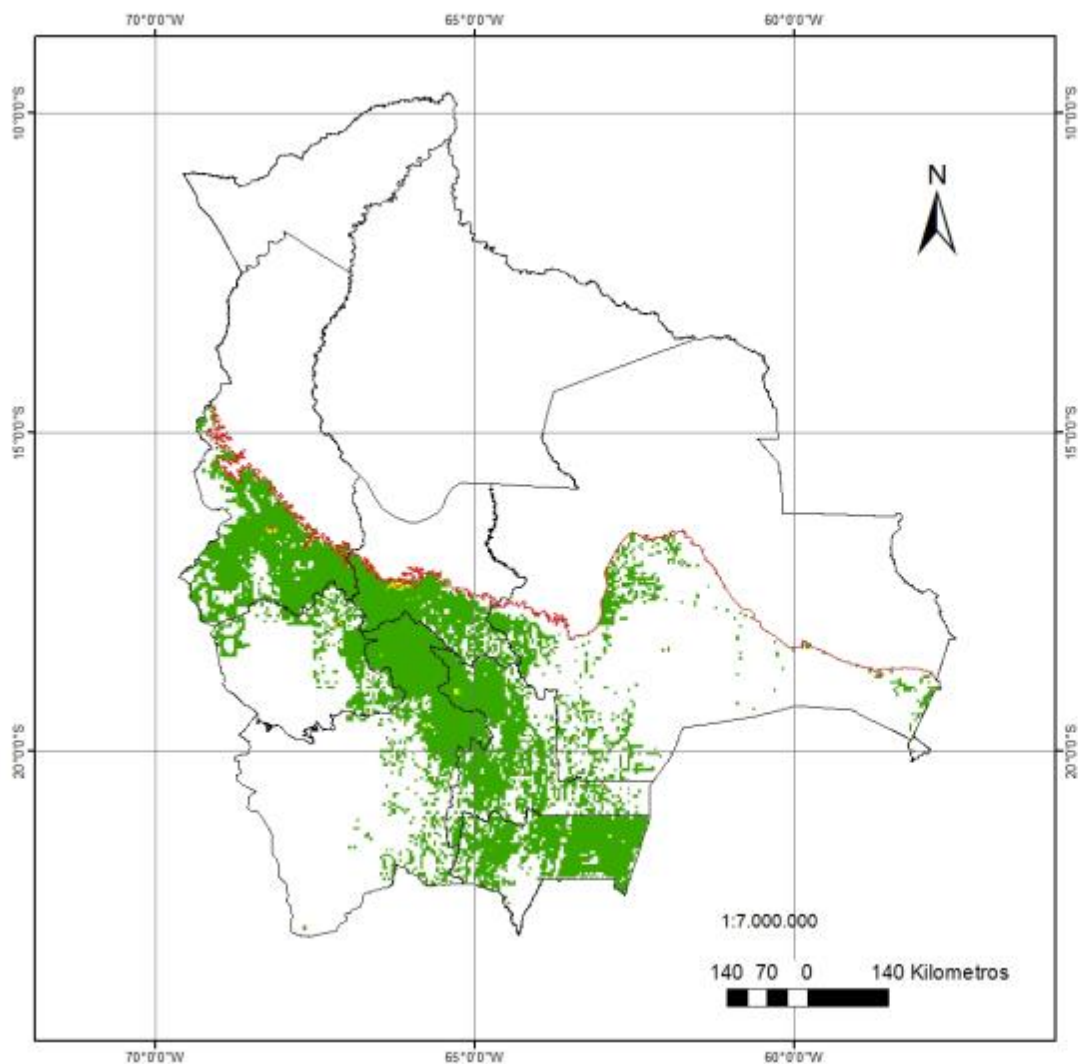
- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas

Duración del periodo de crecimiento (dias)

- 1 - 28
- 29 - 60
- 61 - 120
- 121 - 180
- > 270

Nota: Las zonas de Sur de Potosí y la zona del Chaco
presentan restricciones climáticas todo los días del año.

Fuente: Elaborado en base a
Serie de datos climáticos de estaciones meteorológicas SENAMHI
(2010) para el periodo 1970 - 2010.
Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis,
2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global
land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

**Valores de exposición
 física a la sequía expresada
 como cantidad de personas
 afectadas por año**

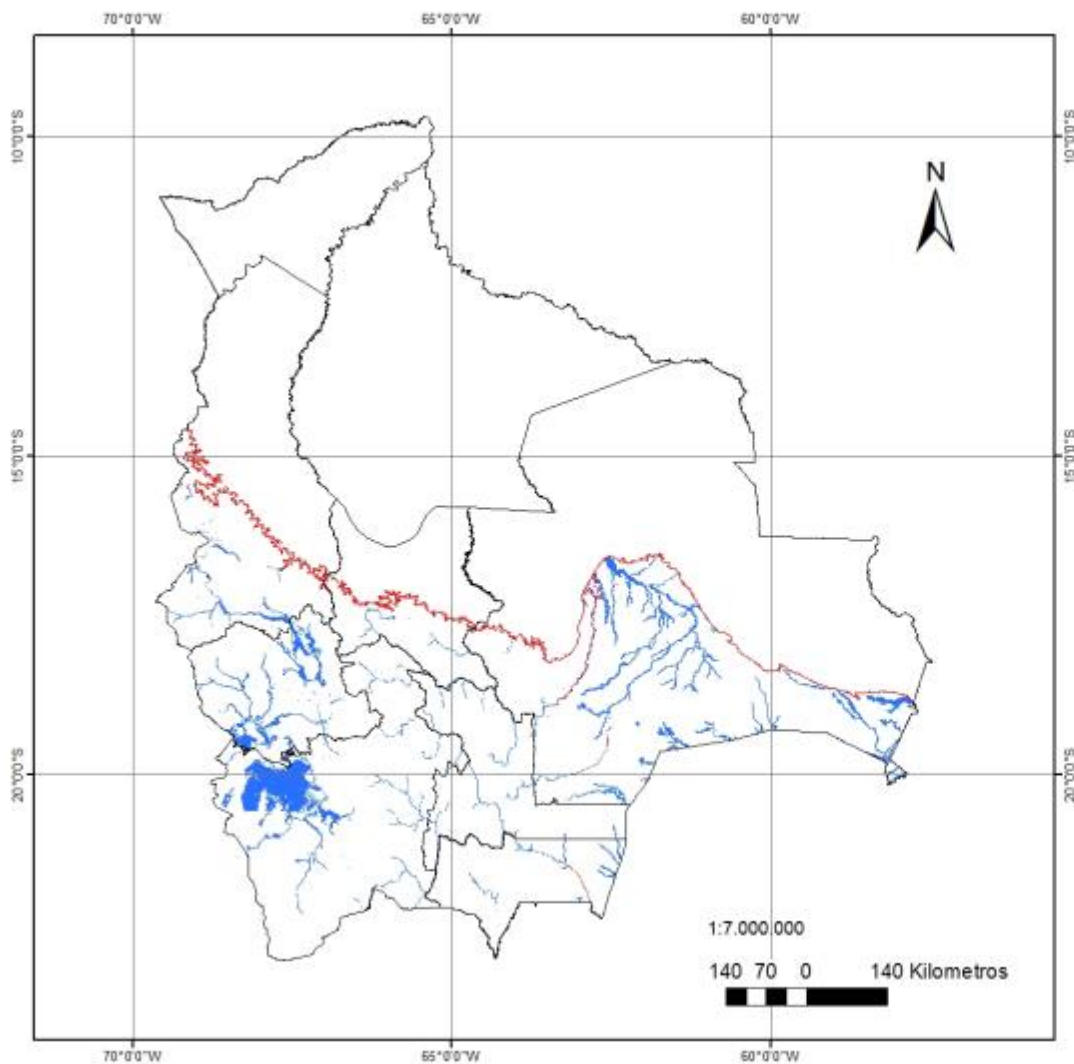
Legenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas

Exposición a la sequía (personas afectadas / año)

- 1 - 2,080
- 2,081 - 8,773
- 8,774 - 22,122
- 22,123 - 41,932
- 41,933 - 75,368

Fuente: Elaborado en base a Peduzzi 2012.
 Base de datos espacial del CRU (Climatic Research Unit). 2)
 Valores del Índice Estandarizado de Precipitación estimado según
 la metodología de Brad Lyon, y
 Base de datos espacial de población LandScan para el año 2010 (CIESIN 2014)



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Distribución espacial de la frecuencia de inundaciones en las tierras secas de Bolivia

Legenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas

Frecuencia de inundaciones (No de veces/año)

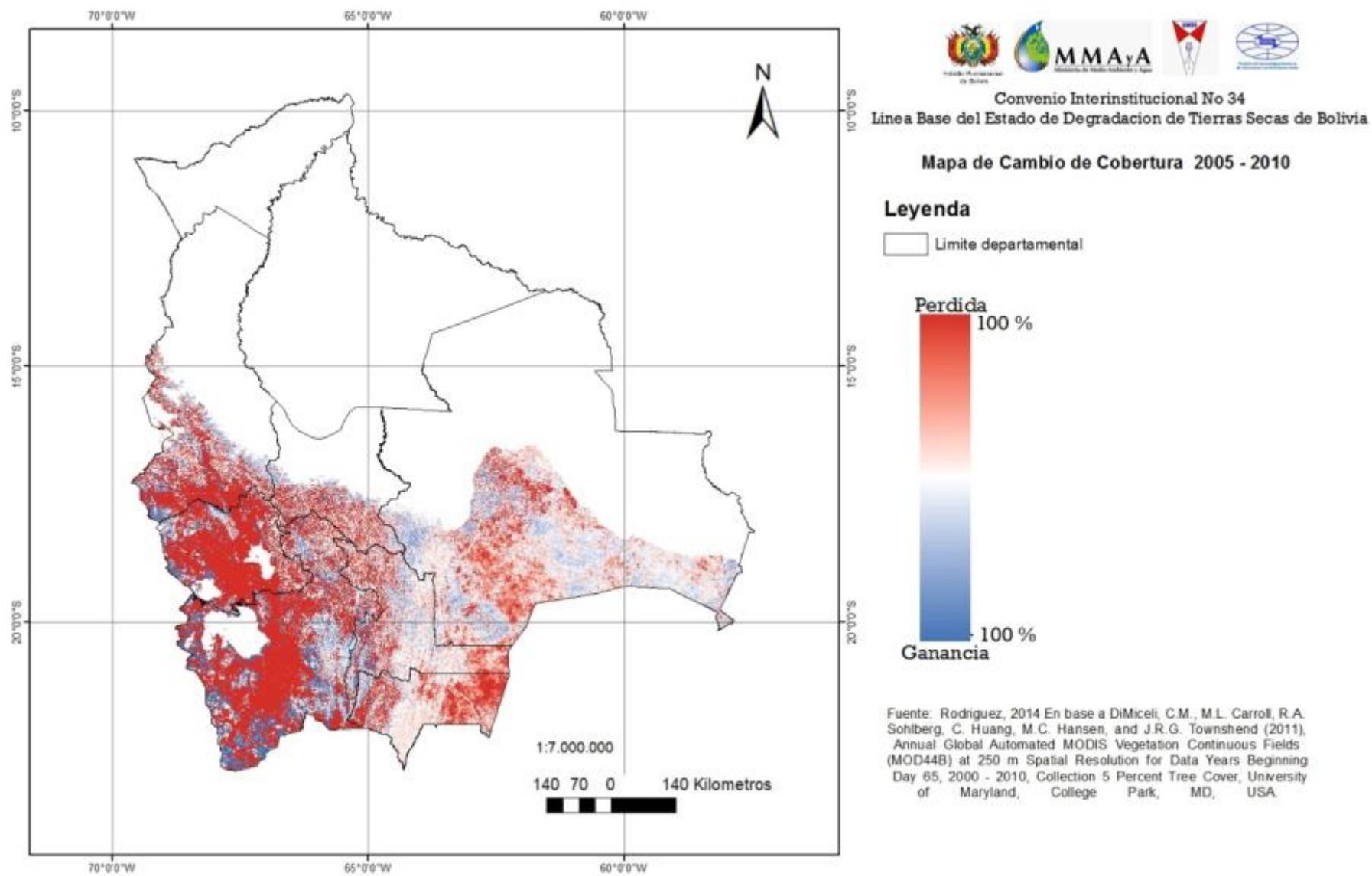
- Sin inundaciones
- 1 - 10
- 11 - 30
- 31 - 40
- > 40

Fuente: Elaborado en base a
 Modelo especial 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
 El registro de las inundaciones observadas durante el periodo
 1999-2007 proporcionado por el Observatorio de Inundaciones de Dartmouth (DFO)
 La frecuencia según la base de datos de inundaciones del PNUMA / GRID - Europa

3.2.3. CAMBIO DE VEGETACIÓN

Las actividades humanas han sido reconocidas en años recientes como la mayor fuerza modeladora de la biosfera; y por encima de que las fuerzas naturales son responsables de la mayoría de los cambios contemporáneos en los flujos y estados de la biosfera (Meyer y Turner II, 1994; Velázquez y Bocco. 1994, Foster *et al.*, 1999; Verburg *et al.*, 1999). La tercera parte de la superficie terrestre está compuesta por cultivos y pastos y más de la mitad de las áreas de cultivo que existen actualmente se comenzaron a cultivar el siglo pasado (Reid *et al.*, 2000). 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). Los cambios en el uso de la tierra (CUT) son resultado de una compleja interacción entre el ser humano y el medio biofísico y actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales (Verburg *et al.*, 1999). Entender las transformaciones en el uso de la tierra, y las fuerzas sociales que los manejan es de crucial importancia para comprender, modelar y predecir su cambio a nivel local, regional, así como para responder a este cambio (Meyer y Turner II 1994). La vegetación es la expresión evolutiva del agregado de especies vegetales en un lugar y en un tiempo determinado. Como tal es un elemento indicador del estado o condición que guardan los ecosistemas (Lambin *et al.*, 2001; Farina, 2000). La cobertura vegetal (los atributos biofísicos de la superficie terrestre) y los usos de la tierra (los distintos propósitos humanos con los que se aprovechan estos atributos) determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres: afectan directamente a su biodiversidad, contribuyen a los cambios climáticos locales, regionales y globales y son las fuentes primarias de la degradación. La transformación perceptible y generalizable de la vegetación o los usos antrópicos por medio de un intervalo de tiempo en determinada área es reconocida como el análisis del cambio en la cobertura y uso de la tierra.

Se utilizó MODIS (Vegetation Continuous Fields) 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 espectrorradiómetro de imágenes de sensor (MODIS) a bordo del satélite Terra de la NASA. 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 utilizaron los productos MCD44B colección 5 de MODIS (Vegetation Continuous Fields - VCF) del sensor MODIS, de los años 2005 y 2010. Este producto muestra el porcentaje de cobertura de vegetación por pixel. Se calculó el cambio entre estos dos periodos a partir de la diferencia normalizada de los dos productos. Para evitar problemas de pérdida de información al momento de extraer el raster para tierras secas de Bolivia (mapa 28), se resampleo el mapa a 50m. (DiMiceli, C.M *et al.*, 2011)



3.2.4. INCIDENCIA DE LA POBREZA EXTREMA Y DENSIDAD DE LA POBREZA

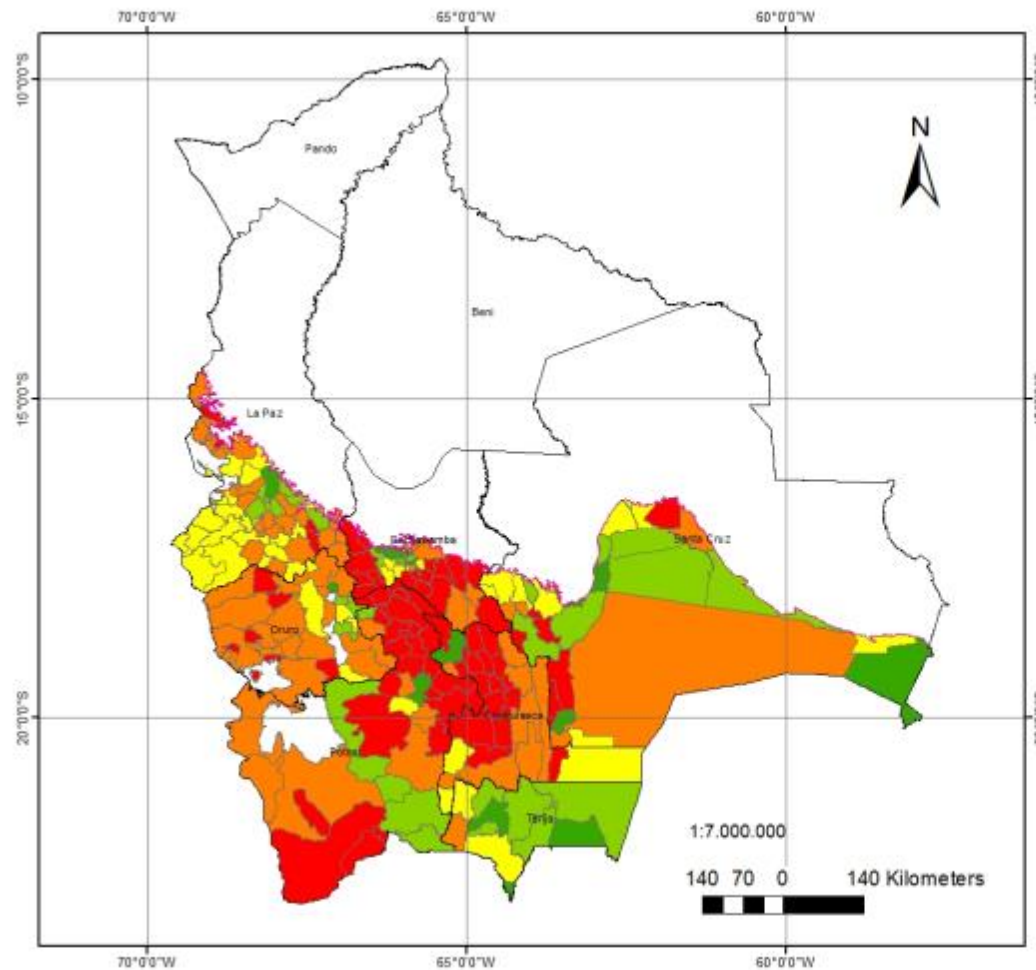
Los indicadores de pobreza se elaboran según el INE 2011 a través del método de la línea de pobreza, procedimiento que centra su atención en la dimensión económica de la pobreza, y en este caso específico emplea el ingreso como medida de bienestar. La medición de la pobreza mediante el método de línea de pobreza consiste en comparar el valor per cápita de ingreso en el hogar con el valor de una canasta mínima denominada línea de pobreza, de esta manera se trata de establecer si estos tienen la capacidad de satisfacer por medio de la compra de bienes y servicios un conjunto de necesidades alimentarias y no alimentarias

La figura 15 muestra espacialmente la densidad de la pobreza, es decir el número de personas en situación de pobreza por Km². Cada color representa un quinto de la población mapeada y los rangos de densidad de pobreza por Km². Es posible apreciar las zonas con mayor densidad de personas en situación de pobreza, especialmente en las áreas periurbanas y algunos municipios de áreas rurales (SEDAC – NASA 2014).

El mapa 29 muestra que los municipios con mayor incidencia de pobreza extrema se encuentran en la región central del área de estudio y en la zona sur del departamento de Potosí.

La incidencia de pobreza en Bolivia en el 2011 alcanzó a 44,95 por ciento, lo cual equivale a 4,81 millones de habitantes cuyo nivel de ingreso per cápita es inferior al valor de una canasta básica de alimentos y otras necesidades básicas.

En el área rural la incidencia de pobreza fue 61,35 por ciento, es decir, aproximadamente 6 de cada 10 personas en esta área eran pobres. En área urbana la incidencia de pobreza fue 36,84 por ciento



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Incidencia de Pobreza Extrema

Leyenda

- Limite Departamental
- Limite de Tierras Secas

Incidencia de Pobreza Extrema Porcentaje poblacion

- 7,8 - 35,20
- 35,20 - 52,80
- 52,80 - 67,30
- 67,30 - 82,00
- 82,00 - 99,60

Fuente: Elaborado en base a UDAPE 2006, INE 2001

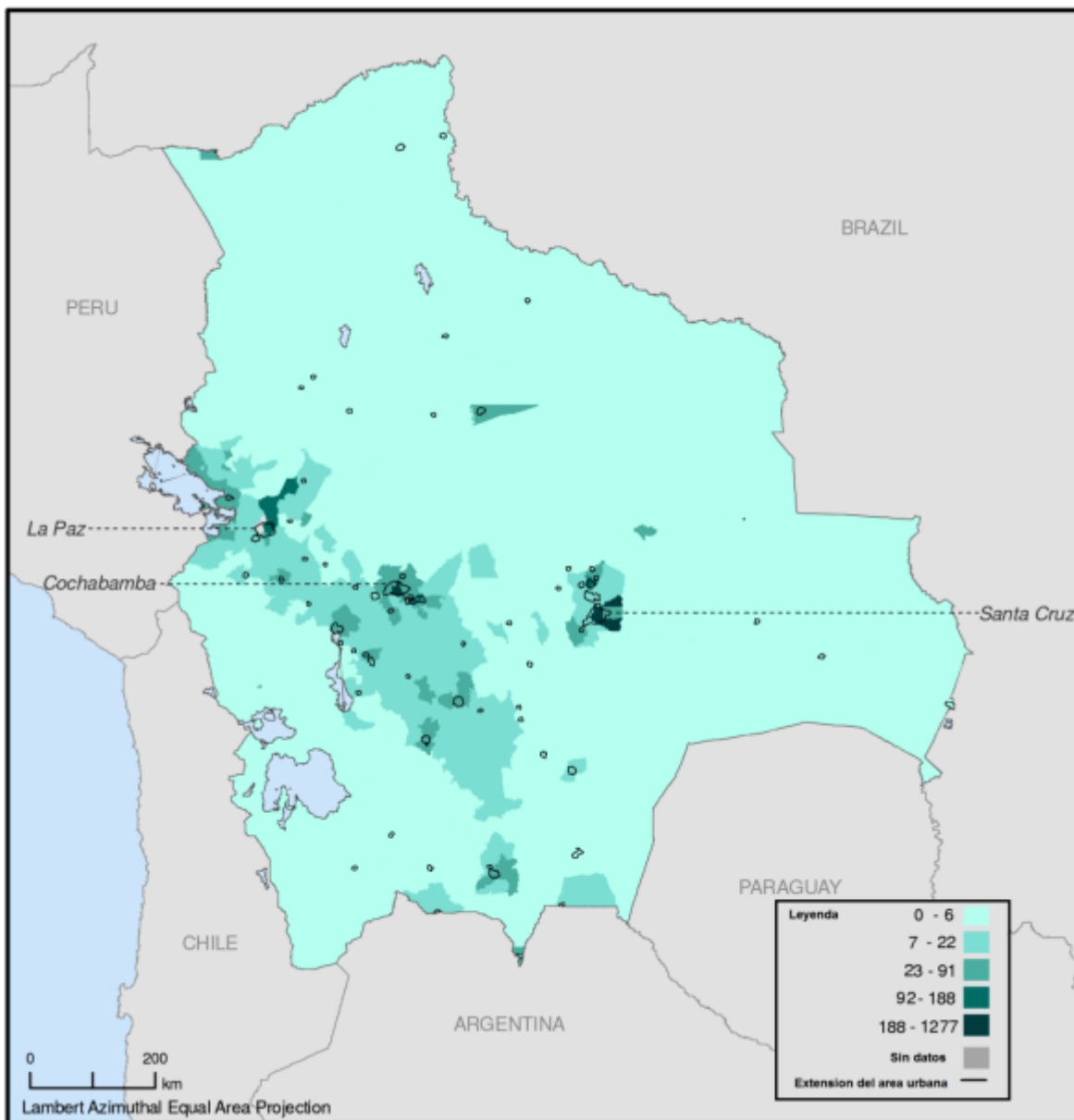


Figura 15. Densidad de la Pobreza.

Fuente: SEDAC – NASA 2014

Nota: Cada color representa un quinto de la población mapeada y los rangos de densidad de pobreza por Km²

SÍNTESIS: INDICADORES DE PRESIÓN DIRECTA

En las tierras secas de Bolivia el estudio de los indicadores de presión directa muestra que:

- ✓ El departamento con mayor presión por deforestación y por incendios forestales en tierras secas es Santa Cruz. Debido a las características de tierras secas, menos del 1 % (0,61%) está afectada por quemas. Un 13,47 % de la zona de estudio ha sido deforestada. Fuera de Santa Cruz, los demás departamentos no tienen superficies significativas en las categorías de presiones por deforestación y quemas.
- ✓ Las zonas con mayor riesgo por las limitaciones que tienen en la duración del periodo de crecimiento, se ubican 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
- ✓ Las zonas que se inundan/desbordan con mayor frecuencia se ubican a lo largo de los ríos Grande, Parapetí, Pirá y en la zona central de Santa Cruz en la región de la Chiquitanía. En Tarija en áreas cercanas al río Pilcomayo. En el altiplano y los valles es menos frecuente, pero se presentan en el norte de Potosí y centro de Oruro, especialmente en la región de los salares; así como desbordes en la región del valle central y bajo de Cochabamba.

3.3. INDICADORES DEL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS

Como su nombre indica, se trata de indicadores que muestran aspectos importantes del estado actual de la degradación de tierras secas de Bolivia.

3.3.1. EROSIÓN

Bolivia, por su situación geográfica presenta una diversidad climática y heterogeneidad en cuanto al relieve, estos factores sumados a los factores antrópicos crean condiciones de riesgo en cada ecosistema, como la degradación del recurso suelo por erosión, salinidad/sodicidad, entre otros.

La pérdida de suelo es una gran preocupación para los gestores y planificadores territoriales debido a su influencia en la producción de biomasa, calidad del agua superficial y la preservación de los paisajes. En Bolivia, el riesgo de pérdida de suelo es acelerado por la eliminación de la vegetación, las malas prácticas de uso de tierra y los impactos negativos de la urbanización. La sinergia entre las condiciones climáticas, la fragilidad de los suelos y especialmente la perspectiva equivocada en relación a la aptitud de la tierra para una agricultura intensiva en áreas frágiles (p.e. zona intersalar) hacen que cada vez más superficies se vayan degradando.

Para evaluar la degradación de este recurso se combinó técnicas de Pedometría (cartografía digital de suelo), insumos y aplicaciones de sensores remotos y especialmente información real de campo que consiste en una base de datos edafológica cuantitativa producto de una recopilación y sistematización de diferentes estudios de suelos a nivel nacional. Para el cálculo de la erosión se utilizó la ecuación de pérdida de suelo universal de revisada (RUSLE) para modelar la pérdida de suelo en Tierras Secas de Bolivia (Tierras Áridas, Semi – Áridas, y Subhúmedas Secas).

3.3.1.1. CARTOGRAFÍA DIGITAL DE SUELOS

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 sistemas de información geográfica. (WG-DSM). Este tipo de mapeo se diferencia del mapeo convencional que espacializa al recurso suelo mediante áreas-polígonos y para cada una de ellas una de clase de suelo.

Esta forma de mapeo (DSM) será la base de análisis de la evaluación de la degradación del recurso suelo, en lo que respecta a la erosión, que se ilustra en la figura 16:

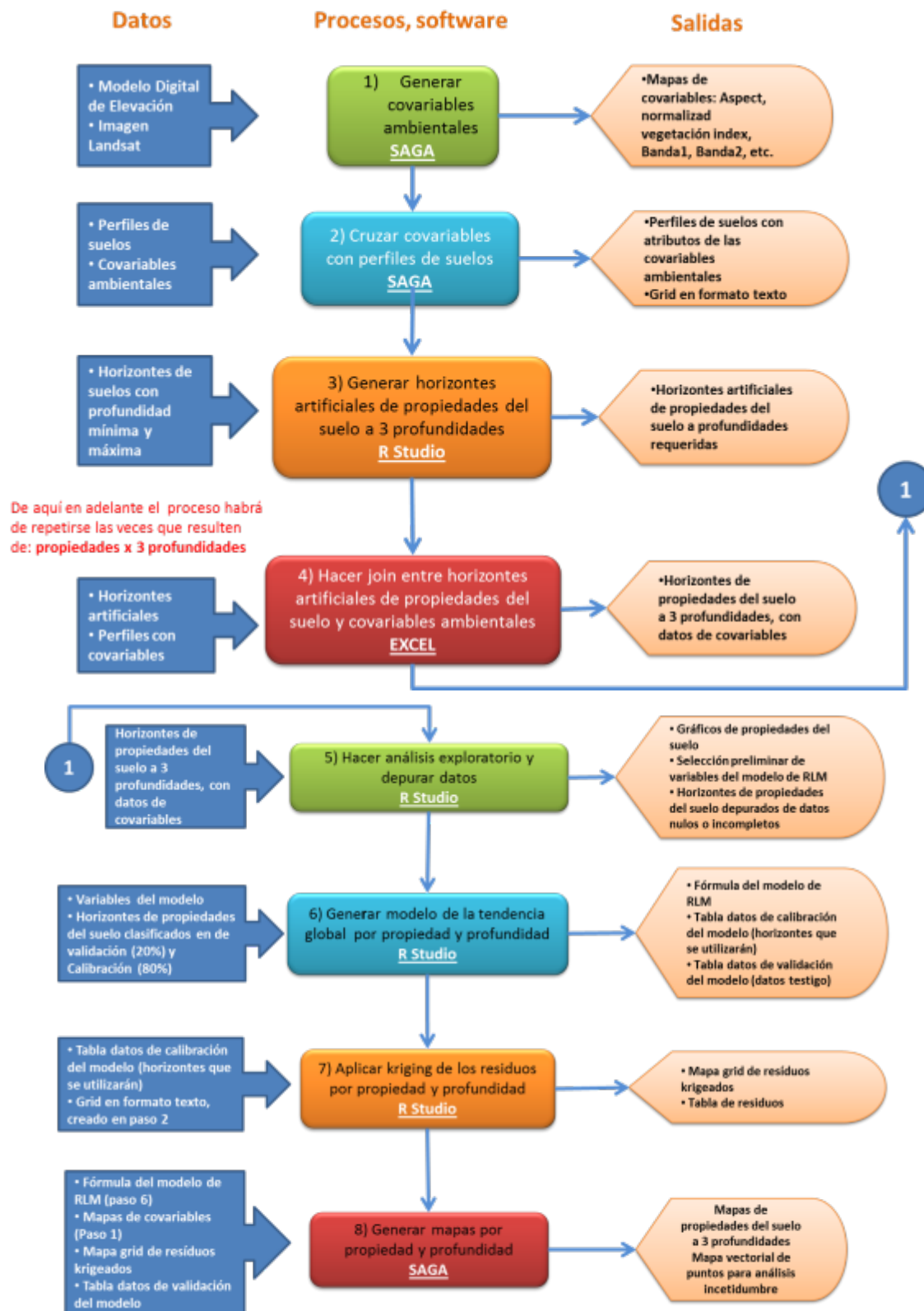


Figura 16. Metodo de Evaluación Edafológica

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.2. BASE DE DATOS EDAFOLÓGICA

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, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable.

Una vez recopilada la información se mapeo puntos, ya que muchos datos a nivel nacional, al tener una data antigua, no poseen coordenadas. Es así que en la mayoría de los casos se debió recurrir a la información cualitativa referente a la ubicación de la observación. Del mismo modo se debió desechar la información inconsistente en cuanto a calidad de los mismos ya sea por datos incompletos y/o datos faltantes, especialmente de ubicación.

Posteriormente se estandarizó la información y datos, el cuadro 8 muestra las unidades utilizadas para la estandarización de cada parámetro edáfico:

Cuadro 8. Unidades de los parámetros

Parámetro	Unidades
Arcilla	%
Limo	%
Arcilla	%
Materia orgánica	%
pH Agua	-
Conductividad eléctrica	μS/cm
RAS	-
PSI	%

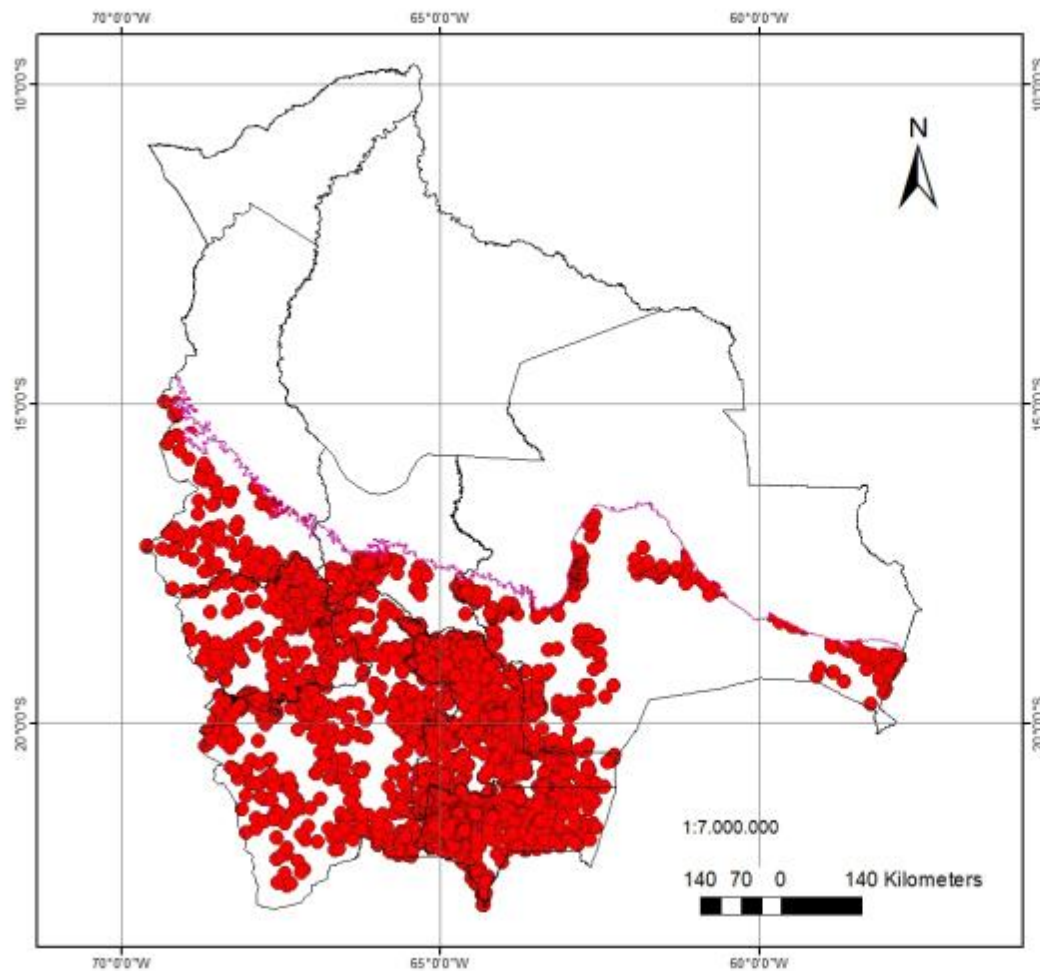
Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra el mapa 30 de los puntos de muestreo de los perfiles con la información recopilada y sistematizada en el área de estudio, lográndose obtener 4511 perfiles de suelo con 11308 muestras de suelo (ver cuadro 9).

Cuadro 9. Número de perfiles y muestras de suelos por departamento

Departamento	Perfiles	Muestras
Chuquisaca	1047	2571
Cochabamba	244	891
La Paz	1039	2184
Oruro	666	1262
Potosí	472	851
Santa Cruz	214	727
Tarija	829	2822
Total	4511	11308

Fuente: Elaboración Propia



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Puntos de Muestreo de Suelos

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Muestras de Suelos

Fuente: Elaborado en base compilación CISTEL - UMSS
 Figueredo, H. 2014

3.3.1.3. MAPA DE EROSIÓN

La erosión de suelos se constituye en la mayor parte de la degradación de tierras en zonas áridas y semiáridas con un alto peligro de desertificación (Nyssen *et al.*, 2004) degradando el recurso suelo en el que está basado la producción agrícola (Hurni, 1988). Para hacer frente a los efectos de la erosión requiere un entendimiento de los grados de pérdida de suelo, así como la identificación de los factores que controlan la rapidez de estos procesos. Los modelos de erosión de suelos usan expresiones matemáticas para representar la relación entre varios factores y procesos que ocurren en el paisaje. Estos factores generalmente incluyen la topografía, variables meteorológicas, propiedades del suelo, el uso y la cobertura de la tierra (Saavedra, 2005). Existen muchos modelos de erosión basados en la famosa ecuación universal de pérdida de suelos (USLE-Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier y Smith, 1978) (p.e. Agricultural Non Point Source Pollution (AGNPS), Areal Nonpoint Source Watersheds Environment Response Simulation (ANSWER), el Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) y Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y otros modelos como el Kinematic and Runoff Erosion model (KINEROS2) y el European Soil Erosion Model (EUROSEM) y el Chemical, Runoff and Erosion for Agriculture Management Systems (CREAMS)”.

Según Merrit se pueden encontrar descripciones y discusiones muy detalladas de estos modelos. USLE fue el modelo empírico más usado (Merrit *et al.* 2003). Fue desarrollado para el análisis de los tipos de erosión en surco y laminar en un amplio análisis experimental (10.000 parcelas) en parcelas agrícolas y es únicamente validado cuando se la aplica en un área de más de 1 Ha. Aunque el USLE fue desarrollado en USA, fue usado en todo el mundo (Bartsch *et al.*, 2002) porque parece satisfacer las necesidades de los investigadores mejor que otro tipo de herramientas (Summer *et al.*, 1998). El concepto de USLE fue modificado y adaptado durante los pasados 40 años por muchos investigadores. El Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) (Williams, 1975), EL Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997), ANSWERS y RUSLE-3D (Mitasova, 2000). Todos basados en USLE, presentando modificaciones y mejoramientos. El objetivo de aplicar el RUSLE es de cuantificar la pérdida de suelo de acuerdo a todas las variables que permitan ser consideradas adaptando algunos cálculos eficientemente probados (Nyssen, 2005) en nuestra área de trabajo.

Los factores que causan la erosión son el clima, las propiedades del suelo, cobertura vegetal y las prácticas de manejo. Estos factores son considerados en la estimación de la pérdida de suelo. La ecuación RUSLE es una función del producto de cinco factores que controlan la erosión:

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

dónde:

- ✓ A es la pérdida media anual de suelo expresado en ton\ha*año
- ✓ R es la precipitación e índice de pérdida por erosividad (en MJ* mm\ha*año)
- ✓ K es el factor de erodabilidad del suelo (en ton*ha*h/ha*MJ*mm)
- ✓ LS es la pendiente y el factor de la longitud (dimensional)
- ✓ C es el factor de la cobertura (dimensional)
- ✓ P es el factor de las prácticas de conservación (dimensional).

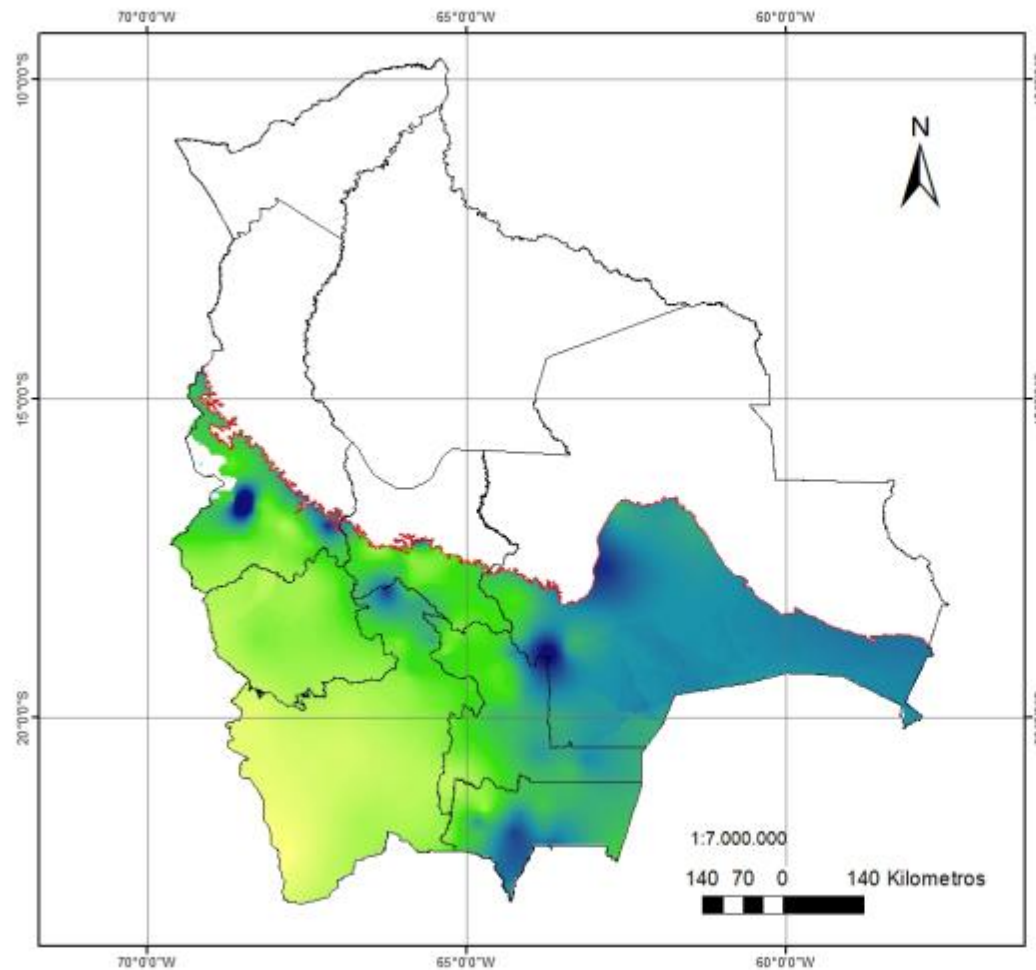
Factor R

El factor R es el índice de erosividad que significa la fuerza activa de la lluvia que causa un desprendimiento y transporte sucesivo de partículas de suelo (ver mapa 31). La precipitación es un factor muy importante de la erosión particularmente en áreas áridas, donde generalmente el suelo está directamente expuesto a las gotas de agua y las partículas que las componen no tienen un buen poder de cohesión. Los efectos de la lluvia son múltiples, donde la primera contribución de precipitaciones en la erosión comienza cuando las gotas de lluvia chocan el suelo causando la llamada “erosión splash”. Dependiendo de la energía de las gotas (tamaño, altura de donde empieza a caer) y de las características del terreno donde cae la lluvia, habrá gran o poco desgaste y transporte de partículas de suelo. En la siguiente fase, cuando el evento de la lluvia es tan fuerte que no toda el agua se infiltra al suelo, el agua que se acumula en la superficie (cuando es facilitada con una baja permeabilidad del suelo) empieza a fluir siguiendo la dirección de la máxima pendiente y socavando más y más grandes y profundos canales (erosión en surcos y cárcavas). En base a este proceso el factor R expresa el poder de la lluvia para empezar el proceso de erosión.

En el presente caso, la mejor ecuación aplicable es el que mejor se adapta a condiciones de tierras áridas y semiáridas (Nyssen, 2005 adaptado por Humi, 1985).

$$R = 0,55 * P - 24,7$$

dónde: *P* es la precipitación anual en milímetros basado en la precipitación media anual de cinco años. (Nyssen *et al.*, 2005).

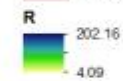


Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Factor R (Índice de Erosividad)

Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas



Fuente: Elaborado en base a la base de datos climática (SENAMHI) sistematizado por CISTEL

Factor K

El factor K es el factor de la erodabilidad del suelo que representa la susceptibilidad del suelo a la erosión y el grado de escurrimiento (ver mapa 32). Depende de las características biológicas, químicas y físicas como su composición mineralógica, tamaño de las partículas, la permeabilidad y la presencia de materia orgánica. La granulometría puede considerarse como el factor más importante que influye en K. Se ha demostrado que la erodabilidad de un suelo se incrementa proporcionalmente con la cantidad de arena fina y contenido de limo (Giordani y Zanchi, 1995) y las clases granulométricas de rango medio (Hjulstrom citado en Roose, 1996). De hecho, texturas de suelo más finas, muy ricas en arcilla, son más resistentes a la desintegración de las partículas, por su gran cohesión, mientras las texturas de suelo más gruesas permiten una alta infiltración de agua, evitando el escurrimiento superficial. De igual forma, el contenido de materia orgánica es importante para evitar la erodabilidad, ya que contribuye a incrementar la agregación entre partículas (por la presencia de los agentes quelatantes) y la infiltración de agua. Esta es una formula empírica que expresa la pérdida de suelo para un suelo específico presente en una parcela estándar rectangular de 22,1m de lados (en dirección de la pendiente máxima) y con 9% de inclinación, libre de vegetación y dejado en mala condición de siembra. Esta ecuación se la ajustó debido a que el dato de la estructura del suelo no está disponible.

$$1. \quad K = \frac{2,1 \cdot 10^{-4} (12 - MO) * M^{1.14} + 2,5 * (p - 3)}{100}$$

donde:

MO es el porcentaje de la materia orgánica;

M es el parámetro del tamaño de la partícula, definido como:

$$M = (\% \text{Arena fina} + \% \text{Limo}) * (100 - \% \text{Arcilla})$$

donde:

- ✓ La arena fina es considerada la fracción de suelo entre 0,1 y 0,05mm;
- ✓ El limo, la fracción de partícula entre 0,05 y 0,002mm;
- ✓ La arcilla, mide menos que 0,002mm (USDA, 1983 en Renard *et al.*, 1997).

‘p’ es la clase de permeabilidad del suelo. Las clases de permeabilidad se derivan de la textura del suelo (USDA, 1983 citado en Renard *et al.*, 1997). El rango del valor 1 (drenaje rápido a muy rápido), dado a la arena, menos susceptible a la erosión por su buena infiltración al valor 6 (drenaje muy lento), dado a suelos arcillo limosos a arcillosos, caracterizado por la alta capacidad de retención de agua pero que permite el escurrimiento cuando está saturado (ver insumos en la figura 17). Ya que el horizonte superficial es el más afectado por los procesos de erosión, la textura y el contenido de materia orgánica, el análisis se lo realizó a una profundidad de 0.50m. Finalmente los valores de K se multiplicaron por 0,1317 para convertirlos al sistema de unidades (t*ha*h/ha*Mj*mm), (Renard *et al.*, 1997).

VARIABLES MEDIOAMBIENTALES

El relieve o topografía pueden ser caracterizados con el uso de los DEM, también empleados para derivar medidas cuantitativas de procesos de formación del suelo. Estos pueden ser derivados usando varios algoritmos que cuantifican la morfología, hidrología, ecología y otros aspectos de la superficie. La extracción de parámetros es usada, por ejemplo, para mejorar las técnicas de producción de mapas en la modelación de suelos, vegetación, uso de la tierra, características geológicas y geomorfológicas. Es relativamente fácil y simple derivar parámetros de la superficie (tales como la pendiente, aspecto o insolación), no obstante la complejidad aumenta cuando se derivan parámetros a partir de los iniciales o primarios (Dobos *et al.*, 2006).

Los parámetros primarios son descripciones directas de las características de la superficie, como la pendiente, aspecto y curvatura; mientras que los parámetros secundarios describen características más complejas de las formas del terreno, los cuales están vinculados a ciertos procesos de regulación de la superficie, como el Índice de poder de corriente (stream power index) o el índice de posición topográfica (TPI). Estas características pueden ser usadas para estimar el potencial de pérdida de suelo y sedimentación, además de generar “ajustes del terreno” de variables climáticas, como temperatura, radiación solar, reflectancia, los cuales son importantes para el balance de energía de la superficie y por ende en la formación de suelos. Cuando los parámetros derivados del DEM son combinados en un modelo, la predicción de valores puede ser relativamente alta (Dobos *et al.*, 2006).

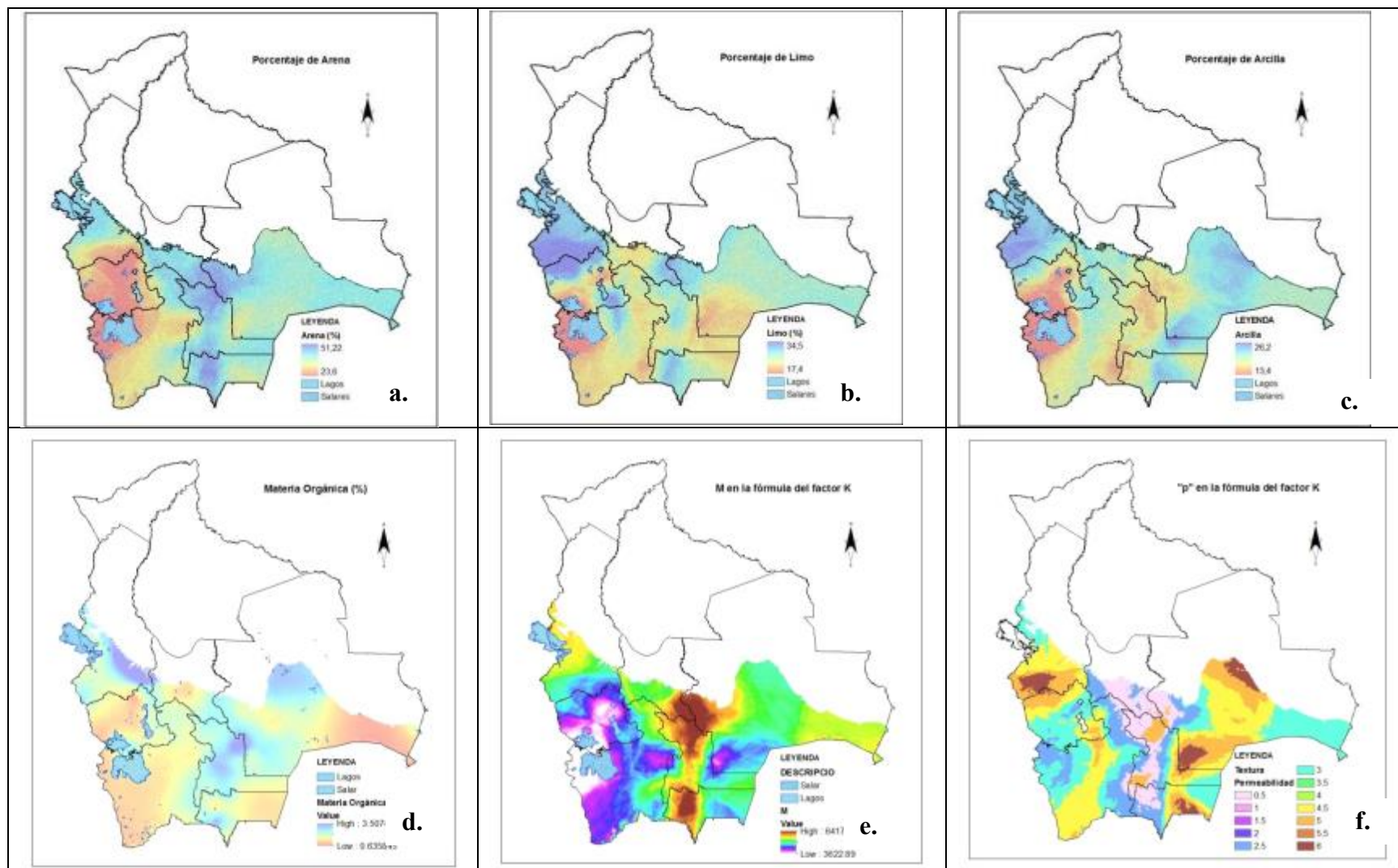
Uno de los factores limitantes en el uso de DEM es su precisión y resolución espacial (McBratney *et al.*, 2003). Diferentes resoluciones de DEM y derivadas fueron investigadas y evaluadas para los estudios de suelo. En general una alta resolución espacial del DEM, en el estudio sobre áreas pequeñas garantiza una homogeneidad litológica y climática y minimizan el ruido o el error de la predicción del modelo. Con los insumos ya generados (datos de suelo y covariables ambientales), el próximo paso fue análisis geoestadístico en R (stadistical Data Analysis).

Textura

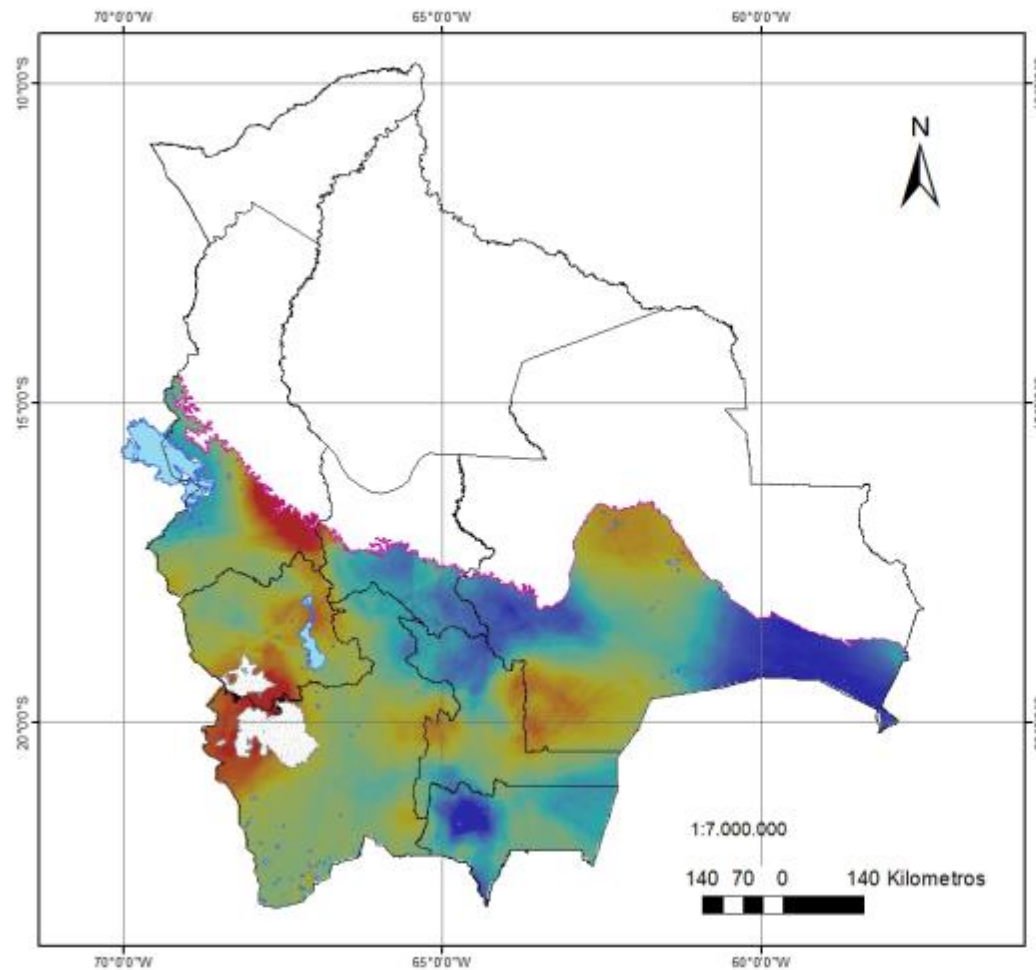
La textura está determinada por la proporción en la que se encuentran en una muestra de suelo las partículas elementales de diferente tamaño y se las expresa en porcentaje (%). Tiene una gran importancia ya que influye en las propiedades de carácter agronómico de los mismos, como en la aeración del terreno, la permeabilidad, la capacidad de retención del agua, etc. Sin embargo, esta clasificación no tiene en cuenta la calidad y propiedad de determinados componentes del suelo, los cuales pueden provocar acciones determinantes sobre la dinámica del suelo mismo y sobre la relación agua-suelo.

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).

Figura 17. Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla (a-c). Coberturas para la fórmula del factor K (d-f)



Fuente: Elaboración Propia



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Factor K - Erodabilidad

Leyenda



Fuente: Elaborado en base a Base de Datos Edafológica y DSM y mediante la fórmula de K

Factor LSt

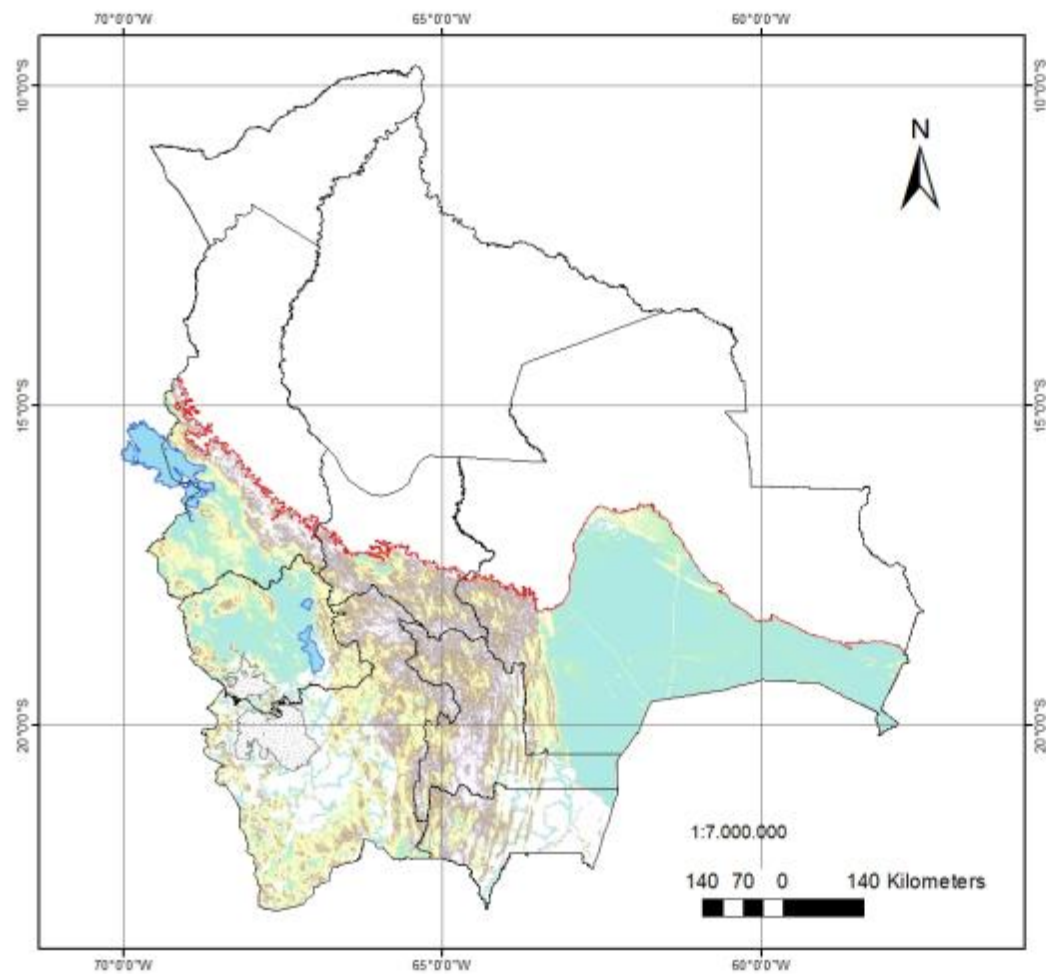
El factor de la longitud de la pendiente (ver mapa 33) define si el modelo de la pérdida del suelo es en dos o tres dimensiones (Desmet y Govers, 1996). Es una cantidad dimensional del producto de la longitud de la pendiente L y el ángulo de la pendiente St. La longitud de la pendiente L, es la distancia horizontal del origen desde el origen del flujo superficial hasta donde la pendiente decrece a un punto donde se presenta la deposición o donde el escurrimiento cambia en dirección a un canal definitivo (Renard *et al.*, 1997). Es un factor sensitivo en el modelo RUSLE (Lee y Lee, 2006) y su cálculo puede conducir a una convergencia de flujos y deposición especialmente en terrenos ondulados. Para tierras secas se derivó la longitud del área de contribución del drenaje de la pendiente ascendente dentro de un espacio tridimensional (Desmet y Govers, 1996). En el presente estudio, el cálculo de este factor se realizó utilizando los módulos de SAGA (<http://saga-gis.org>) imponiendo un sellado superior de 180m (dos pixeles del DEM) para la longitud de la pendiente. El ángulo de la pendiente St y la longitud L fueron combinados para producir el factor LSt usando la siguiente ecuación (Wischmeier y Smith, 1978):

$$LSt = \left(\frac{L}{22.13} \right)^m (0.065 + 4.56 * \text{sen}St + 65.41 * \text{sen}^2 St)$$

donde:

St es la pendiente en grados y m que es el exponente que aborda la relación de pérdida de suelo de un área erosionable. Los valores de m son tomados de 0-4 para el ángulo de la pendiente $St > 3^\circ$, 0-3 para $2^\circ < St \leq 1^\circ$ (Morgan, 1986).

Teniendo el modelo digital de elevación se generó el factor *LSt*. Para su cálculo, se utilizó el modulo Índices topográficos, dentro de las aplicaciones hidrológicas en SAGA con base al Área de recarga y Pendientes. Este factor fue generado por área dividida en el programa SAGA, para luego ser unidas en el programa Erdas 11.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Factor LS - Grado y longitud de la pendiente

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Cuerpos de Agua
- Salar

LS.img
 67,657
 0,021

Fuente: Elaborado en base al Modelo Digital de Elevación en aplicaciones SAGA



Factor C

El Índice de Vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert *et al*, 1997). Estos índices no miden directamente productividad ni disponibilidad forrajera, pero tienen una estrecha relación con estas variables, lo que permite utilizarlos para análisis regionales (ver mapa 34). Es decir, que los cambios del índice de vegetación permiten decir si un determinado mes o año es mejor o peor respecto al valor histórico.

El utilizar estos índices tiene su fundamento en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación. Una cubierta vegetal en estado de salud, tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 0,6 y 0,7 μm .), la cual es absorbida en gran parte por las hojas, y el infrarrojo cercano (entre 0,7 y 1,1 μm .), que es reflejada en su mayoría. Esta cualidad de la vegetación permite la realización de su valoración cualitativa.

El rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre el 0 y el 1; ya que, tanto la reflectividad el infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Por consecuencia de estos rangos de valores, el NDVI varía su valor entre - 1 y 1.

El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. La interpretación del índice debe asimismo considerar los ciclos fenológicos de desarrollo anuales para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores.

El agua tiene reflectancia $R > IRC$, por lo tanto valores negativos de NDVI. Las nubes presentan valores similares de R e IRC , por lo que su NDVI es cercano a 0. El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos aunque no muy elevados. La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.

El factor de la cobertura de la tierra se estimó del modelo de Kniff (Van der Kniff *et al.*, 1999), mediante la ecuación:

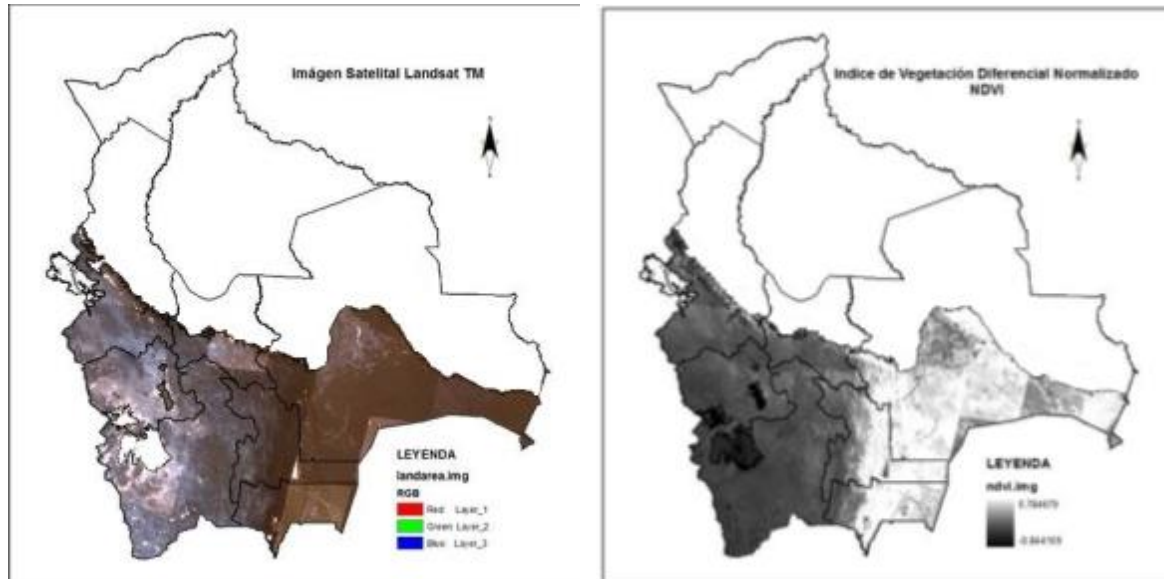
$$C = \exp\left(-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right)$$

donde α y β son constantes. Van der Kniff sugirió valores de β como 1 y de α como 2. El NDVI se calculó mediante la relación:

$$NDVI = \frac{r_{g.Band4} - r_{g.Band3}}{r_{g.Band4} + r_{g.Band3}}$$

Con el mosaico de imágenes Landsat del área de estudio se generara el NDVI y con éste el factor C que al mismo tiempo se constituye en una variable ambiental.

Figura 18. NDVI generado con base a la Imagen satelital



Fuente: Elaboración Propia

Factor P

El factor de las prácticas de conservación de suelos representa el efecto de las prácticas de conservación de suelos y aguas para controlar la pérdida de suelo. Para la determinación del factor P se seguirán dos métodos:

La primera, es la recopilación de toda la información disponible sobre prácticas de conservación de suelos a nivel nacional. Cabe señalar que en nuestro medio no existe una institución donde se aglutine toda la información de proyectos y programas de manejo y conservación de suelos, es así que se trabajó en la recopilación de datos de diferentes instituciones estatales y privadas, para luego ser sistematizadas en una base de datos georeferenciada. (Anexo 2). Una vez recopilada y sistematizada la información se definirá el factor **Pmcs** (P manejo y conservación de suelos) como un índice paleativo a la pérdida de suelo. Se aplicó la monografía desarrollada por Wischmeier y Smith donde relacionan un índice P para diferentes prácticas de uso de la tierra, estas incluyen: terrazas de formación, forestación, zanjas de infiltración y coronamiento, regeneración vegetativa y áreas de reserva, obras de control de erosión en cárcavas, control hidráulico de cauces, manejo de praderas nativas, cerco de parcelas y cosecha de aguas, entre otras (Wischmeier y Smith, 1978). Estos valores combinados se especializaron mediante una interpolación a 90m de resolución usando kriging (Nielsen y Wendroth, 2003; Omuto y Vargas, 2009)

Por otro lado, según el manual técnico de Conservación de suelos y aguas (Changjiang basin) se asigna valores de P a áreas de agricultura en diferentes pendientes, estas áreas se extrajeron del mapa de uso de la tierra de Cobouso (2010) y actualizado en el presente proyecto en combinación a un mapa de pendientes generado con base al Modelo Digital de Elevación-SRTM.

El cuadro 10 sintetiza los dos métodos categorizados en valores de Factor P.

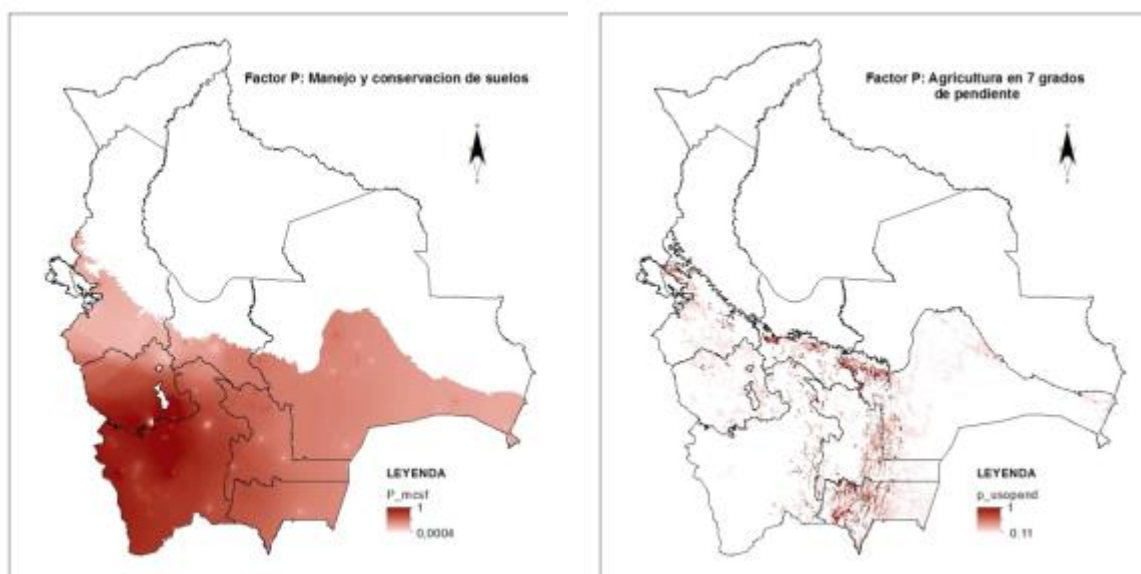
Cuadro 10. Relación de Pendiente y Actividades de MCS con el factor P

Tipo de Uso de la Tierra	Pendiente (%)	Actividades de manejo y conservación de suelos	Factor P
Tierras con agricultura	0 – 5	7	0.11
	5 – 10	6	0.12
	10 – 20	5	0.14
	20 – 30	4	0.22
	30 – 50	3	0.31
	50 – 100	2	0.43
Otras tierras	todas	1	1.00

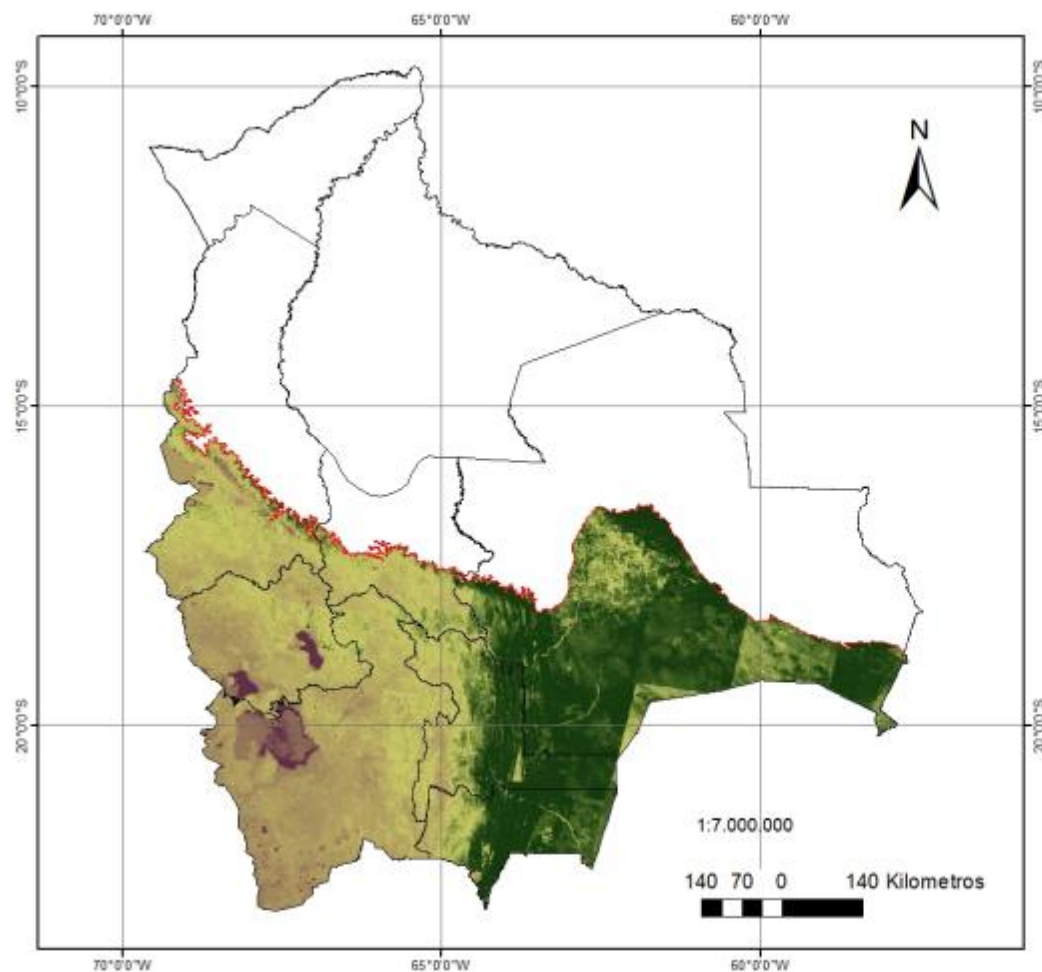
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo los dos factores P se las conjuncionan mediante una unión espacial, para así tener el Factor P final (ver figura 19 y mapa 35).

Figura 19.mapas utilizados en la unión espacial para la obtención del Factor de erosión P.



Fuente: Elaboración Propia



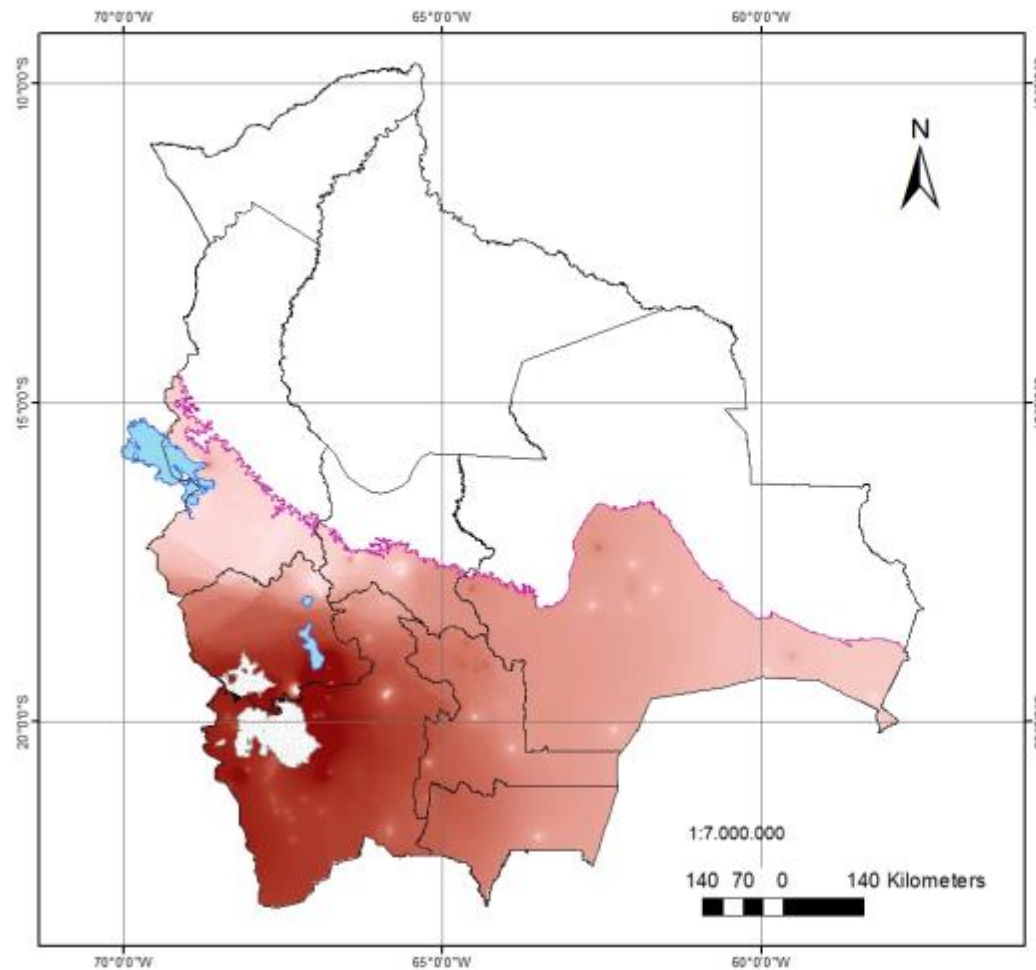
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Factor C Cobertura vegetal

Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas
- cf**
- 0.92
- 0.12

Fuente: Elaborado en base a la imagen satelital Landsat mediante su producto, el NDVI



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Factor P - Prácticas de Conservación de Suelos

Leyenda

- Límite departamental
 - Límite de Tierras Secas
 - Salar
 - Cuerpos de Agua
- Value**
- High : 1
 - Low : 0,11

Fuente: Elaborado en base a Base de Datos de proyectos de manejo y conservación de suelos y aguas

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.

Resultados

Los resultados obtenidos responden a un análisis cuantitativo pero que puede ser mejorable en virtud de la cantidad y calidad de datos que se adicionen, haciendo entrever que existen ciertas áreas que deberían ser alimentadas con más información.

En referencia a lo anterior, la parte más importante de este estudio es la fase preliminar de recopilación de información, sabiendo que nuestro país no cuenta con un centro de información de suelos y la información existente debió ser recabada, en su mayoría, de fuentes particulares, como bibliotecas personales, información escondida y muy antigua. Cabe resaltar los estudios de Zonisig, BID-Amazônia y Fisiografía de Santa Cruz, como fuentes importantes.

La sistematización fue otra etapa larga, sabiendo que todas las bases de datos tienen una heterogeneidad en información, ya sea en el tipo de análisis, sistema de unidades y metodologías de los laboratorios.

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, del área occidental, 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 hacen que estos suelos no tengan agregación, por su excesivo drenaje y poca cohesión no permitiendo el almacenamiento de agua. 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.

En comparación con el área de tierras secas de Bolivia de PRONALDES 1996, debido a muchos factores, entre ellos el cambio de uso de la tierra, el área aumento en un 3,04 % incrementándose de 450943,00 Km² a 484363,92 Km².

Teniendo en cuenta los rangos de clase de erosión del PRONALDES (1996) para efectos de comparación, los resultados muestran que: Las áreas con erosión nula o áreas de deposición se redujeron de un 9,48 a 7,27 %, mientras las áreas con erosión ligera (1 a 10 tn/ha/ año) se incrementaron a casi cuatro veces más en los últimos 15 años, ya que en 1996 representaban un 9,87 % del área de tierras secas y ahora representan un 41,20 %. El área que presenta erosión moderada (11 – 30 tn/ha/ año) se incrementó de 14, 62 % a 17,80 %. Mientras que las áreas que presentaban erosión fuerte (31 – 50 tn/ha/ año), erosión muy fuerte (51-100 tn/ha/año), Grave (101-200 tn/ha/año) y Muy grave (>2001 tn/ha/año) se redujeron aunque no muy significativamente (Ver cuadros 11 y 12).

Impreso para respaldo POA

Cuadro 11. Grados de erosión en la región árida, semiárida y subhúmeda seca 1996

	Año 1996	Km²	%
Erosión	Nula o áreas de deposición	42733,00	9,48
	Ligera (0-10 tn/ha/año)	44497,00	9,87
	Moderada (11-30 tn/ha/año)	65926,00	14,62
	Fuerte (31-50 tn/ha/año)	111543,00	24,74
	Muy fuerte (51-100 tn/ha/año)	118112,00	26,19
	Grave (101-200 tn/ha/año)	41870,00	9,28
	Muy grave (>2001 tn/ha/año)	4019,00	0,89
Otras áreas	Afloramientos rocosos*	0,00	0,00
	Llanura Aluvial, Inundable	2379,00	0,53
	Cuerpos de Agua	6831,00	1,51
	Salares	13033,00	2,89
	Total	450943,00	100,00

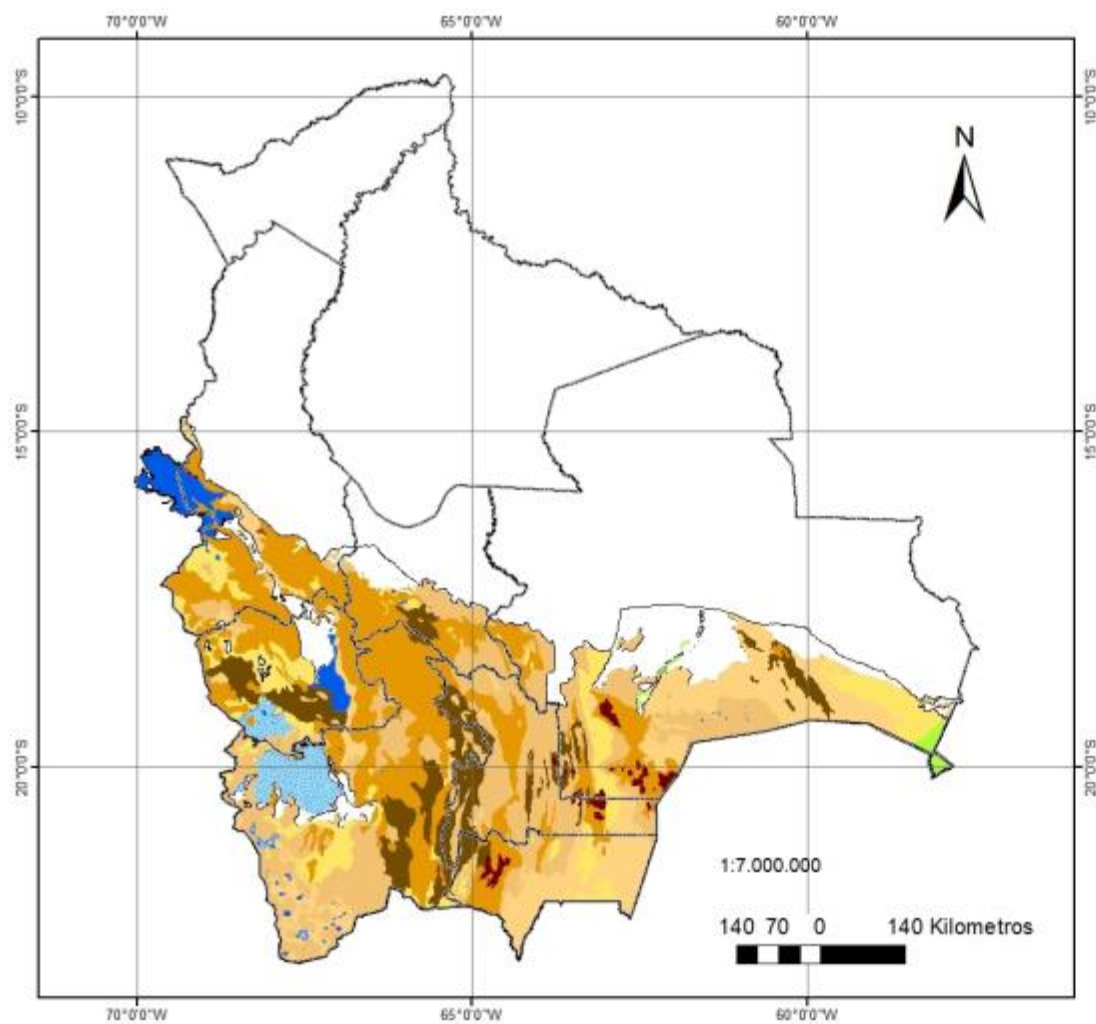
Fuente: PRONALDES

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

		Km²	%
Erosión	Nula o áreas de deposición	35191,43	7,27
	Ligera (0-10 tn/ha/año)	199547,26	41,20
	Moderada (11-30 tn/ha/año)	86232,49	17,80
	Fuerte (31-50 tn/ha/año)	46786,31	9,66
	Muy fuerte (51-100 tn/ha/año)	62868,19	12,98
	Grave (101-200 tn/ha/año)	29854,40	6,16
	Muy grave (>2001 tn/ha/año)	3872,53	0,80
Otras áreas	Afloramientos rocosos	335,84	0,07
	Llanura Aluvial, Inundable	3881,48	0,80
	Cuerpos de Agua	2967	0,61
	Salares	12827	2,65
	Total	484363,92	100,00

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

Fuente: Elaboración Propia



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

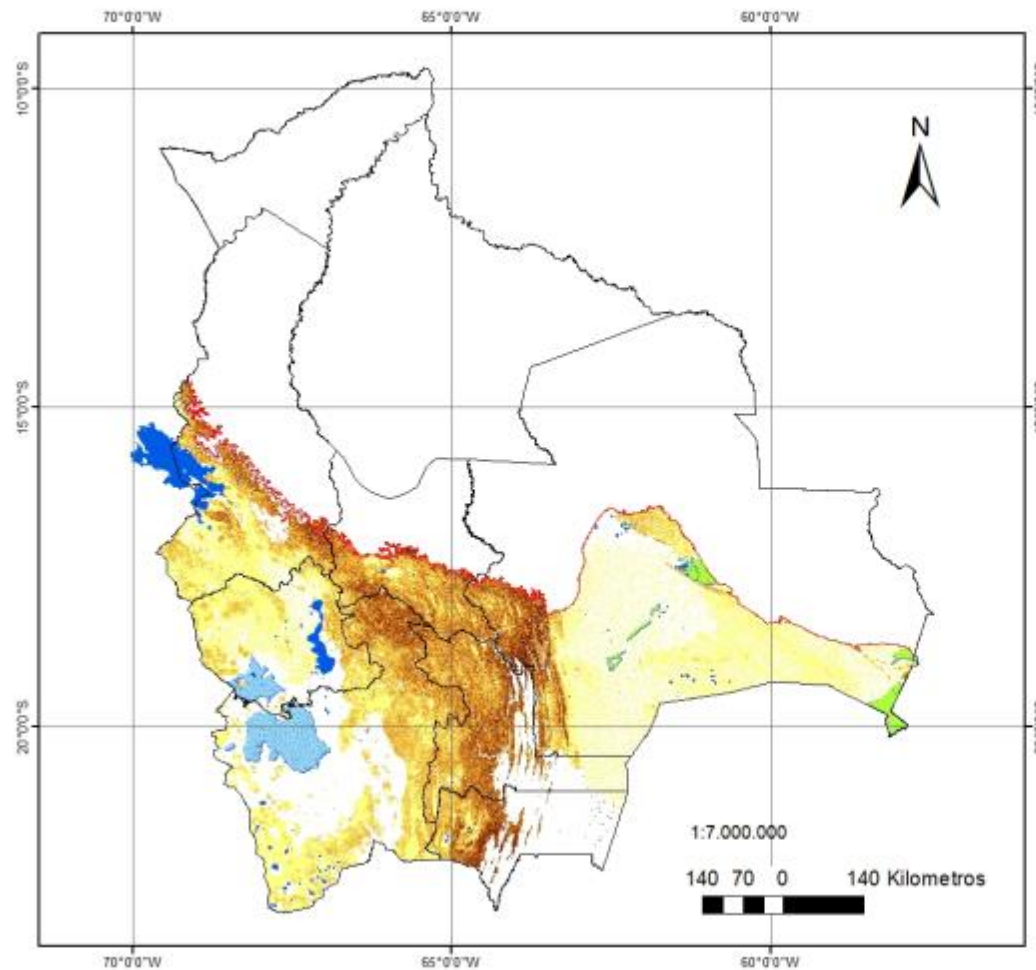
MAPA DE EROSIÓN - PRONALDES 1996 (tn/ha/año)

Leyenda

- Limite departamental
- Cuerpos de Agua
- Llanura Aluvial, Inundable
- Salar
- Nula
- Ligera (0 - 10 tn /ha/año)
- Moderada (11- 30 tn/ha/año)
- Fuerte (31 - 50 tn /ha/ año)
- Muy Fuerte (51 - 100 tn/ha/año)
- Grave (101 - 200 tn/ha/año)
- Muy Grave (> 201 tn/ha/año)

Fuente: PRONALDES 1996





Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

MAPA DE EROSIÓN (tn/ha/año)

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Cuerpos de Agua
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Afloramientos rocosos
- Muy grave (>2001 tn/ha/año)
- Grave (101-200 tn/ha/año)
- Muy fuerte (51-100 tn/ha/año)
- Fuerte (31-50 tn/ha/año)
- Moderada (11-30 tn/ha/año)
- Ligero (0-10 tn/ha/año)

Fuente: Elaborado en base al análisis cuantitativo
 y aplicaciones SIG y DSM de Figueredo, H 2014
 CISTEL - UMSS

Impreso para respaldo POA



3.3.2. PRESENCIA DE CÁRCAVAS

La aparición de sistemas de cárcavas y de paisajes tipo “badland” 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).

Como se expuso en la sección anterior, en Bolivia la erosión es un problema que afecta a la producción agrícola reduciendo las tierras cultivables. Los daños más severos son causados por la erosión hídrica, la misma que está en función a la cantidad de precipitación (lluvia), cobertura vegetal, topografía y tipo de actividad humana que se realiza, y en particular en terrenos secos y con poca presencia de vegetación. La erosión del suelo reduce la fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica, los fenómenos de erosión de laderas, con formación de profundas cárcavas en laderas, son responsables de graves daños a la propiedad agrícola, infraestructura vial, población rural e incluso podría llegar a afectar a la población (Sistema Andino de Posgrado Agropecuario, 1996).

Teniendo en cuenta lo anterior el objetivo de este indicador fue: Identificar zonas susceptibles a la erosión en cárcavas en las Tierras Secas de Bolivia

Método

De acuerdo a los objetivos y la revisión bibliográfica la escala de trabajo fue de 1:250.000 y el método que se aplicó en el presente estudio siguió los pasos que describimos a continuación:

Recopilación y procesamiento de información secundaria: Se realizó la revisión y recopilación de datos e información secundaria de las siguientes instituciones y proyectos como ser: Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) FAO, PRONALDES, Plan Nacional de Acción de Lucha Contra la Desertificación (PNALCD), Agencia de Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (United States National Aeronautics and Space Administration - NASA). Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).

Se utilizó también imágenes satelitales, documentos de investigación, y material adicional disponible en el Centro de Investigación en Servicios y Teledetección (CISTEL).

Se utilizó el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra 2010 del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Viceministerio de Tierras, Unidad Técnica Nacional de Información de la Tierra).

Delimitación del área de estudio: El área de estudio de tierras secas fue definido en el marco del proyecto de Degradación de Tierras Secas de Bolivia.

Adquisición de imágenes satelitales: Se adquirieron imágenes satelitales LANDSAT TM del año 2011 del INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS del BRASIL con 7 bandas, se fusiono estas con el programa ENVI 4.7 y se generó un mosaico con las escenas.

Se adquirieron Modelos Digitales de Elevación provenientes de SRTM con una resolución de 30x30, (<http://www.dgadv.com/srtm30/>).

Corrección geométrica: Sobre la base de puntos de control se realizó la corrección geométrica asignándole una proyección UTM y el Datum WGS 84, después se procedió a rectificar la imagen.

Elaboración del Mapa de pendientes: Uno de los insumos más importantes, en este modelo, para identificar áreas susceptibles a cárcavas es el mapa de pendientes, debido a que nos permite identificar aspectos afines a la topografía y relieve, para esto se utilizó un Modelo Digital de Elevación (SRTM) de la NASA, que contiene valores de altitud. Este mapa fue corregido y cortado para el área de Bolivia, para el cálculo de pendientes se empleó la herramienta de Spatial Analysis/Surface Analysis en ArcGis 9.3 y se reclasificó en las siguientes clases:

Cuadro 13. Rangos de pendientes para reclasificación del SRTM

Clase	Pendiente (%)
Plana	0-5
Moderadamente Inclined	5-15
Inclinada	15-30
Empinada	30-45
Fuertemente Empinada	>45

Fuente: PROT CISTEL 2010

Posteriormente se importó el mapa como insumo del árbol de criterios en ILWIS 3.3

Red Hidrográfica: Con ArcGIS y usando la extensión ArcSWAT y el módulo Watershed Delineation (delineación de las cuencas) se extrajo la red hidrográfica del modelo digital de elevación (SRTM) con una resolución de 30 m. x 30 m.

Análisis espacial multi-criterio (SMCE)

Posteriormente una vez preparados los insumos como se explicó anteriormente, se convirtió todo los mapas a forma to ILWIS 3.3 para elaborar un árbol de criterios utilizando el módulo de análisis espacial multicriterio, que permite el modelamiento espacial y no espacial, generando un mapa raster de áreas susceptibles a la erosión en cárcavas.

Estructura del árbol de criterios (modelo): El primer paso para realizar el análisis multicriterio fue definir los factores o criterios para generar el mapa (en función a los insumos disponibles y la revisión bibliográfica) y analizar los mapas de: Cobertura de la tierra, Pendientes y Red hidrográfica.

Estandarización: Como cada uno de los mapas tiene unidades diferentes según el tema, es necesario estandarizar los valores de los mapas para poder combinarlos e identificar las zonas susceptibles a presentar cárcavas. La estandarización permite generar valores esperados fijos, según el número de factores considerados en un árbol de criterios, asignándoles un peso y/o valor de estandarización según su importancia relativa, en un conjunto S de pesos o valores posibles para producir pesos cuantitativos (un valor de 0 a 1).

La fórmula del valor esperado calcula el peso 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 el 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: $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$.

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

Ejemplo de valores esperados generados en ILWIS:

Cuadro 14. Valores esperados en ILWIS

Numero de Criterios	Valor esperado de los pesos					
N	E(w1)	E(w2)	E(w3)	E(w4)	E(w5)	E(w6)
2	0,75	0,25				
3	0,61	0,28	0,11			
4	0,52	0,27	0,15	0,06		
5	0,46	0,26	0,16	0,09	0,04	
6	0,41	0,26	0,16	0,10	0,06	0,03

Fuente: SMCE Weigh methods (additional information ILWIS 3.3)

Considerando lo anterior, se estandarizo los valores originales de los mapas para posibilitar la combinación de datos ya que los insumos Cobertura de la Tierra, Pendientes, Red Hidrográfica, Tierras Secas (como restricción), tienen diferentes unidades.

Una vez estandarizados los valores se asignó los pesos de cada factor en función a su importancia (de acuerdo a la revisión bibliográfica) para Cobertura de la Tierra 0,50, Pendiente 0,33 y Red Hidrográfica 0,17 y como restricción usamos el mapa de Tierras Secas generado.

La estandarización para cada factor se calculó de la siguiente manera:

Factor de Restricción: Se utilizó el mapa de Tierras Secas, para analizar solo el área correspondiente a la zona de estudio (Tierras Secas), con este criterio se excluye la zona húmeda de Bolivia. Para esto se genera una capa binaria (0 ó 1), el mapa multiplica por 1 en zonas secas y por cero en zonas húmedas.

Cobertura de la Tierra: Se estandarizo según su importancia, donde se asignó valores de 1; 0,46; 0,26; 0,16; 0,10 según el método expuesto de estandarización. A las clases de cobertura de zonas húmedas se les asignó un valor de 0 por estar fuera del área de estudio (ver cuadro 15).

Cuadro 15. Asignación de valor a la Cobertura de la Tierra

Código de unidad	Cobertura de la tierra de Bolivia	Estandarización
1.2p(i)	Bosque Denso Andino Montano Bajo Semiárido	0,16
1.2q(g)	Bosque Denso Andino Montano Subhúmedo	0,16
1.4k(i)	Bosque Denso Chaqueño de Llanura Semiárida	0,26
1.4o(j)	Bosque Denso Chaqueño Premontano Árido	0,26
1.5l(g)	Bosque Denso Chiquitano sobre Ondulaciones y/o Planicies ligeramente Disectadas Subhúmedo	0,10
2.2p(g)	Bosque Ralo Andino Montano Bajo Subhúmedo	0,16
2.2q(g)	Bosque o Monte Ralo Andino Montano subhúmedo	0,16
2.2q(i)	Bosque o Monte Ralo Andino Montano Semiárido	0,26
2.2u(i)	Bosque o Monte Ralo Andino Subpuna Semiárida	0,26
2.2v(i)	Bosque Ralo Andino Puna Semiárida	0,10
2.4a(i)	Bosque Ralo Chaqueño Ribereño Semiárido	0,10
2.4ñ(i)	Bosque Ralo Chaqueño Basimontano Semiárido	0,10
3.2q(i)	Matorral Pajonal Andino Montano Semiárido	0,26
3.2v(i)	Matorral Andino Puna Semiárida	0,26
3.2z(v)	Matorral Andino o Cardonal Puneño	0,10
3.4k(j)	Matorral Chaqueño Llanura Árida	0,26
3.5l(i)	Matorral Chiquitano sobre Ondulaciones y o Llanuras Ligeramente Disectadas semiárido	0,26
4.6k(i)	Herbazal Graminoide Vivaz en Llanura Semiárida	0,16
4.6r(s)	Herbazal Graminoide Vivaz Altimontano Pluvionebular	0,10
4.6v(i)	Herbazal Graminoide Vivaz Puna semiárida	0,16
4.6w(j)	Herbazal Graminoide Vivaz Puna Altoandina Árida	0,26
4.6x(v)	Herbazal Graminoide Vivaz Bofedal Puneño	0,10
6.6k(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en Llanura semiárida (Valles)	0,26
6.6v(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en arenales Puna semiárida	0,26
6.6v(j)	Vegetación Dispersa Vivaz en playas salinas Puna árida	0,26
6.6w(i)	Vegetación Dispersa Vivaz en pedregales Puna Altoandina semiárida	0,26
7.02	Agricultura Múltiple	0,46
8.3	Derrumbes o Deslizamientos Erosivos, Cárcavas	1,00
7.03	Agricultura de Plantaciones Plurianuales	0,46
7.01	Agricultura Comercial	0,46
7.04	Plantaciones Forestales	0,16

Fuente: Elaboración Propia

Impreso para respaldo POA

Pendiente: Para la estandarización de los valores de pendiente se utilizó el método de Rank Ordering (que también basa sus valores en el método de valor esperado), dando mayor valor a las clases donde es más probable que se encuentren zonas susceptibles a erosión en cárcavas: en pendientes Fuertemente Empinada (1), Empinada (0,56), Inclínada (0,34) y menor presencia en Moderadamente Inclínada (0,19) y casi nula en pendientes Plana (0,08) (ver cuadro 16).

Cuadro 16. Asignación del valor de estandarización a la pendiente

Clases	Pendiente %	Estandarizado
Fuertemente empinada	>45	1
Empinada	30-45	0,56
Inclínada	15-30	0,34
Moderadamente inclinada	5-15	0,19
Plana	0-5	0,08

Fuente: Elaboración Propia

Red Hidrográfica: Se asignó valores a la red hidrográfica de 0 (ríos), y 1 donde exista zonas susceptibles a erosión en cárcavas (no ríos).

Asignación de pesos (ponderación)

La asignación de pesos se realizó según la importancia de cada componente. Cabe resaltar que los pesos normalizados calculados, no pueden ser negativos, y para los criterios la suma de los pesos es igual a 1.

Para la asignación de pesos se utilizó también el método de Rank Ordering, pero se escogió la estandarización Rank sum (suma jerarquizada) en lugar del método esperado porque la diferencia de los pesos asignados no es tan marcada como en el método de valor esperado. De acuerdo a la revisión bibliográfica se asignó el peso más importante a la Cobertura de la Tierra con un valor de 0,50, el segundo más importante a Pendientes con un valor de 0,33 y el último valor corresponde a la Red Hidrográfica de 0,167.

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 2 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: $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$.

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

Cuadro 17. Valores según la suma jerarquizada en ILWIS

Numero de criterios	Valor asignado					
<u>N</u>	w1	w2	w3	w4	w5	w6
2	0,66	0,33				
3	0,50	0,33	0,17			
4	0,40	0,30	0,20	0,10		
5	0,33	0,27	0,20	0,13	0,07	
6	0,29	0,24	0,19	0,14	0,10	0,05

Fuente: SMCE Weigh methods (additional information ILWIS 3.3)

Calibración y verificación

En el árbol de criterios se calibro para determinar zonas susceptibles a la erosión en cárcavas asignado valores de 0 a 1, donde el valor 1 representa las zonas susceptibles a la erosión en cárcavas y el valor de 0 corresponde a las áreas sin presencia de cárcavas, ajustado de acuerdo a la verificación en campo.

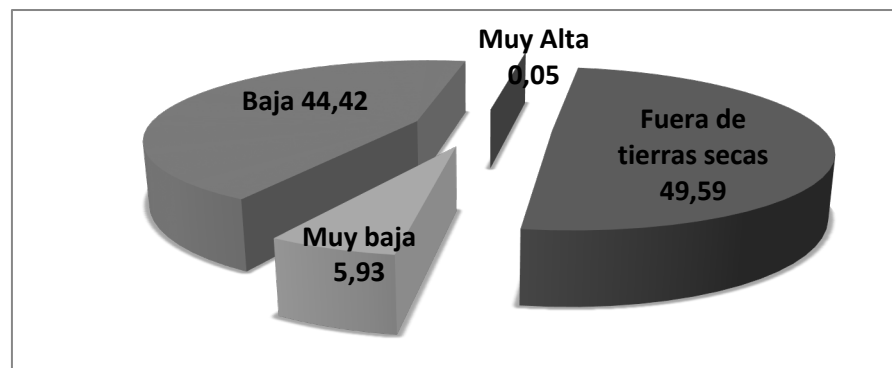
Mapa de zonas susceptible a Erosión en Cárcavas

Una vez definido el modelo se logró obtener el mapa de zonas susceptibles a erosión en cárcavas, donde se clasifico en Muy Alta, Media (no presenta valores), Baja, Muy Baja y fuera de Tierras Secas. Para Bolivia según los resultados obtenidos el área susceptible a ser afectada por la erosión en cárcavas son de Muy Alta con un 0,05%, Baja con un 44,42%, ambas representan casi el 50 % de la superficie del país y en la clase Muy Baja en un 2,93% y un 49,59% que corresponde a las Tierras Húmedas (figura y mapa).

Porcentaje de zonas susceptibles a erosión en cárcavas en Bolivia

Para las Tierras Secas de Bolivia, según los resultados obtenidos las zonas con Muy Alta susceptibilidad a ser afectadas por la erosión en cárcavas representan un 0,10 % del total del área, susceptibilidad Baja un 88%, ambas representan casi el 88,12 % de la superficie del país. Mientras que las áreas con Muy Baja susceptibilidad incluyen un 11,77% de la zona, esto corresponde a la zona de estudio sin tomar en cuenta las tierras húmedas (ver figura).

Figura 20.
Distribución porcentual de áreas según susceptibilidad a la formación de cárcavas - Bolivia



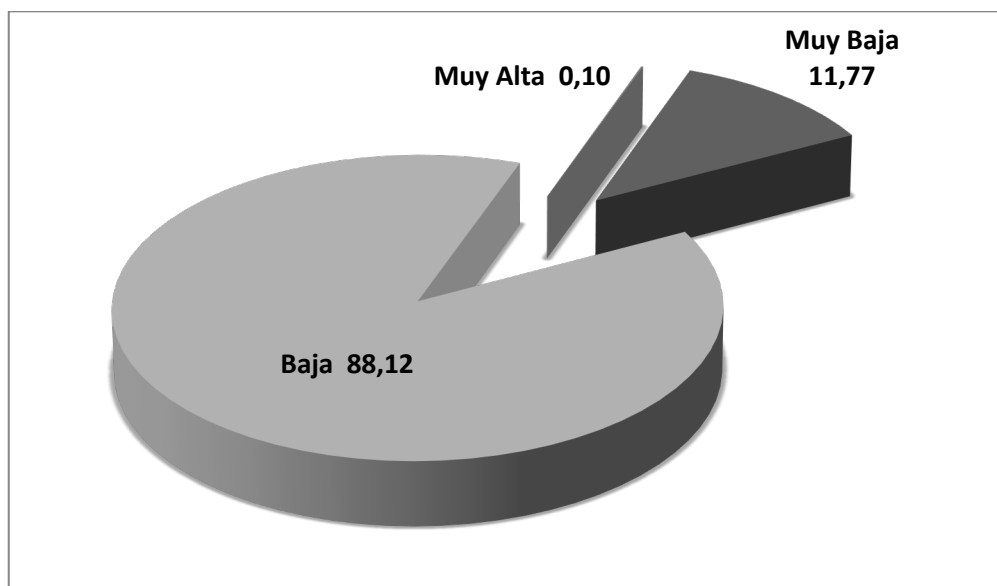
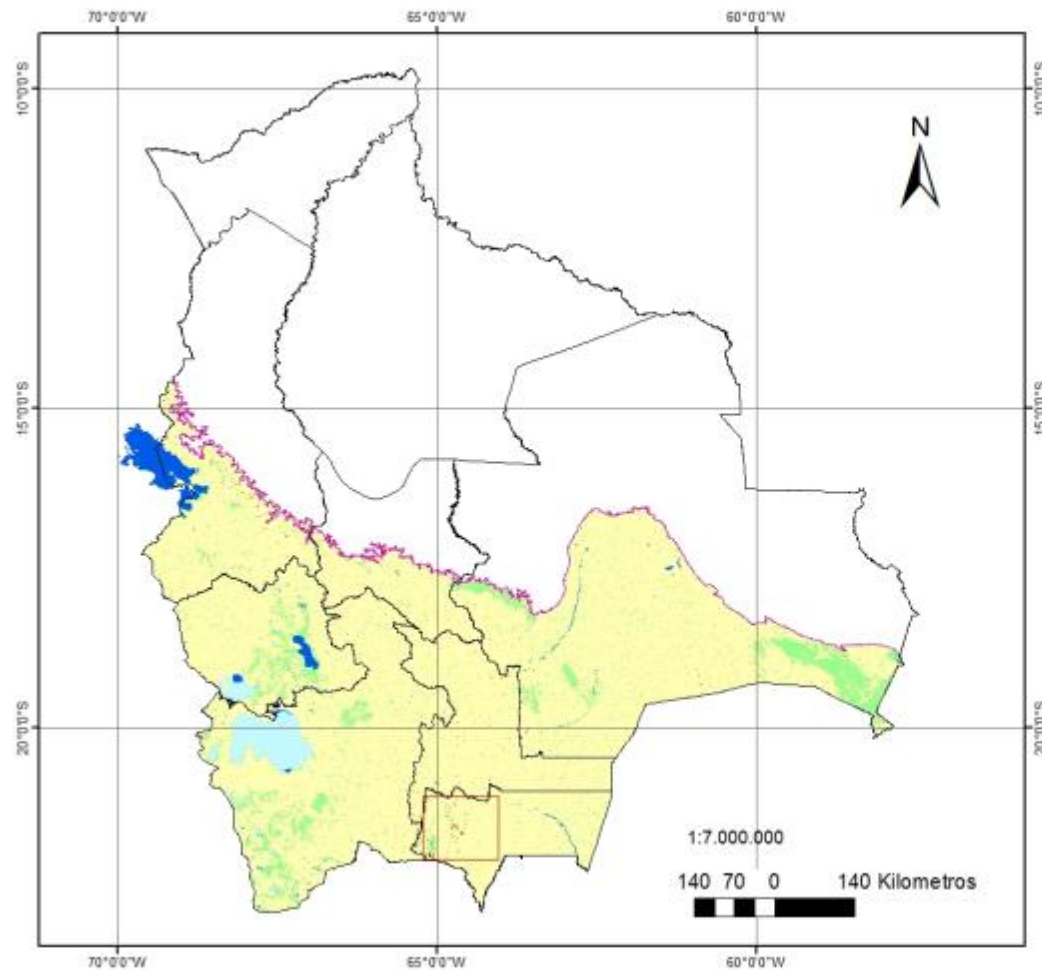


Figura 21. Distribución porcentual de las Zonas susceptibles a erosión en cárcava en Tierras Secas de Bolivia

De acuerdo al resultado del Análisis Espacial Multicriterio, el modelo de evaluación multicriterio (EMC) permite la toma de decisiones a partir de múltiples criterios conformado con múltiples alternativas, es un conjunto de métodos y técnicas útiles para el modelamiento espacial donde se alcanzó a generar un mapa de zonas susceptibles a la erosión en cárcavas. El modelo de evaluación multicriterio (EMC) posibilitó la identificación de las zonas susceptibles a la erosión en cárcavas en la zona de estudio (Tierras Secas) de acuerdo a la escala de trabajo, con la clasificación corresponde a susceptibilidad Muy Alta en un 0,10%, Baja un 88,12% y Muy Baja un 11,77%. La susceptibilidad de erosión en cárcavas se presenta en condiciones de pendientes Fuertemente Empinada (>45% de desnivel), Empinada (30-45% de desnivel) e Inclínada (15-30% de desnivel), mientras en pendientes Moderadamente Inclínada (5-15% de desnivel), Plana (0-5% de desnivel) la presencia de erosión en cárcavas es menor.

Cabe resaltar que el mapa muestra zonas susceptibles a formar cárcavas, por lo que solo las zonas con muy alta susceptibilidad presentan cárcavas identificables a la escala de trabajo.



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Zonas Susceptibles a erosión en cárcavas

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Cuerpos y Cursos de Agua
- Depósitos Salinos Salares y Salinas
- Fuera de Tierras Secas
- Muy Baja
- Baja
- Muy Alta



Fuente: Elaborado en base Ruiz, Ovando, C. K. 2014
Zonas Susceptibles a Cárcavas
CISTEL - UMSS

Nota: El mapa muestra zonas susceptibles a formar cárcavas, por lo que solo las zonas con muy alta susceptibilidad presentan cárcavas identificables a la escala de trabajo.

3.3.3. SALINIDAD/SODICIDAD

Bolivia, por su situación geográfica presenta una diversidad climática y heterogeneidad en cuando al relieve, como vimos anteriormente en el caso del mapeo de los factores climáticos. Estos factores sumados a los factores antrópicas crean condiciones de riesgo en cada ecosistema, como la degradación del recurso suelo por erosión, salinidad/sodicidad, etc.

La **salinización** es la concentración de sales solubles en el suelo, que en la mayoría de los casos interfiere en el crecimiento de las plantas y degrada el suelo. El origen de los constituyentes salinos son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. A medida que estos minerales primarios se someten al intemperismo, sus constituyentes se liberan gradualmente y en la mayoría de los casos son transportados a otros lugares.

Las sales tienen un origen natural (del material parental, sales disueltas en las aguas de escorrentía, mediante mantos freáticos superficiales, por origen eólico característico de zonas áridas y en algunos casos por descomposición de restos vegetales) o proceder de contaminaciones antrópicas (por operaciones mineras: la salinización es atribuible a la presencia de las lagunas de evaporación/infiltración, mal manejo de suelos)

Mientras que **los suelos sódicos** contienen alta cantidad de Sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles. El exceso de sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos. En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse. Este proceso de disociación técnicamente se denomina dispersión. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de sodio.

Método

Para evaluar la degradación del suelo respecto a la salinidad – sodicidad, como en los otros indicadores respecto a suelos, se combinó técnicas de Pedometría (cartografía digital de suelo), insumos y aplicaciones de sensores remotos y especialmente información real de campo que consiste en una base de datos edafológica cuantitativa producto de una recopilación y sistematización de diferentes estudios de suelos a nivel nacional (similar al proceso para erosión). Posteriormente se debe estandarizó la información de acuerdo a las siguientes unidades para cada parámetro edáfico (ver cuadro 18 y mapa 39):

Cuadro 18. Unidades de los parámetros

Parámetro	Unidades
pH Agua	-
Conductividad eléctrica	μS/cm
RAS	-
PSI	%

Fuente: Elaboración Propia

Salinidad/Sodicidad de Suelos

La particularidad del área está en que una importante extensión de estos suelos, a diferencia de otros enclaves salinos, corresponde a asociaciones dominadas por solonetz, suelos con un alto contenido en sodio de cambio lo que implica un gran riesgo de degradación. El alto contenido de este catión conduce a una dispersión de las partículas y, por tanto, una pérdida de estructura, lo que incrementa la erosión tanto hídrica como eólica de estos suelos. Además, en los casos extremos resultan casi estériles en cuanto a su uso agrícola y forestal.

Procesos de salinización de los suelos: La salinización es la concentración de sales solubles en el suelo, que en la mayoría de los casos interfiere en el crecimiento de las plantas y degrada el suelo. El origen de los constituyentes salinos son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. A medida que estos minerales primarios se someten al intemperismo, sus constituyentes se liberan gradualmente y en la mayoría de los casos son transportados a otros lugares. Las sales tienen un origen natural (del material parental, sales disueltas en las aguas de escorrentía, mediante mantos freáticos superficiales, por origen eólico característico de zonas áridas y en algunos casos por descomposición de restos vegetales) o proceder de contaminaciones antrópicas (por operaciones mineras: la salinización es atribuible a la presencia de las lagunas de evaporación/infiltración, mal manejo de suelos)

Efecto de la salinidad sobre el suelo y las plantas

Los efectos de la salinidad se podrían agrupar en tres aspectos diferentes:

- ✓ En la sequedad fisiológica; que es cuando en medios salinos, aunque exista humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico ya que la presión osmótica de la solución de un suelo salino es mayor a la presión osmótica del jugo celular.
- ✓ El ajuste osmótico o balance energético; las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua, esto requiere un consumo de energía que se realiza a costa de un menor crecimiento.
- ✓ El aspecto nutricional; se produce una serie de importantes modificaciones, debido por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de nutrientes y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos.

Para cartografiarlos y ver su evolución en las últimas décadas se utilizaron, por un lado, imágenes de satélite. El uso de imágenes de satélite para cartografiar y analizar los suelos salinos resulta complicado, ya que las sales no siempre se reflejan en superficie. Aun así, numerosos autores las emplean para estudiar este tipo de suelos. Entre ellos destacan los trabajos de Hick y Russell (1990), Rao y Venkataratnam (1991), Mougnot (1993), Dwivedi (1996), Kalra y Kalra (1996), Metternicht y Zinck (1997 y 2003), Dwivedi et al. (1999), Peng (1998), Schmid (2004), Pérez y García (2005), Pérez et al. (2006), García et al. (2007), Kienast-Brown et al. (2007), entre otros.

Como apoyo a estas imágenes y para visualizar el uso de la tierra en el presente, se utilizó también la imagen suministrada por Google Earth (<http://earth.google.es>). Además se utilizaron los mapas de suelos existentes para observar los tipos de suelos salinos (Solonetz, Solonchaks) y de las fases

salinas que afectan a otros suelos (Luvisoles), superponiendo esta cartografía a las imágenes de satélite. Este estudio se ha apoyado en trabajo de campo de otros estudios realizados en la zonas salinas (con descripción de perfiles) en la zona del intersalar, análisis de datos en laboratorio (Figueredo, 2013) y por supuesto la base de datos edafológica que se elaboró para tierras secas de Bolivia..

Todas las técnicas arriba mencionadas servirán en nuestro análisis y aplicación de técnicas de cartografía digital del suelo para la generación de mapas de conductividad eléctrica y sodio intercambiable.

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 salinidad del suelo, el agua de riego o las soluciones de fertilizantes es un importante parámetro que afecta a la zona radicular de las plantas. Cualquiera de estos factores puede afectar significativamente en el crecimiento de la planta. La CE está estrechamente correlacionada con la salinidad del suelo (ver mapa 41).

Porcentaje de Sodio Intercambiable: Los suelos sódicos contienen alta cantidad de Sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles. El exceso de Sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos. En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse. Este proceso de disociación técnicamente se denomina dispersión. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de Sodio.

La concentración en Na se puede medir bien en la disolución del suelo o bien en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina razón de adsorción de sodio (RAS) y en el segundo hablamos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

La relación de absorción de sodio es un parámetro que refleja la posible influencia del ion sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta a la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio sino también del resto de cationes. Se basa en una fórmula empírica que relaciona los contenidos de sodio, calcio y magnesio y que expresa el porcentaje de sodio de cambio en el suelo en situación de equilibrio (este índice denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que compiten con el sodio por los lugares de intercambio del suelo).

PSI

En los suelos es muy importante determinar qué tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca^{++} o por el contrario el Na^+). El porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

$$PSI = 100 \times Na / CIC$$

Siendo CIC la capacidad de intercambio de cationes (en ocasiones llamada capacidad de cambio de cationes y representada por CCC).

Se considera que un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el PSI > 15%.

$$PSI = \frac{100 * (-0.0126 + 0.01475RAS)}{1 + (0.0126 + 0.01475RAS)}$$

De esta forma se evalúan los suelos sódicos, cuando la CE es menor de 4 dS/m a 25°C y el PSI es mayor de 15%, siendo los suelos salinos-sódicos aquellos que tienen una CE mayor de 4 dS/m a 25°C y un PSI mayor de 15%.

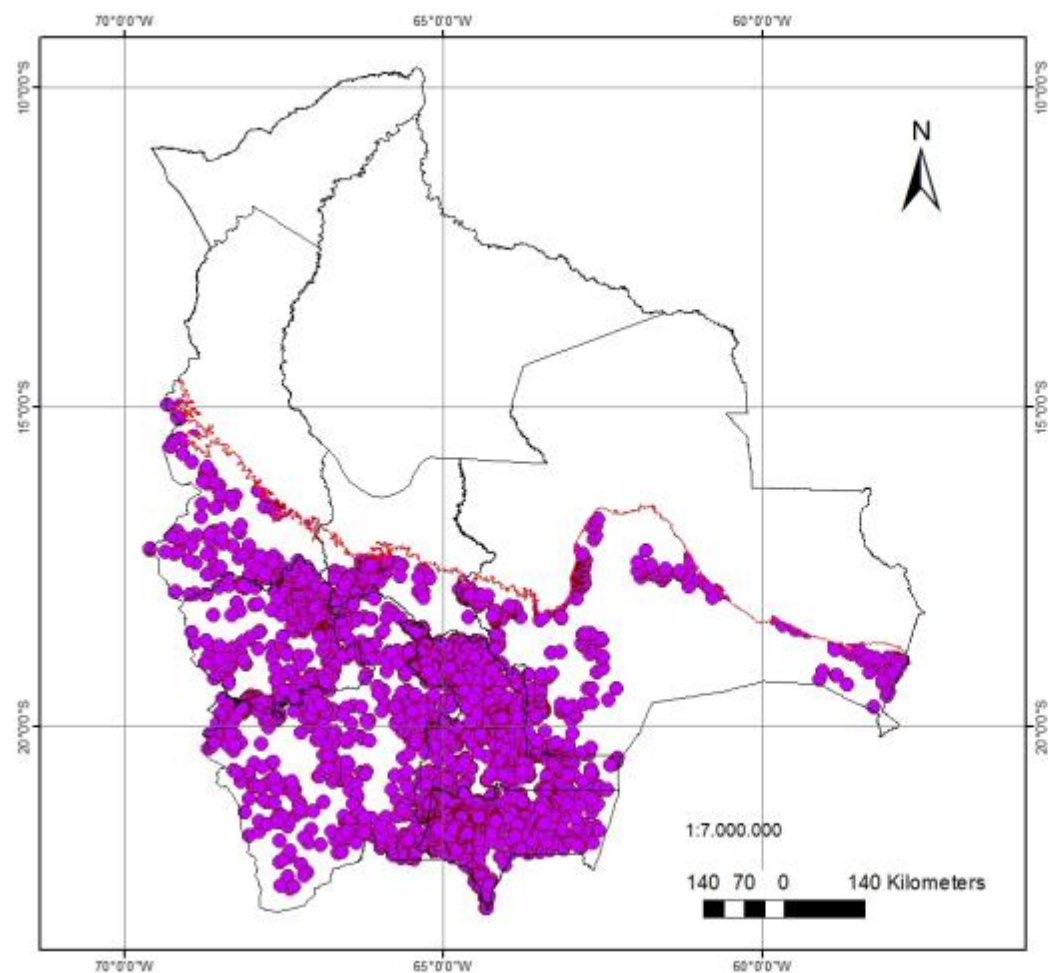
Para este caso, luego de hacer una revisión de los datos, no se tiene suficiente información de esta variable, siendo que existe mejor cantidad y calidad de datos de RAS para la generación del mapa respectivo.

RAS

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 / dm³ de las soluciones salinas:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mag}{2}}}$$

A partir del RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI):



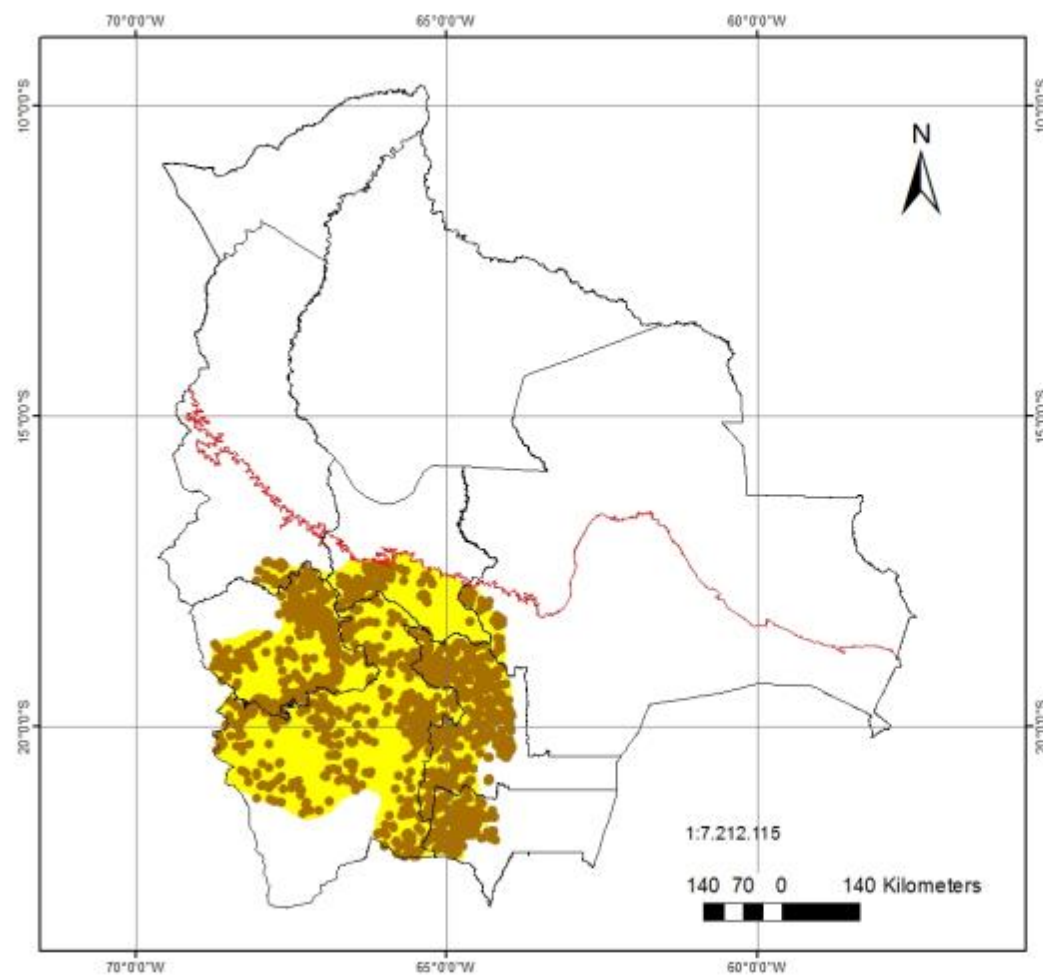
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Puntos de Muestreo de Suelos Salinidad Sodicidad

Legenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Muestras de Suelos

Fuente: Elaborado en base compilación CISTEL - UMSS
 Figueredo, H. 2014



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

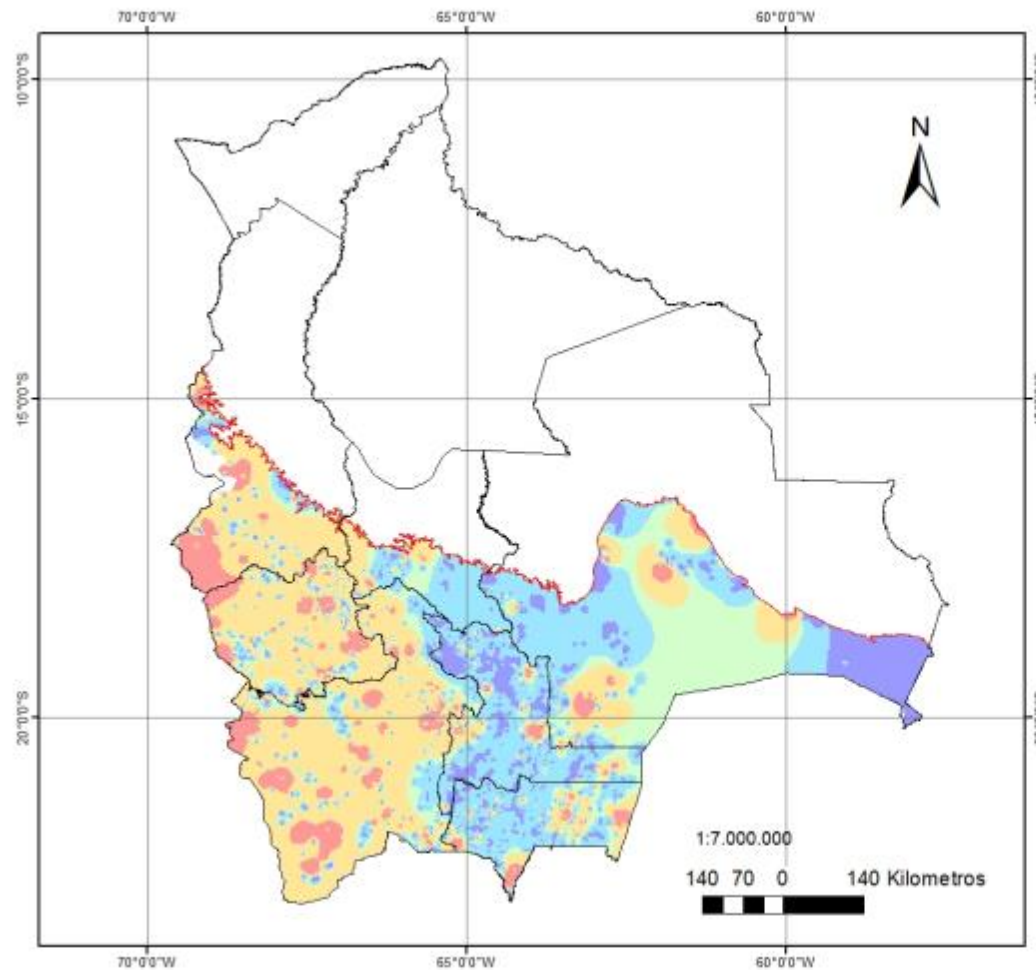
Puntos de Muestreo de Suelos RAS - Region Sódica

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- muestras_ras
- Region Sódica

Fuente: Elaborado en base compilación CISTEL - UMSS y estudio salinidad de Figueredo, H. 2014





Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Conductividad Eléctrica (dS/m)

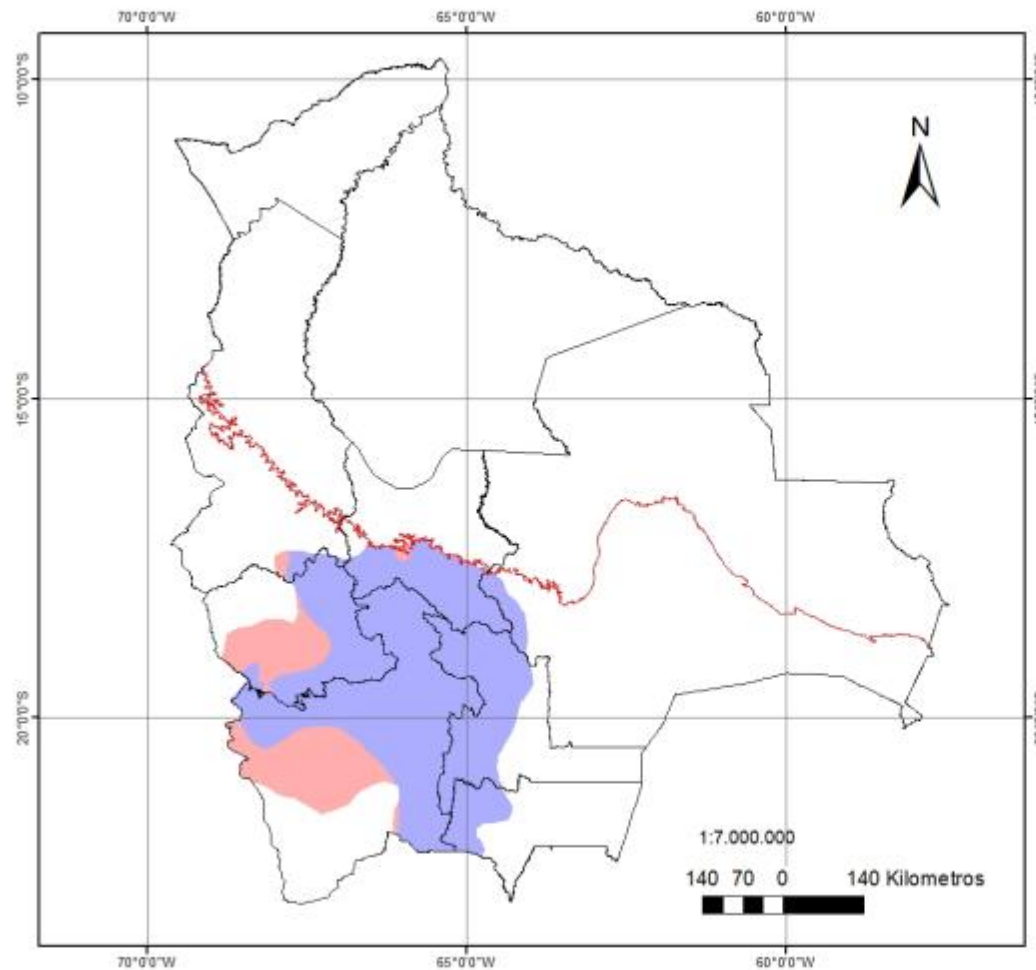
Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas

CE

- 1. Suelos Normales (0-1.2 mS/cm)
- 2. Suelos Ligeramente Salinos (1.2-2.5 mS/cm)
- 3. Suelos Salinos (2.5-5.0 mS/cm)
- 4. Suelos Extremadamente Salinos (5.0-10.0 mS/cm)
- 5. Suelos Fuertemente Salinos (> 10 mS/cm)

Fuente: Elaborado en base a la base de datos cuantitativos de la Base de Datos Edafológica de los primeros 25 cm de suelo



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Relación de Sodio Intercambiable (RAS)

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Suelo Normal (<13%)
- Suelo Sódico (>13%)

Fuente: Elaborado en base a la base de datos cuantitativos de la Base de Datos Edafológica de los primeros 25 cm de suelo

3.3.4. 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 poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las planta, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determina la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales -fertilidad química- pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa. Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces es un suelo fértil, no productivo.

Método

Perdida de fertilidad del suelo

El suelo es pilar fundamental en el abastecimiento de alimentos. La evaluación del recurso, en forma generalizada y en el ámbito mundial muestra una estimación porcentual del recurso edáfico: 11% sin limitaciones, 28% demasiado seco, 10% demasiado húmedo, 6% permanentemente congelado, 22% demasiado superficial y 23% con problemas químicos (ONU/FAO, 1984 citado por Núñez, 2001).

Es cierto que la conjunción de las mencionadas condiciones hace el deterioro de la fertilidad del suelo, pero para poder evaluarlo se necesitarían datos actuales y anteriores y del mismo sitio, espacialmente hablando. Sabiendo de las limitaciones en cuanto a disponibilidad de datos de suelo se plantea crear una base de información que sirva como plataforma de monitoreo de la pérdida de fertilidad del suelo, estrictamente del medio químico edáfico las cuales se las mapeará mediante un análisis cuantitativo, es decir, mediante por cartografía digital del suelo.

Se considerarán diferentes 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 a analizarse serán los siguientes:

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; la capacidad de absorción de nutrientes por parte de las raíces ya que todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que su absorción es idónea, fuera de este rango, la absorción radicular se ve dificultada. Si la desviación es extrema, puede verse deteriorado el sistema radicular o presentarse toxicidades.

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 (NH₄ o NO₃). 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. En el caso de la caña de azúcar, para una producción de 112 Tm absorbe 235 kg de N. Es expresado en porcentaje (%).

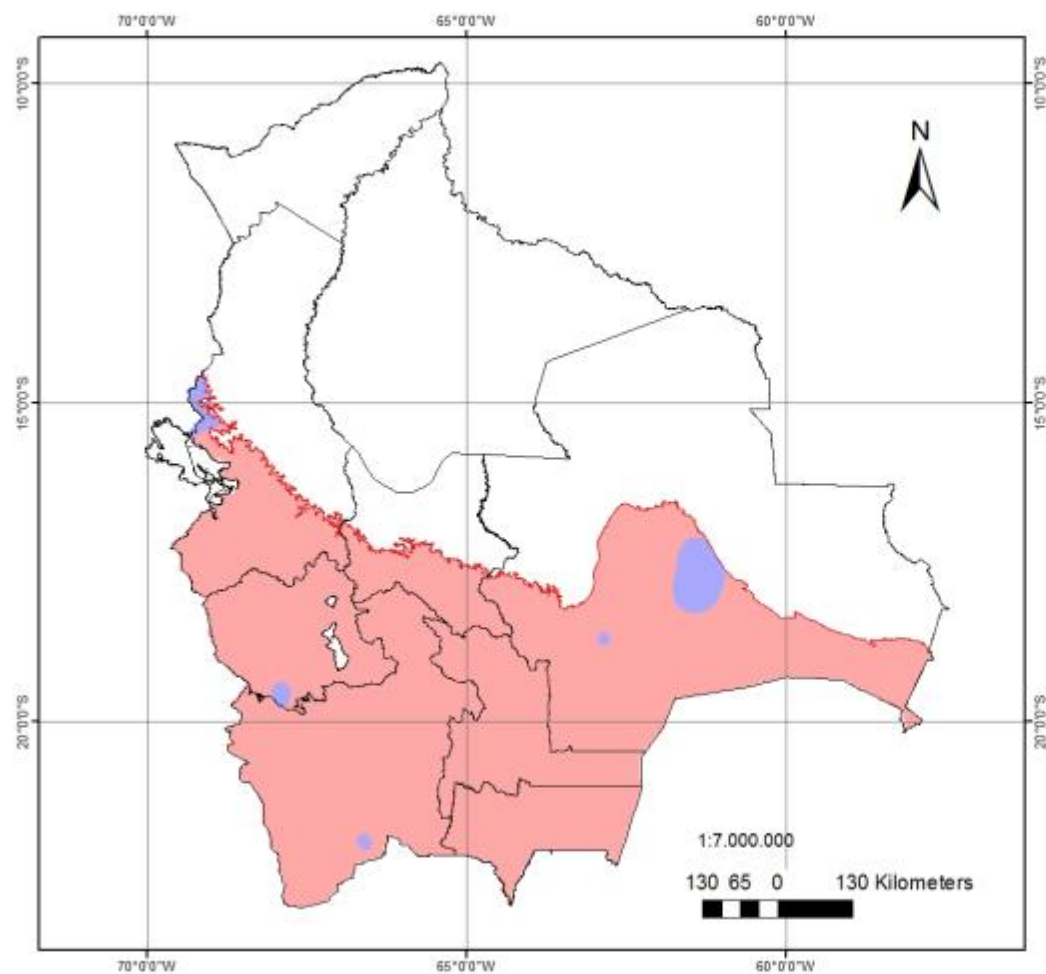
Fósforo: La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero el papel que desempeña es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN, muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con el fósforo, y los átomos de fósforo 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.

Los rangos de cada parámetro analizado se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. 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



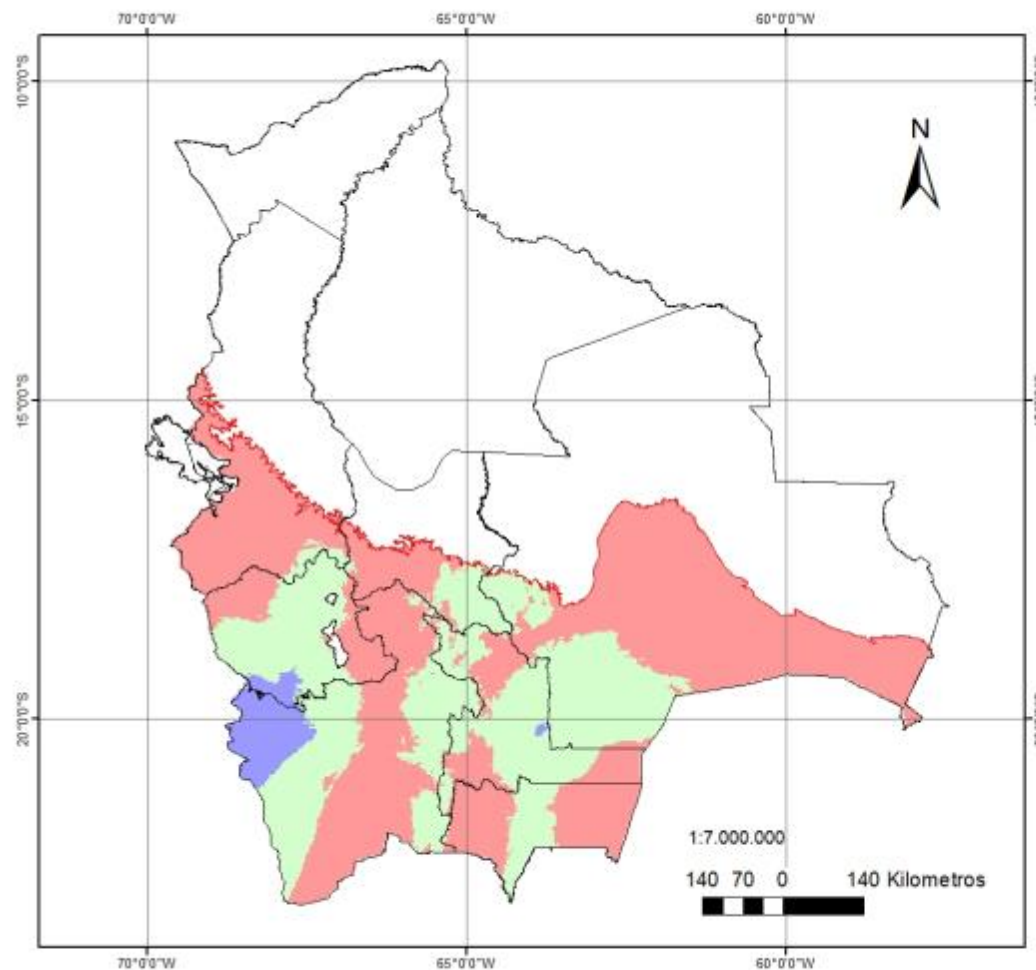
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Nitrógeno Total (%)

Leyenda

-  Límite departamental
-  Límite de Tierras Secas
-  1. Bajo ($<0.2\%$)
-  2. Moderado ($2-4\%$)

Fuente: Elaborado en base a información de la base de datos
 Edafológica y DSM
 Reclasificación en base a Landon J. R. (1991)



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100gr)

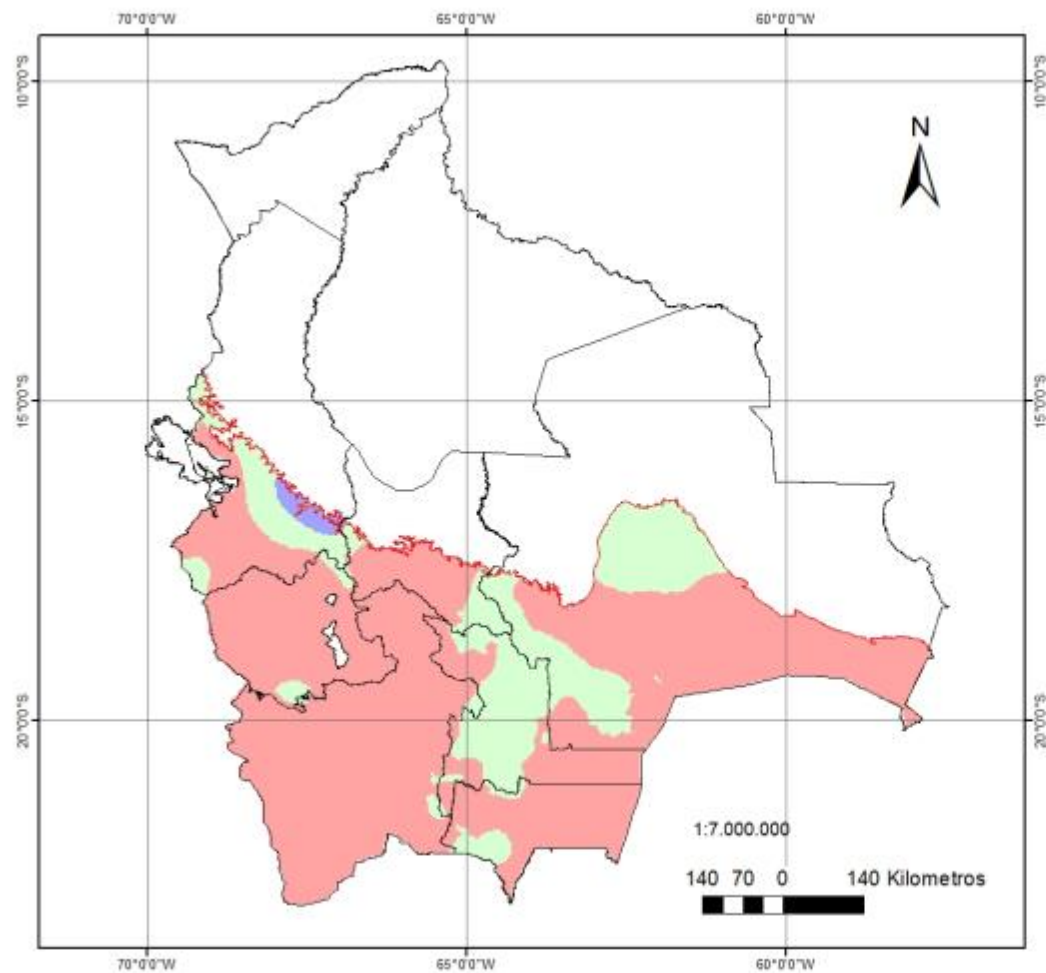
Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas

CIC

- Muy Bajo (5-15 meq/100gr)
- Bajo (15-25 meq/100gr)
- Moderado 25-40 meq/100gr)

Fuente: Elaborado en base a información de la base de datos
 Edafológica y DSM
 Reclasificación en base a Landon J. R. (ed.) 1991. Booker soil manual



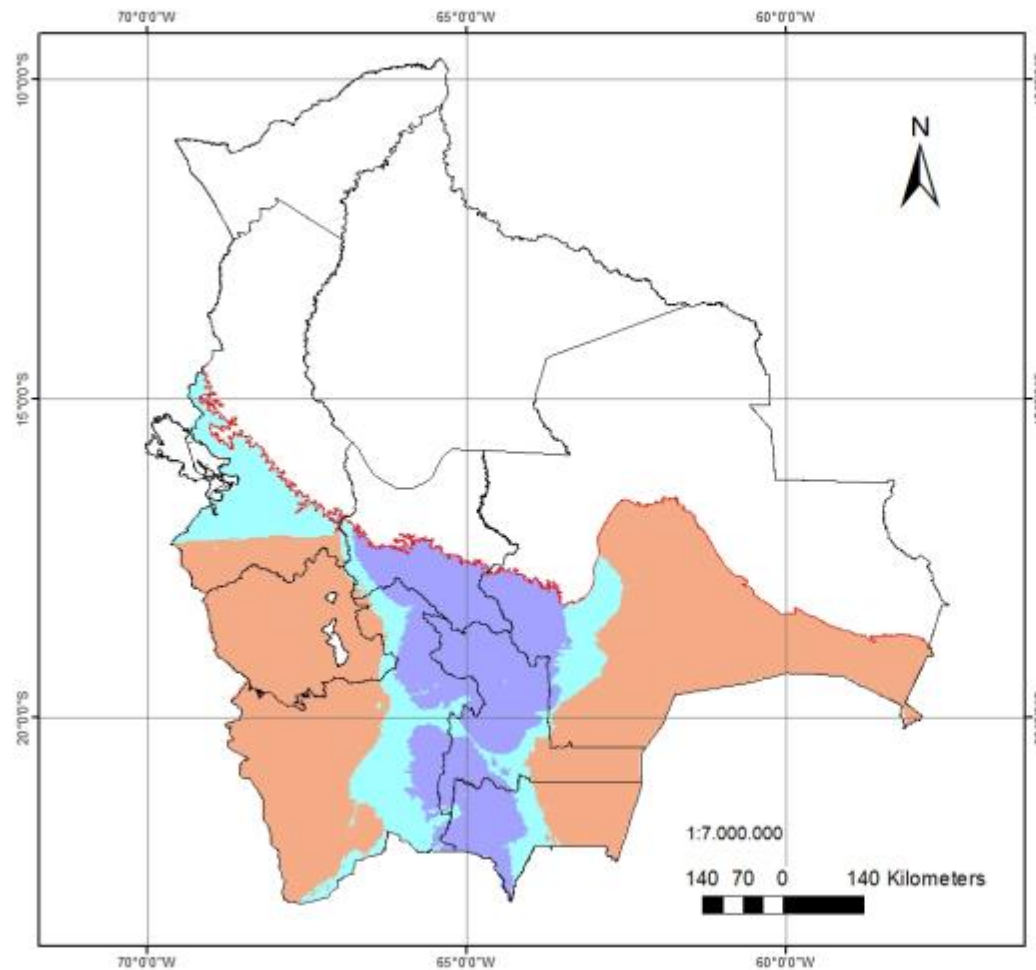
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Materia Orgánica (%)

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- 1. Bajo (<2%)
- 2. Moderado (2-4%)
- 3. Alto (>4%)

Fuente: Elaborado en base a información de la base de datos
 Edafológica y DSM
 R clasificación en base a NARI.



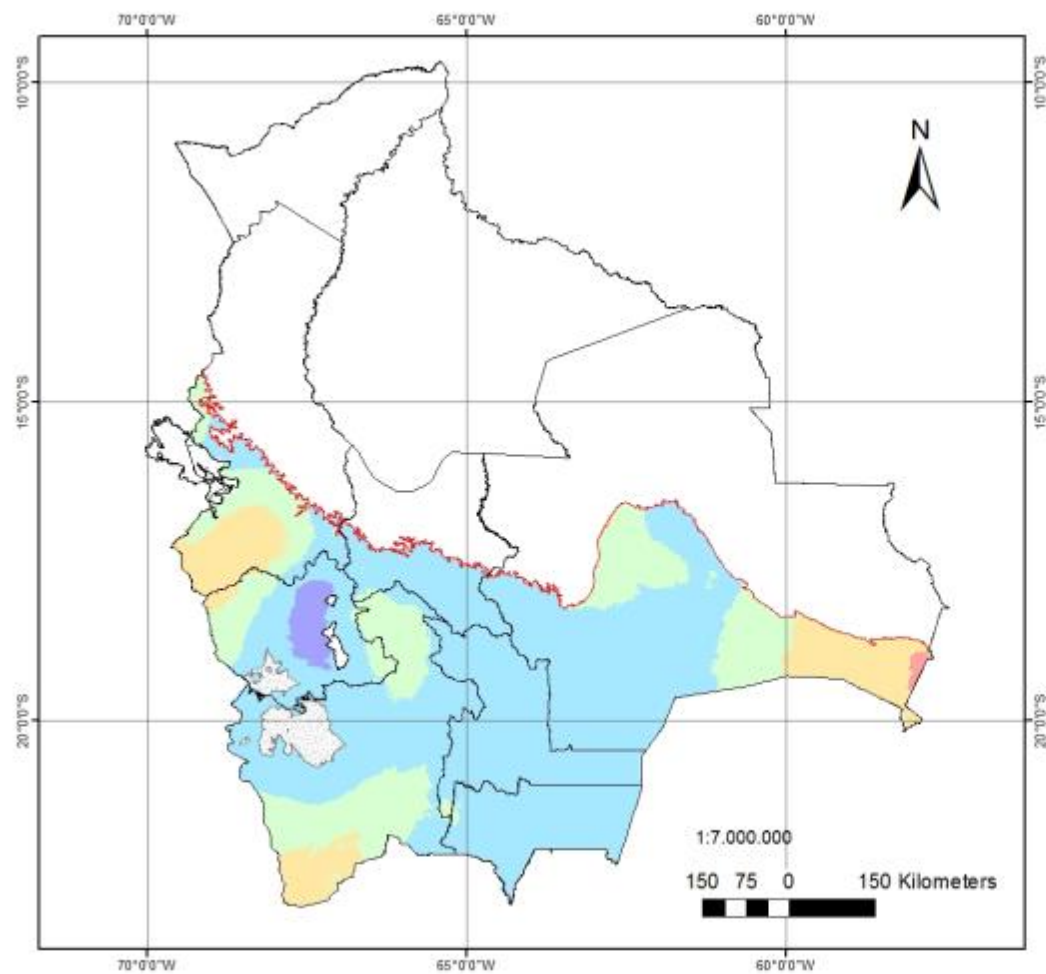
Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Fósforo Intercambiable (mg/kg)

Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas
- 1. Bajo (<10ppm)
- 2. Moderado (10-15 ppm)
- 3. Alto (>15 ppm)

Fuente: Elaborado en base a la base de datos cuantitativos de la Base de Datos Edafológica de los primeros 25 cm de suelo. Reclasificado en base a Olsen and Dean (1965).



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

pH del suelo

Leyenda

-  Límite departamental
-  Límite de Tierras Secas
-  Salar

pH

-  5,8 - 5,9
-  5,9 - 6,6
-  6,6 - 6,9
-  6,9 - 7,4
-  7,4 - 7,6

Fuente: Elaborado en base a la base de datos cuantitativa de la Base de Datos Edafológica de los primeros 25 cm de suelo

3.3.5. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

A pesar de los progresos logrados para cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio, el hambre, la pobreza y la inseguridad alimentaria persisten, mientras que los principales sistemas ambientales que proporcionan los recursos naturales se encuentran degradados y se van agotando. Los desafíos del desarrollo y las presiones relacionadas con los recursos naturales de base están siendo ahora reconocidos a nivel mundial. Aunque las presiones sobre el medio ambiente, son realizadas principalmente por la población y por el crecimiento económico, éstas se ven exacerbadas por el rápido cambio en el contexto ambiental, el que incluye entre otras cosas, la degradación de tierras, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la escasez hídrica, la liberalización de los regímenes de comercio la demanda para la producción de bio-energías.

El manejo sustentable de los recursos naturales básicos es una de las pocas cuestiones verdaderamente fundamentales que la comunidad internacional se verá forzada a llevar a cabo con eficacia durante las próximas dos décadas. En los últimos veinte años el énfasis internacional estuvo centrado en el manejo económico nacional y global pero en los próximos veinte años se deberá enfocar en el manejo eficiente del ambiente.

Esto debe seguir un enfoque estructurado a nivel global, sobre la base de datos y conocimientos adecuados, confiables, actualizados y vinculados con las estrategias y los acuerdos internacionales apropiados. El producto que faltaría para alcanzar esta meta es una visión global en donde toma lugar la degradación de la tierra, su intensidad, y como los usuarios de ésta hacen frente a este problema a través de un manejo sustentable de la tierra. Con el fin de llenar este vacío en nuestro conocimiento, dos proyectos se han unido para avanzar en la preparación de un plan de trabajo para realizar el mapeo tanto del lado positivo como negativos de las caras de la moneda. El proyecto sobre la Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) busca establecer implementar una metodología comprensiva para la evaluación y el mapeo de la degradación de la tierra. La Evaluación del LADA es desarrollada en 3 escalas espaciales (local, nacional y global), y considera el estado, las fuerzas motrices y los impactos. Finalmente, el LADA proporcionará una mejor comprensión del fenómeno de la degradación, y dará los indicios sobre las respuestas apropiadas en todas las escalas de nivel.

El World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT) tiene la misión de apoyar la investigación y los procesos de toma de decisión en el Manejo Sustentable de Tierras (MST), particularmente en relación con la Conservación del Suelo y el Agua (SWC). El principal objetivo del Manejo Sustentable de Tierras (MST) es promover la convivencia de los humanos con la naturaleza con una perspectiva de largo plazo, de forma tal que la provisión, regulación, cultura y los servicios de apoyo del ecosistema, sean garantizados. El MST es un prerequisite esencial para el desarrollo sustentable.

El Manejo Sustentable de Tierras se define como el uso de los recursos de la tierra, incluyendo el suelo, el agua, los animales y las plantas, para la producción de bienes destinados a satisfacer las necesidades humanas, mientras que simultáneamente garantiza el potencial productivo de largo

plazo de esos recursos y el mantenimiento de las funciones ambientales. Para saber el estado actual de la degradación de tierras es necesario tener de referencia un mapa de cobertura y un mapa de uso de la tierra.

Método

Para el ejercicio del mapeo del WOCAT-LADA, el Sistema/Clasificación del Uso de la Tierra (LUS) está considerado como la unidad básica de evaluación (Nachtergaele et al, 2007). Está disponible un mapa global del Sistema/Clasificación del Uso de la Tierra, pero este mapa aún necesita refinamientos y ajustes a nivel nacional en pos de proveer unidades nacionales apropiadas, en donde la degradación y conservación de la tierra pueda ser descripta y evaluada. Esas unidades básicas del LUS contienen información muy valiosa (tanto biofísica como socio-económica) referidas al uso de la tierra y a las prácticas de uso de la tierra, siendo éstas una de las principales causas de la degradación de la tierra.

Teniendo en cuenta lo anterior y que en el país contamos con un mapa nacional, como datos de entrada, es decir como insumos, se utilizó el mapa de Cobertura de la Tierra – 2010 del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras Viceministerio de Tierras, de la Unidad Técnica Nacional de Información de la Tierra, que tiene una resolución espacial de 30m¹⁷.

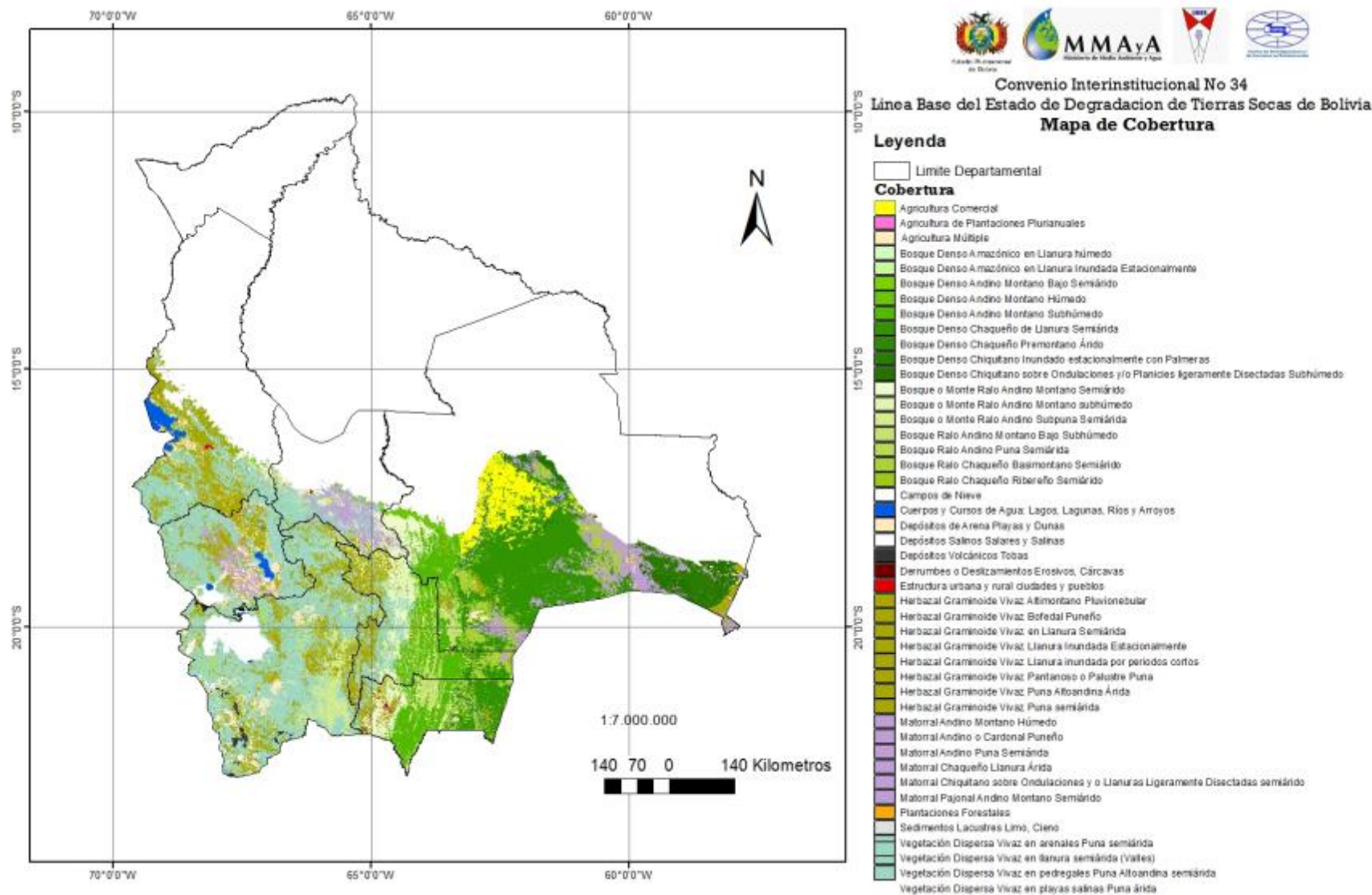
Se realizaron correcciones de vacíos de información del mapa, con la clase circundante. Esto con el objetivo de reducir los ruidos (pixels sueltos), se aplicó un filtro de vecindad (majority) con una cuadrícula de 4. Como último paso y para ser coherente con la escala de trabajo para LADA-Bolivia, se resampleó el pixel a 50m.

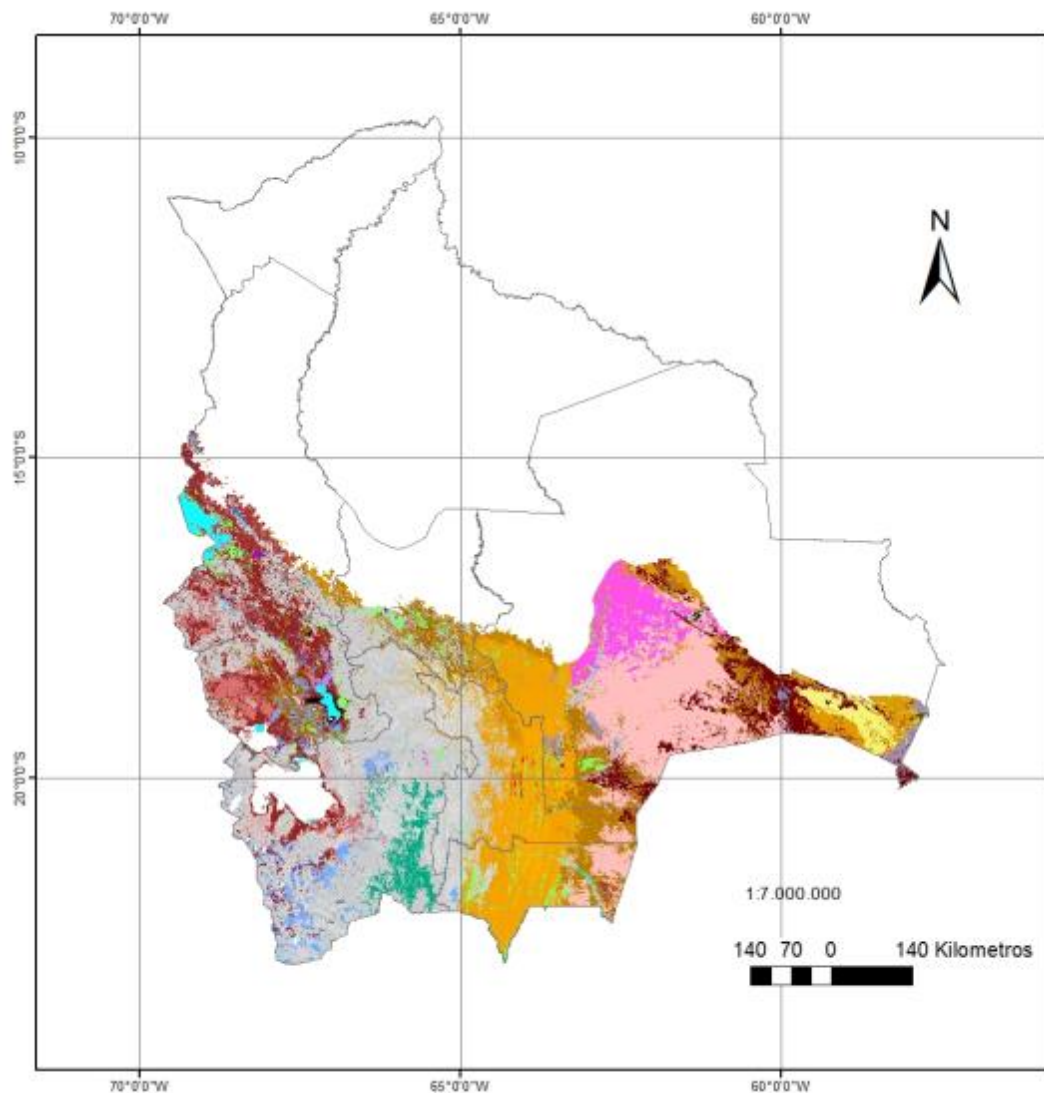
Para generar estadísticas descriptivas del mapa de uso, se utilizó la herramienta de tabulate áreas de ArcGIS 10.x para extraer superficies por clases.

Resultados:

Sé encontró que para el área de tierras secas de Bolivia, el uso predominante corresponde a 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 con un 11%, el tercero es el uso Productivo Agropecuario, Extractivo Forestal: Productos Maderables y no Maderables; Cultivos alimenticios, Pastoreo por sectores con un total 9, 5% y otros usos un 58,5 %.

¹⁷ Descargado de 20 de mayo 2013: http://essm.tamu.edu/bolivia/files-grd/cobertura_uso_2010.zip
Impreso para respaldo POA





3.3.6. 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 Bosque 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 con variedades climáticas (Ibisch y Mérida, 2003). De hecho, forma parte del grupo de los 16 países considerados los más mega diversos del mundo, que juntos reúnen aproximadamente el 70% de toda la diversidad biológica conocida en el planeta. Su territorio comprende 4 biomasas, 32 regiones ecológicas y 199 ecosistemas (FAN, 2009).

Las principales amenazas hacia la biodiversidad, como en muchos países, están dadas por el avance acelerado de la frontera agrícola y la actividad ganadera, el uso no controlado de los recursos de la biodiversidad y nuevos asentamientos humanos no planificados, los dos últimos muchas veces catalizados por la apertura de nuevos caminos en áreas bien conservadas. En general, los cambios del uso de la tierra no planificado o manejado sosteniblemente, se constituyen en amenazas claves que requieren de una visión nacional de tratamiento integral del territorio, enfocado en lo posible en el marco del desarrollo sostenible.

Método

Mapa Potencial de Riqueza de Especies La información utilizada en el presente estudio es el resultado del compilado y sistematizado de bases actualizadas con 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)

Los mapas empleados para este trabajo, muestran 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) de Bolivia.

Cada mapa presenta una clasificación que varía de acuerdo al número de especies y que se integra en el mapa 50.

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 (el presenta caso es la celda), e ilustra la contribución del lugar específico a la diversidad general del área de estudio (Araujo, 2010). El grado de riqueza de endemismos se muestra en el mapa 51.

Cobertura y Uso de la Tierra de Bolivia Elaborados en base al uso de sensores remotos y con el propósito de representar las características ambientales, cobertura vegetal y uso de suelo dado por los seres humanos en Bolivia, se logra cuantificar los distintos usos de la tierra por categorías de cobertura.

En 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 números especies.

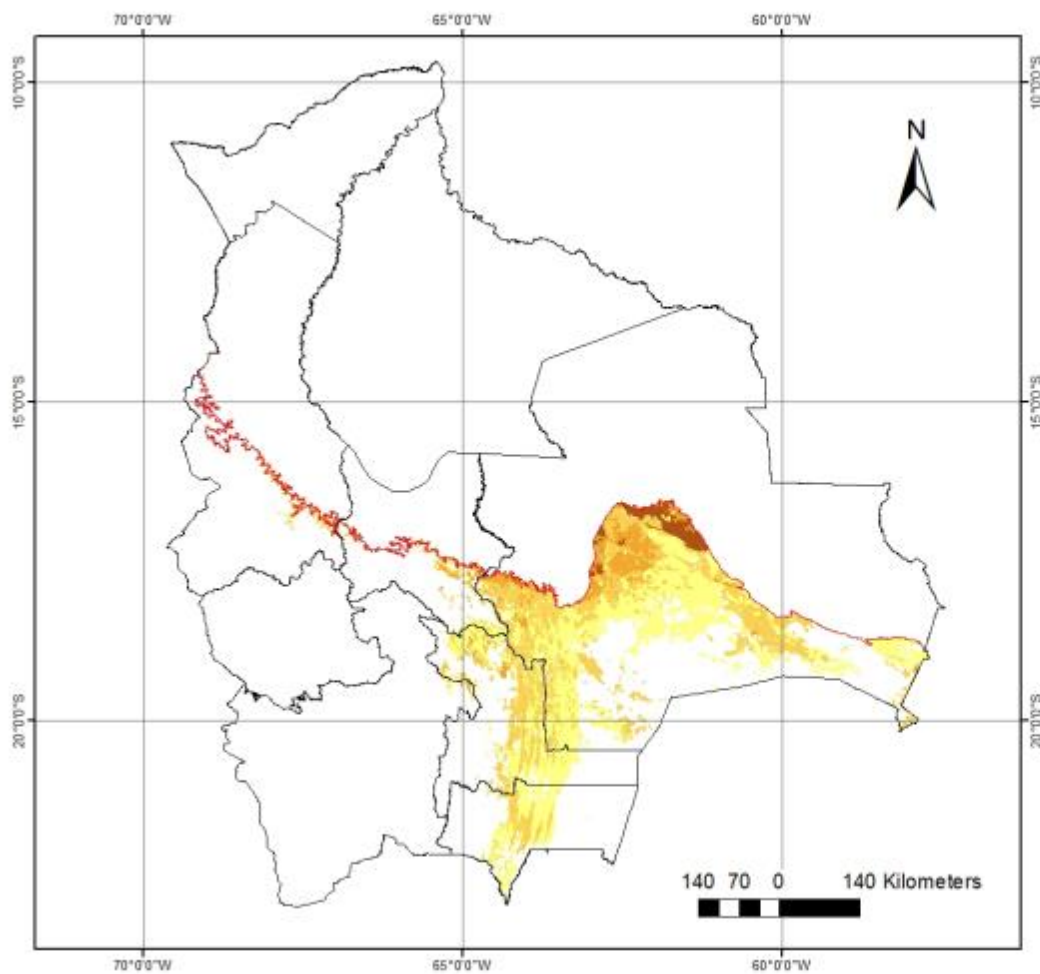
Para determinar la pérdida de la diversidad ecológica es necesario restar áreas donde hay actividad antrópica y crecimiento de la población, ya que esto es una fuerza importante en la pérdida de especies, poblaciones y ecosistemas. Del mapa de cobertura de la tierra, las clases con alta influencia antrópica se restaron del mapa de biodiversidad.

Resultados

El Mapa de Biodiversidad (mapa 50) que representa la sumatoria de los valores de riqueza de fauna y flora, estos valores fueron estandarizados en una escala de 1 a 5 y de esta manera se identificaron los gradientes de biodiversidad de Bolivia. En el mapa de riqueza de especies se muestran los gradientes, siendo los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba, Oruro Potosí, Tarija, La Paz y Santa cruz muestran un índice de diversidad muy baja y Baja 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 sería nula.

El Mapa resultado (ver mapa 52) representa la pérdida de biodiversidad ecológica es el resultado de la resta del mapa de Biodiversidad y 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.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Pérdida de Diversidad Ecológica

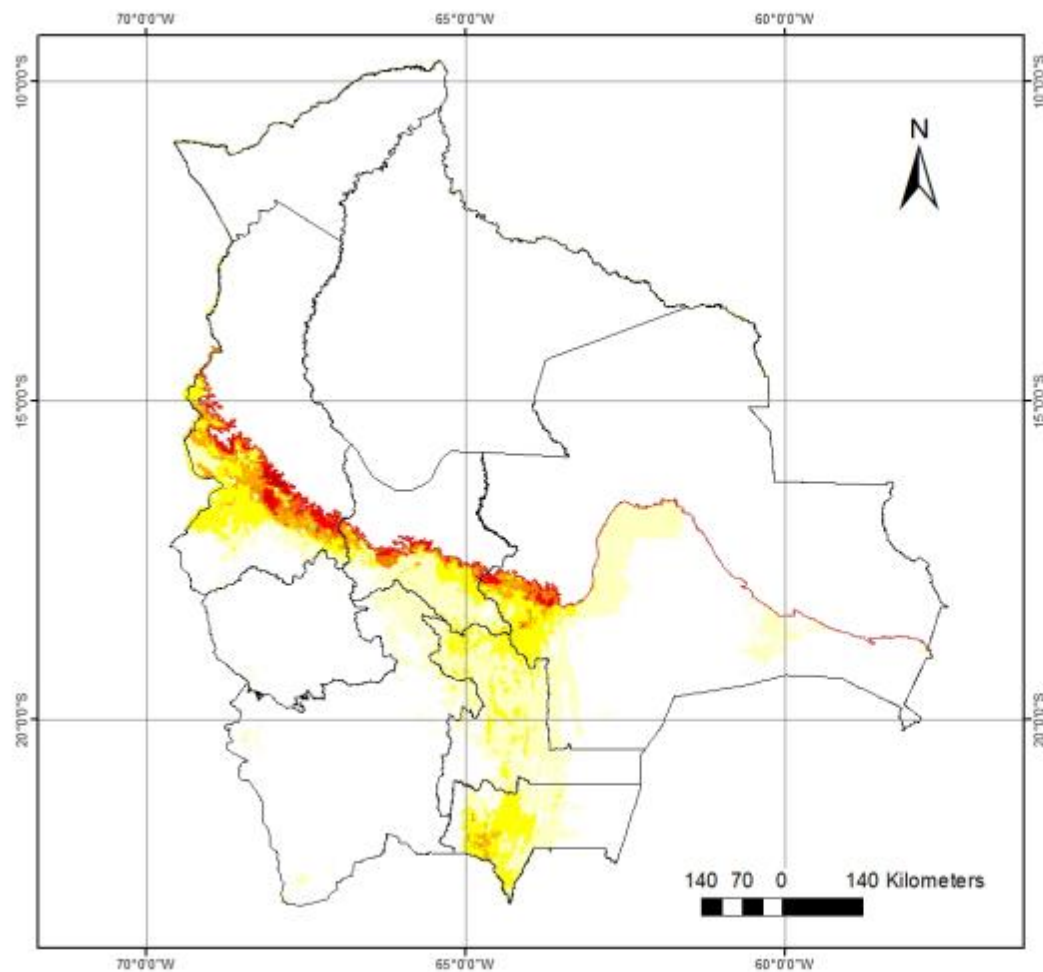
Leyenda

- Límite Departamental
- Límite de Tierras Secas

Biodiversidad

- Muy Baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta

Fuente: Elaborado en base a
 Atlas de la Diversidad de la Flora y Fauna de Bolivia (FAN, 2009)
 GAP Analysis (SERNAP 2006)



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Pérdida de Diversidad Ecológica

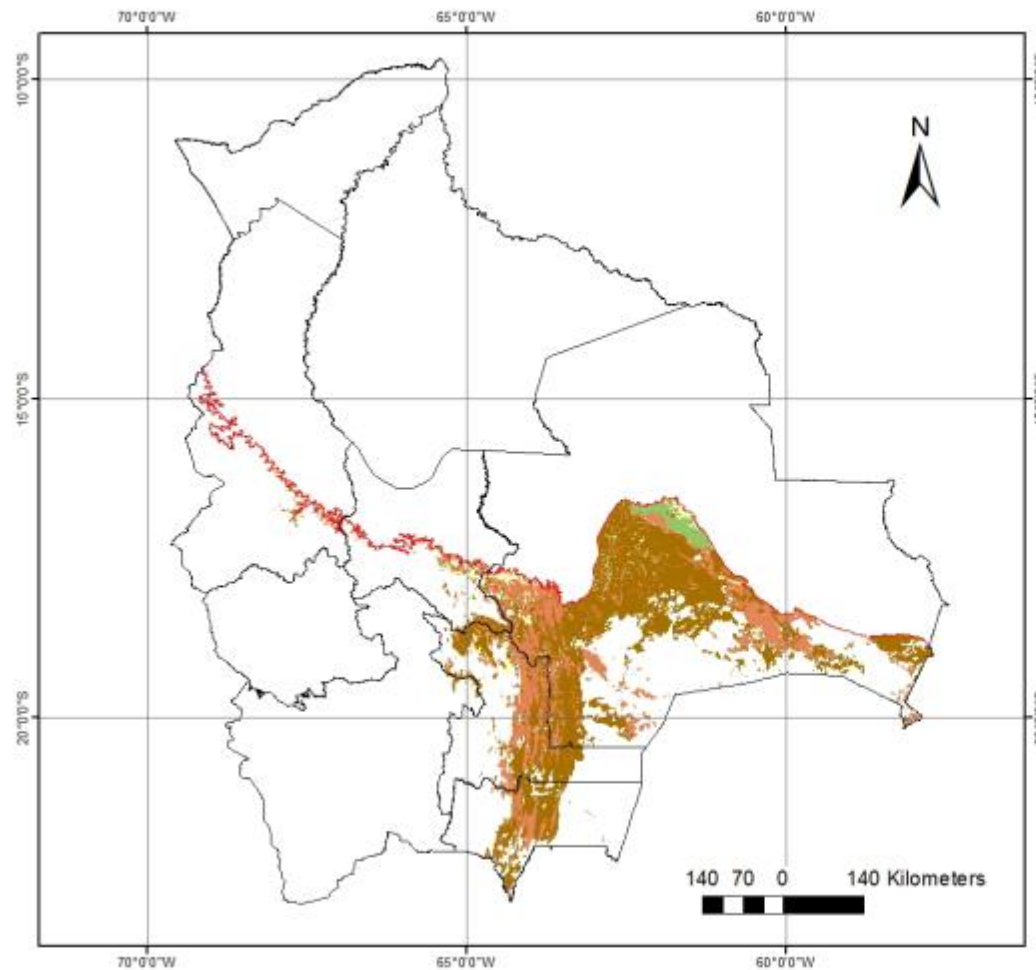
Leyenda

- Límite Departamental
- Límite de Tierras Secas

Riqueza de Endemismos

- Baja
- Mediana
- Alta
- Muy alto (prioridad nacional)
- Extremadamente alta (prioridad nacional)

Fuente: Elaborado en base a
 Atlas de la Diversidad de la Flora y Fauna de Bolivia (FAN, 2009)
 GAP Analysis (SERNAP 2006)



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Pérdida de Diversidad Ecológica

Leyenda

- Limite_Departamental
- Limite de Tierras Secas

Pérdida de Biodiversidad

- Muy Baja o Nula
- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta

Fuente: Elaborado en base a
 Atlas de la Diversidad de la Flora y Fauna de Bolivia (FAN, 2009)
 Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra de Bolivia, 2010

3.3.7. PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA

Es un indicador que muestra el cambio en la productividad primaria neta (NPP - la velocidad a la que la vegetación fija el CO₂ de la atmósfera menos las pérdidas a través de la respiración), calculado como una aproximación, basada en NDVI, a partir de datos de RS y sus unidades muestran kgC ha⁻¹ año⁻¹.

Datos de entrada

En este caso los datos que usaron en la FAO para obtener este producto proceden de una serie de 50 años del VasCLimO, que comprende según las referencias 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. Se trata de un conjunto de datos NDVI que ha sido corregido para la calibración, geometría de la vista, aerosoles volcánicos, y otros efectos no relacionados con el cambio de vegetación.

Procedimiento y Resultado

Este producto es de una fuente secundaria pero a continuación se muestran los pasos en el procesamiento explicado en los indicadores de LADA a fin de que se entienda mejor el mapa:

- ✓ Indicadores NDVI simple (NDVI mínimo, máximo máximo-mínimo, media, suma, desviación estándar y el coeficiente de variación) se calculan para el año calendario octubre del próximo mes de septiembre para el hemisferio sur, que abarca una completa estación de crecimiento.
- ✓ La suma anual de NDVI, el conjunto verde durante la temporada de cultivo, se utiliza como sustituto estándar de productividad anual de la biomasa. NDVI se traduce a la productividad primaria neta por correlación con los datos de MODIS. Las tendencias se calculan mediante regresión lineal.
- ✓ Variabilidad de las precipitaciones y el riego se toman en cuentas mediante la identificación de cada píxel donde hay una relación positiva entre la productividad y la precipitación, es decir, donde la lluvia determina NPP;
- ✓ Como un indicador adicional, se calcula la tendencia residual de suma NDVI (RESTREND, ver más abajo).
- ✓ Como los indicadores, NPP se compara entonces con la cobertura del suelo, el suelo y el terreno, la densidad de población rural, y los índices de aridez y la pobreza.

RESTREND, tendencia residual de suma NDVI, se calcula de la siguiente manera. Basándose en el procedimiento general de Wessels y otros (2007), la correlación entre el NDVI suma anual y la precipitación anual se calcula para cada píxel, para el hemisferio sur comienza el 1 de octubre hasta el mes de septiembre. La ecuación de regresión permite la predicción de la suma NDVI acuerdo con las precipitaciones. Residuos de suma NDVI (es decir, las diferencias entre lo observado y predicho

suma NDVI) para cada píxel se calculan, y la tendencia de estos residuos (RESTREND) se analizan mediante regresión lineal, y su importancia es evaluada por el T-test.

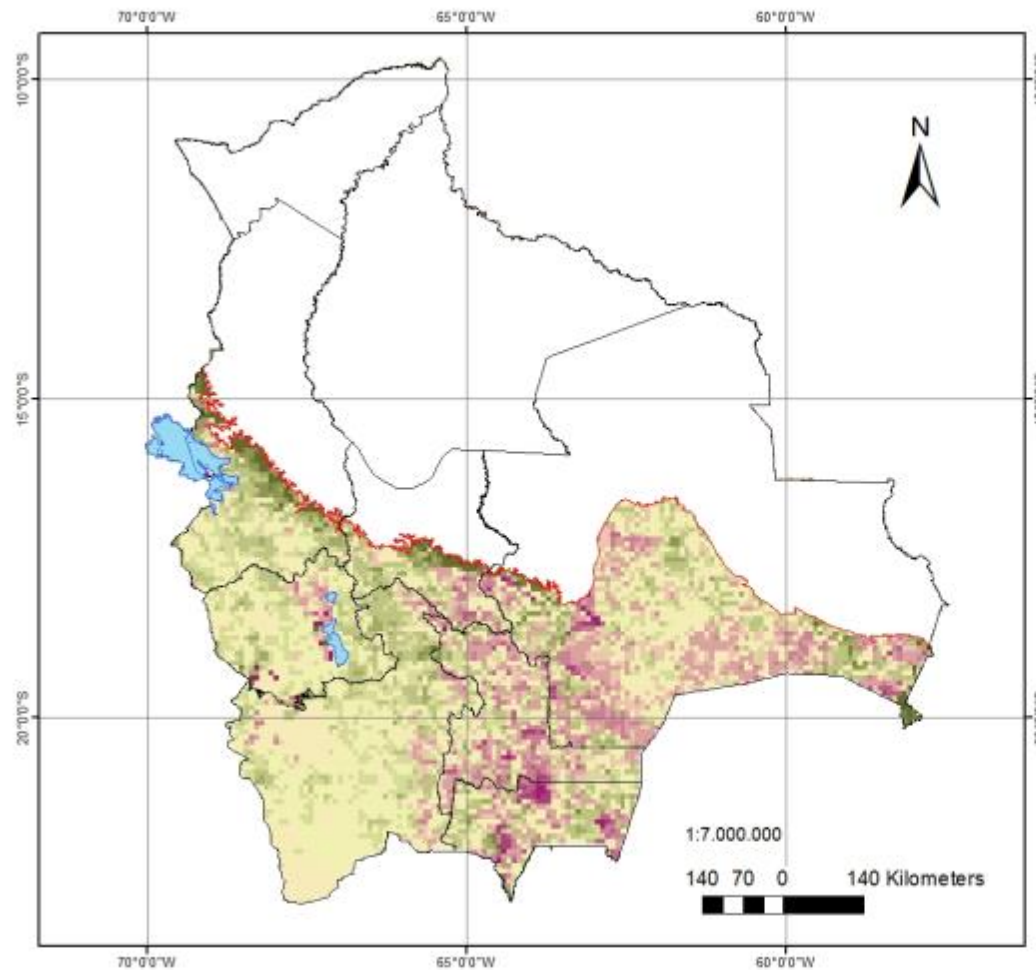
Límites técnicos.

La resolución de los datos de 8 kilómetros GIMMS es una limitación en dos sentidos. En primer lugar, un píxel de 8 kilómetros integra la señal de una zona circundante más amplia. Muchos de los síntomas, incluso de muy grave degradación de la tierra, tales como barrancos, rara vez se extienden sobre un área tan grande, sino que debe ser grave hecho debe considerarse en la señal de las zonas no afectadas circundantes. En segundo lugar, un píxel de 8 kilómetros o incluso un píxel de 1 kilómetro no pueden ser controladas por una encuesta, y una tendencia de 23 años no pueden ser controladas por una sola instantánea.

Advertencias generales a tener en cuenta al aplicar los datos de NDVI :

- 1) La señal de NDVI puede estar saturado al dosel de la vegetación cerrada (ondulación 1985). Esto significa que el NDVI es más sensible para las tierras de cultivo y pastizales que en los bosques, sin embargo, sigue siendo útil para los bosques;
- 2) detección de nubes se realiza sobre los datos GIMMS y máximo NDVI por un compuesto de 15 días, pero NDVI puede ser subestimada aún para zonas muy nubladas;
- 3) La gran variabilidad espacial de la precipitación en las tierras secas hace la interpolación de las mediciones de punto problemático y estaciones de observación son escasos en muchas de estas áreas

Ver mapa 53:



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Cambio Global en la Productividad Primaria Neta

Leyenda

- Lagos
- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas

Cambio Global en la Productividad Primaria Neta

- < - 50
- 50-40 a -4
- -30 a -40
- -20 a -30
- -10 a -20
- -5 a -10
- 0 a -5
- 0 - 5
- 5 a 10
- 10 a 20
- 20 a 30
- 30 a 40
- 40 a 50
- >= 50

Fuente: Elaborado en base a DISforLADA 2009, LADA 2008 ISRIC, UN FAO

3.3.8. EFICIENCIA DEL USO DE LA LLUVIA

Este indicador, tiene el propósito de estimar la eficiencia del uso de la precipitación pluvial (lluvia) por parte de la vegetación (“producción por unidad de precipitación pluvial lluvia- “). Es decir el efecto de las fluctuaciones en la producción de biomasa.

Como otros indicadores que son parte del GLADA (Evaluación Global de la Degradación de Tierras), este indicador es importante para identificar áreas degradadas, en tanto permite monitorear síntomas de cambios globales en los factores climáticos y la vegetación. Se basa en la integración del procesamiento de imágenes satelitales (para obtener NDVI's) y series de tiempo climáticas.

Datos de entrada

En este caso los datos de este producto proceden de una serie de 50 años del VasCLimO, que comprende según las referencias los datos más completos compilados para 1951 – 2000 (Beck et al 2005; Schneider et al 2008), complementados para el periodo 2001 al 2003 con los datos del Centro Climatológico de Precipitación Global (GPCC – Global Precipitation Climatology Centre, y que a tiempo del análisis integral se complementará con la base de datos obtenida de la sistematización de datos del SENAHMI para el periodo 1980 – 2010 a fin de producir los valores de precipitación anual que coincidan con los datos del GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies)

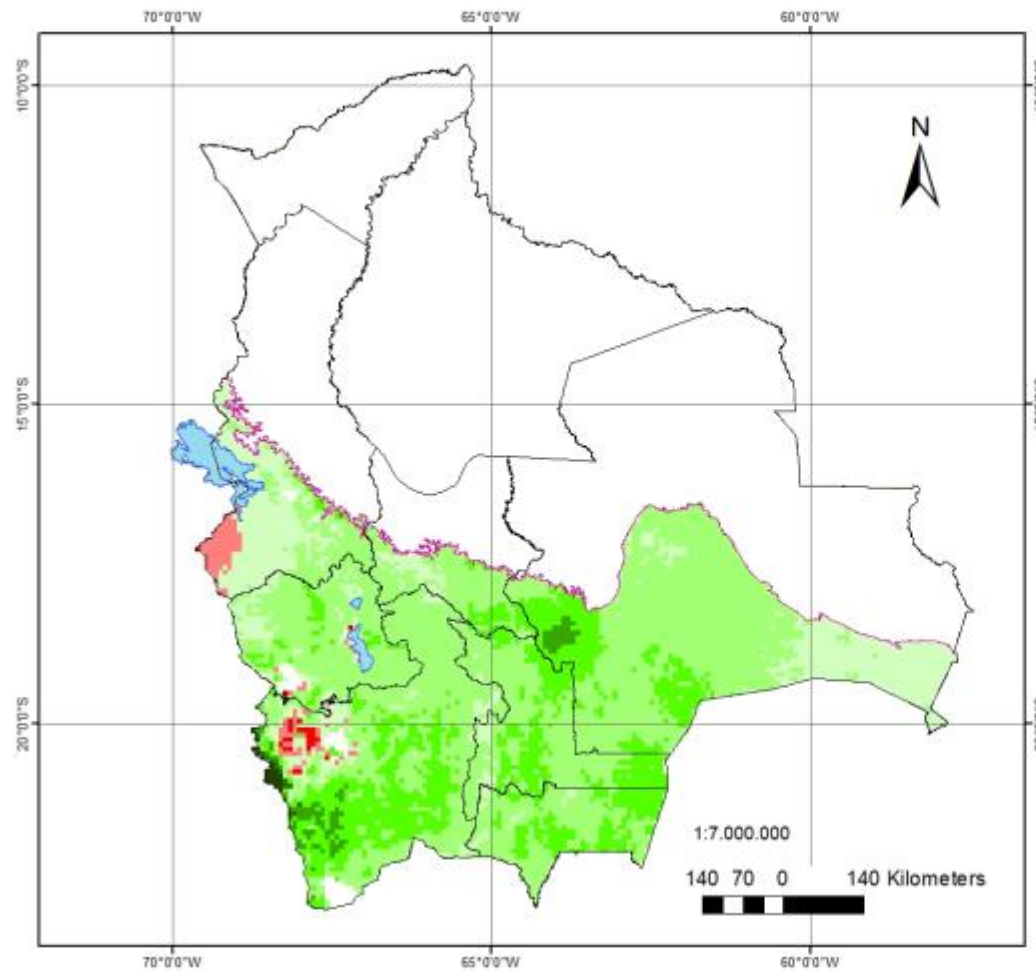
Cabe resaltar que GIMMS, es un set de datos de Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation Index) producto disponible para un período de 25 años comprendido entre 1981 a 2006. El conjunto de datos se deriva a partir de imágenes obtenidas 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. Se trata de un conjunto de datos NDVI que ha sido corregido para la calibración, geometría de la vista, aerosoles volcánicos, y otros efectos no relacionados con el cambio de vegetación.

Procedimiento

Matemáticamente representa la división de la suma anual del Índice de Vegetación (NDVI) y la precipitación anual.

Resultado

La eficiencia del uso de la lluvia, fluctúa en el caso de tierras secas de un valor negativo de poco más de -0,3 a un valor positivo de 0,5, no tiene unidad es un índice referencial. Como se puede observar en el mapa 54:



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Eficiencia en el uso de la lluvia

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Lagos

Eficiencia en el uso de la lluvia

- 0,4 - -0,3
- 0,3 - -0,2
- 0,2 - -0,1
- 0,1 - 0
- 0
- 0 - 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- 0,4 - 0,5
- > 0,5

Fuente Elaborado en base a DISforLADA.2009, LADA.2008 ISRIC, UN FAO

SÍNTESIS: INDICADORES DE ESTADO DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS

En las tierras secas de Bolivia el estudio de los indicadores de estado de degradación de tierras muestran que:

- ✓ 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, del área occidental, 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 hacen que estos suelos no tengan agregación, por su excesivo drenaje y poca cohesión no permitiendo el almacenamiento de agua. 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.
- ✓ En comparación con el área de tierras secas de Bolivia de PRONALDES 1996, debido a muchos factores, entre ellos el cambio de uso de la tierra, el área aumento en un 3,04 % incrementándose de 450943,00 Km² a 484363,92 Km².
- ✓ Sé encontró que para el área de tierras secas de Bolivia, el uso predominante corresponde a 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 con un 11%, el tercero es el uso Productivo Agropecuario, Extractivo Forestal: Productos Maderables y no Maderables; Cultivos alimenticios, Pastoreo por sectores con un total 9, 5% y otros usos un 58,5 %.

3.4. 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. En algunos casos como las áreas protegidas se trata de áreas bajo reglamentaciones o legislaciones ambientales a fin de poder controlar y prevenir efectivamente la degradación de la tierra.

3.4.1. 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

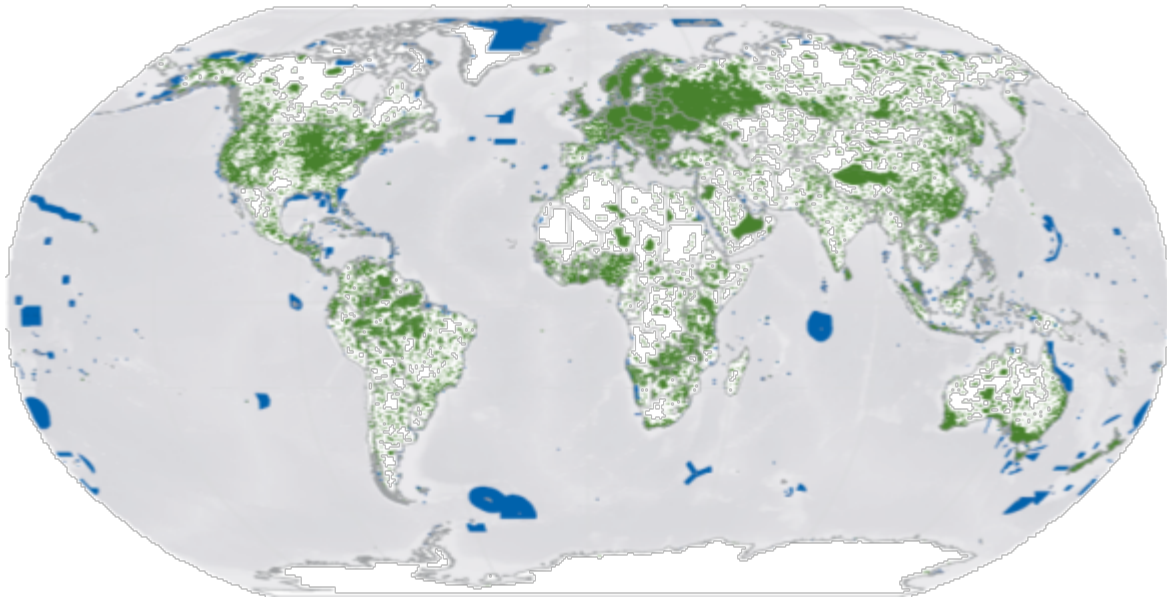


Figura 22. Áreas Protegidas del Mundo

Fuente: IUCN and UNEP-WCMC (2011) The World Database on Protected Areas (WDPA): January 2011. Cambridge, UK: UNEP-WCMC

De acuerdo con UNEP-WCMC 2012:

- ✓ AP siguen siendo pilares clave en la promoción de la biodiversidad, los servicios ambientales y el bienestar humano.
- ✓ Cubren un 12,7% superficie terrestre mundial y 1,6% de los océanos a nivel global.
- ✓ Almacenan el 15% de las reservas globales de carbono terrestre, ayudan en la reducción de la deforestación, de la pérdida de hábitats y de especies, y apoyan los medios de subsistencia de más de un billón de personas.

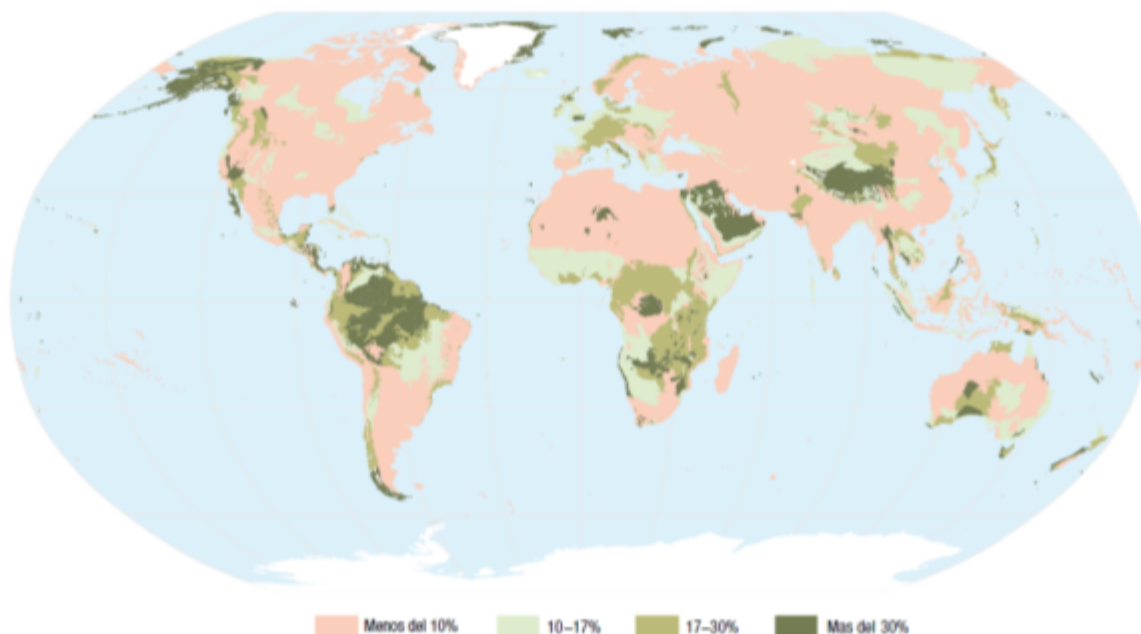


Figura 23 Porcentaje de cada ecorregión terrestre resguardada por áreas protegidas designadas nacionalmente en el 2010

Fuente: WDPA 2011 basado en las ecorregiones de Olson et al. 2001

Antártica y Groenlandia - Blanco. 2/3 de las 823 ecorregiones presentan menos del 17% de su área protegida, y la mitad todavía tiene menos del 10% de su área protegida, el objetivo originalmente trazado para todas las ecorregiones terrestres que debió ser alcanzado en el 2010.

La siguiente figura muestra áreas importantes para el almacenamiento de carbono en la biomasa (verde), el suministro de agua dulce a las poblaciones en las cuencas (azul), y ambas, el almacenamiento de carbono y el suministro de agua dulce (rojo). Estas áreas fueron seleccionadas independientemente para maximizar el almacenamiento global de carbono en la biomasa y el suministro de agua dulce a escala continental en el 10% de la superficie terrestre del mundo.

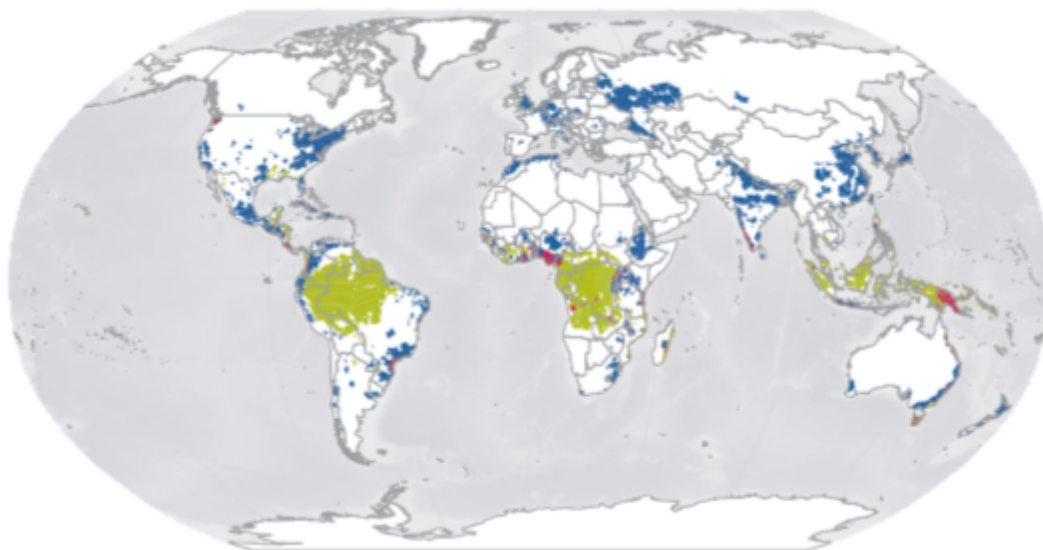


Figura 24. Áreas importantes del mundo para almacenamiento de carbono

Fuente: Larsen et al. 2011

Las categorías de la UICN para la gestión de áreas protegidas son:

- ✓ Ia Reserva natural estricta
- ✓ Ib Área silvestre
- ✓ II Parque nacional
- ✓ III Monumento natural
- ✓ IV Área de gestión de hábitat / especies
- ✓ V Paisaje terrestre / marino protegido
- ✓ VI Área protegida con uso sostenible de los recursos naturales

A continuación mostramos la extensión total de las áreas protegidas designadas nacionalmente en cada una de las categorías de gestión de la UICN, 1950–1990 (intervalos de 10 años).

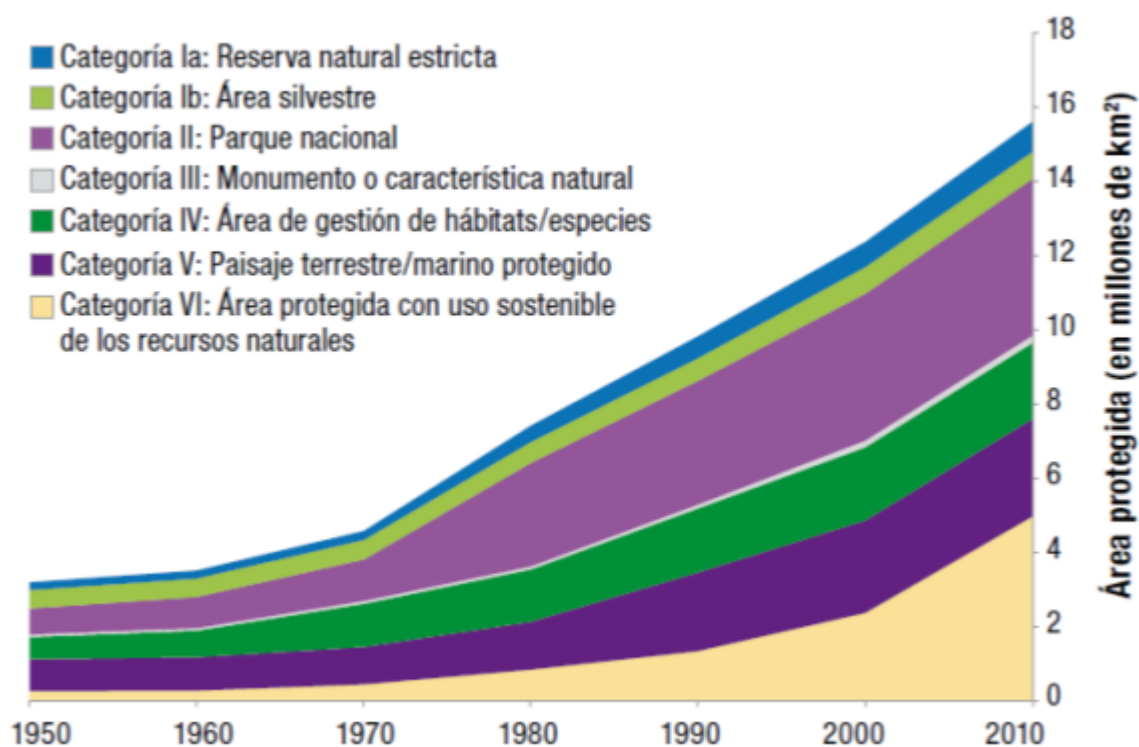


Figura 25. Extensión total de áreas protegidas IUCN 2011

Las categorías de ley 1333 y SERNAP para la gestión de áreas protegidas son:

- ✓ Parque;
- ✓ Santuario;
- ✓ Monumento Natural;
- ✓ Reserva de Vida Silvestre;
- ✓ Área Natural de Manejo Integrado;
- ✓ Reserva Natural de Inmovilización

La nueva Constitución Política del Estado de 25 de enero del 2009, incluye en el artículo 385 la mención de las áreas protegidas, en los siguientes párrafos:

I. Las áreas protegidas constituyen un bien común y forman parte del patrimonio natural y cultural del país; cumplen funciones ambientales, culturales, sociales y económicas para el desarrollo sustentable.

II. Donde exista sobreposición de áreas protegidas y territorios indígena originario campesinos, la gestión compartida se realizará con sujeción a las normas y procedimientos propios de las naciones y pueblos indígena originaria campesinos, respetando el objeto de creación de estas áreas.

Las áreas protegidas aparte de ser patrimonio natural y cultural de nuestro estado plurinacional, son también áreas que protegen en función al éxito de su gestión compartida zonas de la degradación por efecto de actividades antrópicas, aunque eso no implica mejoras en su degradación natural según las características propias de cada área.

Se incrementaron sobretudo en la década de los 90.

Datos de entrada y Procedimiento

Como datos de entrada se contó con los mapas de áreas protegidas nacionales, departamentales y municipales del SERNAP 2011 que sirvieron de base para generar el mapa que se incluye en la línea base.

Resultado

Las áreas protegidas (incluye todas las categorías) representan un 18,51 % del país, aproximadamente 201.710 Km². En tierras secas las más extensas están ubicadas en el departamento de Santa Cruz.

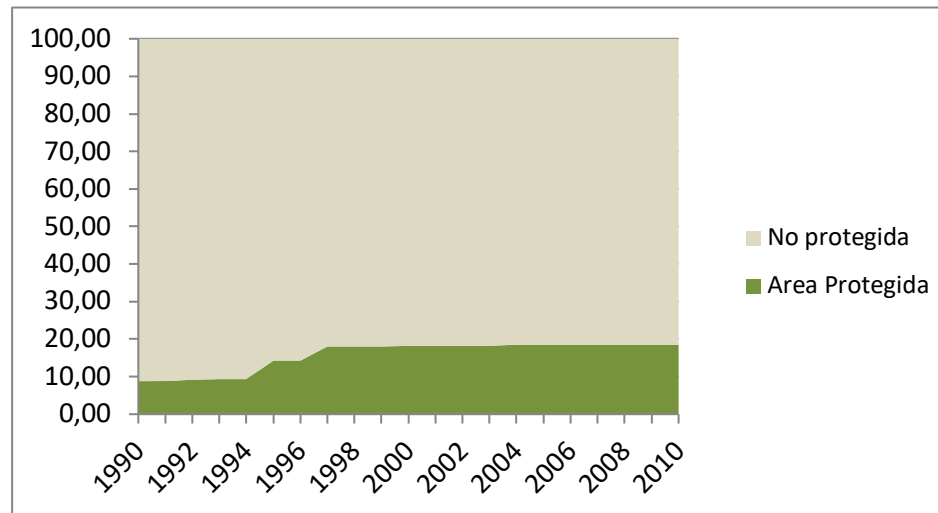
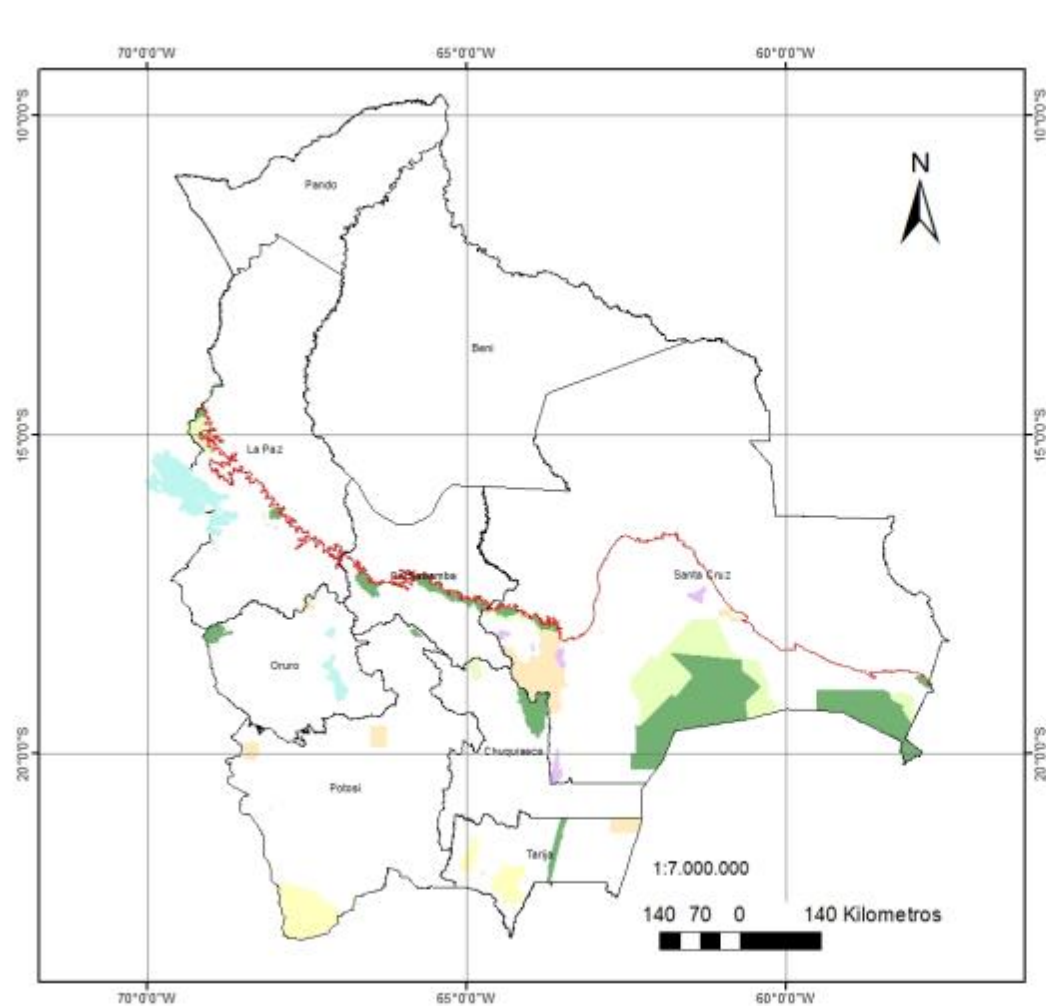


Figura 26. Crecimiento en porcentaje por año de las áreas protegidas de Bolivia

Cuadro 20. Crecimiento en porcentaje por año de las áreas protegidas de Bolivia

Bolivia	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2010
AP	8.76	8.88	9.25	9.31	9.31	14.34	14.34	17.99	17.99	17.99	18.16	18.16	18.17	18.26	18.51	18.51
No AP	91.24	91.12	90.75	90.69	90.69	85.66	85.66	82.01	82.01	82.01	81.84	81.84	81.83	81.74	81.49	81.49

Fuente: IUCN and UNEP-WCMC (2011) The World Database on Protected Areas (WDPA): January 2011. Cambridge, UK: UNEP-WCMC



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Leyenda Áreas Protegidas

- Cuerpos de Agua
- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Áreas Protegidas Municipales
- Áreas Protegidas Departamentales

Áreas Protegidas Nacionales según Categoría de Manejo

CATEGORIA

- Área Natural de Manejo Integrado Nacional
- Área Natural de Manejo Integrado
- Parque Nacional
- Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado
- Parque Nacional y Territorio Indígena
- Refugio de Vida Silvestre
- Reserva Biológica
- Reserva Nacional de Fauna Andina
- Reserva Nacional de Flora y Fauna
- Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica
- Reserva de la Biósfera
- Reserva de la Biósfera y Territorio Indígena

Fuente: Elaborado en base SERNAP 2011

3.4.2. 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.

Mientras que los mapas de estado de conservación actual y futura muestran el impacto de las actividades antrópicas que reduce el valor de conservación de una zona.

Se utilizó la base de datos geográfica elaborada por el estudio de GAP Análisis del SERNAP. El SERNAP en coordinación y apoyo de muchas instituciones realizó un análisis de viabilidad, funcionalidad y representatividad para generar el mapa de visión de conservación. El objetivo del estudio en ese caso fue identificar la existencia de vacíos de información y replantear si fuese necesario la protección de un área (existen áreas de alto valor de conservación fuera de áreas protegidas y existen áreas de bajo valor de conservación como protegidas).

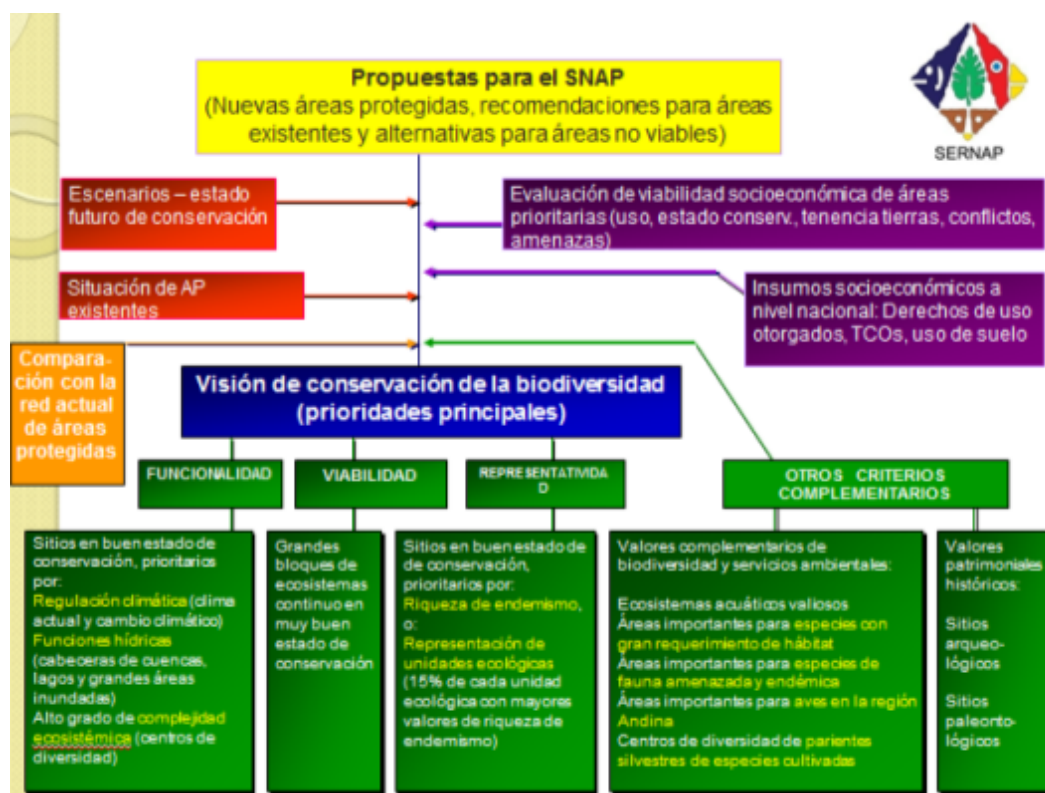


Figura 27. Esquema del proceso de identificación de vacíos de conservación

Los aspectos de viabilidad que se tuvieron en cuenta en ese estudio fueron:

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

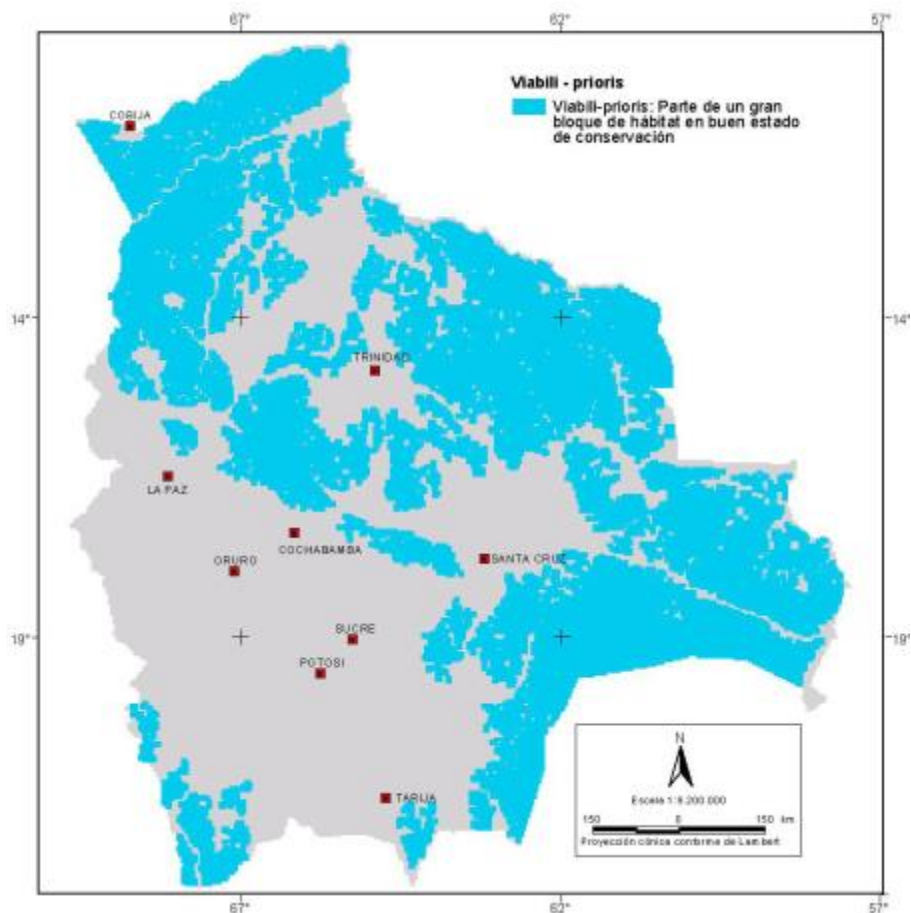


Figura 28. Mapa de áreas de prioridad por su viabilidad

Los aspectos de funcionalidad que el SERNAP tomo en cuenta para identificar sitios/ecosistemas en buen estado de conservación fueron áreas priorizadas por:

- ✓ 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 (se priorizaron áreas de alta diversidad de especies).
- ✓ Áreas importantes para procesos hídricos (incluyen cabeceras de cuencas, grandes extensiones de terreno inundable y lagos).

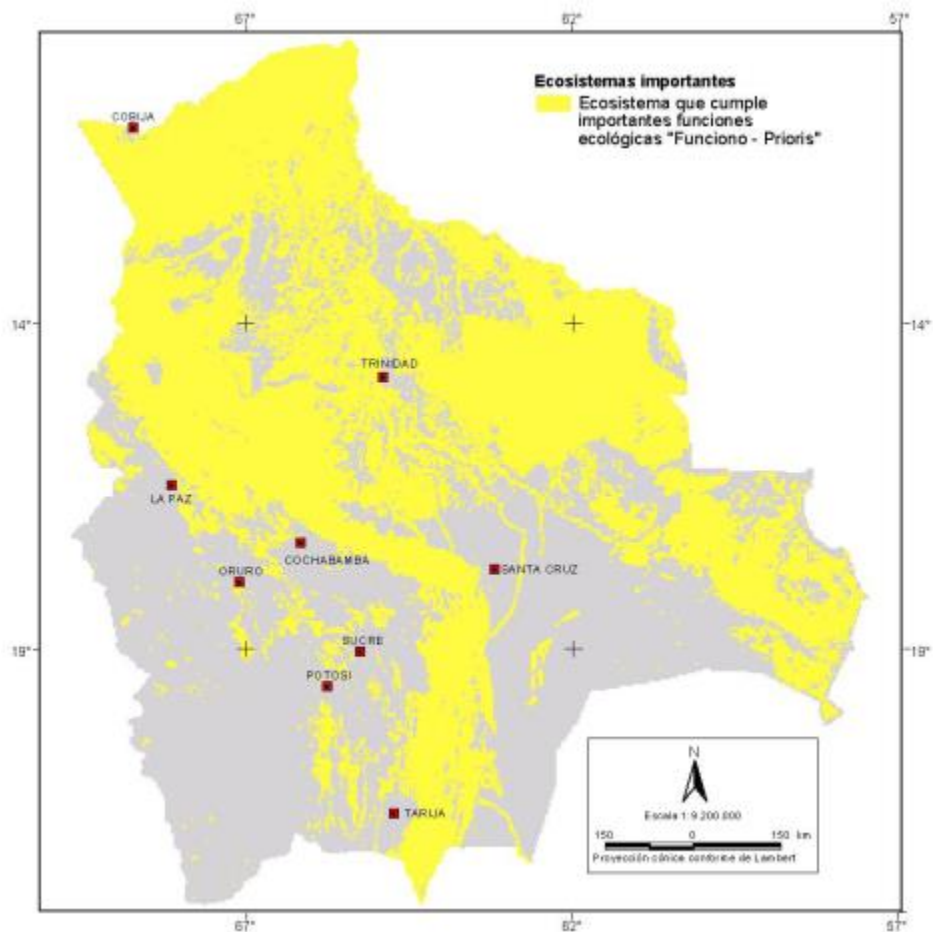


Figura 29. Mapa de áreas de prioridad por su rol en funciones ecológicas

Los aspectos representatividad que consideraron son sitios en buen estado de conservación priorizados por:

- ✓ Alta riqueza de endemismo.
- ✓ Representación de unidades ecológicas (15% de cada unidad ecológica con mayores valores de riqueza de endemismo).

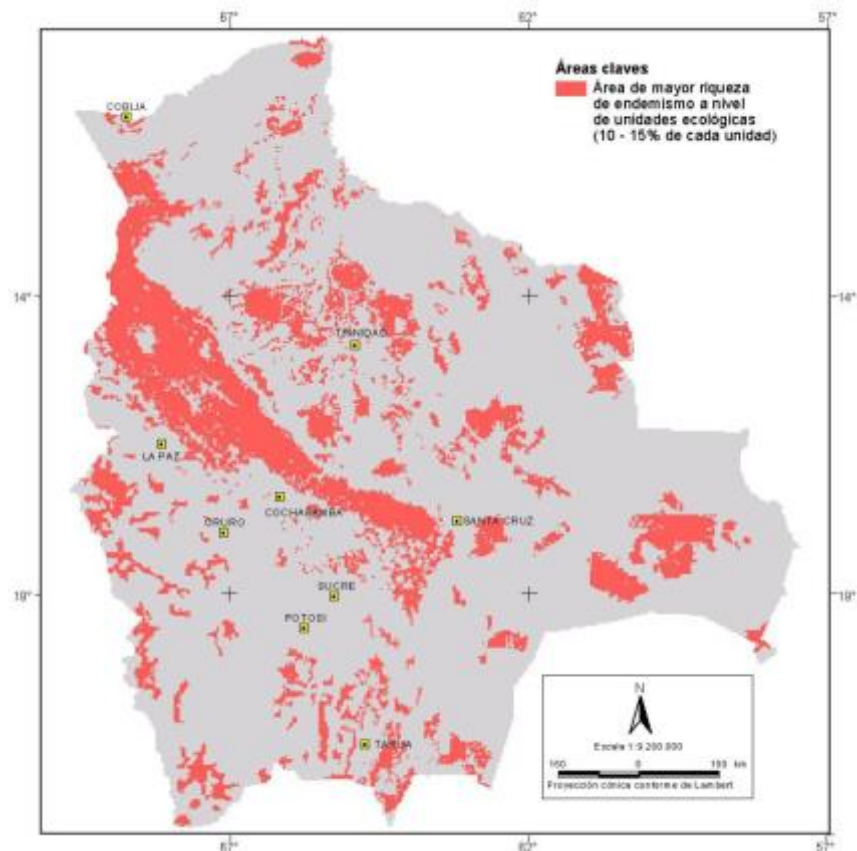
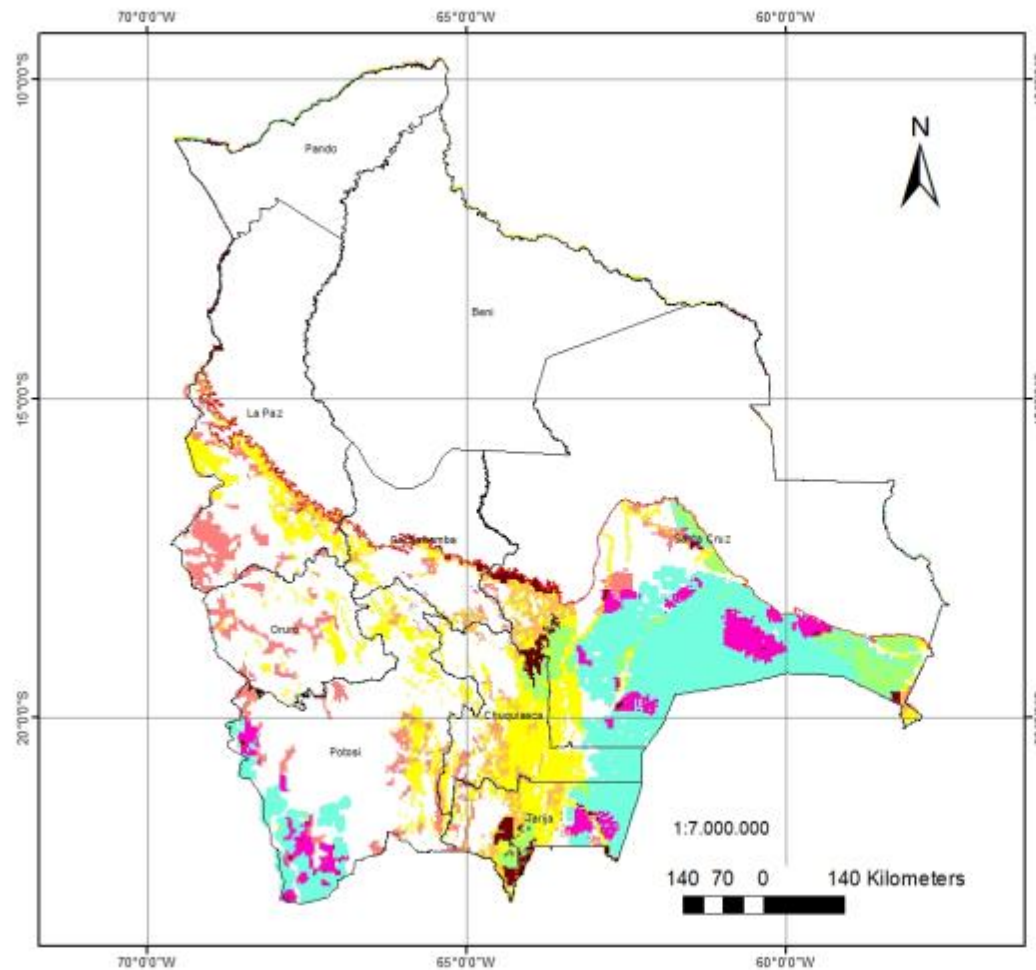


Figura 30. Mapa de áreas de prioridad por su representatividad

Visión de conservación: Las áreas más extensas se encuentran en Santa Cruz coincidiendo con las áreas protegidas y sus zonas de influencia. 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: el análisis muestra el estado de conservación de los ecosistemas de Bolivia en las tierras secas, en base de 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.

Estado de conservación futura-escenarios: el análisis indica las zonas de mayor riesgo de perturbación en el futuro, para ello se utilizaron indicadores como: crecimiento poblacional proyectado al 2010, proyección de mejora de vías de acceso y proyectos viales nuevos, proyección de desarrollo agropecuario.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Visión de Conservación

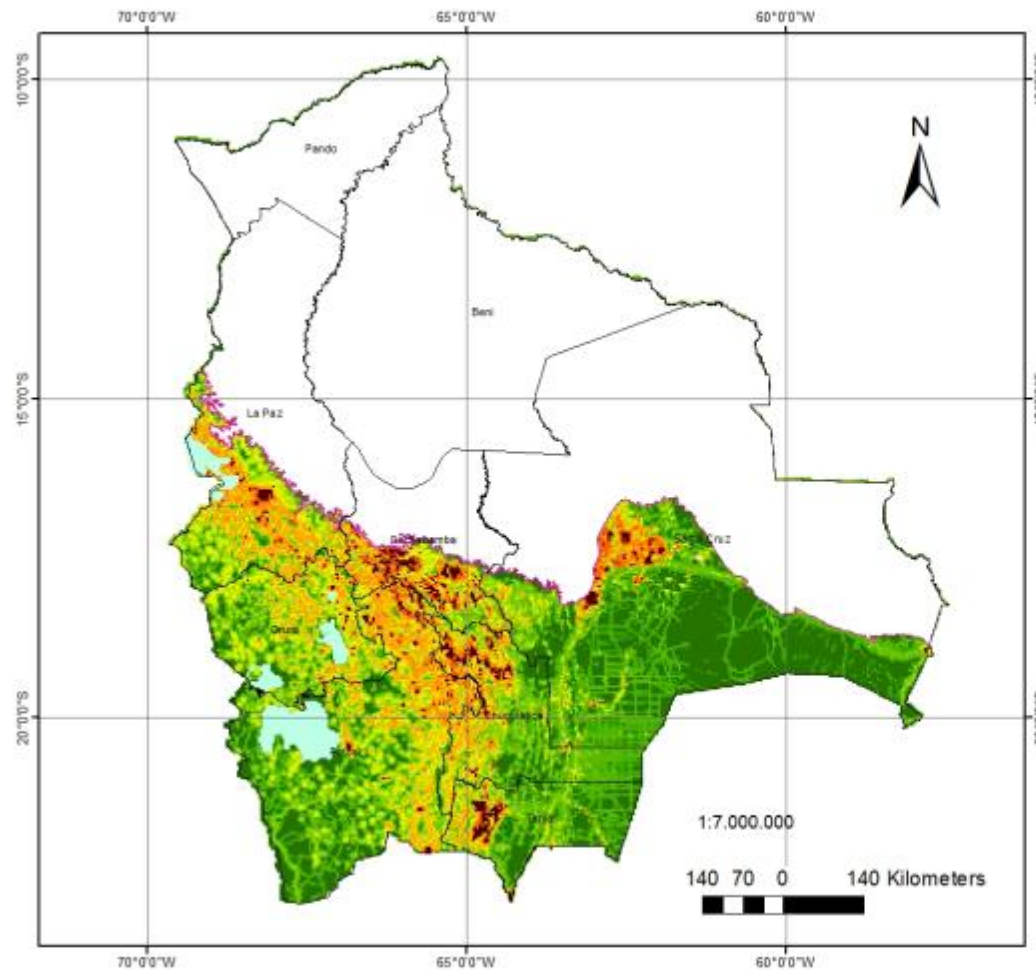
Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas

Visión de Conservación

- Viable - Prioris
- Funciono - Prioris
- Represento - Prioris
- Funciono - y Viable - Prioris
- Funciono - y Represento - Prioris
- Represento - y Viable - Prioris
- Prioridad - clave (Represento - , Funciono - y Viable - Prioris)

Fuente: Elaborado por SERNAP 2011, SERNAP 2006



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Estado Actual de Conservación

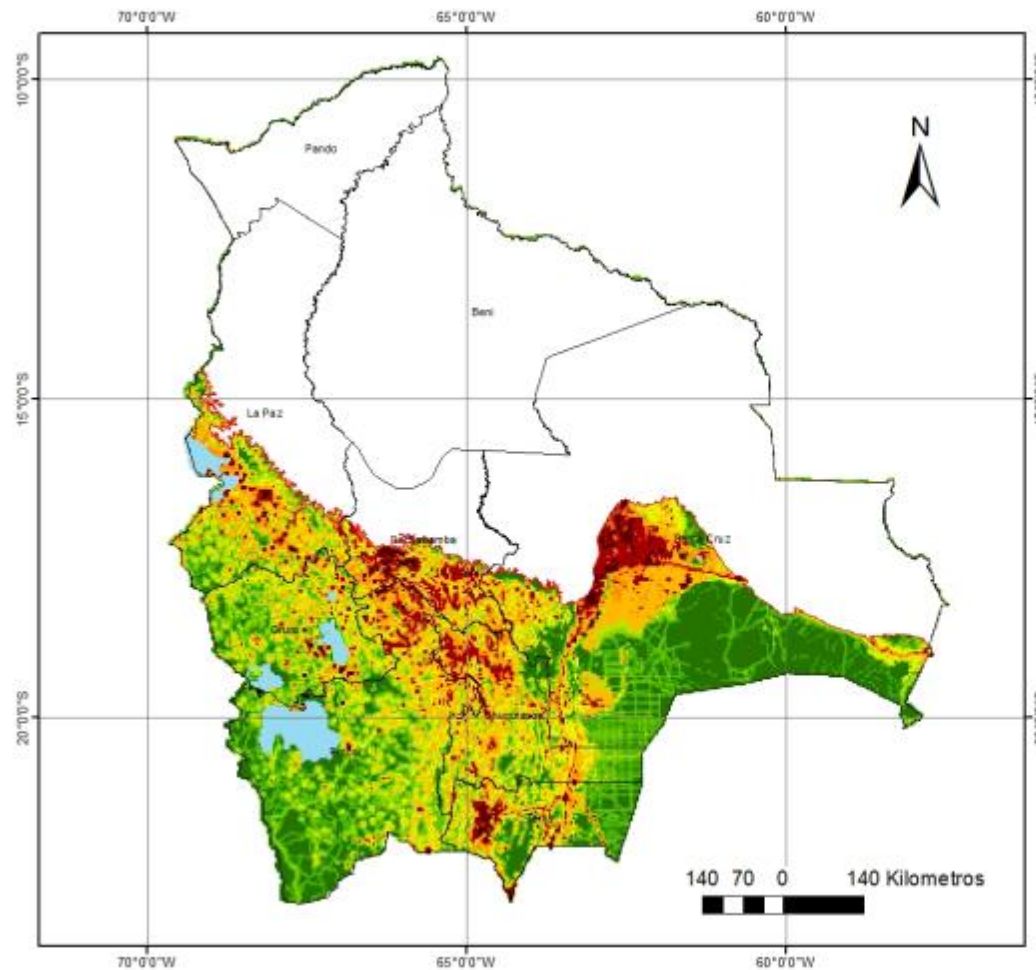
Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas

Estado de Conservación Actual

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- Lagos y salares

Fuente: Elaborado en base SERNAP 2011, SERNAP 2006



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Indicador: Estado de Conservación a Futuro

Leyenda

- Límite departamental
- Límite de Tierras Secas

Estado de Conservación Futuro

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- Lagos y salares

Fuente: Elaborado en base SERNAP 2011, SERNAP 2006

SÍNTESIS: INDICADORES DE LAS RESPUESTAS A LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS

En las tierras secas de Bolivia el estudio de los indicadores de las respuestas a la Degradación de Tierras muestran que:

- ✓ Las áreas protegidas aparte de ser patrimonio natural y cultural de nuestro estado plurinacional, son también áreas que protegen, en función al éxito de su gestión compartida, zonas de la degradación por efecto de actividades antrópicas, aunque eso no implica mejoras en su degradación natural según las características propias de cada área. Representan un 18,51 % del país, aproximadamente 201.710 Km². En tierras secas las más extensas están ubicadas en el departamento de Santa Cruz.
- ✓ Visión de conservación: Las áreas más extensas se encuentran en Santa Cruz coincidiendo con las áreas protegidas y sus zonas de influencia. Según el análisis del SERNAP las áreas que tendrían prioridad para ser protegida, además de las existentes.
- ✓ Estado de conservación actual: el análisis muestra el estado de conservación de los ecosistemas de Bolivia en las tierras secas, en base de 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 áreas adyacentes a las vías y asentamientos urbanos y rurales.
- ✓ Estado de conservación futura-escenarios: el análisis indica las zonas de mayor riesgo de perturbación en el futuro, para ello se utilizaron indicadores como: crecimiento poblacional proyectado al 2010, proyección de mejora de vías de acceso y proyectos viales nuevos, proyección de desarrollo agropecuario, estos datos deben considerarse para priorizar áreas para mitigar y disminuir la presión de las actividades antrópicas e implementar medidas de conservación, pero compatibilizando con las actividades de subsistencia de las comunidades locales, a fin de mejorar su calidad de vida.

3.5. OTROS INDICADORES

En el enfoque LADA se contemplan otros indicadores de impacto en función a la disponibilidad de datos e información de cada país. Por lo que para el nivel nacional – regional los indicadores seleccionados para esta línea base de indicadores de degradación de tierras son la mortalidad infantil y un indicador proxy de servicios ambientales. 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. A otras escalas es necesario que cuando se establezca el sistema de monitoreo de degradación de tierras se incluyan otros indicadores a nivel local (departamentos y municipios) para evaluar el impacto de la degradación de las tierras a lo largo del tiempo.

3.5.1. MORTALIDAD INFANTIL

Definición: 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.

Datos de entrada y procedimiento

El mapa que se presenta con los valores de mortalidad procede del INE 2001, ya que todavía no se dispone de un mapa para este indicador actual.

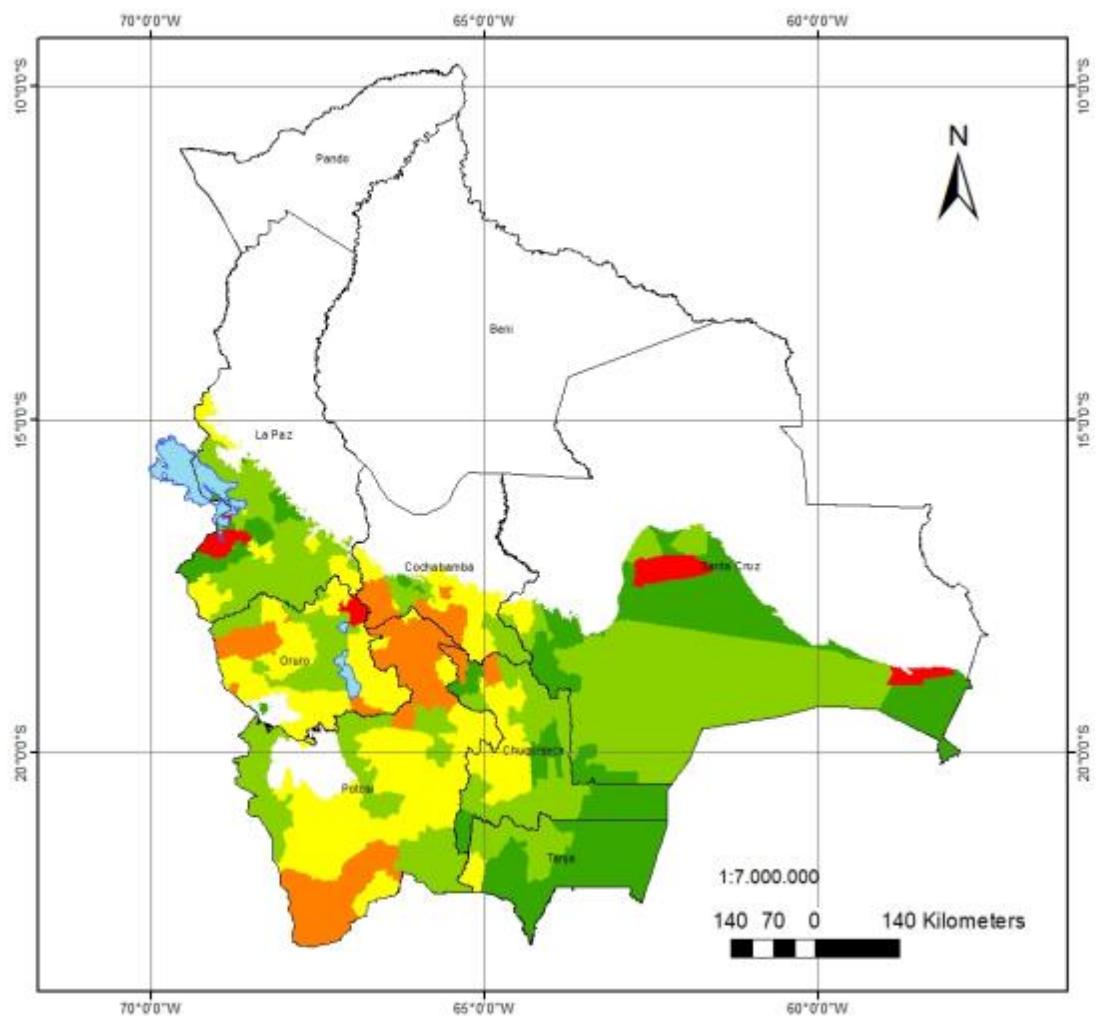
Resultado

El mapa compilado muestra que los municipios con mayor mortalidad infantil están en La Paz, Oruro y Santa Cruz en municipios predominantemente rurales.

“El Informe Latinoamericano sobre Pobreza y Desigualdad 2013, del Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, destaca la disminución de la tasa de mortalidad infantil en Bolivia. Ese indicador pasó de un promedio simple municipal de 76 a 50 defunciones de niños menores de un año por cada mil nacidos vivos en todos los municipios de Bolivia entre 2001 y 2011”(Opinión, 2014; Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2013). El informe destaca las medidas estatales de lucha para disminuir la pobreza y la mortalidad infantil (ver figura 31)

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 tiene 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 los Departamentos de Tarija y Santa Cruz algunos tienen una evolución negativa, ya que aumento la mortalidad infantil (ver figura 31).

.



Leyenda

 Límite departamental
 Lagos

Tasa de Mortalidad Infantil (Por Mil NacidosVivo 2001)

TMI01

	0 - 61
	62 - 83
	84 - 107
	109 - 170
	> 170

Fuente: Elaborado en base INE 2005

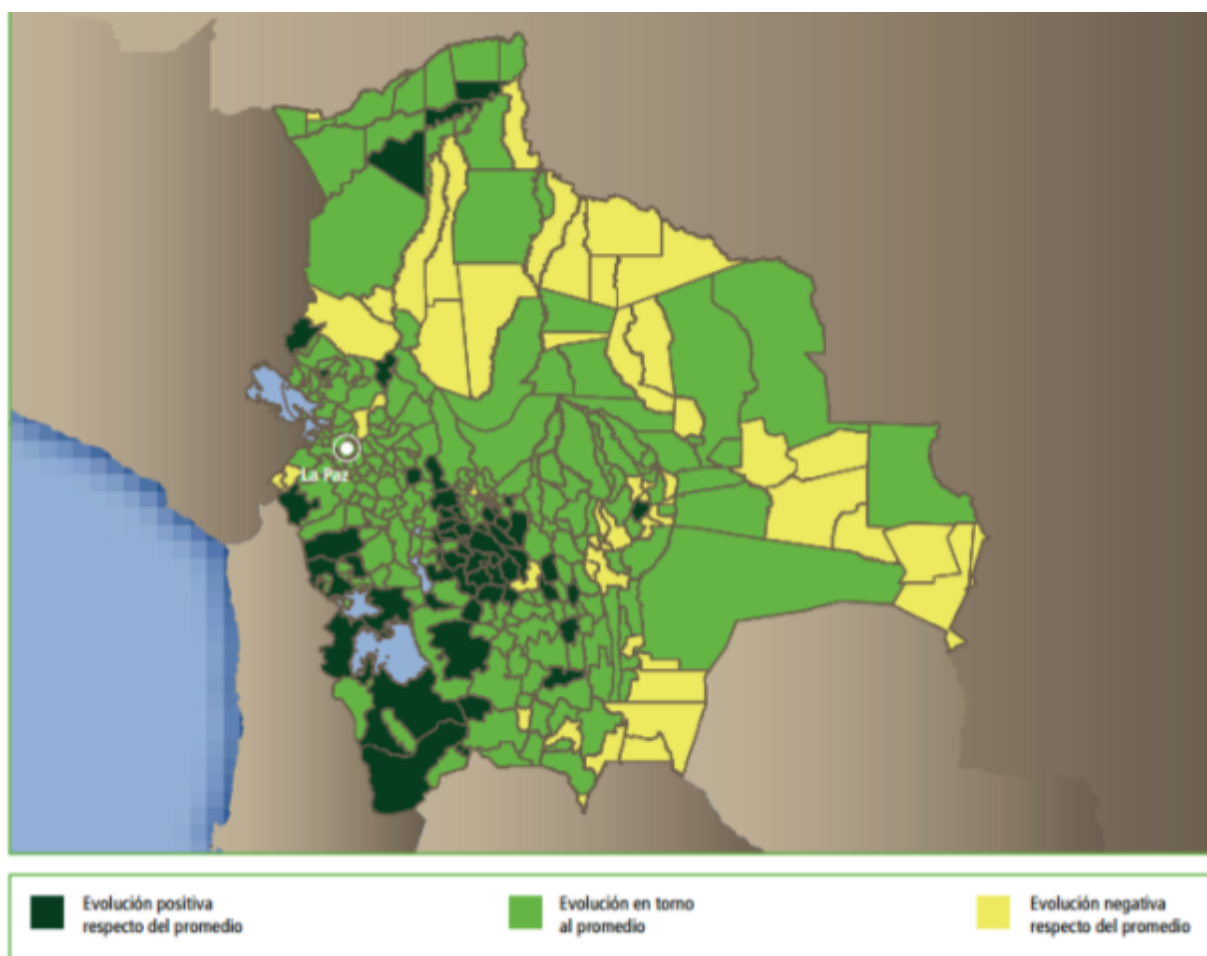


Figura 31. Evolución de tasa de mortalidad infantil 2001-2011 a nivel municipal

Fuente: Informe Latinoamericano sobre Pobreza y Desigualdad

(Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural 2013)

3.5.2. INDICADOR PROXY DE SERVICIOS AMBIENTALES

El dióxido de carbono (CO₂) es la principal causa del calentamiento global y el nivel de CO₂ en la atmósfera de la Tierra está aumentando debido a las actividades humanas. Es importante llevar a cabo diferentes acciones para poder 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.

Para elaborar el Mapa de proxy de servicios ambientales, almacenamiento de CO₂, Se utilizó la información del mapa global de biomasa generada por Baccini et al 2012. Esta mapa esta generado con productos ópticos y sensores radar la resolución espacial es de 500m. Para extraer información de la cantidad de biomasa se construyó una tabla que resumen los valores máximos, mínimos y rangos de Toneladas por hectárea. El objetivo de utilizar esta información es de por poner áreas potenciales de almacenamiento de CO₂ uno de los principales gases de efecto invernadero. Por lo tanto utilizarlo como un proxy de servicios ambientales de secuestro de CO₂¹⁸. Se presenta el mapa de cantidad de biomasa por hectáreas para las tierras secas de Bolivia (Mapa 1). 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) (Ver cuadro 21y mapa 60).

Cuadro 21. Cantidad de Biomasa promedio por departamento, dentro de los límites de tierras secas de Bolivia, expresadas en Toneladas por hectárea.

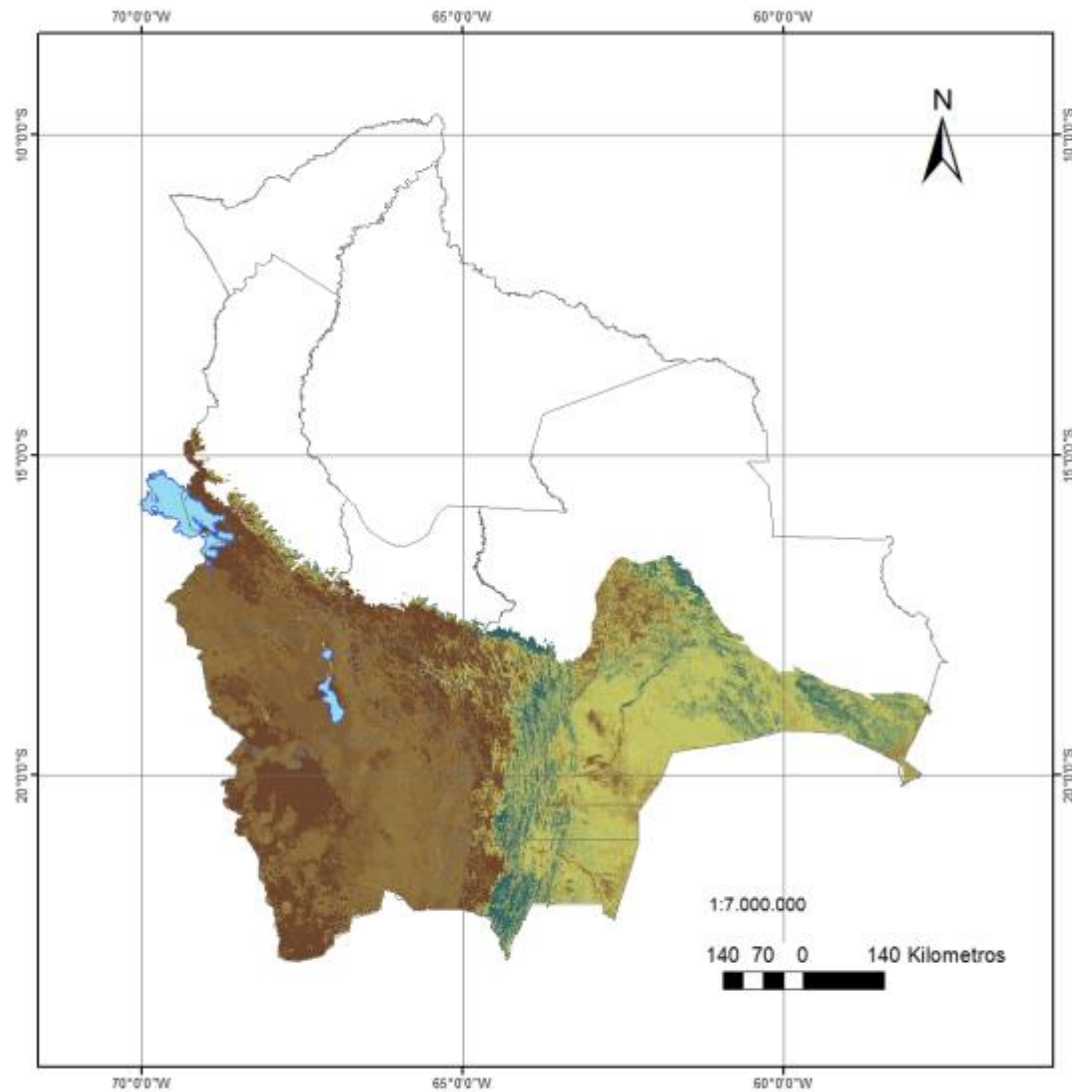
Departamento	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv. Estándar	Sumatoria
Chuquisaca	0	361	361	90	72	21318200
Cochabamba	0	371	371	37	64	4955570
Santa Cruz	0	366	366	147	63	142262000
Tarija	0	352	352	115	76	19827600
Potosí	0	230	230	28	21	15349200
Oruro	0	236	236	29	17	7043980
La Paz	0	367	367	38	55	9420370

Fuente: Elaboración Propia

Los Bosques como sumideros de CO₂ a través de la Fijación de carbono por la fotosíntesis (incremento de biomasa) en sus tejidos permiten aproximarse a zonas potenciales donde este proceso aporte al ecosistema. A pesar del reconocimiento del potencial que poseen tanto los bosques como los sistemas agroforestales para almacenar carbono, aún falta información del potencial de secuestro de carbono en suelo y en la biomasa arbórea.

Para cálculos de aporte o análisis multicriterio, se recomienda utilizar el mapa con valores continuos y no agruparlos en clases.

¹⁸ Este producto se puede está disponible en: http://www.whrc.org/mapping/pantropical/carbon_dataset.html.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

**Indicador Proxy de Servicios Ambientales
 Almacenamiento de CO₂**

Biomasa Tn / ha



Prácticas de Manejo Sustentable de Tierras

WOCAT



4. PRÁCTICAS DE MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS IDENTIFICADAS Y CARACTERIZADAS EN FORMATO WOCAT

Entre los resultados del proyecto, de acuerdo al enfoque LADA se incluyó un mapa de prácticas de manejo sostenible de tierras identificadas y caracterizadas en formato WOCAT.

Procedimiento

Como primer paso se han elaborado fichas WOCAT de las prácticas de manejo sustentable identificadas y también otras existentes en el país como base de conocimiento de prácticas de tierras secas.

Debido a que no existía información puntual completa de proyectos de las fichas WOCAT, en base a la información obtenida de la evaluación participativa de la conservación de la tierra, realizada en los talleres a través del conocimiento experto de los participantes de los diferentes departamentos, así como el conocimiento experto del personal de CISTEL, se ha elaborado un mapa de prácticas de manejo sustentable más importantes que se aplican para cada unidad y zona.

El mapa de prácticas de manejo sustentable de la tierra (SLM acrónimo del inglés Sustainable Land Management) utilizando el formato WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies, es una sinapsis mundial de las tecnologías y enfoques de conservación. Por tanto para su elaboración específicamente se ha utilizado la información que se recolectó en los talleres a través del cuestionario de identificación de prácticas de manejo sustentable (paso 4 del cuestionario de evaluación participativa).

Sistematización de fichas WOCAT

Una vez definida el área de estudio se procedió a aplicar la sistematización de las fichas compiladas y procedentes de la recolección de información de diferente zonas del país (Chaco, Puna y Valles).

Se obtuvo el formato WOCAT de la base de datos de la página <https://www.wocat.net/en/knowledge-base/technologiesapproaches/database.html> y se elaboraron 33 fichas y se compilaron 9 fichas de la base de datos existente en la publicación WOCAT 2011: Donde la tierra es más verde – estudios de caso y análisis de iniciativas de conservación de tierras y aguas en todo el mundo. Editores: Hanspeter Liniger y William Critchley.

Formato WOCAT

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:

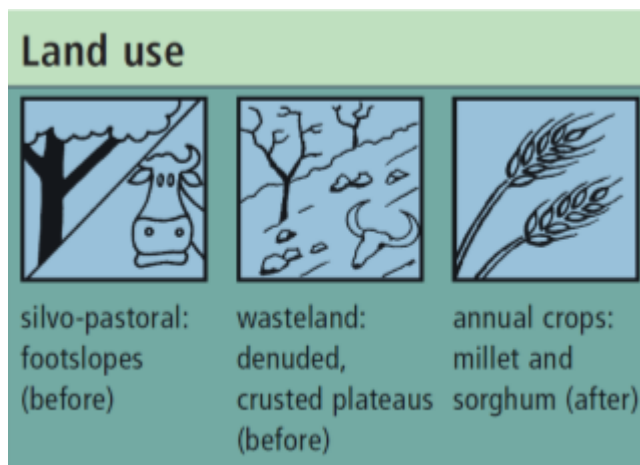


Figura 32. Leyenda y representación gráfica de Uso de la Tierra



Figura 33. Leyenda y representación gráfica de Clima

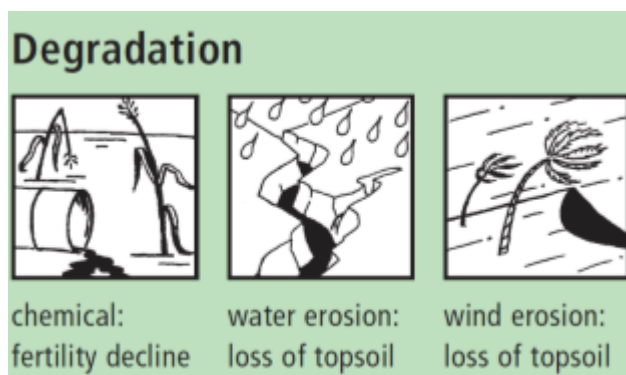


Figura 34. Leyenda y representación gráfica de degradación de las tierras

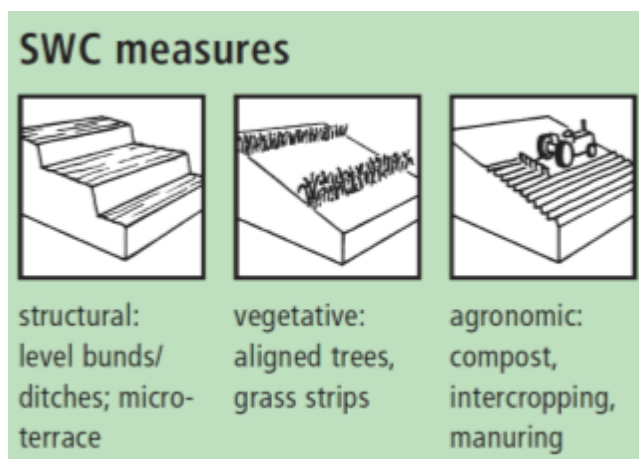


Figura 35. Leyenda y representación gráfica de medidas de conservación

Para las demás características se tienen rangos por ejemplo para altitud, tipo de pendiente, etc. Esto permite caracterizar lo mejor posible cada una de las prácticas sistematizada.

Fichas

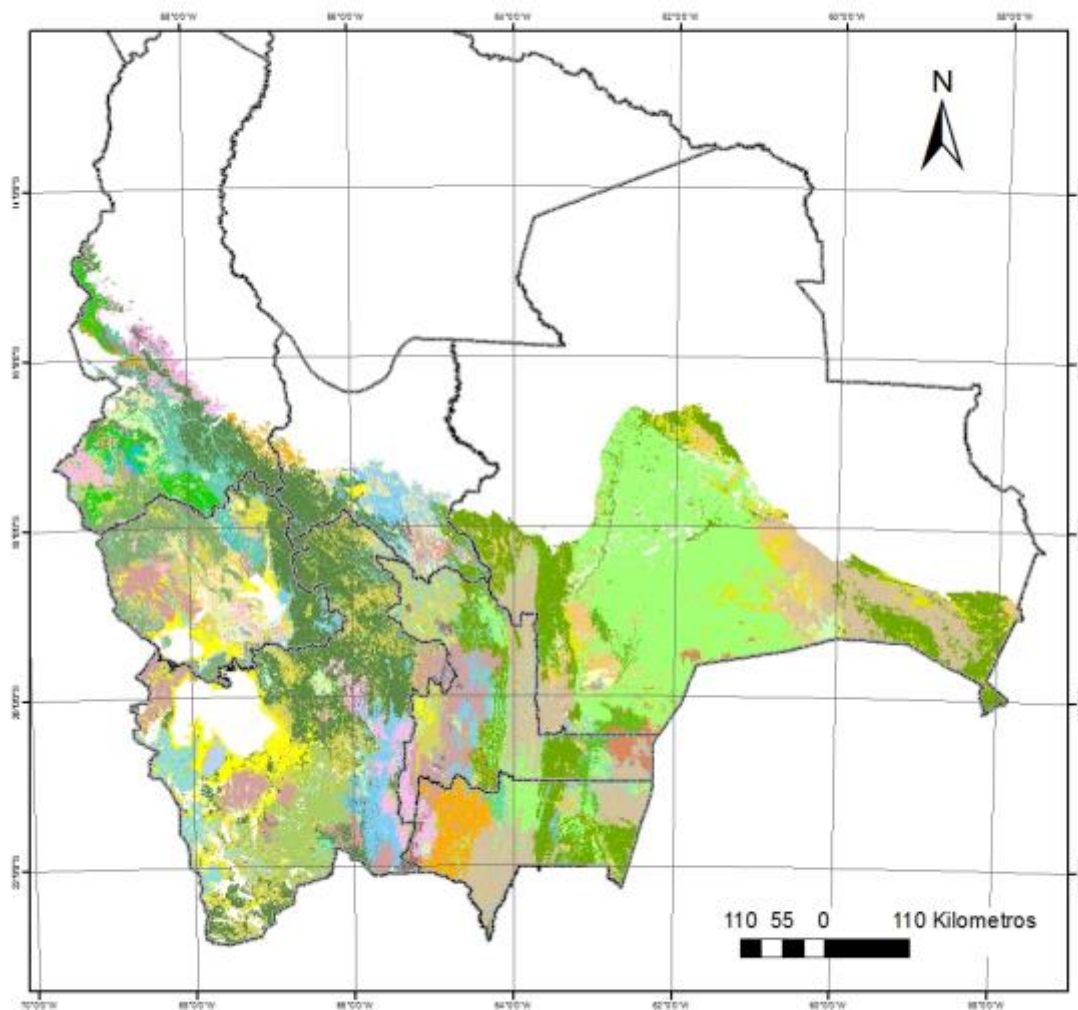
Se ha obtenido 42 cartillas de diferentes zonas del país (Chaco, Puna y Valles), con los diferentes casos de Estudio (Compost, Fajas Vegetativas Cobertura, Agroforestería, Captura de Agua, Rehabilitación de Cárcavas, Terrazas y otras tecnologías)

Las prácticas más importantes que se aplican en tierras secas de Bolivia por tanto son:

- ✓ Aljibes
- ✓ Atajados
- ✓ Cocinas Lorena
- ✓ Ensilaje
- ✓ Filtro bioarena
- ✓ Gestión de Recursos naturales
- ✓ Henificación manejo de monte diferido
- ✓ Método biointensivo
- ✓ Recuperación de peladares
- ✓ Sistema silvopastoril para producción
- ✓ Terrazas de formación lenta.
- ✓ Abono orgánico
- ✓ Abono verde
- ✓ Atajados
- ✓ Barreras muertas (piedra)
- ✓ Barreras vivas
- ✓ Compostación en ecosistema
- ✓ 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 pasturas
- ✓ Mejoramiento de praderas nativas
- ✓ Practicas Agroforestales (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
- ✓ Elaboración de compost mejorado Bocashi

Teniendo en cuenta lo anterior el siguiente mapa resume las prácticas de manejo más representativas de cada zona en base a los resultados de los talleres participativos:



Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradacion de Tierras Secas de Bolivia

Fichas WOCAT

Leyenda

ID		
12	Adono orgánico	Destin de Recursos naturales
	Adono verde	Handicapa
	Ajibee	Manejo de monte diérido
	Atajéee	Mejoramiento de pasturas
	Sareras nuevas (piedra)	Mejoramiento de praderas nativas
	Sareras vieas	Método biotecnológico
	Coomaa Lorene	Prácticas Agroforestales (Cortinas Rompevientos)
	Compostación en ecosistema	Recuperación de Sotobosques
	Construcción de Cortes (Jaka Qota) Tipo Terraplénado	Recuperación de pedaneros
	Construcción de espesor artesanal	Recuperación de suelos salinos (Q'aucho)
	Construcción y restauración de Tazanas (Terrazas Agrícolas)	Sistema silvopastoril para producción
	Detectar de agua subterránea "una anpaia"	Tarrazas Agrícolas
	Diques de piedra para el control de aluvios	Tarrazas de formación lenta
	Elaboración de compost mejorado Bioachi	Tarrazas de formación lenta (Agrícolas)
	Enalaje	Transformación y conservación de forrajes
	Fibre biotecnológica	Zanjas de conseración
		Zanjas de infiltración para el manejo de praderas

Fuente: Elaborado en base a fichas WOCAT





Degradación de Tierras



5. TIPOS DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS

Según la UNCCD, la degradación de la tierras es un proceso que se define como la “disminución o pérdida de capacidad productiva biológica o económica de la tierra causada por actividades humanas, y agravada por procesos naturales, y frecuentemente magnificada por los impactos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad”; Es decir que puede darse en zonas húmedas y secas.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante señalar que para la UNCCD, la desertificación se entiende como “la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultado de variaciones climáticas y actividades humanas”. El término desertificación aclara la UNCCD, da la falsa impresión de una imagen de desiertos que avanzan. Mientras que un desierto es un ecosistema, en particular, las áreas de desertificadas no lo son: son ecosistemas alterados. Desertificación por tanto significa “la degradación de la tierra: pérdida de la fertilidad y de la estructura del suelo, y también la pérdida de la biodiversidad, en áreas susceptibles a sequías” (UNCCD 2012).

Procedimiento

Se han elaborado bases de datos y mapas para cada una de estas variables de degradación de tierras y constituyen los resultados de la evaluación participativa de degradación de las tierras tal como los participantes de los talleres proporcionaron la información y datos. Posteriormente se ha procesado esa información para obtener mapas de tipos de degradación de las tierras secas de Bolivia.

Resultados

Los resultados muestran que existen diversos tipos de degradación de tierras en cada zona, los más importantes sistematizados en el primer mapa muestran que: Un 38 % de las tierras secas presentan problemas de erosión superficial. Un 15 % pérdida de las capas superiores del suelo, un 11 % la pérdida superficial se debe a variaciones en la cobertura vegetal. Un 8 % además de estos problemas presenta cambios en la cantidad de agua de la superficie. Un 7 % tiene problemas en la disminución de la fertilidad y reducción en el contenido de materia orgánica. El resto presenta problemas puntuales de acuerdo a características específicas de cada zona y suman el 21 % restante.

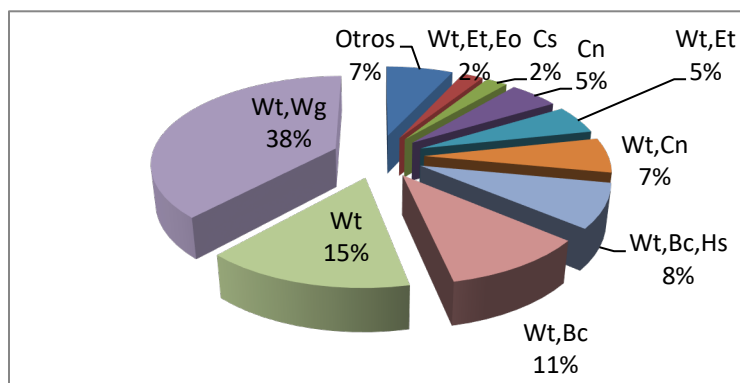
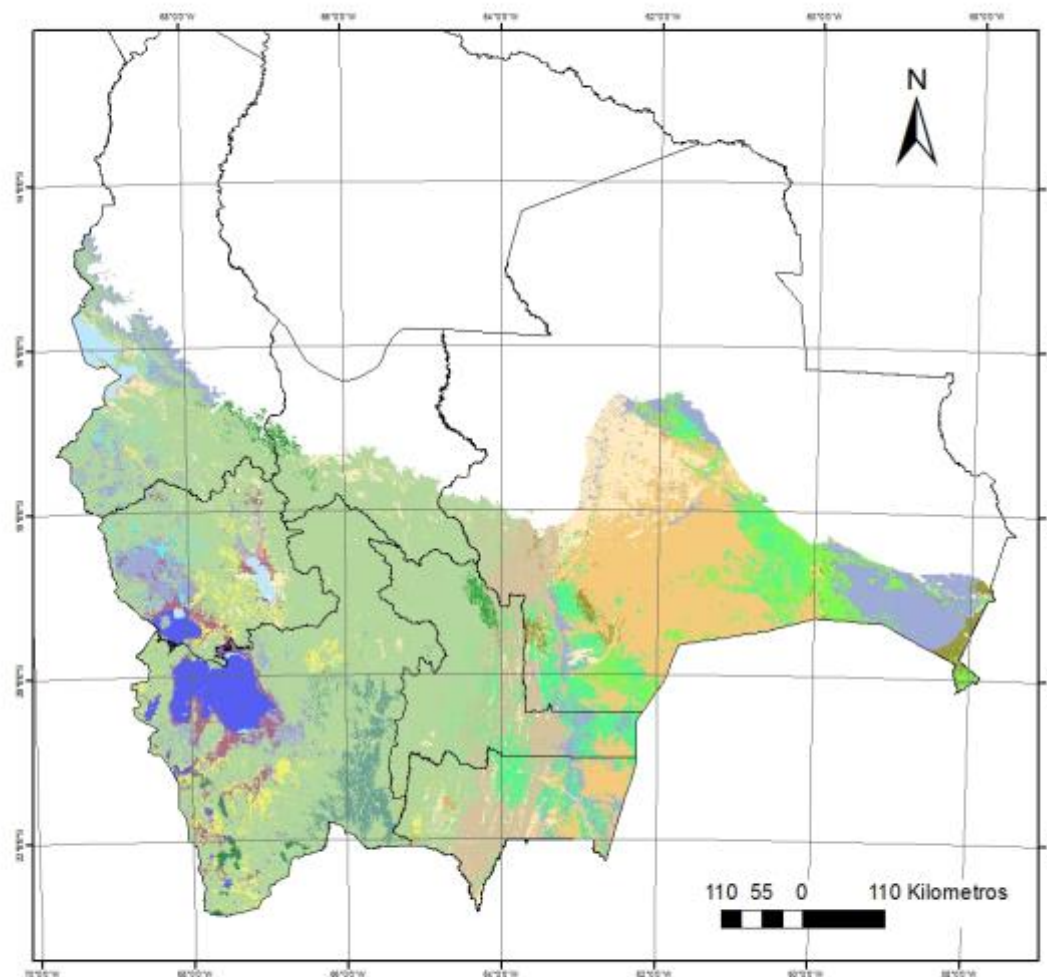


Figura 36. Distribución porcentual de los principales tipos de degradación identificados LADA

Fuente: Elaborado en base a mapa de tipos principales de degradación de tierras según conocimiento experto.



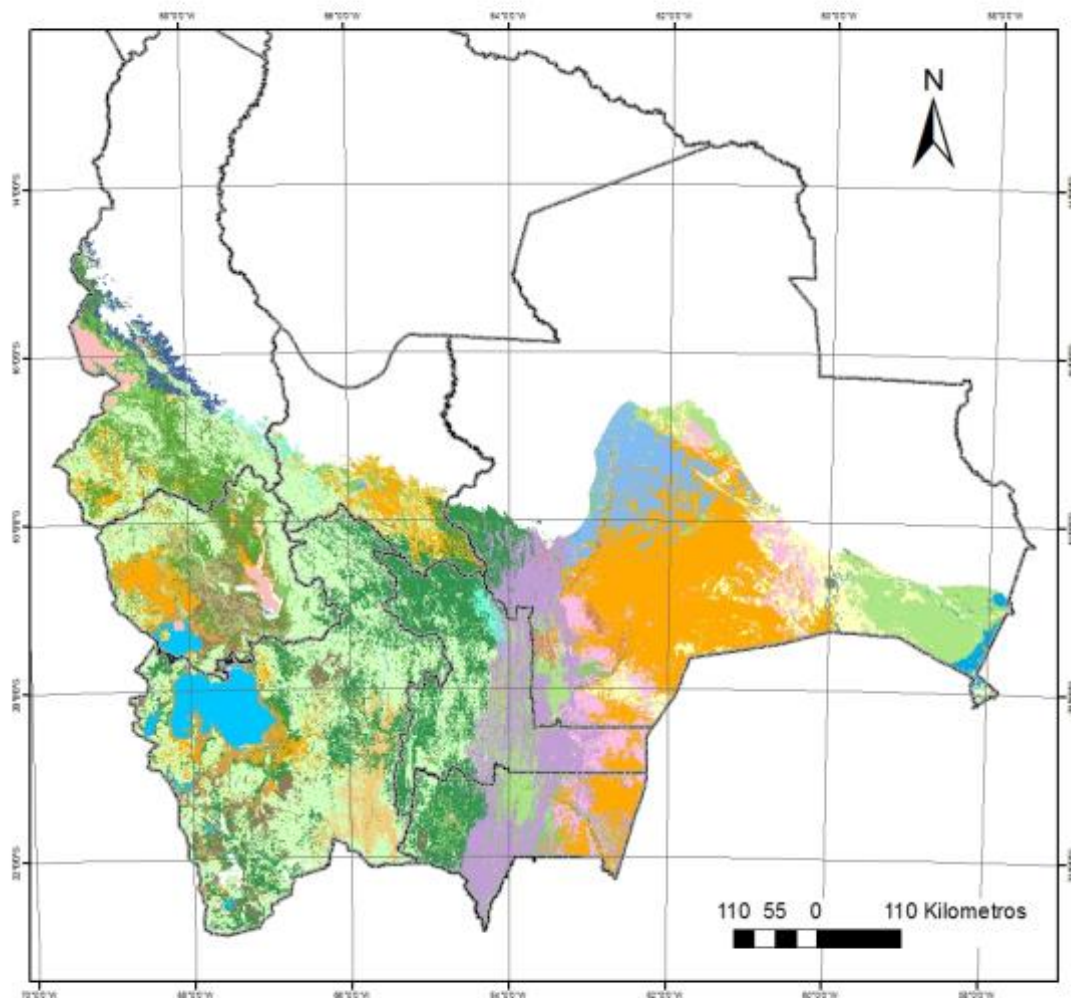
Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Tipos de degradación de la tierra (Principales)

W: Erosión hídrica
Wt: Pérdida de las capas superiores del suelo / erosión de la superficie
Wg: Erosión por cárcavas / barrancos
Wm: Movimientos de masas/desprendimientos/derrumbes
E: Erosión eólica
Et: Pérdida de las capas superiores del suelo
Eo: Efectos de la degradación fuera del sitio
C: Deterioro químico del suelo
Cn: Disminución de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica
Cp: Contaminación del suelo
Cs: Salinización / alcalinización
Ps: Hundimiento de los suelos orgánicos, decantación de los suelos
Pu: Pérdida de las funciones bio-productivas debido a otras actividades
H: Degradación del agua
Hs: Cambio en la cantidad de las superficies de agua
Hp: Reducción de la calidad superficial del agua
Hw: Reducción de la capacidad de captación/retención de los humedales
B: Degradación biológica
Bc: Variación de la cobertura vegetal
Bs: Calidad y composición de las especies / disminución de la diversidad
Bl: Pérdida de la vida en el suelo

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013





Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

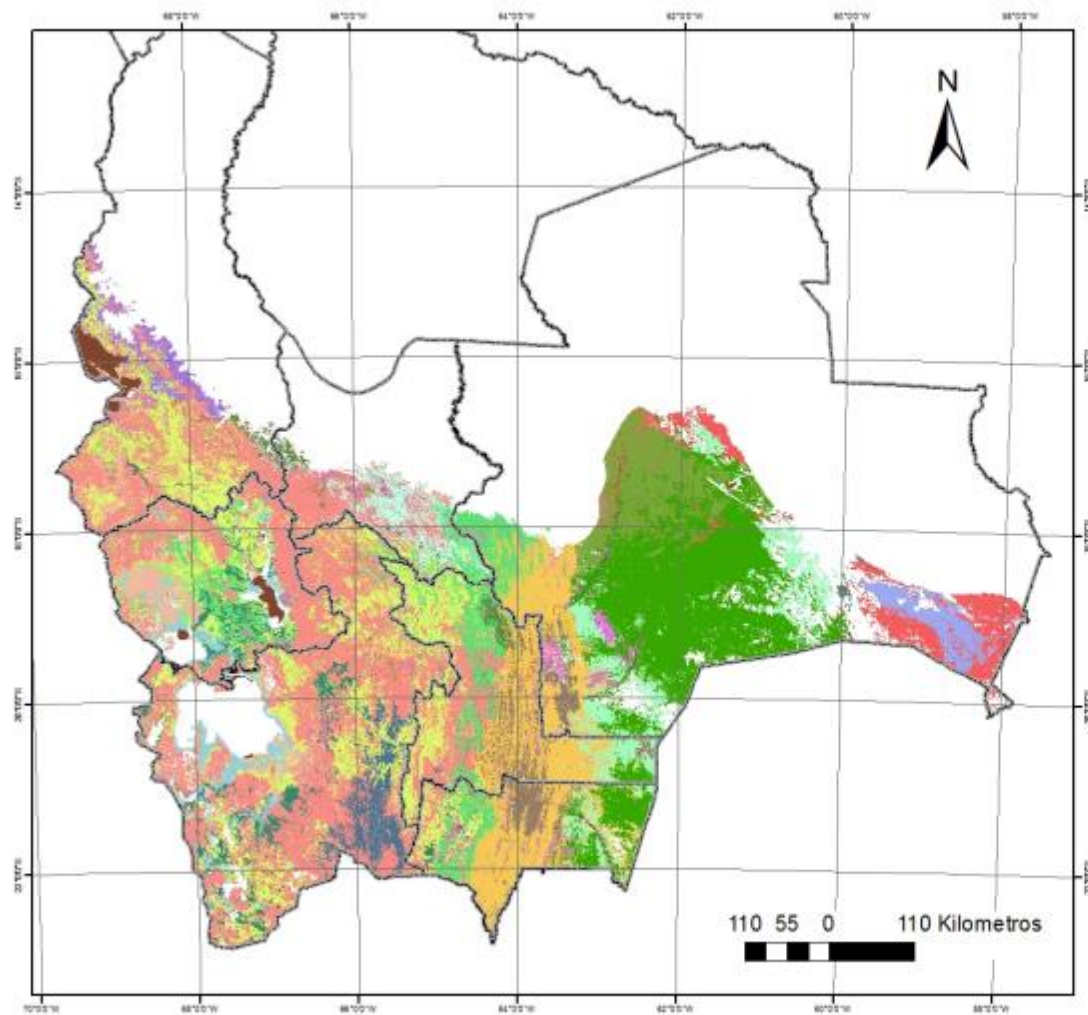
Tipos de degradación de la tierra (Secundarios)

Legenda

B	Cn,Bf	Cs	Ha,BI
Bc	Cn,Cp,Pw	Et	Hp
Bh	Cn,Et,Hq	Et,Ca,Cp	Ha,Hw,B
Bs	Cn,Hw	Et,Cn	Hw
Bs,Bh	Cn,Pu,Cs	Et,Eo,Cs	Pu,B
C,P	Cp	Et,Hs,Hp	Wg
Ca,Hg	Cp,Cs,Bc	Et,Pc	Wm
Cn	Cp,Cs,Hw	Ha	

Wg: Erosión por cárcavas / barrancos
Wm: Movimientos de masas / desprendimientos / derrumbes
Et: Pérdida de las capas superiores del suelo
Eo: Efectos de la degradación fuera del sitio
C: Deterioro químico del suelo
Cn: Disminución de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica
Ca: Acidificación
Cp: Contaminación del suelo
Cs: Salinización / alcalinización
P: Deterioro físico del suelo
Pu: Pérdida de las funciones bio-productivas debido a otras actividades
H: Degradación del agua
Ha: Acidificación
Hs: Cambio en la cantidad de las superficies de agua
Hg: Cambio en las aguas subterráneas / niveles de los acuíferos
Hp: Reducción de la calidad superficial del agua
Hq: Disminución de la calidad de las aguas subterráneas
Hw: Reducción de la capacidad de captación y retención de los humedales
B: Degradación biológica
Bc: Variación de la cobertura vegetal
Bh: Pérdida de hábitats
Bf: Efectos perjudiciales del fuego
Bs: Calidad y composición de las especies / disminución de la diversidad
BI: Pérdida de la vida en el suelo

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013



Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Tipos de degradación de la tierra (Terciario)

Leyenda

Bc	Bq,Bl	Cn,Cp,Bl	Ha,Hg
Bc,Bl	Bq,Bl,Pu	Cn,Hs	Hg
Bc,Bq,Bl	Bs	Cs	Hq,Bl
Bf	Cn	Ed	Hs,Hp
Bh,Bs	Cn,Bc	Et	Pu,Bf
Bq	Cn,Bq	H,B	Wo,Hs,Hp
Bq,Bh	Cn,Cp	Ha	

Wo: Efectos de la degradación fuera del sitio
Et: Pérdida de las capas superiores del suelo
Ed: Deflación y deposición
Cn: Disminución de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica
Cp: Contaminación del suelo
Cs: Salinización / alcalinización
Pu: Pérdida de las funciones bio-productivas debido a otras actividades
H: Degradación del agua
Ha: Acidificación
Hs: Cambio en la cantidad de las superficies de agua
Hg: Cambio en las aguas subterráneas / niveles de los acuíferos
Hp: Reducción de la calidad superficial del agua
Hq: Disminución de la calidad de las aguas subterráneas
B: Degradación biológica
Bc: Variación de la cobertura vegetal
Bs: Pérdida de hábitats
Bq: Cantidad / disminución de la biomasa
Bf: Efectos perjudiciales del fuego
Bh: Calidad y composición de las especies / disminución de la diversidad
Bl: Pérdida de la vida en el suelo

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013



6. ÁREAS CRÍTICAS Y BRILLANTES

A lo largo de la experiencia de la aplicación de lo definido por la UNCC y posteriormente el enfoque LADA, se pueden identificar dos formas de zonificar tierras críticas y brillantes:

- 1) Basado solo en **parámetros climáticos**, sin tener en cuenta el manejo ni las actividades antrópicas (UNCC)¹⁹.
- 2) Teniendo en cuenta la evaluación participativa de degradación de tierras y los indicadores de degradación de tierras (UNCC – WOCAT - LADA)

Áreas Críticas y brillantes en base a la IA= P/ETP

En este método se identifica las áreas críticas (Hot spots) y las áreas brillantes (Bright spots), teniendo en cuenta la tendencia de la aridez para un periodo dado (ver mapa 65), 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)

Áreas Críticas y brillantes según la evaluación participativa y los indicadores de degradación de tierras

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.

Cabe resaltar 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. Se recomienda que estos problemas de degradación en lugares específicos y que por la escala de este estudio no son identificables en los mapas se estudien según los indicadores propuestos y validados en los talleres de evaluación participativa a escala local (departamental, municipal, comunal).

¹⁹ <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/scape/uploads/113/Nachtergaele.pdf>

Calculo de Índices de degradación de la tierra

Para la obtención de los índices de degradación todos los resultados de los talleres se ingresaron a la planilla de cálculo desarrollada en el proyecto LADA por Lehman Lindeque²⁰, analizando su pertinencia sobre la base de los resultados de la línea base de indicadores:

Índice de Degradación: $DI = \% \text{ Área} * (\text{grado de degradación} + \text{Tasa de degradación} + \text{Impacto}) / 3$

Calculo de Índices de conservación y prioridad de manejo sustentable de la tierra

Para la obtención de los índices de conservación y prioridad de manejo sustentable, todos los resultados de los talleres se ingresaron a la planilla de cálculo desarrollada en el proyecto LADA por Lehman Lindeque:

Índice de Conservación: $CI = \% \text{ Área} * (\text{Efectiva implementación y mantenimiento} + \text{Tendencia de la efectividad} + \text{Impacto}) / 3$

Índice de Prioridad en el Manejo Sustentable: $PI = DI - CI$

Resultados

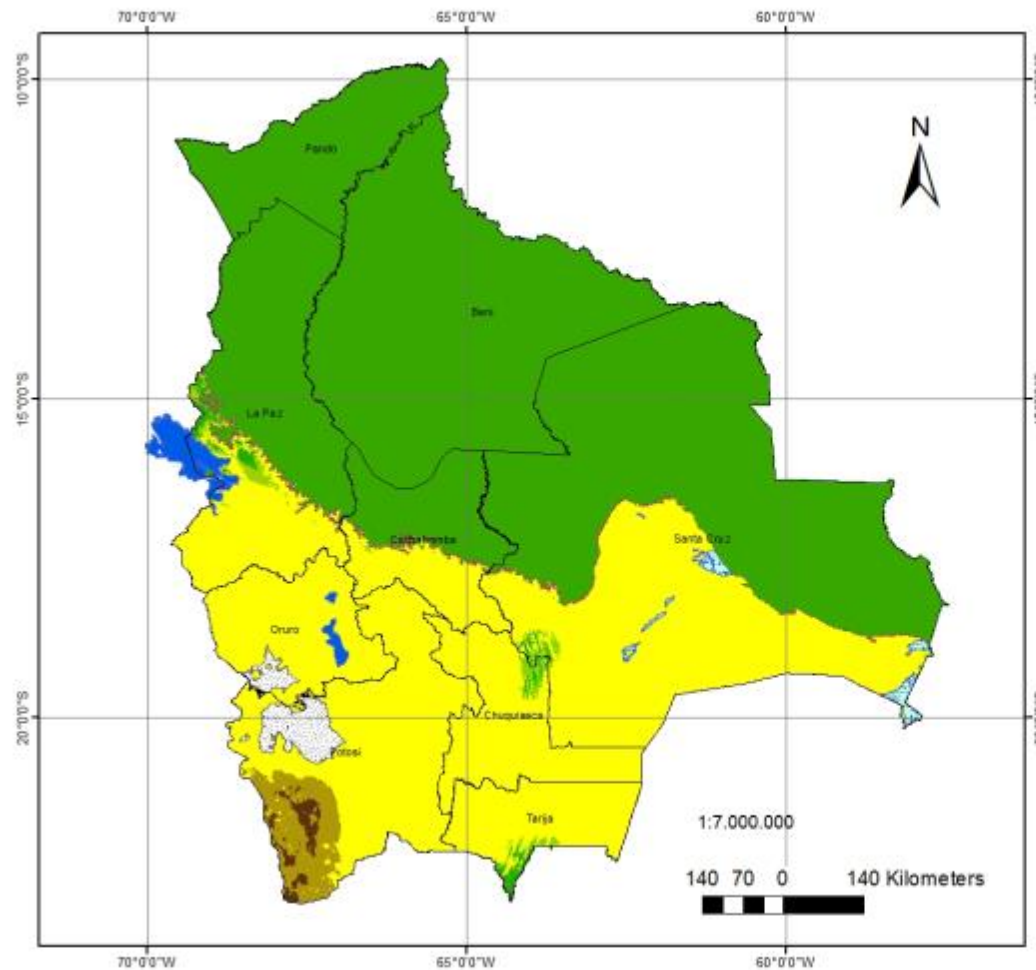
En base al cálculo de índices por unidad de Sistema de Uso de la Tierra para cada departamento, luego se obtuvo los mapas de índice de degradación y conservación, así como de prioridad de manejo sustentable de tierras secas de Bolivia (parte del principio de fomentar el buen manejo en áreas de alto valor de conservación y medidas de restauración y mitigación en áreas ya degradadas.

Teniendo en cuenta la definición de degradación de tierras UNCC, estos índices fueron ajustados por factores de corrección. El Índice de Degradación y el índice de Conservación, teniendo en cuenta la erosión, pérdida de biodiversidad, el estado de conservación actual y si la zona está dentro o fuera de un área protegida. Para el Índice de Prioridad de Conservación, la visión de conservación que muestra la prioridad de conservación dentro y fuera de las AP's (mapas 66,67 y 68).

Es importante aclarar que el esquema LADA se centra en la degradación de las tierras por influencia antrópica. Esto en el entendido de que solo se debe intervenir en la degradación natural, en caso de que signifique un riesgo para la población (riesgo físico por desastres naturales o de origen antrópico y afectación a su seguridad alimentaria). Remarcan en el método que "A pesar de que la degradación natural de la tierra no está excluida, el énfasis se pondrá en la degradación causada por las actividades humanas. No es la intención capturar todas las manifestaciones de degradación. Lo importante es centrarse en las principales".

Las zonas más afectadas y que deben contemplarse como hotspots, por tanto a esta escala, son aquellas que son de uso intensivo, donde afectan al mayor número de personas y son de impacto nacional y regional. A nivel departamental y municipal se deben realizar otro tipo de estudios a más detalle que establezcan hotspots locales.

²⁰ www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=198&Itemid=165&lang=es



Convenio Interinstitucional No 34
Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Hot Spots y Bright Spots basados en P/ETP 1980 - 2010, 2010

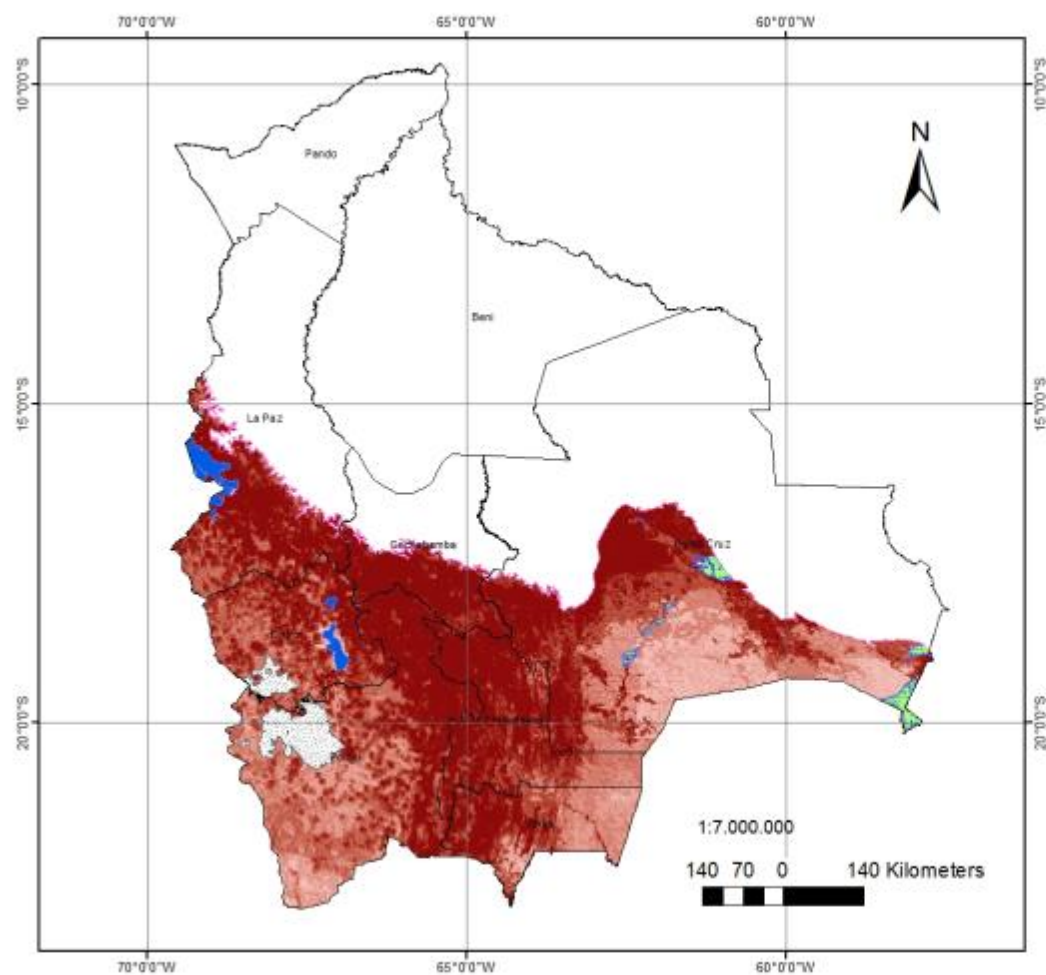
Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Cuerpos de Agua

P/ETP

- Hotspot 2
- Hotspot 1
- Tierras secas típicas 0,05 - 0,65
- Bright Spot 1
- Tierras Húmedas

Fuente: Elaborado en base a Chapi 2014, Ontiveros 2014
VRHR, CISTEL - UMSS



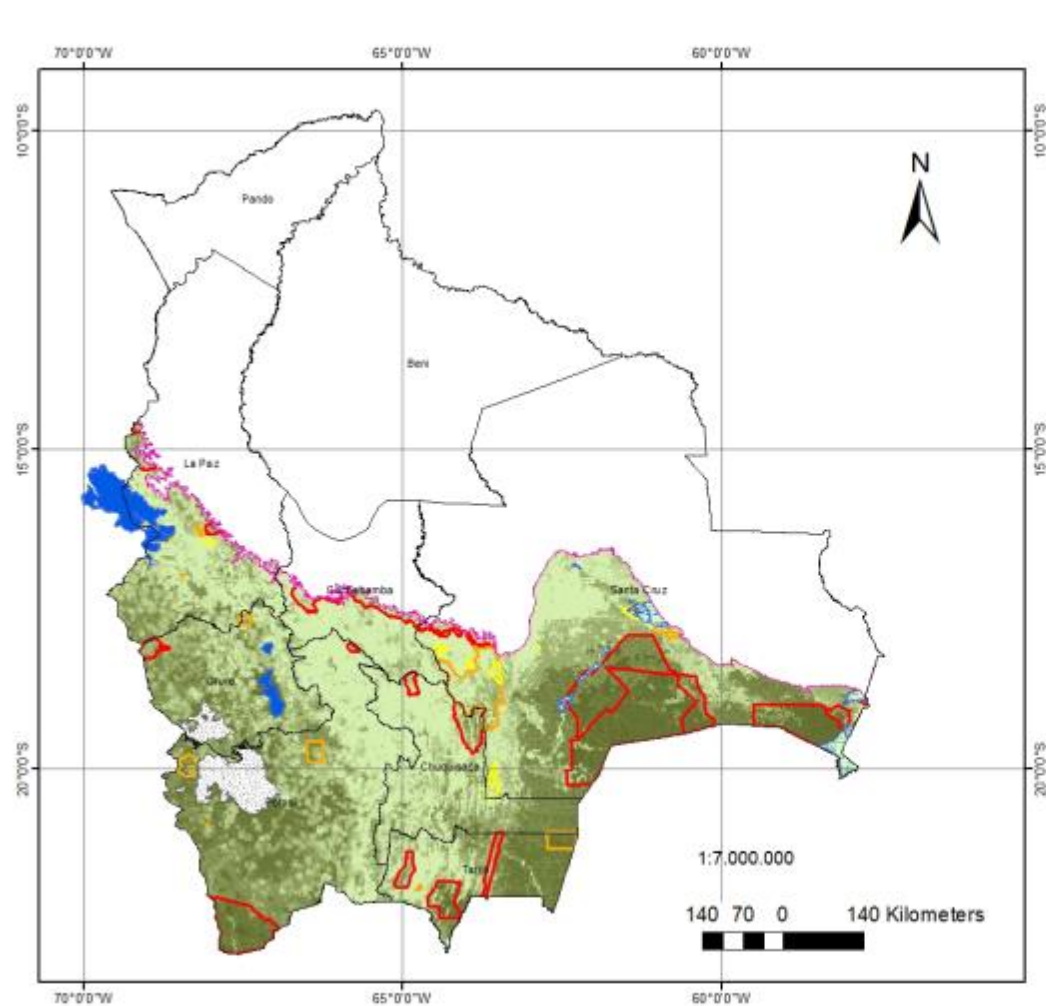
Convenio Interinstitucional No 34
Linea Base del Estado de Degradacion de Tierras Secas de Bolivia

Indice de Degradación

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Lagos_altiplano
- Alto
- Bajo

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013 de Evaluación participativa de la degradación de tierras y factores de corrección erosión, pérdida de biodiversidad, áreas protegidas y estado actual de conservación.



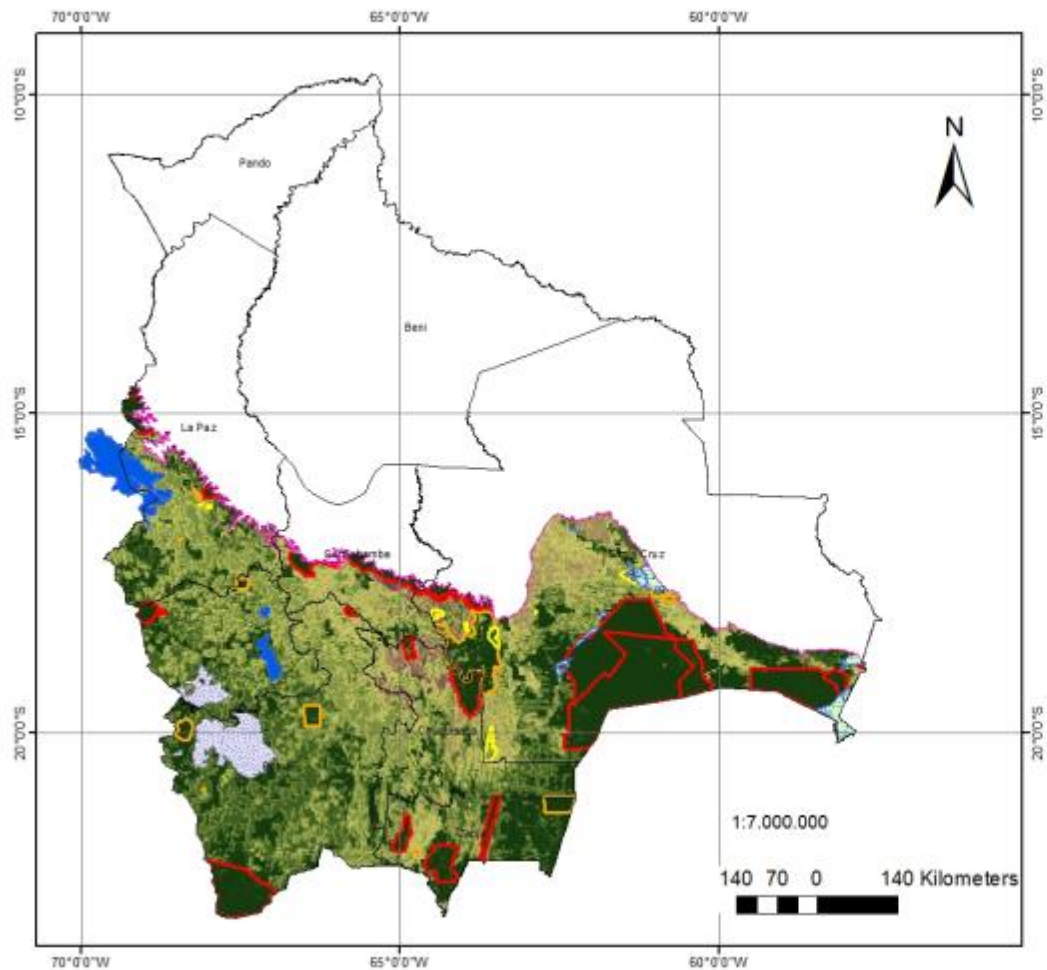
Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Índice de Conservación

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Lagos_altioplano
- Areas Protegidas Municipales
- Areas Protegidas Departamentales
- Areas Protegidas Nacionales
- Índice de Conservación**
- Bajo
Alto

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013 de Evaluación participativa de la conservación de tierras y factores de corrección erosión, pérdida de biodiversidad, áreas protegidas y estado actual de conservación.



Convenio Interinstitucional No 34
 Línea Base del Estado de Degradación de Tierras Secas de Bolivia

Prioridad de Manejo Sustentable

Leyenda

- Limite departamental
- Limite de Tierras Secas
- Lagos_altiplano
- Salar
- Llanura Aluvial, Inundable
- Areas Protegidas Municipales
- Areas Protegidas Departamentales
- Areas Protegidas Nacionales
- Muy Alta
- Alta
- Moderada

Fuente: Elaborado en base llenado de Planillas Talleres 2013 de Evaluación participativa de la conservación de tierras y factores de corrección: áreas protegidas y visión de conservación.

Esquema para el Diseño del Sistema de Monitoreo de la Degradación de Tierras Secas De Bolivia



7. PROPUESTA – ESQUEMA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS SECAS DE BOLIVIA

7.1. INTRODUCCIÓN

La degradación de tierras es difícil de definir pues la caracterización de la degradación usualmente requiere el análisis de las propiedades físicas y biológicas del paisaje pudiendo incluir además la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con la provisión de agua. Es por ello, que el estudio de la degradación requiere esfuerzos integrales, en general existen tres enfoques: a) énfasis en la interrelación entre sistemas integrados entre el ser humano y sistemas naturales; b) modelos informáticos de simulación de interacción entre decisiones humanas y procesos físicos, y c) investigación participativa que enfatiza el compromiso de los actores con la zona de estudio (Hochstrasser *et al.*, 2014).

El establecimiento de un sistema de alerta y monitoreo sobre el estado y tendencias de la desertificación a diferentes escalas y niveles requiere contar con instrumentos que permitan manejar la información proveniente de indicadores y puntos de referencia a fin de seleccionar áreas prioritarias y acciones a emprender (Abraham, 2009).

Respecto al tema de suelos: el proceso de la desertificación combina la sobrecarga por la explotación humana con la fragilidad por condiciones climáticas adversas. La actividad antrópica impacta sobre el medio físico, el cual provee de sostén, materias primas y energía a los elementos biológico y social, los cuales, a su vez varían su capacidad de sustentación conforme a la dinámica que abastece de alimentos y materias primas (Elías, 2000).

En cuanto al recurso suelo, este impacto genera la disminución de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica es uno de los principales componentes del suelo y su importancia radica en que permite la retención del agua y nutrientes, la generación de estructura (la cual implica capacidad de aireación y retención de humedad), la protección del suelo contra la erosión hídrica y eólica y la participación en el desarrollo de los macro, meso y microorganismos edáficos.

Esta degradación responde a factores antrópicos como la sobreexplotación, el sobrepastoreo, la deforestación y la salinización.

Es conocido que la desertificación o degradación de las tierras bajo condiciones áridas, semiáridas o subhúmedas secas, es un problema global, cuyos efectos se manifiestan claramente a distintos niveles, desde el nacional hasta el local, este último que constituye el ámbito por excelencia de las acciones de rehabilitación y control.

Según la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación se señala que existe la creciente necesidad de información oportuna, adecuada y confiable para apoyar la acción de los países afectados por la desertificación. En el texto de la Convención se hace un llamado a dar debida importancia a la recopilación, análisis e intercambio de datos socioeconómicos y a su integración con los datos físicos y biológicos.

Si nos enfocamos también en el uso y cobertura de la tierra, así como el manejo sustentable de la tierra es importante considerar que: El manejo sustentable de los recursos naturales básico es una de las pocas cuestiones verdaderamente fundamentales que la comunidad internacional se verá forzada a llevar a cabo con eficacia durante las próximas dos décadas. En los últimos veinte años el énfasis internacional estuvo centrado en el manejo económico nacional y global pero en los próximos veinte años se deberá enfocar en el manejo eficiente del ambiente.

Esto debe seguir un enfoque estructurado a nivel global, sobre la base de datos y conocimientos adecuados, confiables, actualizados y vinculados con las estrategias y los acuerdos internacionales apropiados. El producto que faltaría para alcanzar esta meta es una visión global en donde toma lugar la degradación de la tierra, su intensidad, y como los usuarios de ésta hacen frente a este problema a través de un manejo sustentable de la tierra.

Otro aspecto importante es considerar la pérdida o el estado de la biodiversidad, en relación a los otros aspectos como son las condiciones climáticas, suelos, uso y cobertura, ya que el manejo y la degradación natural inciden en la conservación de la biodiversidad.

Aunque el estado de conservación de la biodiversidad de las tierras secas no es adecuadamente monitoreado, muchos impulsores conocidos de la pérdida de biodiversidad están presentes en las tierras secas. Estos impulsores incluyen los rápidos cambios demográficos y la urbanización, la expansión agrícola, el cambio de uso del suelo, el debilitamiento de los acuerdos de gobernanza y la introducción y propagación de especies exóticas invasoras. Se prevé que el aceleramiento del desarrollo de las tierras secas aumentará la tasa de pérdida de biodiversidad. La combinación de la pérdida y fragmentación del hábitat reducirá las oportunidades de la biodiversidad de las tierras secas para adaptarse y sobrevivir, en adición a los impactos del cambio climático que agravarán aún más el problema.

Para hacer realidad una visión tan ambiciosa en las tierras secas se requiere un conjunto estratégico y amplio de acciones. Muchas tierras secas han recibido poca inversión durante décadas y con frecuencia se requiere inversión básica para construir la infraestructura y fortalecer el capital humano. Se necesitan inversiones para fortalecer la innovación, la ciencia y el conocimiento, incluyendo una mayor atención a los conocimientos locales e indígenas y más investigación en colaboración para dar cabida a la validación de diversos sistemas de conocimiento.

Las innovaciones locales deben promoverse enérgicamente, a través de mejoras en la educación, de un mayor acceso a financiamiento y otros servicios y de un mayor apoyo a la emprendeduría en torno a nuevas oportunidades comerciales basadas en la biodiversidad. Se necesita ciencia y conocimientos más sólidos para defender el crecimiento económico verde en las tierras secas, y en este sentido existe un planteamiento firme para la realización de una evaluación sobre el estado de la biodiversidad de las tierras secas de todo el mundo. De ahí la importancia de establecer en el sistema de monitoreo indicadores a nivel nacional, departamental y municipal. El presente trabajo

corresponde a la propuesta de diseño del sistema de monitoreo de la degradación de tierras secas de Bolivia en la temática de Biodiversidad.

7.2. OBJETIVO

Elaborar un esquema propuesto para el diseño del sistema de monitoreo de la degradación de tierras secas en Bolivia.

7.3. PROPUESTA

Un enfoque para caracterizar la degradación del suelo es la metodología LADA (Land Degradation Assessment in Drylands) que integra componentes biofísicos de la degradación con el contexto social, económico, cultural y político para lograr la identificación de las causas y respuestas de la degradación y su impacto en los medios de subsistencia de sus poblaciones. El proyecto LADA desarrolla herramientas y métodos para evaluar y cuantificar la naturaleza, el alcance, la gravedad y los efectos de la degradación de las tierras en los ecosistemas de tierras secas, las cuencas y cuencas hidrográficas, el almacenamiento de carbono y la diversidad biológica en una gama de escalas espaciales y temporales. Finalmente contribuye a reforzar la capacidad para analizar, diseñar y ejecutar acciones para mitigar la degradación (Ponce y Koohafkan, 2004).

La metodología LADA según lo propuesto por Koohafkan *et al.* (2003) comprende siete fases: a) preparación de estudios iniciales, b) establecimiento de un grupo de trabajo, c) inventario y análisis preliminar, d) desarrollo de una estrategia de estratificación y muestreo, e) investigación de campo y análisis locales, f) desarrollo de una herramienta de apoyo para toma de decisiones, g) desarrollo de una herramienta para monitoreo. A continuación en la Figura 37 se presenta de forma resumida una propuesta para implementar un sistema, en base a las experiencias LADA (FAO, 2011) y SAyDS (2011) con énfasis en aspectos climáticos y agua.



Figura 37. Fases de propuesta para generar un sistema de monitoreo y evaluación de tierras áridas.

Fuente: Modificado de SAyDS (2011) y Abraham *et al.* (2006)

Si bien la metodología está diseñada para su implementación de una manera integrada, descentralizada y participativa, la generación de información se realiza a diferentes escalas y niveles. El sistema de monitoreo, tiene como base fundamental un conjunto de indicadores de degradación que será aplicado en áreas seleccionadas y estará basado en un Sistema de Información Geográfica complementado con otras fuentes de información, por lo cual es necesario hacer uso de, entre otros: opiniones de expertos, monitoreo de campo, observaciones en el terreno, cambios de productividad (datos de productividad), estudios piloto a nivel local, datos estadísticos (por ejemplo censos), percepción remota y sensores remotos.

A continuación se expone de forma breve las distintas etapas de la propuesta:

7.3.1. PRE-DIAGNÓSTICO

El pre-diagnóstico es la etapa orientada a obtener un conjunto preliminar de indicadores que permitan comparar procesos y de ser necesarios zonas, para ello es deseable contar con la siguiente información:

- ✓ Imágenes de satélite y cobertura de fotografía aérea de zonas áridas y secas
- ✓ Mapas de suelos a distintas escalas
- ✓ Mapas de degradación y desertificación
- ✓ Información de recursos hídricos
- ✓ Información sobre bosques nativos y cultivados
- ✓ Información de uso de suelo
- ✓ Datos de población incluyendo aspecto socioeconómicos y calidad de vida
- ✓ Tenencia de tierra
- ✓ Actividades industriales
- ✓ Infraestructura y energía

7.3.2. ELABORACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL

La propuesta integra la escala local y nacional, la primera a través de sitios piloto a partir los cuales se validan y generan indicadores, herramientas y metodologías a utilizarse a escala nacional, a fin de facilitar la comprensión de las interacciones entre los factores biofísicos, socioeconómicos y sistemas de gestión. La meta a alcanzar en esta etapa es lograr la identificación y priorización de problemas abordando sus causas y efecto y definir los objetivos generales del proyecto.

7.3.3. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN EN SITIOS PILOTO

Los sitios piloto son fundamentales para contar con un plan nacional de monitoreo y evaluación, pues permiten realizar evaluaciones locales de forma integral y participativa, cuyos resultados pueden ser extrapolados a un nivel superior. La selección de un sitio piloto debe cumplir los siguientes criterios (SAyDS, 2011; Abraham *et al.* 2006):

- ✓ Presencia de procesos de degradación
- ✓ Pobreza asociada a procesos de degradación
- ✓ Escala según: unidad político-administrativa-unidad ambiental de referencia
- ✓ Existencia de instituciones técnicas articuladas relacionadas con manejo de recursos hídricos y clima
- ✓ Disponibilidad de información
- ✓ Área representativa cuyos resultados puedan ser extrapolados a territorios mayores
- ✓ Área prioritaria según los lineamientos trazados en el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la desertificación
- ✓ Comunidad organizada y motivada frente al tema

Este último ítem es fundamental para asegurar el funcionamiento de un sistema de monitoreo, por lo cual es necesario llegar a acuerdos preliminares con los actores en al menos cuatro aspectos (Abraham *et al.* 2006): identificación de problemas, áreas de intervención, identificación de problemas y escalas de trabajo

Cuadro 22. Acuerdos preliminares con actores de sitios piloto

Objetivo	Actividades
Identificar a los participantes	• Convocatoria para talleres con actores clave • Construcción de matriz de involucrados
Identificar problemas comunes	• Identificación de necesidades, expectativas, debilidades/tensiones • Construcción de árbol de problemas y objetivos • Construcción de matriz FODA
Seleccionar el área de intervención	• Definir en consenso escalas de análisis espacial y temporal, a ser intervenidas, lo cual se adecuará a la realidad del sitio y sus actores, y puede ser microcuencas, unidades de producción agropecuaria u otras.
Consenso en el manejo de información	• Definir participantes con acceso a la información • Planificar formatos de difusión de la información accesible a los actores

Fuente: Abraham et al. 2006

Una vez logrados los acuerdos en los sitios piloto, se emprenderán una serie de actividades, tal como se detallan en la figura siguiente. La primera acción a realizar es un pre-diagnóstico en conjunto con los actores e incorporando la información disponible, y quienes serán parte fundamental de los talleres participativos donde se identificarán los problemas, objetivos y se planteará el modelo conceptual, incluyendo un set de indicadores específicos en este caso con énfasis en el tema de agua y clima.

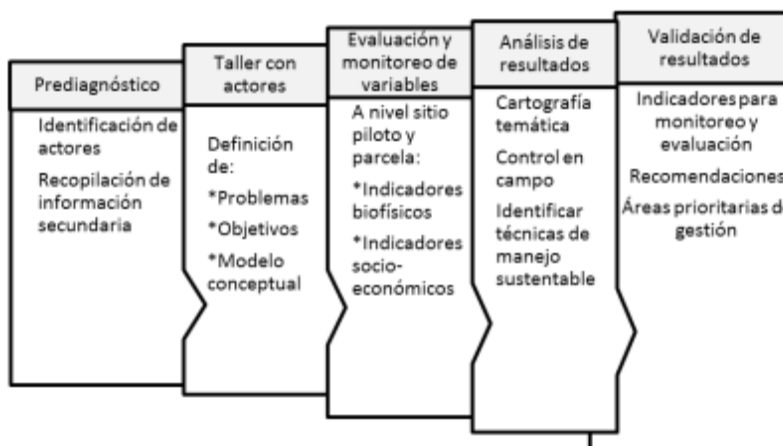


Figura 38. Acciones a realizarse en los sitios piloto.

Fuente: Modificado de SAyDS (2011)

La selección de indicadores específicos se da en función del énfasis de la propuesta (recursos hídricos y clima), es necesario además establecer la frecuencia de monitoreo para cada indicador y la escala en la cual se aplicará en concordancia con la diversidad y uso del suelo. Además, se propone contar con parcelas y/o sitios de muestreo puntuales como podrían ser unidades de producción o unidades ambientales de referencia para algunos indicadores. Una vez establecidos los indicadores es necesario generar una línea base que permita futuras comparaciones.

La evaluación de indicadores biofísicos se realizará en las parcelas y a nivel regional o incluso nacional para lo cual son de suma importancia las imágenes de satélite, en este punto es necesario sumar indicadores socioeconómicos generales que permitan tener una perspectiva integrada de la problemática, esta fase requiere trabajo de campo con los actores involucrados.

La información recogida en campo debe trasladarse a cartografía temática, para el análisis de los resultados, los cuales deben ser validados con los actores y finalmente establecer en conjunto las acciones necesarias a realizarse en zonas prioritarias.

Indicadores a nivel local

La construcción de indicadores es compleja debido a las características únicas de cada caso, en este caso se sugiere lo indicado por Abraham et al. (2006), que propone un concepto de evaluación y enfoque integrado de recursos basado en planificación participativa con los actores, en el marco de referencia Fuerza conductora o motriz/Presión/Estado/Impacto/Respuesta (DPSIR), donde:

- ✓ Fuerza motriz: representan actividades humanas, macro-procesos y patrones que tienen impacto sobre el agua y clima
- ✓ Indicadores de presión: incluye los indicadores que responden a las causas del fenómeno.
- ✓ Indicadores de estado: aquellos indicadores que describen el estado del recurso agua y del clima en un momento dado de tiempo.

- ✓ Indicadores de impacto: se incluyen aquellos indicadores que indican las consecuencias de la degradación de las tierras.
- ✓ Indicadores de respuesta: indican la respuesta de la sociedad y / o medidas políticas frente al problema de los recursos hídricos y climáticos.

Los indicadores a utilizar a nivel local se detallan en los siguientes cuadros, cabe señalar la posibilidad que durante el estudio en los sitios piloto surjan otros que deban ser incorporados.

Cuadro 23. Indicadores en temas de agua y clima a utilizarse a nivel local

Tema	Indicador		Marco ordenador
Clima	Índice de aridez		Estado
	Índice estandarizado de precipitación		Estado
	Déficit de la precipitación		Estado
	% de variación temporal de la precipitación		Estado
	% de variación temporal de la temperatura		Estado
	Impacto del agua lluvia		Presión
	Velocidad del viento		Presión
Agua	Aguas superficiales	Disponibilidad	Estado
		Escorrentamiento e inundabilidad	
		Temporalidad del escurrimiento	
		Oportunidad	
		Volumen escurrido	
		Génesis y origen de la fuente hídrica	
		Estacionalidad del escurrimiento	
	Aguas subterráneas	Disponibilidad	Estado
	Relación oferta/Demanda de agua		Presión
	Índice de pobreza hídrica		Estado
	Déficit hídrico		Presión
	Calidad de agua	DBO	Estado
		DBQ	
		Turbiedad	
		Coliformes totales	
		pH	
	Número de perforaciones por unidad de superficie (p.e. cada 100 m2)		Estado
	Número de instituciones vinculadas al estudio del agua		Respuesta
	Existencia de normativa vinculada al manejo de agua a nivel local		Respuesta

Fuente: Abraham y Salomón (2006); Abraham y Maccagno (2006)

Cuadro 24. Indicadores de suelos a utilizarse a nivel local

Elemento/ variable	Indicadores	Expresión	Unidad de medida - Niveles de referencia
Factores externos	Textura	Índice de Bouyoucous	IB=(%Arena+%Limo+%Arcilla
	Suelo desnudo	Emitancia espectral de la superficie terrestre.	Entre 0 y 1, cuanto menor es la diferencia entre la radiación recibida y la que se irradia, mayor degradación
	Albedo de superficie	Imágenes de satélite.	
	Profundidad	Espesor de las capas y horizontes diagnóstico	cm
	Pedregosidad	Pedregosidad superficial del sitio de muestreo	Porcentaje
	Drenaje	Tipo de drenaje	Excesivo, moderado y sin drenaje
	Pendiente	Relación desnivel/longitud	% por 100 a través de mediciones en campo ó MDE
Factores internos	Materia Orgánica	Porcentaje MO	Porcentaje
	Fertilidad	Análisis de diferentes atributos edáficos	Alta, media y baja
	Estructura	Tipo y grado de estructura	Muy estructurado, moderadamente estructurado/masivo o suelto
	Calcio, Magnesio	Relación Ca/Mg	ml/l
	Salinidad	Conductividad Eléctrica	microsiemens/cm
	Alcalinidad	Acidez-Neutralidad-Alcalinidad	pH (pasta)
	Sodicidad	Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S.)	pH (1:10) diferencia (Jackson, 1982)
Degradación	Pérdida de suelo	Modelo tipo USLE, MUSLE	tn/Ha/Año
	Erodabilidad por incidencia del viento	Datos de velocidad y frecuencia de vientos y la textura del suelo	Clases texturales de suelo en relación a su índice de erodabilidad
	Erodabilidad por incidencia del agua	Datos de precipitación y la textura del suelo	Clases texturales de suelo en relación a su índice de erodabilidad
	Grado de Erosión hídrica	Grado de erosión hídrica observada en el sitio de muestreo	Leve, moderada, fuerte
	Grado de Erosión eólica	Grado de erosión eólica observada en el sitio de muestreo	Leve, moderada, fuerte
	Cárcavas	Observación directa en campo	Leve, moderada, fuerte

Fuente: Abraham y Beekman (2006)

Cuadro 25. Indicadores en temas de suelo Uso de la tierra a nivel local

Tema	Indicador	Marco ordenador
Suelo	% de suelo desnudo	Presión
	Porcentaje de cobertura vegetal	Estado
	Porcentaje de cambios en la cobertura vegetal ó Variación de la cobertura vegetal	Presión
Uso de la tierra	Tasa de deforestación	Presión
	Uso del suelo	Estado
	Variación en % de superficie dedicada a distintos usos productivos	Presión
	Porcentaje de superficie bajo distintas formas de tenencia	Presión

Fuente: Abraham y Salomón (2006); Abraham y Maccagno (2006)

Cuadro 26. Indicadores en temas de Biodiversidad a Nivel Local

Categoría	Tema	Indicador	Marco ordenador
Factores biofísicos	Flora y Fauna	Porcentaje de cobertura vegetal	Estado
		Estado de degradación de la cobertura vegetal	Estado
		Especies dominantes	Estado
		Estratificación	Estado
		Presencia de sus. indicadoras	Estado
		Porcentaje de cambios en la cobertura vegetal ó Variación de la cobertura vegetal	
		Recurrencia y riesgo de incendios	Presión
		Número de especies con Problemas de conservación. Especies de flora y fauna en peligro de extinción	Estado
		Densidad	Estado
		Distribución	Estado
		Diversidad faunística y florística	Estado
		Ecoeficiencia	Presión
		Número de instituciones vinculadas al estudio de la regulación de la Flora y fauna	Respuesta
		Existencia de normativas vinculadas a la flora y fauna a nivel provincial y nacional	Respuesta

Fuente: Abraham, E. y Maccagno (2006) y CISTEL talleres participativos 2013

7.3.4. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN A NIVEL NACIONAL Y PLANTEAMIENTOS BÁSICOS PARA UN PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS

Los resultados obtenidos en la fase realizada en sitios piloto dan la pauta para las actividades a realizarse en esta etapa, la cual dada su escala debe partir de cartografía de base y de la identificación de información disponible para la selección y/o construcción de indicadores.

7.3.4.1. INDICADORES A NIVEL NACIONAL

Para la presente propuesta se han tomado los indicadores señalados por Abraham y Maccagno (2006), Abraham y Salomón (2006) y Abraham (2006), con énfasis en aquellos validados por Puntos Focales del programa de Combate a la desertificación en América del Sur que incluye a Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú, por lo cual pueden ser aplicados a la zona de estudio.

En el Cuadro 27, se detallan los indicadores sugeridos referentes a agua y clima, consta además el marco ordenador referente a los principios de la metodología LADA que incluye Fuerza conductora o motriz/Presión/Estado/Impacto/Respuesta.

Cuadro 27. Indicadores en la temática de recursos hídricos y climatología para evaluar la degradación de tierras a nivel nacional

Tema	Indicador	Marco Ordenador
Clima	Índice de aridez	Estado
	Índice estandarizado de precipitación	Estado
	Déficit de precipitación	Estado
	% de variación temporal de la precipitación	Estado
	% de variación temporal de la temperatura	Estado
Agua	Disponibilidad de aguas superficiales/subterráneas	Estado
	Relación oferta/demanda agua	Presión
	Índice de pobreza hídrica	Estado
	Déficit hídrico	Presión
	Número de instituciones vinculadas al estudio del agua	Respuesta
	Existencia de normativa vinculada al agua a nivel nacional, departamental y local	Respuesta
	Áreas de protección hidrológica y de uso restringido	Estado

Fuente: Abraham y Maccagno (2006)

A continuación se indica el cálculo de los indicadores:

- ✓ *Índice de aridez (Precipitación/ETP):* define cual es la situación hídrica de una región en base a la relación oferta/demanda hídrica. Sus valores oscilan entre 0,1 y 2,5 según la localidad y permite delimitar regiones áridas semiáridas y subhúmedas, etc.

- ✓ *Índice Estandarizado de precipitación (ISP)*: clasifica en distintas categorías los períodos húmedos y secos:
 - Humedad extrema 2.00 o superior
 - Humedad exceso 1.50 a 2.00
 - Humedad moderada 1.00 a 1.50
 - Normal -0.00 a 1.00
 - Sequía moderada -1.00 a -1.50
 - Sequía severa -1.50 a -2.00
 - Sequía extrema -2.00 o inferior
- ✓ *Déficit de precipitación*: desviación de la precipitación con respecto a la media.
- ✓ *Disponibilidad de aguas superficiales / subterráneas*: cantidad en volumen anual (m³ y hm³) disponibles de agua superficial y subterránea de una cuenca y acuífero. Puede relacionarse con la cantidad de habitantes y permite conocer el estrés poblacional si es menor a 1.600 m³/hab./año.
- ✓ *Relación Oferta / Demanda de Agua*: se mide a través del balance hídrico anual y permite conocer excesos o déficits hídricos.
- ✓ *Déficit hídrico*: desviación de caudales con relación a la media.
- ✓ *Índice de pobreza hídrica (IPH)*: permite cuantificar la disponibilidad del recurso hídrico a distintos niveles de resolución. Es un índice multidisciplinario que se mide a través de 5 componentes con pesos relativos: Recursos, Acceso, Capacidad, Uso y Ambiente. Valor adimensional 0-100; 0, pobreza extrema, 100 sin pobreza hídrica
- ✓ *Número de instituciones vinculadas al estudio del agua*: este indicador permite evaluar la cantidad de instituciones vinculadas al estudio del agua en una unidad administrativa determinada (departamento, nacional). Su mayor o menor número permitirá indicar la ausencia y existencia en cantidad suficiente de organismos dedicados al agua.
- ✓ *Existencia de normativa vinculada al agua a nivel nacional/ municipal*: mediante la existencia o no de normativa a nivel nacional, provincial y local vinculada a la administración y manejo del recurso hídrico con aplicación en el área de trabajo, se puede evaluar este indicador.

En el siguiente cuadro se detallan los indicadores sugeridos referentes uso y cobertura, consta además el marco ordenador referente a los principios de la metodología LADA que incluye Fuerza conductora o motriz/Presión/Estado/Impacto/Respuesta.

Cuadro 28. Indicadores en la temática de uso y cobertura para evaluar la degradación de tierras

Tema	Indicador	Marco ordenador
Suelo	% de suelo desnudo	Presión
	Porcentaje de cobertura vegetal	Estado
	Porcentaje de cambios en la cobertura vegetal ó Variación de la cobertura vegetal	Presión
Uso de la tierra	Tasa de deforestación	Presión
	Uso del suelo	Estado
	Variación en % de superficie dedicada a distintos usos productivos	Presión
	Porcentaje de superficie bajo distintas formas de tenencia	Presión

Fuente: Abraham y Maccagno (2006)

A continuación se indica el cálculo de los indicadores:

Porcentaje de Cobertura Vegetal

Se selecciona situaciones representativas del área a partir de la información suministrada por las imágenes satelitales, teniendo en cuenta el acceso. Se toman muestras de un número variable de parcelas de 300 m² (60 x 5 m). Se estima la cobertura de los tres estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo) en 7 clases de cobertura, (Barchuck, A, 1996). Las clases consideradas, son las siguientes 0, Sin cobertura. 1: 1-5; 2: 5-25; 3: 25-50; 4: 50-75; 5: 75-95; 6: 95-100. Expresada en porcentaje (Lada Project, 2005 www.fao.org/ag/agl/agll/lada/arg/Archivos)

Recurrencia y riesgo de incendios

La recurrencia y riesgo de incendios se mide a través de la superficie afectada por incendios/superficie total.

Variación en Porcentaje de la superficie destinada a distintos usos productivos

- ✓ (Superficie destinada a la agricultura T+1/superficie destinada a la agricultura t) por 100
- ✓ (Superficie destinada a ganadería T+1/superficie destinada a la ganadería t) por 100
- ✓ (Superficie destinada a actividades forestales T+1/superficie destinada a actividades forestales t) por 100

Respecto a la biodiversidad se deberán contemplar los siguientes indicadores en función a la escala y la disponibilidad de datos e información:

Cuadro 29. Indicadores en temas de Biodiversidad a Nivel Nacional

Categoría	Tema	Indicador	Marco ordenador
Factores biofísicos	Flora y Fauna	Porcentaje de cobertura vegetal	Estado
		Porcentaje de cambios en la cobertura vegetal ó Variación de la cobertura vegetal	Presión
		Recurrencia y riesgo de incendios	Presión
		Número de especies con problemas de conservación Especies de flora y fauna en peligro de extinción	Estado
		Diversidad faunística y florística	Estado
		Ecoeficiencia	Presión
		Número de instituciones vinculadas al estudio y regulación de la flora y fauna	Respuesta

Fuente: Abraham, E. y Maccagno (2006) y CISTEL talleres participativos 2013

7.3.5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN

La información obtenida mediante el uso de indicadores será integrada y procesada en un sistema de información geográfico para ser evaluada su aplicación en primera instancia en los sitios piloto (SAyDS, 2011), para ello las acciones a realizarse en esta etapa comprenden:

- ✓ Elaboración de cartografía de base
- ✓ Identificación de la disponibilidad de datos y colección de información obtenida de indicadores seleccionados y vacíos de información
- ✓ Definición de indicadores adicionales
- ✓ Determinación de la línea base
- ✓ Revisión, actualización y correcciones en caso de ser necesario del modelo conceptual adoptado
- ✓ Determinación de set de indicadores apropiados a nivel nacional y que generen información comparable en el tiempo
- ✓ Identificación de campos de actuación y territorios prioritarios de acción
- ✓ El conocimiento e información adquirida mediante los indicadores debe ser confrontado con el análisis FODA realizado con los actores a fin de identificar soluciones y estrategias, para ello es necesario pasar cuatro etapas:
 - ✓ Formulación, evaluación y adopción de estrategias de intervención
 - ✓ Diseño del plan de intervención
 - ✓ Evaluación de hipótesis de impacto
 - ✓ Formalización de acuerdos y compromisos con los actores involucrados

- ✓ Establecimiento de indicadores de gestión (seguimiento de políticas, programas y proyectos), para ello es necesario realizar: monitoreo y seguimiento, evaluación del impacto y evaluación de la respuesta
- ✓ Promoción del Sistema Nacional de Monitoreo y su adecuada difusión, que a su vez permita la retroalimentación y ajustes necesarios para brindar continuidad al proceso.

7.3.6. DIFUSIÓN Y COOPERACIÓN INSTITUCIONAL

La aplicación del sistema de monitoreo de forma amplia depende de su difusión y de la sensibilidad que pueda despertar en los actores involucrados, por lo cual es importante contar con material apropiado para acercar el sistema a los recursos humanos: habitantes de las zonas degradadas, líderes comunitarios, representantes de organismos de gobierno, ONG, instituciones académicas, etc. El trabajo entre instituciones debe permitir el ofrecer además de material impreso, cursos o talleres enfocados a cada grupo:

- ✓ Tomadores de decisiones y representantes de gobiernos locales: interpretación y análisis de información generada por el Sistema de Monitoreo como base para políticas de respuesta oportuna
- ✓ Líderes comunitarios: uso de la información del Sistema de Monitoreo para generar estrategias de mitigación, reducción y adaptación de la degradación, con énfasis en los recursos hídricos y clima.
- ✓ Miembros de instituciones académicas: análisis de la información del Sistema de Monitoreo como línea base y oportunidad para realizar actividades de investigación.

7.3.7. RESULTADOS ESPERADOS: SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS DE BOLIVIA - SINADETI

Finalmente se espera contar con un Sistema Nacional de Monitoreo implementado en un Sistema de Información Geográfico, basado en indicadores apropiados para la medición de la degradación y que se convierta en el soporte necesario para emprender acciones concretas, fortaleciendo tanto las capacidades de los actores involucrados como de las instituciones participantes y responsables del almacenamiento y procesamiento de la información. Esta propuesta pretende aportar finalmente brindar material de difusión a diferentes niveles e integrar la sociedad civil e instituciones de gobierno en proyectos de investigación y medidas puntuales para el manejo exitoso de la degradación de tierras. El Sistema Nacional de Monitoreo y Evaluación de la Degradación de Tierras de Bolivia deberá contar con un observatorio que constantemente difunda información mediante una plataforma web y comparta datos estratégicos entre los niveles departamentales y municipales a través de un sistema con diferentes niveles de seguridad en función al rol de los técnicos y autoridades que accedan a este, así como información para la difusión pública seleccionada en formato SIG y documentos.

8. CONCLUSIONES

- ✓ El clima es el factor más determinante sobre los procesos de degradación de tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas porque define condiciones extremas de precipitación y temperatura, que se han intensificado por efecto del cambio climático.
- ✓ 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.
- ✓ En la zona de tierras secas de Bolivia, la década de 1991 a 2000 fue más árida que en los setenta y ochenta, alcanzando su máxima extensión. Las tierras secas del país actualmente, presentan un déficit hídrico, con evapotranspiración potencial anual que supera a la precipitación anual en más del 65%.
- ✓ Considerando el Índice de Aridez, se identificó que 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.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Teniendo en cuenta los rangos de clase de erosión del PRONALDES (1996) para efectos de comparación, los resultados muestran que: Las áreas con erosión nula o áreas de deposición se redujeron de un 9,48 a 7,27 %, mientras las áreas con erosión ligera (1 a 10 tn/ha/ año) se incrementaron a casi cuatro veces más en los últimos 15 años, ya que en 1996 representaban un 9,87 % del área de tierras secas y ahora representan un 41,20 %. El área que presenta erosión moderada (11 – 30 tn/ha/ año) se incrementó de 14, 62 % a 17,80 %. Mientras que las áreas que presentaban erosión fuerte (31 – 50 tn/ha/ año), erosión muy fuerte (51-100 tn/ha/año), Grave (101-200 tn/ha/año) y Muy grave (>2001 tn/ha/año) se redujeron aunque no muy significativamente.

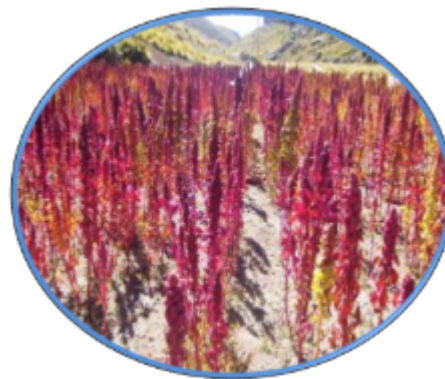
- ✓ Las áreas protegidas aparte de ser patrimonio natural y cultural de nuestro estado plurinacional, son también áreas que protegen, en función al éxito de su gestión compartida, zonas de la degradación por efecto de actividades antrópicas, aunque eso no implica mejoras en su degradación natural según las características propias de cada área. Representan un 18,51 % del país, aproximadamente 201.710 Km². En tierras secas las más extensas están ubicadas en el departamento de Santa Cruz.
- ✓ 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 tiene 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 los Departamentos de Tarija y Santa Cruz algunos tienen una evolución negativa, ya que aumento la mortalidad infantil. En estas zonas por tanto se tendría que analizar si la evaluación negativa tiene que ver con la degradación de tierras ha incidido en este aspecto en esos municipios en específico o es por otras causas atribuibles al sistema de salud, entre otros.

9. RECOMENDACIONES

Considerando el análisis de degradación de tierras secas de Bolivia y la propuesta del esquema del sistema de monitoreo de degradación de tierras para su implementación se recomienda:

- ✓ Creación de un sistema de monitoreo de la degradación de tierras secas (SINADETI) de Bolivia, en el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, debido a su rol como punto focal de la convención de lucha en contra de la desertificación.
- ✓ El sistema por una parte comprenderá el monitoreo de los indicadores a nivel nacional y apoyo y retroalimentación de los niveles departamentales y municipales que a mediano y largo plazo deberían implementar un sistema de monitoreo regional y local.
- ✓ Se requiere el diseño de un sistema informático, que sobre la base de los resultados de este estudio, implemente un sistema de información geográfico para el monitoreo de la degradación de la tierra y que los resultados sea difundido mediante una plataforma web.
- ✓ Se deben paulatinamente implementar estudios de la degradación de tierras secas a escalas departamentales y municipales para contribuir a un manejo sostenible basados en la información existente y complementada con el trabajo de campo respectivo.
- ✓ Los resultados e información generada en el marco del SINADETI, debe retroalimentarse de los estudios y trabajos que se desarrollan en otros ministerios e instancias que trabajan el tema de manejo de recursos naturales y a su vez debe existir un intercambio de información entre estas instancias a fin de tener datos consolidados sobre la degradación de tierras en Bolivia.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

Abraham, E. (2006). Indicadores de desertificación para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú. En: Abraham, E., & Beekman, G. (Eds). Indicadores de la desertificación para América del Sur (pp. 189-207). Mendoza: BID-IICA

Abraham, E. (2009). Enfoque y evaluación integrada de los problemas de desertificación. Zonas Áridas, 13(1), 9-24. Abraham, E., & Maccagno, P. (2006). Los resultados obtenidos por los países indicadores y puntos de referencia para la desertificación a nivel nacional y local en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú. En: Abraham, E., & Beekman, G. (Eds). Indicadores de la desertificación para América del Sur (pp. 141-188). Mendoza: BID-IICA

Abraham, E. M. (2009). Keynote presentation 1 Desertification assessment and monitoring in Argentina. Understanding Desertification and Land Degradation Trends, 22, 6.

Abraham, E., & Salomón, M. (2006). Indicadores y puntos de referencia de la desertificación utilizados en Argentina por diversos usuarios. En: Abraham, E., & Beekman, G. (Eds). Indicadores de la desertificación para América del Sur (pp. 113-139). Mendoza: BID-IICA.

Abraham, E., Montaña, E., & Torre, L. (2006). Procedimiento y marco metodológico para la obtención de indicadores de desertificación en forma participativa. En: Abraham, E., & Beekman, G. (Eds). Indicadores de la desertificación para América del Sur (pp. 37-64). Mendoza: BID-IICA
Academia de Ciencias Geográficas de Colombia 1961 Estudios sobre Colombia Acerca de Recursos Naturales. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia. Números 71 – 72 Volumen XIX Segundo Semestre 1961. http://www.sogeocol.edu.co/documentos/072_est_sob_col_acer_rec_nat.pdf

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

Araujo, N., R. Müller, C. Nowicki, C.; e Ibisch, P. Ed. 2010. Prioridades de Conservación de la Biodiversidad en Bolivia. SERNAP (2006), FAN, TROPICO, CEP, NORDECO, GEF II, CI, TNC, WCS, Universidad de Eberswalde. Editorial FAN, Santa Cruz, Bolivia.

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 & R. A. Houghton (2012) Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. Nature Clim. Change, advance

Baldwin, M., C. E. Kellogg, and J. Thorp. 1938. Soil classification p. 9701001. In Soils and Man. USDA Yearbook of Agriculture. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
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.

Beck, C., J. Grieser, and B. Rudolf (2005), A new monthly precipitation climatology for the global land areas for the period 1951 to 2000, Climate Status Report 2004, German Weather Service, Offenbach, Germany

C.A. Jones, R.H. Griggs, J.R. Williams y R. Srinivasan 1991 Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo en FAO 1992 Erosión de suelos en América Latina. <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S03.htm#Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo>

CAO (Cámara Agropecuaria del Oriente) (2008) Números de nuestra tierra. Cámara Agropecuaria del Oriente, Santa Cruz, Bolivia

Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2014. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4), Preliminary Release 2 (2010). Palisades, NY. <http://www.ciesin.columbia.edu/data/gpw-v4>.

Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural 2013 Informe Latinoamericano sobre Pobreza y Desigualdad.

CIESIN 2014 Poverty Density Map – Bolivia (Nivel 3: Municipio)

CISTEL 2010 Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de la Mancomunidad de Municipios de la Región Andina de Cochabamba.

Desmet, P.J.J. and G. Govers, 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. J. of Soil and Water Con. 51: 427-433.

DiMiceli, C.M., M.L. Carroll, R.A. Sohlberg, C. Huang, M.C. Hansen, and J.R.G. Townshend (2011), Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I. & Tóth G. (2006) Digital Soil Mapping as a Support to Production of Functional Maps. EUR 22123 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 68 pp

Droogers, P. & Allen, R.G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrigation and Drainage Systems, 16(1), 33-45.

Elías, Jorge G. "Curso internacional sobre control de la desertificación. Aspectos sociales relacionados con el proceso de la Desertificación", Buenos Aires, 2000.

FAN 2009 Atlas de la Diversidad de Flora y Fauna de Bolivia

FAN 2012 Sistema de Alerta Temprana de Riesgos Forestales. Manejo Comunitario del fuego. Santa Cruz, Bolivia. <http://incendios.fan-bo.org/>

FAO - LADA 2011 GLADIS peer review report and Management response. Report for the Expert Peer Review and User's Survey of the Global Land Degradation Information System (GLADIS).

FAO 1992 Erosión de suelos en América Latina. Taller sobre la Utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la Erosión Actual de Suelos y la Predicción del Riesgo de Erosión Potencial. Santiago, Chile, 27 de julio al 1° de agosto de 1992. Proyecto GCP/RLA/107/JPN . <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>

FAO 2007 Secuestro de carbón en tierras áridas. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N°. 102. ISSN 1020-430X

FAO 2011 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. Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma (Italia). <http://www.fao.org/docrep/015/i1688s/i1688s00.pdf>

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 2014 Página oficial de LADA disponible en 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, visitado en junio 2014.

FAO. (1996). Agro-ecological zoning guidelines. FAO soils bulletin 73. Soil Resources, Management and Conservation Service. Roma.

Figueredo H., 2013. Agroecological Zonning of 20 municipalities at south of Oruro. Ministry of Planning of Development.

Foster, D.R., M. Fluet y E.R. Boose 1999. "Human or natural disturbance: landscape – scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico". Ecological Applications, 9 (2): 555–572

G. Gisladdottir, M. Stocking 2004 Land Degradation Control And Its Global Environmental Benefits. Land degradation & Development. 16: 99–112 (2005).

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.

García Rodríguez M. P. y Pérez González M. E. 2010. Cartografía Mediante Imágenes Landsat de Suelos Salinos en la Tierra de Medina (Valladolid) Estudios Geográficos Vol. LXXI, 268, pp. 161-176 Enero-junio 2010 ISSN: 0014-1496 eISSN: 1988-8546 doi: 10.3989/estgeogr.0452

Gil, David 2014 SRTM30 Download Site. <http://www.dgadv.com/srtm30/>

Gilabert, M.A.; Gonzales – Piqueras, J; Garcia – Haro, J. 1997 Acerca de los Indices de Vegetacion. Revista de Teledeteccion.

Giordani C. and Zanchi C. 1995. Elementi di conservazione del suolo, Bologna, pp. 260.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L, Jones, P.G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International. International Journal of Climatology, 25(15), 1965-1978.

Hochstrasser, T, Millington, JDA, Papanastasis, V, Parsons, AJ, Roggero, PP, Brazier, R, Estrany, J, Farina, A & Puttock, A 2014, 'The study of land degradation in drylands: State of the art'. in E Mueller, J Wainwright, A Parsons & L Turnbull (eds), Patterns of Land Degradation in Drylands: Understanding Self-Organised Ecogeomorphic Systems. vol. Part 1 , Springer, pp. 13-54., 10.1007/978-94-007-5727-1_2.

Hurni H. 1988. degradation and Conservation of the Resources in the Ethiopian Highlands.

Ibisch, P.L., & G. Mérida (eds.) 2003: Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

ILWIS Community 52°North 2012 Integrated Land and Water Information System 3.3.1 - 3.8.1
52north.org/downloads/ilwis

INE 2005 Mapa de Tasa de Mortalidad Infantil por mil nacidos vivos. Dato INE 2001.

IUCN and UNEP-WCMC 2011 The World Database on Protected Areas (WDPA): January 2011. Cambridge, UK.

Koohafkan, P. and Nactergaele, F. 2003. The FAO Guidelines for Land Evaluation. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Our land, Our Future. Rome, 48p

Koohafkan, P., D. Lantieri, and F. Nachtergaele, 2003. Land Degradation Assessment in Drylands (LADA): Guidelines for a Methodological Approach. Land and Water Development Division, FAO, Rome.

LADA 2008 - 2009 Database Application for the Indicator System for the LADA project. DISforLADA
http://dis-nrd.uniss.it/index.php?_mod=view&_section=db&_table=indicators&_mode=view&_view=frm&_key1=198. FAO.

Lambin, E.F. 1994. Modelling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites (TREES). TREES Series: Research Report No. 1. Publicado por la Comisión Europea, Luxemburgo. 113 pp.

Landon J. R. 1991 Tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Longman scientific and technical. New York.

Larsen, F.W. et al. (2011) Global priorities for conservation of threatened species, carbon storage, and freshwater services: Scope for synergy? Conservation Letters 4: 355–363.

Larsen, F.W. et al. (2012) Conserving critical sites for biodiversity provides disproportionate benefits to people. PLoS ONE 7(5): e36971.

Lee and Lee, 2006 Scaling effect for estimating soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 3 (2006), pp. 135–157

Lehman, Lindeque 2008 Towards the development of an Index from the QM Matrix table. www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=198&Itemid=165&lang=es

López Granados, Erna, Manuel Mendoza y Alejandra Acosta. 2007 Laboratorio de Geoecología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/366/erna.html>

Menéndez-Duarte, R., Marquínez, J., Fernández-Menéndez, S. Y Santos, R. (2007). Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and geomorphic setting. *Catena*, 71(2): 267-278.

Merrit, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18: 761-799.

Meyer, W.B. y B.L. Turner II 1994. "Global land-use and land-cover change: report of working group A. En: Meyer, W.B. y B.L. Turner II (eds.) 1994. *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.

Mitasova, H., 2000. *Terrain Modelling and Soil Erosion Simulation*. Final Report, Geographic Modelling and Systems Laboratory, University of Illinois, Illinois.

Morgan R.P. C. 1986 Factors influencing erosion. *Soil Erosion and Conservation*. Longman. Essex. 40 – 62.

Nachtergaele Freddy O. 2007 *Land Degradation Assessment Indicators and the LADA project*.

Nachtergaele, F; Petri, M; FAO 2007 *Mapping Land Use Systems at global and regional scales for Land Degradation Assessment Analysis*. LADA.

Nielsen, D.R. y Wendroth, O 2003 *Spatial and Temporal Statistics – Sampling Field Soils and their Vegetation*. Reiskirchen: Catena, 416 pp.

Nuñez, J. 2001 *Manejo y conservación de suelos*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 288 p.

Nyssen et al. 2004. Human impact on the environment in the Ethiopian Eritrean Highlands.

Oldeman L.R., van Engelen, V.W.P. y Palles, 1.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.

Olsen, S.R. and Dean, L.R. (1965) Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, No. 9, 920-926.

Olson, D.M. et al. (2001) Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51: 933–938

Omuto, C. T. y Vargas, R. 2008 Combining pedometrics, remote sensing and field observations for assessing soil loss in challenging drylands: A case study of Northwestern Somalia. *LAND DEGRADATION AND DEVELOPMENT* 20(1):101 - 115

Onstad, C.A. y Foster, G.R. 1975. Erosion modelling on a watershed. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 18: 288-292.

Ontiveros, Ronald 2014 “Memoria Técnica: Delimitación de Tierras Secas de Bolivia”. Convenio 34. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección. UMSS.

Opinión 2014 Baja la mortalidad infantil. Subeditorial. Basado en Informe Latinoamericano sobre Pobreza y Desigualdad 2013, del Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural <http://www.opinion.com.bo/opinion/articulos/2014/0502/noticias.php?id=126868&calificacion=3>

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>

Ponce-Hernandez, R. and P. Koohafkan (2004) Methodological Framework for Land Degradation Assessment in Drylands (LADA). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome, Italy

PRONALDES, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente 1996 Memoria Explicativa Mapa Preliminar de Erosión de Suelos, Región Árida, Semiárida y Subhúmeda Seca de Bolivia. Secretaria Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Subsecretaria de Recursos Naturales. Dirección de Conservación de Tierras. Centro de Información para el Desarrollo. La Paz, Bolivia.

Reid, R.S., R.L. Kruska, N. Muthui, A. Taye, S. Wotton, C.J. Wilson y W. Mulatu 2000. “Land–use and land–cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio–political forces: the case of southwestern Ethiopia”. *Landscape Ecology* 15: 339 – 355.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder, coordinators. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703. 384pp.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil and Water Conservation* 46(1):30-33.

Rodríguez 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.

SAyDS - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina. (2011). Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación. Argentina.

SERNAP 2011 Mapa de Áreas Protegidas Nacionales. MMAyA. La Paz, Bolivia

Sharid S 2010 Spatio-temporal variations of aridity and dry period in terms of irrigation demand in Bangladesh, Amer-Eur J Agri Environ Sci. 7:386 – 396.

Sistema Andino de Postgrado Agropecuario 1996 Segundo Curso Regional Intensivo sobre Erosión del Suelo y su Prevención en la agricultura bajo riego en Laderas. 25 al 29 de Marzo 1996. Loja, Ecuador.

Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo 2014 Nuestra Historia 50 Años
<http://slcs.org.mx/index.php/es/informacion-general/historia>.

Suomi-NPP, NASA 2012 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, Suomi National Polar-orbiting Partnership satellite. Published by NASA / SEDAC en 2014.

Tabari H, Aghajanloo M-B (2012) Temporal pattern of monthly aridity index in Iran with considering precipitation and evapotranspiration trends. Int J Climatol. doi:10.1002/joc.3432

Trejo, Marco; Lorenzo Menjivar, Dr. Carlos Gauggel 2010 Estado de los Recursos de Suelos del País y Medios para Incrementar su Base de Datos. Rio de Janeiro, Brasil.
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica_Atlas/Meeting2010/08Sep/4_HONDURAS.pdf.

UDAPE, INE 2006 Mapa de incidencia de pobreza extrema. Bolivia, 2001

UNCCD 2012 1ra. Reunión de la Red Internacional de Organizaciones de Desertificación del Ecuador – Riod Ecuador.

UNEP (1997). World atlas of desertification 2ED. Londres: John Wiley & Sons.

UNEP-WCMC 2012 Protected Planet Report. Tracking progress towards global targets for protected areas. Cambridge, UK

Universidad de Chapingo 2014 Breve historia de la Edafología en México
<http://www.chapingo.mx/suelos/index.php/nosotros/departamento/historia>.

Valenzuela Fuenzalida, Rafael 1993 Pérdida y Degradación de Suelos en América Latina y el Caribe. Revista EURE (Vol. XXI, Nº 58), pp. 61-72, Santiago de Chile.
www.eure.cl/index.php/eure/article/view/1119/221.

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (1999). Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau. EUR 19044 EN, 52pp.

Velázquez, A. y G. Bocco, 1994. "Modelling conservation alternatives with ILWIS: a case study of the volcano rabbit". ITC Journal 3: 197–204.

Velázquez, Alejandro; Elvira Duran; Alejandra Larrazábal; Faustino López y Consuelo Medina 2010 La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. Libro Tepalcatepec.indb. México.
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/601/cobertura.pdf>

Verburg, P.H., G.H.J., Kok, K., Veldkamp, A. y Bouma, J., de Koning 1999. "A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. Ecological Modelling 116: 45 – 61.

Viceministerio de Tierras - Unidad Técnica Nacional de la Información de la Tierra 2010 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia.

Wessels KJ, SD Prince, J Malherbe and others, 2007. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. Journal of Arid Environments 68, 271-297

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 World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial) 2006 Overview of Drought Management. http://www.wamis.org/agm/meetings/slovenia10/S1-Stefanski_Drought_Management.pdf

WOCAT - FAO 2011 World Overview of Conservation Approaches and Technologies <https://www.wocat.net/en/knowledge-base/technologiesapproaches/database.html>

Anexos



ANEXOS

Anexo 1. Trabajos de manejo y conservación de suelos realizados en la zona de estudio

Nro.	X	Y	DEPTO.	MUNICIPIO	COMUNIDADES PERTENECIENTES A LA CUENCA o PROYECTO	COMUNIDADES BENEFICIADAS CON EL PROYECTO	NOMBRE DEL PROYECTO O RESULTADO	NOMBRE DE LA CUENCA o LUGAR	TIPO DE ACTIVIDAD	CODIGO	COD "P"
8	- 67.028	- 17.764	Oruro	Soracachi	Soracachi	Soracachi	Manejo y Conservación de Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Cuenca Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
9	- 67.028	- 17.764	Oruro	Soracachi	Soracachi	Soracachi	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Cuenca Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
48	- 66.900	- 17.999	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Paria pampita	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
49	- 66.910	- 17.987	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Wicho kollo	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
50	- 66.914	- 17.973	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Payapayani	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
51	- 66.925	- 17.947	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Jachuyo	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
52	- 66.933	- 17.931	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Leque lequeni	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
53	- 66.931	- 17.914	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Mojon pampa	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
54	- 66.965	- 17.935	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Molle pongo	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12

55	- 66.947	- 17.899	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Caracollito	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
56	- 66.788	- 17.892	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Pucara	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
57	- 66.958	- 17.879	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Ventillita	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
58	- 66.907	- 17.924	Oruro	Soracachi	Paria pampita, Wicho kollo, Payapayani, Jachuyo, Leque lequeni, Mojon pampa, Molle pongo, guardaña, Caracollito, Pucara, Ventillita, Umitiri, Cachi cachi.	Cachi cachi	Manejo Integral de la Cuenca Guardaña	Guardaña	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	6	0.12
59	- 67.028	- 17.764	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Soracachi	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
60	- 67.009	- 17.698	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Untavi	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
61	- 66.928	- 17.734	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Conchiri	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
62	- 67.006	- 17.853	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Crucero	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
63	- 67.083	- 17.821	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Canllapata	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11

64	- 66.911	- 17.720	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Orcoma	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
65	- 66.951	- 17.827	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Iruma	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
66	- 66.979	- 17.669	Oruro	Soracachi	Anocariri, Soracachi, Calapata, Untavi, Conchiri, Jatita, Crucero, Canllapata, Lequepalca, Micayani, Orcoma, Chicuela, Calacaja, Challapampa, Toloma, Cohani, Cruce Ocotavi, Chullunquiani, Chungara, Cotochullpa; Iruma, Jachuma, Totoroco, Phisaqueri.	Totoroco	Manejo Y Conservación de los Recursos Naturales de la Cuenca Soracachi	Soracachi	Terrazas, forestacion, Zanjias de Infiltración y coronamiento, Regeneración vegetativa y áreas de reserva, Obras de control de erosión en cárcavas, Control Hidráulico de cauces	7	0.11
148	- 67.234	- 19.504	Oruro	Salinas G. Mendoza	Todo Santos	Todo Santos	6 ha de terreno se sembró con incorporaci3n de esti3rcol (1/2 kg/hoyo) y bajo riego localizado		Cerco de parcelas	1	0.43
165	- 67.283	- 19.397	Oruro	Salinas G. Mendoza	Villa Esperanza	Villa Esperanza	31 has de terreno con incorporaci3n de esti3rcol durante el barbecho del mes de febrero 2011, con una dosis de 18tn/ha		Abonamiento	1	0.43
169	- 66.758	- 19.385	Oruro	S. Quillacas	Pacullani	Pacullani	20 ha de terreno con incorporaci3n de esti3rcol durante el barbecho, febrero 2011, dosis 18 tn/ha		Abonamiento	1	0.43
178	- 67.732	- 19.520	Oruro	Salinas G. Mendoza	CalerYas	CalerYas	65 ha de cultivo de quinua en peque3os mantos protegidas y delimitadas del Area de pastoreo		Cerco de Areas de pastoreo	1	1
180	- 66.720	- 19.146	Oruro	Huari	Huancarani	Huancarani			micro riego para quinua	1	1
181	- 66.770	- 19.270	Oruro	Huari	Jocori	Jocori				1	1
182	- 66.752	- 19.255	Oruro	Huari	Vichajlupe	Vichajlupe				1	1
183	- 66.762	- 19.225	Oruro	Huari	Taracollo	Taracollo				1	1
184	- 66.740	- 19.280	Oruro	Huari	Phawa	Phawa			Micro riego	1	1
185	- 66.778	- 19.092	Oruro	Huari	Cochoca	Cochoca				1	1
186	- 66.759	- 19.148	Oruro	Huari	Iscacollo	Iscacollo			construccion de vigizas y compra de motobombas	2	0.43
187	- 66.730	- 19.227	Oruro	Huari	Urmiri de Quillacas	Urmiri de Quillacas			Abonamiento de parcelas	1	1
188	- 66.894	- 19.214	Oruro	S. Quillacas	Tolampa crucero	Tolampa crucero			perforacion de pozo para microriego	1	1
189	- 66.876	- 19.352	Oruro	S. Quillacas	Huerta pampa Belen	Huerta pampa Belen			perforacion de pozo para microriego	1	1
190	- 66.961	- 19.226	Oruro	S. Quillacas	Cay3i	Cay3i			implementacion de un reserborio de agua	1	1

191	-	-	Oruro	S. Quillacas	Soraga	Soraga			Abonamiento de parcelas	1	1
	66.000	10.207									
192	-	-	Oruro	S. Quillacas	Villa Ribera	Villa Ribera			Cercado con alambre de pua	1	1
	66.060	10.201									
193	-	-	Oruro	S. Quillacas	Pacullani	Pacullani			Cercado con alambre de pua	1	1
	66.767	10.200									

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego

Lic. María Alexandra Moreira López
Ministra de Medio Ambiente y Agua

Ing. Carlos Ortuño Yañez
Viceministro de Recursos Hídricos y Riego

Ing. Oscar Céspedes Montaña
Director General de Cuencas y Recursos Hídricos

Ing. María Eugenia Choque Lucena
Jefe de Unidad de Gestión Ambiental y Calidad de Aguas

Ing. Marco Mendoza Marín
Jefe de Unidad de Cuencas Transfronterizas

Ing. Neftali Chapi Siñani
Profesional VII en formación y seguimiento

Ing. Marco Jesus Montoya Chavez
Técnico SIG PNC2

Universidad Mayor de San Simón
Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección

Dr. Lucio Gonzales
Rector

Lic. Waldo Jiménez
Vicerector

Ing. Agr. MSc. Juan Villarroel Soliz
Decano

Ing. Agr. MSc. Fimo Alemán
Director Instituto de Investigaciones de la FCAPyF

Ing. Agr. MSc. Edgar Gutiérrez
Jefe de Departamento de Ingeniería de la FCAPyF

Ing. Agr. Mc. Carlos Ramiro Iriarte Ardaya
Coordinador – MAE CISTEL

MSc. Cristina Karen Ovando Crespo
Investigadora CISTEL Responsable Proyecto Convenio 34 (2011 -2015)

Ing. Mp. Javier Burgos Villegas
Investigador – Docente CISTEL

Consultores del Proyecto – Convenio 34 - CISTEL

Ing. PhD. Ronald Ernesto Ontiveros Capurata
Consultor – Hidrólogo

Ing. MSc. Hernán Figueredo Ticona
Consultor – Suelos

MSc. Eslid Ana Guerra Cerezo
Consultora - Biodiversidad

Ing. Armando Manuel Rodríguez Montellano
Consultor Uso y Cobertura

Ing. Marcela Claudia Méndez Vásquez
Consultora – Ing. Junior, Asistente

Gestión firma de Convenio Nº 34 - 2010

MSc. Ronald Job Vargas Rojas
Investigador CISTEL Responsable firma Proyecto Convenio 34 (Año 2010)

Participantes de los Talleres 2013

Abraham Cristóbal Ajana Huanca **VRHR**
Berto Gómez **Gobernación de Potosí**
David Anzaldo Anzaldo **UAGRM-FICH**
David Ruiz **CIAT**
Elías Avendaño **MMCHC**
Elías Nuñez **OTB-PEÑAS B.**
Feliz Muruchi Guzmán **F-ACLO**
Franklin Sánchez **ABT-SANTA CRUZ**
Freddy Villarroel A **UMRPSFX-CH**
Gabriel Salinas **PERTT**
Graciela Poma **Viceministerio de Tierras**
Iber Mamani Ramos **UATF**
Icler Soto Quispe **MAMGT-LIPEZ**
Isidoro Choquecallata **Gobernación de Oruro**
Jaime Rodríguez **PERTT**
Jaqueline Rios **Medio Ambiente Oruro**
Jesus Cardenas C **UTO FCAyV**
Jorge Perez Chacon **VRHIZ/MMAYA**
Jose Luis Andrade **Gobernación de Oruro**
Juan Carlos Ramirez **VRHyR**
Julio Cortez A. **FAO-GVC**
Limbert Urzagaste **ACLO-SUCRE**
Luis M. Torrez **PERTT**

Maria E. Anlunez **EPA**
Maria Lujan V **FAO**
Marlene Barral **GIS-PROAGRO**
Maryselva Viera **CIAT**
Nancy Tito **Gobernación de Santa Cruz**
Natalio Farfan V. **PERTT**
Paulino Ioaiza C **INIAF-CBBA**
Ramiro R. Orellana Flores **UMRPSFX-Ciencias Agrarias**
Raúl Cruz P. **INIAF La Paz**
Rider Villalba **ABT-MONTEAGUDO**
Sergio Laguna Bretel **FAO**
Victor H Choque Y. **Mancomunidad de los Chichas**
Zenon Miranda **GADC-SOC**
Zulema Barahona **FAN**

Convenio Interinstitucional No 34

