



**Banco Inter-Americano de Desarrollo
Washington, D.C.**

Proyecto #: RG-T2416

**PERFIL DE RIESGO DE DESASTRES PARA BOLIVIA
ANTE INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN
CUENCAS SELECCIONADAS**

INFORME No. 1
Preliminar para Discusión

**ASPECTOS GENERALES, INFORMACIÓN DISPONIBLE, ANÁLISIS
GENERAL DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y DESLIZAMIENTOS
Y SELECCIÓN DE CUENCAS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO**

Consultor



**Ingeniería Técnica y Científica S.A.S.
Cra. 11A # 90 – 15 Oficina 401
Tel.: (57-1) 702 2947
Bogotá D.C., Colombia**

Noviembre de 2014

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico

Luis Eduardo Yamin
Dirección General del Proyecto

Natalia León B.
Coordinación Técnica

Álvaro Iván Hurtado
Ingeniero Especialista

Especialistas y Asesores

Mauricio F. Villazón
Ingeniero Especialista (BOL)

Mario Díaz-Granados O.
Ingeniero Especialista

Rodolfo de Jesús Franco
Geólogo Especialista

Julián Trisancho
Ingeniero Especialista

Juan Carlos Reyes
Ingeniero Especialista

Natalia León B.
Ingeniero de soporte técnico

Álvaro Iván Hurtado
Ingeniero de soporte técnico

Diego Alejandro Páez
Ingeniero de soporte técnico

Diego Armando Inturias
Ingeniero de soporte técnico (BOL)

Carlos Adolfo Sierra
Asistente técnico

Fabio Alejandro Lagos
Asistente técnico

María Cristina Londoño
Asistente técnico

Andres Felipe Rojas
Asistente técnico

Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PAÍS Y CONTEXTO PARA EL RIESGO | 1 |
| 1.2 | HIDROGRAFIA | 3 |
| 1.3 | INFORMACIÓN GENERAL SOBRE AMENAZAS NATURALES Y EVENTOS CATASTRÓFICOS | 5 |
| 1.3.1 | Estadísticas generales | 5 |
| 1.3.2 | Eventos específicos relevantes | 8 |
| 1.4 | BASE DE DATOS DESINVENTAR | 13 |
| 1.4.1 | Información general | 13 |
| 1.4.2 | Eventos de inundación | 17 |
| 1.4.3 | Eventos de deslizamiento | 21 |
| 2 | INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA EL ANÁLISIS DE AMENAZA Y RIESGO | 26 |
| 3 | ANÁLISIS GENERAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES | 31 |
| 3.1 | METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GENERAL DE INUNDACIONES | 31 |
| 3.2 | EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES A NIVEL PAÍS | 32 |
| 3.3 | INDICADORES GENERALES DE RIESGO POR INUNDACIÓN | 37 |
| 4 | ANÁLISIS GENERAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS | 41 |
| 4.1 | METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GENERAL DE DESLIZAMIENTOS | 41 |
| 4.2 | METODOLOGÍA DETALLADA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD | 42 |
| 4.2.1 | Información disponible | 42 |
| 4.2.2 | Análisis de factores de seguridad | 42 |
| 4.3 | EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS | 43 |
| 4.4 | INDICADORES GENERALES DE RIESGO POR DESLIZAMIENTOS | 49 |
| 5 | SELECCIÓN DE CUENCAS PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIONES | 55 |
| 5.1 | GENERALIDADES | 55 |
| 5.2 | CONDICIONES DE AMENAZA Y RIESGO DE CUENCAS PRINCIPALES | 1 |
| 5.2.1 | Cuenca del Río Grande | 1 |
| 5.2.2 | Cuenca del Río Piraí | 2 |
| 5.2.3 | Cuenca del Río Rocha | 3 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.4 | Cuenca del Río Pilcomayo | 3 |
| 5.2.5 | Cuenca del Río Caine | 4 |
| 5.2.6 | Cuenca del Río Yapacaní | 4 |
| 5.2.7 | Cuenca del Río Mamoré..... | 4 |
| 5.3 | SELECCIÓN DE CUENCAS CRÍTICAS PARA EL ANÁLISIS | 5 |
| 5.4 | DESCRIPCIÓN DE CUENCAS Y TRAMOS CRÍTICOS PARA EL ANÁLISIS | 6 |
| 5.4.1 | Cuenca del Río Rocha | 6 |
| 5.4.2 | Cuenca del Río Grande | 9 |
| 6 | Bibliografía | 12 |

1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PAÍS Y CONTEXTO PARA EL RIESGO

Bolivia se encuentra ubicada al centro-occidente de América del sur, más precisamente en latitud sur, longitud oeste, delimitada por los paralelos 9°38' y 22°53' y los meridianos 57°25' y 69°38'. Su superficie terrestre es de aproximadamente 1.098.580 km². Su división política consta de nueve departamentos, y su capital administrativa es Sucre mientras que su capital política es La Paz. El último censo (realizado en 2012) estimó la población del país en aproximadamente 10.1 millones de habitantes.



Figura 1. Ubicación general Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible en www.diva-gis.org.

Una de las características principales del territorio es la gran diversidad geográfica que se presenta a lo largo de éste. Bolivia es atravesada por dos cordilleras (la occidental y la oriental o real) que forman parte de la cadena montañosa de los Andes. Esto genera una subdivisión del país en seis principales regiones naturales: cordillera occidental, cordillera real, altiplano, sub andina, llanura Chaco y el escudo brasileño.



Figura 2. Relieve de Bolivia. Fuente: (SkyBTech., 2014).

Debido a esta diversidad en el relieve, en el país se generan múltiples fenómenos climáticos y a su vez, estos fenómenos ocasionan una amenaza específica para cada región. En las regiones del altiplano, la llanura y el escudo brasileño se presentan constantemente inundaciones, sequías y deslizamientos, mientras que en las cordilleras y en la zona sub andina se presentan frecuentes deslizamientos, inundaciones y actividad sísmica moderada. Además de esto, estas diferencias en el relieve a lo largo del país ocasionan climas muy cambiantes en las diferentes regiones de manera que se encuentran lugares con nieves perpetuas, clima húmedo, y zonas áridas.

Las dos cordilleras que atraviesan el país controlan el clima de la zona ya que impiden el paso de aire húmedo que viene de las planicies generando climas secos al oeste del país. Además de esto, las praderas del altiplano se encuentran afectadas por sobre pastoreo por lo que se presenta altos efectos de erosión en esta zona. Por otro lado, en los valles ubicados entre la cadena montañosa se presentan graves problemas durante la época de sequía, que afecta el cultivo de papa, el cual es el alimento y medio de subsistencia básico de la población pobre e indígena. Por otro lado, la amenaza que afecta de forma más recurrente a la población boliviana son las inundaciones y, de forma secundaria, los deslizamientos o remoción de masas ya que estos se observan principalmente después de la época de lluvias o durante la misma.

El fenómeno del niño, ENSO, afecta al país de forma distinta a sus vecinos, Ecuador y Perú. En Bolivia, se presenta un aumento en la precipitación cercano al 25% con respecto a la normal climática en las regiones occidentales, mientras que en el altiplano se reduce la precipitación cerca de un 30% respecto a su media normal. Esto ocasiona emergencias naturales muy variadas a lo largo del territorio cuando se presenta este fenómeno, sequías en la parte oriental e inundaciones y deslizamientos en la parte occidental en la que se encuentra ubicada la Paz (SENAMHI, 2002).

Por otra parte, en Bolivia, similar a lo que ha venido ocurriendo en todos los países latinoamericanos en las últimas décadas, la población urbana ha presentado un alto crecimiento poblacional, llegando a representar cerca del 60% de la población total (The democracy Center, s.f.). Esto, añadido con una falta de planeación y medidas adecuadas de control, ha ocasionado un deterioro de la vida urbana, profundizando la crisis económica, social y medio ambiental, tanto así que se ha estimado que cerca del 50% de la población Boliviana se encuentra en situación de vulnerabilidad social (Chipana W. , 2013). En la mayoría de ciudades, la capacidad gubernamental de proveer los servicios básicos a toda la población ha sido sobrepasada, lo que ocasiona la formación de asentamientos vulnerables a los diferentes fenómenos naturales. Desde finales del 2003 hasta la fecha, en Bolivia han fallecido más de 400 personas por causa de diversos fenómenos naturales.

1.2 HIDROGRAFIA

Bolivia se encuentra dividida en tres cuencas principales que son: la cuenca del amazonas, del plata y lacustre, las cuales desembocan sus aguas en las vertientes del Atlántico y del altiplano, y en menor medida en el Pacífico. En la Figura 2 se presenta la división de macrocuencas en el país.

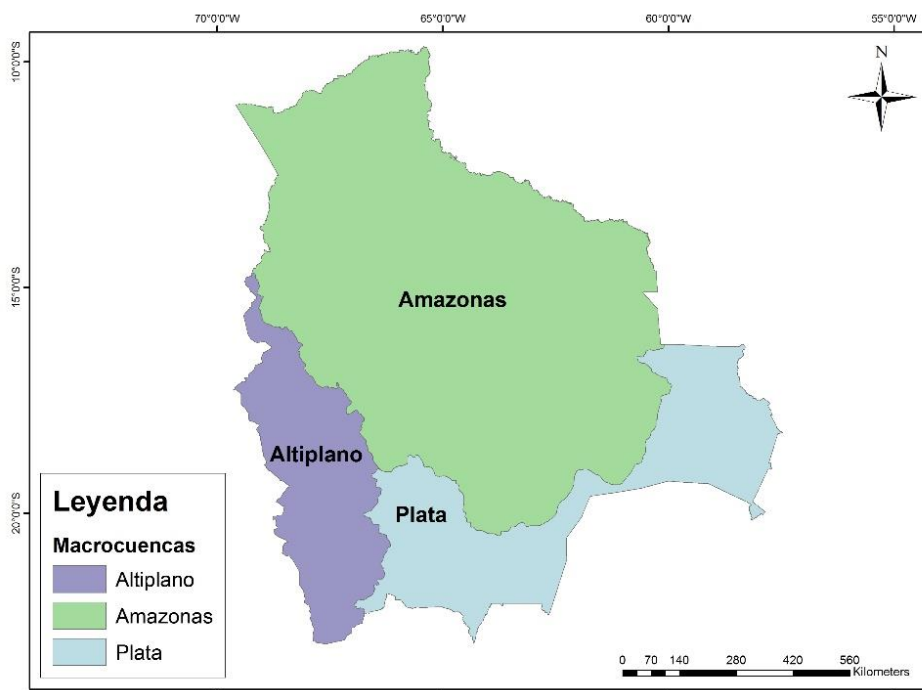


Figura 2. Macrocuencas de Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

A continuación se describen las principales características de las macrocuencas de Bolivia:

Cuenca del Amazonas: también conocida como cuenca norte, tiene una extensión aproximada de $724,000 \text{ km}^2$, es decir, ocupa cerca del 65% del territorio. Presenta una precipitación media anual cercana a los 1800 mm/año. Los ríos que conforman esta cuenca tienen en su mayoría caudales altos y sinuosos, lo que ocasiona a su vez la formación de múltiples lagos. Los ríos principales de esta cuenca son: El río Mamoré (2000 km) principal afluente Boliviano, río Beni (1113 km), río Madera el cual se forma por la confluencia del río Mamoré y Beni y es el principal afluente del Amazonas. Otros ríos importantes de la cuenca son el río Orthon, Madre de Dios, Abuná, Yata e Iténez. Por otra parte, entre las principales formaciones lacustres se encuentran la laguna Murillo, el Rogaguado y el Rogagua.

Cuenca del Plata: también conocida como cuenca sur, tiene una extensión aproximada de $230,000 \text{ km}^2$, es decir, ocupa cerca del 20% del territorio. Presenta una precipitación media anual cercana a los 850 mm/año por lo que tiene afluentes mucho menos caudalosos que los de la cuenca Norte. Los ríos principales de la cuenca son el río Paraguay, Pilcomayo y Bermejo, mientras que las lagunas más importantes son las de Uberaba y Mandioré.

Cuenca del Altiplano o Lacustre: también conocida como cuenca central, tiene una extensión aproximada de $145,000 \text{ km}^2$, es decir, ocupa cerca del 13% del territorio. Presenta una precipitación media anual cercana a los 400 mm/año. Esta cuenca se caracteriza por la presencia de los grandes salares de Uyuni, el cual tiene cerca de $12,000 \text{ km}^2$ lo que lo convierte en el desierto de sal más grande del mundo y el salar de Coipasa de $2,200 \text{ km}^2$ de superficie. Además de esto, en la cuenca se encuentra ubicado el lago Titicaca, el lago más alto del mundo, ubicado a los 3180 msnm, del cual nace el río más importante de la cuenca, el Desaguadero, de 436 km de longitud que desemboca en el lago Poopó. Los ríos de esta cuenca se caracterizan por que no vierten sus aguas en ningún océano ya que se encuentran encerrados por la cordillera de los Andes. Las lagunas Verde, Blanca y Colorada también forman parte de la cuenca, cuya importancia radica en sus múltiples atractivos turísticos.

En la Tabla 1 se presentan los ríos principales de Bolivia con sus respectivas longitudes. En la Figura 3 se indica la ubicación de dichos ríos en el país.

Tabla 1. Ríos principales de Bolivia. Fuente: Instituto Geográfico Nacional: <http://www.igmbolivia.gob.bo/>.

| Río | Longitud (km) |
|----------|---------------|
| Mamoré | 2,000 |
| Itonomas | 1,493 |
| Grande | 1,438 |
| Beni | 1,130 |
| Blanco | 1,087 |

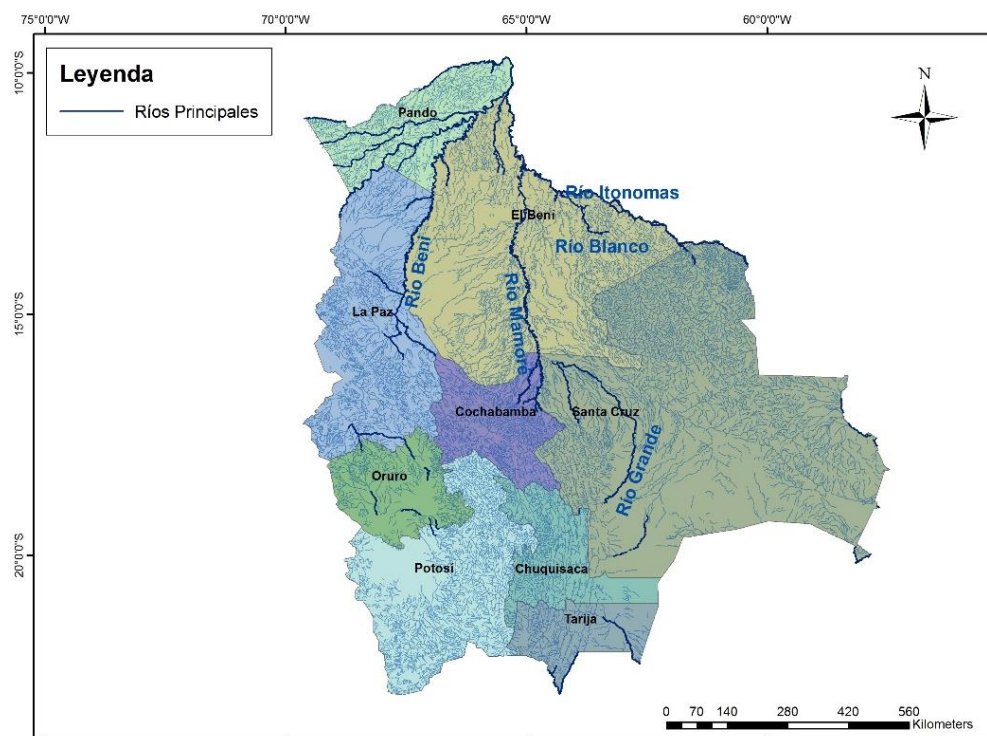


Figura 3. Ríos principales de Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

1.3 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE AMENAZAS NATURALES Y EVENTOS CATASTRÓFICOS

1.3.1 Estadísticas generales

La Tabla 2 resume las estadísticas principales relacionadas con la información disponible de desastres ocurridos en Bolivia en el periodo comprendido entre 1980 y 2010 (Referencia 1).

Tabla 2. Estadísticas generales de desastres en Bolivia entre 1980 y 2010. Fuente: EM-DAT: www.emdat.be/

| Tipo de desastre | Ocurrencia | Muertos | Afectados | Heridos | Desplazados | Total afectados | Daños Totales |
|-------------------------------|------------|---------|-----------|---------|-------------|-----------------|---------------|
| sequía | 11 | 0 | 3,921,564 | 0 | 0 | 3,921,564 | 1,065,600 |
| Inundación | 37 | 1,074 | 3,147,160 | 485 | 142,075 | 3,289,720 | 1,662,118 |
| Deslizamientos | 7 | 237 | 169,690 | 163 | 800 | 170,653 | 400,000 |
| Epidemia | 12 | 527 | 51,472 | 0 | 0 | 51,472 | 0 |
| Tormenta | 2 | 20 | 18,740 | 0 | 0 | 18,740 | 0 |
| Terremoto (actividad sísmica) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Tipo de desastre | Ocurrencia | Muertos | Afectados | Heridos | Desplazados | Total afectados | Daños Totales |
|---------------------|------------|---------|-----------|---------|-------------|-----------------|---------------|
| Incendio Forestal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura extrema | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

De la Tabla 3 a Tabla 5 presentan los principales eventos naturales con el mayor número de afectados, víctimas y pérdidas económicas dentro de la ventana de tiempo de 1980 a 2010.

Tabla 3. Eventos naturales con mayor afectación humana. Fuente: EM-DAT, www.emdat.be/

| Desastres | Fecha | Afectados (No. de personas) |
|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| Sequía | 1983 | 1,583,049 |
| Sequía | 1983 | 1,500,000 |
| Inundación | 2007 | 485,000 |
| Inundación | 2001 | 357,250 |
| Inundación | 2007 | 339,495 |
| Inundación | 1986 | 310,000 |
| Sequía | 1990 | 283,160 |
| Inundación | 2010 | 227,860 |
| Inundación | 1997 | 190,000 |
| Movimiento de tierra húmeda | 1994 | 165,000 |

Tabla 4. Eventos naturales con mayor número de víctimas mortales. Fuente: EM-DAT, www.emdat.be/

| Desastre | Fecha | Víctimas (No. de personas) |
|---------------------------|-------|----------------------------|
| Epidemia | 1991 | 329 |
| Inundación | 1983 | 250 |
| Terremoto* | 1998 | 95 |
| Inundación | 2002 | 76 |
| Inundación | 2007 | 75 |
| Movimiento tierras húmeda | 2003 | 69 |
| Inundación | 2003 | 69 |
| Epidemia | 1989 | 67 |
| Movimiento tierras húmeda | 1998 | 60 |
| Movimiento tierras húmeda | 1992 | 49 |

Tabla 5. Eventos naturales con mayores pérdidas económicas reportadas. Fuente: EM-DAT, www.emdat.be/

| Desastre | Fecha | Costo (US\$ Millones) |
|---------------------------|-------|-----------------------|
| Sequía | 1983 | 500 |
| Inundación | 2007 | 500 |
| Sequía | 1983 | 417 |
| Inundación | 1982 | 400 |
| Movimiento tierras húmeda | 1992 | 400 |
| Inundación | 2001 | 121 |
| Inundación | 2002 | 100 |
| Inundación | 1992 | 100 |
| Inundación | 1992 | 100 |
| Sequía | 2010 | 100 |

Por otro lado la Tabla 6 resume las estadísticas generales por evento en términos de víctimas mortales, personas afectadas y pérdidas económicas.

Tabla 6. Estadísticas generales por eventos de inundación y deslizamiento. Fuente: EM-DAT, www.emdat.be/

| Tipo de desastre | Fecha | Ocurrencia | Muertos | Afectados | Heridos | Desplazados | Total afectados | Costo (US\$ Millones) |
|------------------|-------|------------|---------|-----------|---------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Inundación | 2013 | 2 | 99 | 483995 | 0 | 0 | 483995 | 484 |
| Deslizamientos | 2013 | 1 | 19 | 0 | 29 | 0 | 29 | 0 |
| Inundación | 2012 | 1 | 13 | 69085 | 0 | 0 | 69085 | 69 |
| Inundación | 2011 | 1 | 52 | 88825 | 0 | 0 | 88825 | 89 |
| Deslizamientos | 2011 | 1 | 0 | 4000 | 0 | 0 | 4000 | 4 |
| Inundación | 2010 | 1 | 26 | 227860 | 0 | 0 | 227860 | 228 |
| Inundación | 2009 | 1 | 0 | 63000 | 0 | 0 | 63000 | 63 |
| Inundación | 2007 | 2 | 115 | 824495 | 0 | 0 | 824495 | 824 |
| Inundación | 2006 | 2 | 25 | 126550 | 50 | 0 | 126600 | 127 |
| Inundación | 2003 | 3 | 74 | 47500 | 29 | 10000 | 57529 | 58 |
| Deslizamientos | 2003 | 1 | 69 | 690 | 11 | 300 | 1001 | 1 |
| Inundación | 2002 | 1 | 76 | 5000 | 146 | 0 | 5146 | 5 |
| Inundación | 2001 | 1 | 41 | 357250 | 0 | 0 | 357250 | 357 |
| Inundación | 2000 | 2 | 30 | 7000 | 10 | 0 | 7010 | 7 |
| Inundación | 1999 | 1 | 0 | 1000 | 0 | 600 | 1600 | 2 |
| Deslizamientos | 1998 | 1 | 60 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 |
| Inundación | 1997 | 2 | 56 | 190000 | 0 | 0 | 190000 | 190 |
| Deslizamientos | 1996 | 1 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Deslizamientos | 1994 | 1 | 0 | 165000 | 0 | 0 | 165000 | 165 |
| Inundación | 1992 | 2 | 4 | 0 | 50 | 40000 | 40050 | 40 |
| Deslizamientos | 1992 | 1 | 49 | 0 | 100 | 500 | 600 | 1 |
| Inundación | 1987 | 1 | 25 | 20000 | 0 | 0 | 20000 | 20 |
| Inundación | 1986 | 1 | 29 | 260000 | 0 | 50000 | 310000 | 310 |
| Inundación | 1985 | 1 | 0 | 0 | 0 | 475 | 475 | 0 |
| Inundación | 1984 | 1 | 0 | 3000 | 0 | 0 | 3000 | 3 |
| Inundación | 1983 | 1 | 250 | 50000 | 0 | 0 | 50000 | 50 |
| Inundación | 1982 | 1 | 0 | 30000 | 0 | 0 | 30000 | 30 |
| Inundación | 1980 | 1 | 0 | 15000 | 0 | 0 | 15000 | 15 |
| Inundación | 1978 | 2 | 40 | 163000 | 0 | 15000 | 178000 | 178 |
| Inundación | 1977 | 1 | 10 | 70000 | 0 | 20000 | 90000 | 90 |
| Inundación | 1974 | 1 | 31 | 18000 | 0 | 0 | 18000 | 18 |
| Inundación | 1968 | 1 | 24 | 20000 | 200 | 6000 | 26200 | 26 |
| Inundación | 1966 | 2 | 14 | 6100 | 0 | 0 | 6100 | 6 |
| Inundación | 1965 | 1 | 40 | 500 | 0 | 0 | 500 | 1 |

Con respecto a inundaciones únicamente, la base de datos reporta un total de 37 eventos en el periodo comprendido entre 1965 y 2013. La valoración económica total de estos eventos está en el orden de los US\$ 3,300 millones. El número total de personas afectadas es del orden de 33 millones, el número total de víctimas mortales es del orden de 1,000 personas.

Sin duda las inundaciones conjuntamente con las sequías son eventos que generan cuantiosas pérdidas económicas para el país y por lo tanto cualquier esfuerzo que se realice en gestión del riesgo queda plenamente justificado. Adicionalmente, los deslizamientos o movimientos en masa generan de manera simultánea impactos en el mismo orden de magnitud que los anteriores en relación a las pérdidas económicas estimadas.

1.3.2 Eventos específicos relevantes

En el año 2014 se presentaron inundaciones en Bolivia de magnitudes nunca antes registradas. Los eventos históricos más catastróficos previamente registrados ocurrieron en 2007 y 2008. A continuación se presenta la descripción de estos eventos específicos relevantes por los impactos generados.

Inundaciones en el 2014 (OPS/OMS Bolivia, 2014)

Entre diciembre de 2013 y febrero de 2014 se presentó un régimen de lluvias que trajo consigo consecuencias fatales para todo el país. El desborde de los ríos en Cochabamba, Beni y Santa Cruz inundó extensas zonas rurales y urbanas. Se registraron más de 85 municipios afectados, 24,036 familias damnificadas, 713 viviendas destruidas, 44 muertos, 352 hectáreas de cultivos afectadas y pérdidas en infraestructura nacional como puentes y carreteras. La Figura 4 ilustra la cuantificación de las diferentes pérdidas por departamento.

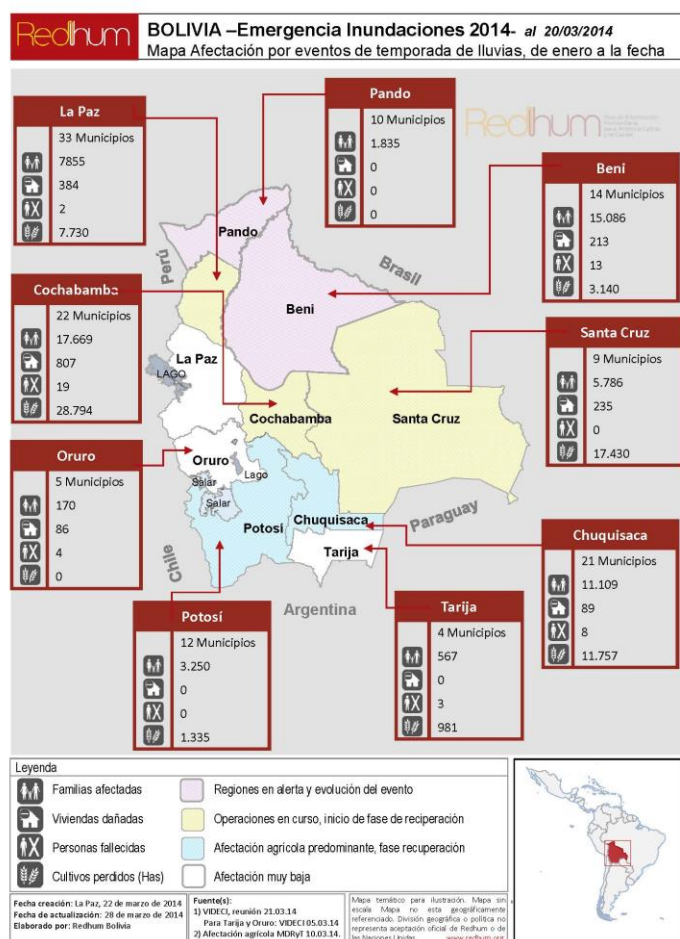


Figura 4. Afectación por evento de lluvias 2014. Fuente: http://www.redhum.org/emergencia_detail/719.

En el departamento de Beni la inundación del poblado de Reyes dejó 40 viviendas afectadas, el desbordamiento del río Beni ocasionó daños en la mayoría de viviendas de adobe. En San Ignacio de Moxos se registraron 600 familias damnificadas por una inundación que alcanzó los 20 centímetros. En San Borja el desbordamiento de los ríos Maniqui y Colorado dejó 180 familias afectadas entre familias indígenas y urbanas. En Santa Rosa de Yacuma el desborde del río Yacuma afectó a 134 familias. También se registraron daños por el desbordamiento del río Beni en Rurrenabaque y Riberalta; por el desbordamiento del río Mamoré en los municipios de San Andrés, Trinidad, Puerto Siles, Santa Ana de Yacuma y Exaltación y por el desbordamiento del río Iténez ocasionó daños en Baures y Magdalena.

En Cochabamba se inundaron los municipios de Cliza, Omereque, Mizque, Colapirhua, Puerto Villaroel, Entre Ríos, Arani, Chimore, Toco, Tolata y Villa Tunari. En tan solo el mes de enero más de 6600 hectáreas de cultivos de banano, cítricos, palta, coca, yuca y arroz quedaron dañados. Las lluvias intensas ocasionaron la crecida de ríos, el desborde de torrenteras, y el derrumbe de casas. En el municipio de Cliza la afectación se valoró en más del 80%. El desbordamiento del río Rocha causó pérdidas graves en los municipios de Sipe Sipe, Quillacollo y Cochabamba.

En el departamento de la Paz se registraron afectaciones en los municipios de Ixiamas, San Buenaventura, Guanay, Tipuani y Palos Blancos. En la región de Calacoto, en la ciudad de la Paz, la crecida del río Achumani dejó dos personas heridas y una serie de pérdidas materiales.

En el departamento de Santa Cruz los municipios de Yacapaní, San Pedro, San Juan, Santa Rosa del Sara, Urubicha y Concepción fueron afectados. El desborde del Río Grande ocasionó la inundación de más de 50 comunidades del municipio de El Puente; se identificaron zonas prácticamente incomunicadas por vías terrestres; se declaró alerta naranja en los ríos Yapacaní e Ichilo con crecientes de más de 5,6 metros y 12 metros, respectivamente.

Los departamentos de Beni y la Paz fueron las regiones con mayor afección humanitaria y en el sur del país se registró una afección agrícola predominante, en especial en los departamentos de Potosí, Chuquisaca y Tarija. En Potosí los municipios afectados fueron Tupiza, Cotagaita y Vitachi. En Chuquisaca Monteagudo, Villa Vaca Guzmán, Huacaya, Zudañez, Presto, Icla y Yamparáez. En Tarija Padcaya, Entre Ríos, Uriondo y Yunchara. En el departamento de Oruro se registró la menor cantidad de familias y cultivos afectados.

La Figura 5 un mapa temático de las últimas inundaciones en Bolivia captadas por el Observatorio de inundaciones de Dartmouth en colaboración con la NASA.

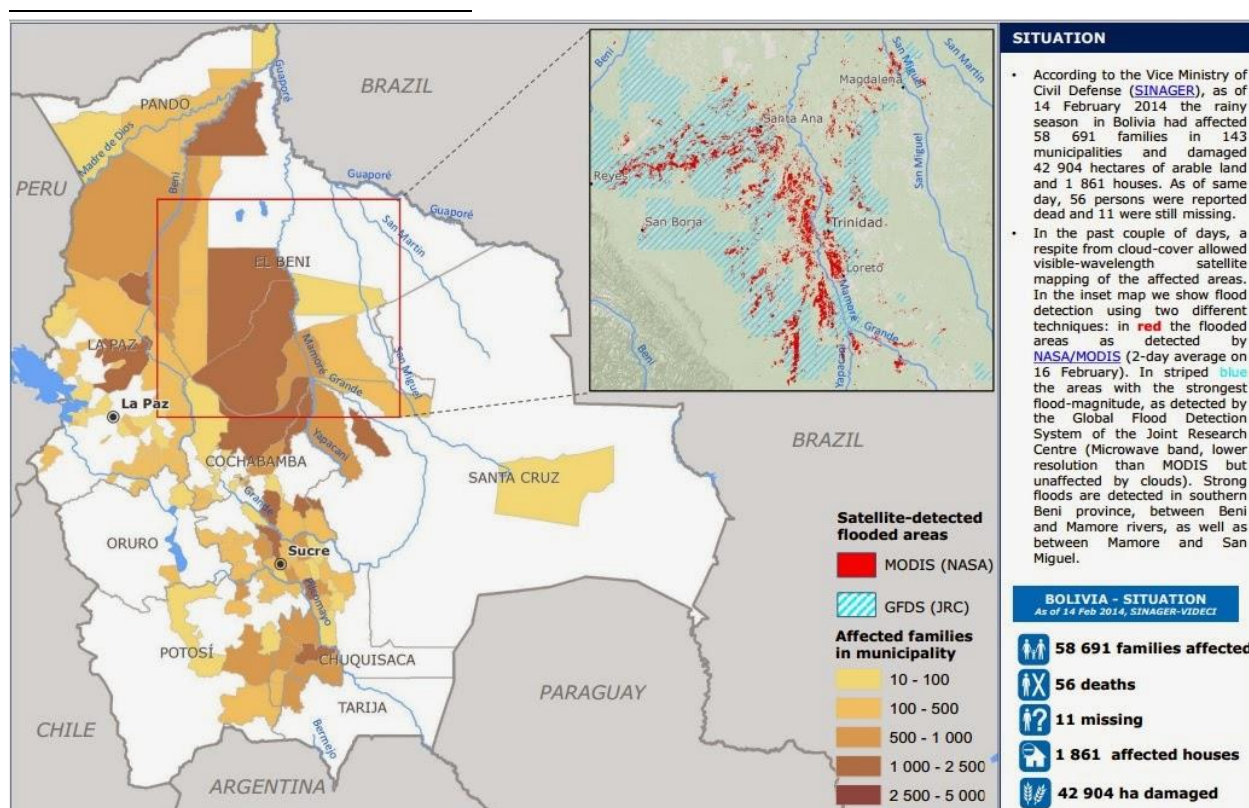


Figura 5. Inundaciones en el departamento de Beni durante el 2014.

Fuente: <http://floodobservatory.colorado.edu/RapidResponse/2014Bolivia4117/2014Bolivia.html>.

Inundaciones en el 2008

Durante el primer trimestre de 2008 se repitieron los eventos de inundación del 2007 con intensidades aún mayores. Ambos eventos se atribuyeron a la ocurrencia del fenómeno de la Niña. Desde noviembre de 2007 a marzo de 2008 se registraron 67 muertes, 3 desapariciones y 94.000 familias afectadas por las lluvias intensas. El municipio de Trinidad en Beni fue nuevamente el más afectado, el nivel de agua superó en 10 cm los valores alcanzados en el año anterior. En Beni los municipios de San Ignacio, Loreto, San Andrés y San Javier sufrieron inundaciones. En el departamento de Santa Cruz el nivel del río Grande se elevó de 3 a 4,5 metros generando inundaciones en los municipios de San Julián y Cuatro Cañada. Los municipios de Yacapaní y San Juan de Yacapaní también fueron afectados. Miles de familias fueron evacuadas. El Gobierno nacional declaró “Situación de Desastre Nacional” a través del Decreto Supremo No 29438, el 12 de febrero de 2008. El Gobierno logró disponer de un fondo de 50 millones de dólares para la atención de emergencias, gran parte de este fondo se destinó a la reconstrucción de viviendas en las regiones más afectadas. En Cochabamba 200 familias fueron reubicadas.

En la Figura 6 se presenta un mapa que ilustra las inundaciones detectadas por satélite en la zona urbana de Trinidad, capital departamental del Beni. La imagen satelital fue captada el 8 de febrero 2008.

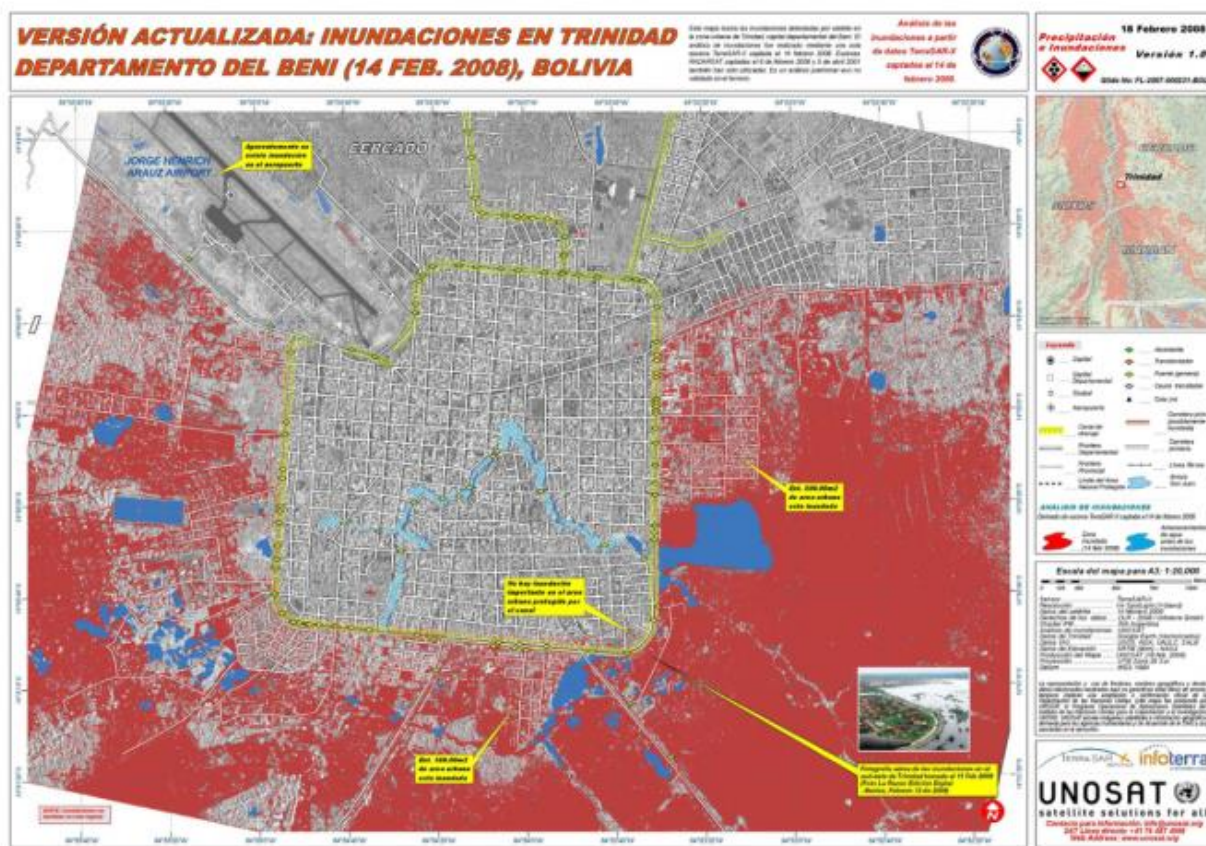


Figura 6. Mapa de inundaciones en el municipio de Trinidad, Beni.

Fuente: <http://reliefweb.int/map/bolivia/versi%C3%B3n-actualizada-inundaciones-en-trinidad-departamento-del-beni-14-feb-2008-bolivia>.

Inundaciones en el 2007

Durante los meses de enero a marzo de 2007 Bolivia atravesó un periodo de fuertes inundaciones, heladas y granizadas que afectaron los departamentos de Beni, Santa Cruz, Cochabamba, Chuquisaca, La Paz, Tarija y Potosí. El municipio de Trinidad en el departamento de Beni fue uno de los más afectados. Las lluvias intensas ocasionaron el desborde de ríos, la pérdida de cosechas, la destrucción de viviendas y daños en la infraestructura vial. Se registraron más de 100.000 familias damnificadas, 50 muertes y más de 366.000 hectáreas de cultivos afectadas. Las pérdidas se avaluaron en 230 millones de dólares según la Cámara Nacional de Comercio de los cuales 100 millones de dólares correspondían a los daños ocasionados en el departamento del Beni.

Las inundaciones se calificaron como las peores de los últimos 25 años. La población afectada se enfrentó a condiciones precarias de saneamiento y acceso a agua potable que incrementaron el riesgo potencial epidémico de enfermedades diarreicas agudas (EDAs), infecciones respiratorias agudas (IRAs), dengue, malaria, leptospirosis y fiebre amarilla. La escasez de productos agrícolas y pecuarios conllevó al alza de los precios.

En la Figura 7 se ilustran las inundaciones detectadas por satélite en los Departamentos del Beni y de Santa Cruz. El análisis de inundaciones fue realizado por captaciones satelitales realizadas el 27 de septiembre 2007 y 13 de febrero 2008.

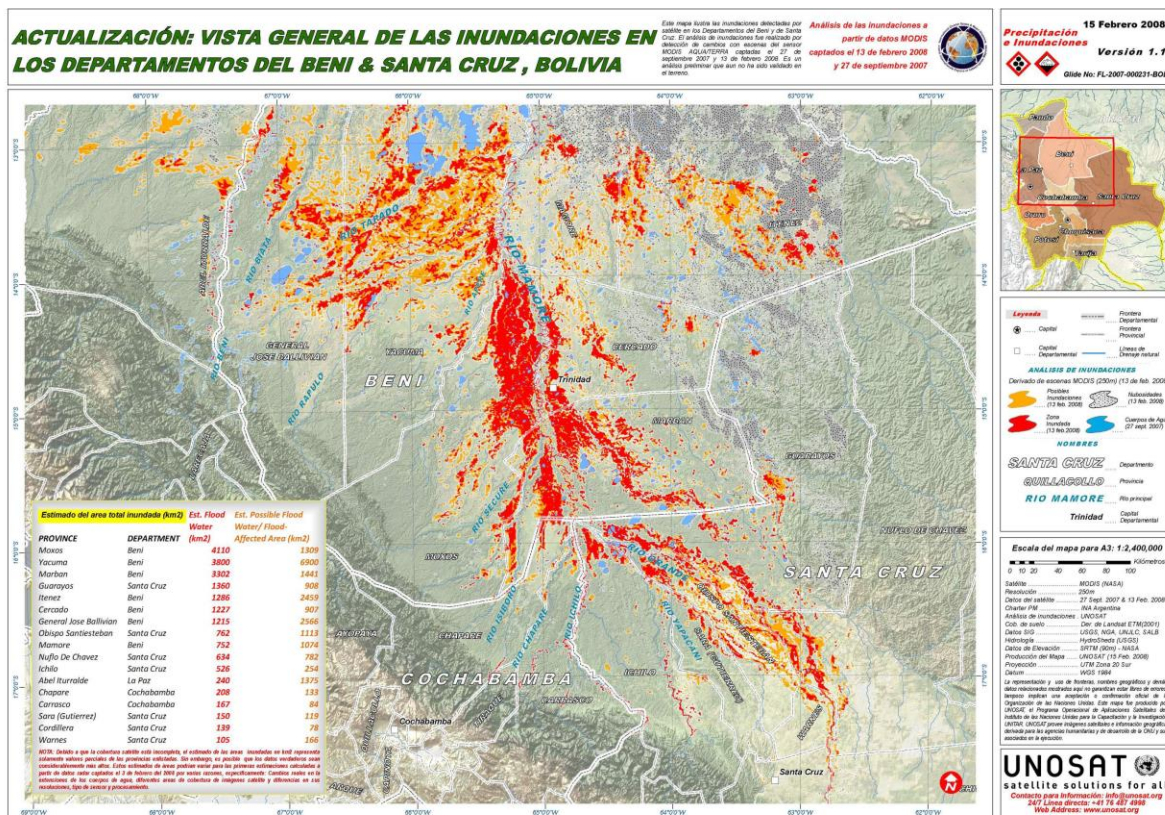


Figura 7. Mapa de inundaciones en los departamentos de Beni y Santa Cruz en 2007 y 2008.

Fuente: <http://reliefweb.int/map/bolivia/actualizaci%C3%B3n-vista-general-de-las-inundaciones-en-los-departamentos-del-beni-santa-cruz>.

1.4 BASE DE DATOS DESINVENTAR

Por otro lado se analiza la información contenida en la base de datos DesInventar (DesInventar Project, 2013).

1.4.1 Información general

La Tabla 7 presenta la descripción de los principales campos de los registros de las bases de datos DesInventar. La base de datos reporta la información por municipio. Por lo cual para un mismo evento es posible encontrar en la base de datos varios registros específicos.

Tabla 7. Principales campos en la base de datos DesInventar.

| Campo | Descripción |
|----------------------|---|
| Fecha inicio | Fecha del evento |
| Nombre geografia | Localización |
| Tipo evento | Tipo de Evento |
| Muertos | Número de personas fallecidas por causas directas. Cuando se dispone de datos oficiales finales se incluye este valor con las observaciones correspondientes, por ejemplo cuando haya diferencias entre las cifras oficialmente aceptadas y las de otras fuentes. Las presunciones sobre muertos, no verificados oficialmente, se registran en el campo -Observaciones de efectos- consignando la fuente de información. |
| Desaparecidos | Número de personas cuyo paradero a partir del desastre es desconocido. Incluye personas presumiblemente muertas sin evidencias físicas. Los datos de muertos y de desaparecidos son mutuamente excluyentes, por lo tanto no los mezcle. |
| Heridos, enfermos | Número de personas que resultaron afectadas en su salud o integridad física, sin ser víctimas mortales, por causa directa del desastre. Se deben incluir las personas que sufrieron lesiones y las que quedaron enfermas si se trata de una plaga o epidemia. |
| Damnificados | Número de personas que han sufrido grave daño directamente asociado al evento en sus bienes y/o servicios individuales o colectivos. Por ejemplo destrucción parcial o total de su vivienda y sus bienes; pérdidas en cultivos y/o en bodegas, etc. Se deben incluir también personas reubicadas. |
| Afectados | Número de personas que sufren efectos indirectos o secundarios asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren el impacto de los efectos secundarios de los desastres por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, o en el trabajo, o por aislamiento. Si la información aparece por familias, calcular el número de personas según indicadores disponibles. |
| Evacuados | Número de personas evacuadas temporalmente de sus viviendas, lugares de trabajo, colegios, hospitales, etc. |
| Reubicados | Número de personas que han sido trasladadas desde sus sitios de vivienda a nuevos emplazamientos permanentes. |
| Viviendas Destruídas | Número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables. |
| Viviendas Afectadas | Número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aun cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza. |
| Valor pérdidas \$ | Monto de las pérdidas directas causadas por el desastre en moneda local. |
| Valor pérdidas \$USD | Equivalente en dólares (\$USD) de las pérdidas en moneda local, según la tasa de cambio de |

| Campo | Descripción |
|-------------------------|---|
| | moneda nacional en la fecha de ocurrencia del desastre. |
| Centros hospitalarios | Número de centros de salud, clínicas, hospitales locales y regionales destruidos y afectados directa o indirectamente por el desastre. |
| Centros de educación | Número de guarderías, escuelas, colegios, universidades, centros de capacitación, etc. destruidas y afectadas directa o indirectamente por el desastre. Incluye aquellos que han sido utilizados como albergues temporales. |
| Cultivos y bosques (Ha) | Número de áreas de cultivo, pastizales o bosques destruidas y afectadas. Si la información está en otra medida se deberá convertir a hectáreas. |
| Ganado | Número de unidades perdidas (bovinos, porcinos, caprinos, y avícolas) cualquiera sea el evento (inundación, sequía, epidemia, etc.). |
| Vías afectadas (m) | Longitud de redes viales destruidas y/o inhabilitadas en metros. |

Por otro lado la base de datos incluye una serie de categorías y causas asociadas que se resumen esquemáticamente en la Tabla 8.

Tabla 8. Categorías de eventos y causas asociadas.

| Categoría | Eventos incluidos | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Tectónicos | Sismo | Tsunami | |
| Volcánicos | Actividad Volcánica | | |
| Deslizamientos | Alud | Deslizamiento | |
| Huracanes | Huracán | Ciclón | |
| Hidrometeorológicos | Aluvión | Avenida torrencial | Cambio línea de costa |
| | Granizada | Helada | Inundación |
| | Lluvias | Marejada | Neblina |
| | Nevada | Onda fría | Tempestad |
| | Tormenta eléctrica | Tornado | Vendaval |
| Sequia | Ola de calor | Sequía | |

La Tabla 9 resume las características de los tipos de eventos más relevantes registrados en la base de datos DesInventar para Bolivia.

Tabla 9. Características de los tipos de eventos más relevantes registrados en DesInventar- Bolivia

| Evento | Número de registros | % de registros | Periodo de registro | Fuentes relevantes |
|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|--|
| Accidente | 16 | 0.33%< | 1990-2007 | El Diario,Presencia ,La Razon |
| Alud | 1 | 0.02% | 2007 | La Razon |
| Biológico | 11 | 0.23% | 1996-2011 | El Diario,Defensa Civil ,RAD BN |
| Aluvión | 43 | 0.89% | 1971-2007 | El Diario,La Razon |
| Colapso estructural | 49 | 1.02% | 2008-2011 | La Razón,Defensa Civil,Estudio identificacion de riesgos del IRD,GAM-LP,DGEA BD-2008; Prensa, RAD ,GAM-LP |
| Contaminación | 44 | 0.92% | 2008 | El Diario, Defensa Civil,Presencia, RAD ,Stria URI |
| Deslizamiento | 409 | 8.51% | 1974-2011 | El Diario,Quipus,Defensa Civil,Presencia , La Razon, COEM - La Paz La Razón Ed Digital,GOB-LP,GAM-LP,EDAN,VALI,CBBA |
| Epidemia | 241 | 5.01% | 2010 | Defensa Civil; Stria 931/10; INF VAL 059/10, MIN DE SALUD- EL DIARIO,Ministerio de Salud Pública, Presencia, La Razon,Min Salud y Deportes; Vigilancia Epidemiologica NSVE |
| Escape | 2 | 0.04% | 1971-1997 | El Diario |

| Evento | Número de registros | % de registros | Periodo de registro | Fuentes relevantes |
|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|---|
| Explosión | 30 | 0.62% | 1970-2008 | El Diario ,La Razon |
| Helada | 187 | 3.89% | 1976-2012 | El Diario ,La Razon,Defensa Civil ,Opinion; Cbba; Ed Digital ,Stria,RAD,EDAN,GOB-PT,VALI, Agencia Boliviana de Información (ABI),HTD, |
| Flujo Lodo | 9 | 0.19% | 2008-2012 | Defensa Civil; DGEA BD-2008,Prefectura,La Razón La Paz,Prensa,Stria 0360/09,INF VAL 032/09, EDAN 029/11 INF AT 036/11,GOB-LP, EDAN, VALI |
| Granizada | 448 | 9.32% | 2009 | El Diario,La Razon,Defensa Civil; DGEA BD,HTD,RAD,VMDR MDRA y MA,DDDC Chuquisaca,Cuadro Resumen Entregas realizadas; El País, Los Tiempos,HAM-Villa Serrano,COED-Cbba,UAT-Gobernación de La Pa,VALI-078/12-0,EDAN |
| Incendio | 140 | 2.91% | 1971-2012 | El Diario ,Presencia ,La Razon,Defensa Civil , Stria , CITE UDC, INF VAL,RAD,El Diario Ed Digital 01-04-10, Sociedad.Red ERBOL,EDAN,RIBER |
| Incendio forestal | 210 | 4.37% | 1970-2012 | El Diario , La Razon,Defensa Civil ,HTD,DGEA BD, El Deber,Stria,RAD,INF VAL,INF EDAN,Boletin COED-Sta Cruz del 07-09-2010,INF AT,INF Ampliatorio, El Diario Ed Digital ,El Nacional Ed Digital,La Voz Cbba,Los Tiempos Cbba, Correo del Sur,El Deber,El Pais; Tarija Ed Digital,Opinion Ed Digital,VALI |
| Inundación | 1948 | 40.52% | 1970-2012 | El Diario,Quipus- Defensa Civil,Informe D.D.D.C. Beni-Datos04,Cronología de Desastres,Red 04-Los Tiempos,Datos L.P, CIN-El Diario,La Prensa,SENADECI,Informe D.D.D.C. CBBA.,HTD 1344,EDAN,UGR; Prefectura,INF Riberalta del 14-04-2011,DGEA BD-2008,Gral Patzi, RAD,VMDR MDRA y MA,Emb Italia; Ag EFE,Prefectura La Paz, Luis Terrazas, Strio Educación Pueblos Indigenas Río Ichilo, El Diario Ed Digital ,VALI-126/12-0,RAD,INF Reg San Julian,RAD y FAX,EDAN |
| Lluvias | 81 | 1.68% | 1970-2007 | El Diario, Presencia,La Razon |
| Nevada | 28 | 0.58% | 1972-2011 | El Diario,La Razon,Defensa Civil ,INF VAL,Stria,RAD, Inf Tec DGEA |
| Ola de Calor | 5 | 0.10% | 1997-2010 | El Diario, Defensa Civil ,El Diario Ed Digital |
| Otro | 5 | 0.10% | 2010-2012 | Defensa Civil,Stria, INF VAL,INF EDAN; INF AT |
| Pánico | 1 | 0.02% | 2007 | La Razon |
| Plaga | 26 | 0.54% | 1976-2012 | El Diario,IBTA,La Razon,Defensa Civil ,HTD,El Diario Ed Digital,RAD |
| Riada | 228 | 4.74% | 1971-2012 | El Diario,La Razon,Stria,Defensa Civil ,INF EDAN,INF AT,INF VAL,Unid Alerta Temprana; Prefectura El Diario; Ed Digital del 10/02/2010,UGR,HAM Tarija,UGR,GAM de Ichoca Red ERBOL,GAM de Yanacachi Red ERBOL,El Potos,VALI,GOB-LP |
| Sequia | 479 | 9.96% | 1970-2012 | El Diario, Presencia, Defensa Civil , DGEA BD,VMDR MDRA y MA, HTD,RAD,DDDC Chuquisaca,RAD,DRDC Camiri,INF EDAN,INF VAL, INF AT,Stria,VALI,GOB-LP,CAMIR |
| Sismo | 25 | 0.52% | 1979-2011 | El Diario,Documento Crónica de desastres,Crónica de Desastres Terremoto,La Razón Ed Digital |
| Tempestad | 8 | 0.17% | 1976-2007 | El Diario, La Razon |
| Tormenta eléctrica | 27 | 0.56% | 1990-2012 | El Diario, La, Razon ,Defensa Civil , RADGOB-LP,PTDDC,Erbol |
| Tornado | 3 | 0.06% | 2010-2011 | Defensa Civil ,Stria,INF VAL,RAD,COE - El Alto, El Diario Ed Digital |
| Vientos fuertes | 104 | 2.16% | 1970-2012 | El Diario,Defensa Civil , La Razon,HTD,DGEA,Parte Diario, Opinión, INF EDAN,INF AT,INF Dptal,Stria,RAD, DDDC Tarija, El Diario Ed Digital,INF VAL,GOB-LP |
| Total | 4808 | 100% | | |

La base de datos se ha construido con base en la información reportada en eventos históricos y por lo tanto no es completa para todos los periodos de tiempo. En algunos casos se cuenta con registros desde principios del siglo XX o incluso anteriores. Sin embargo, se generan discontinuidades en los registros, principalmente debidos a la falta de información disponible o al costo de recopilarla. Debido a lo anterior es necesario definir el periodo a procesar para lo cual se presenta la Figura 8, que incluye el número de registros por año de la base de datos disponible y el número de registros acumulados correspondiente.

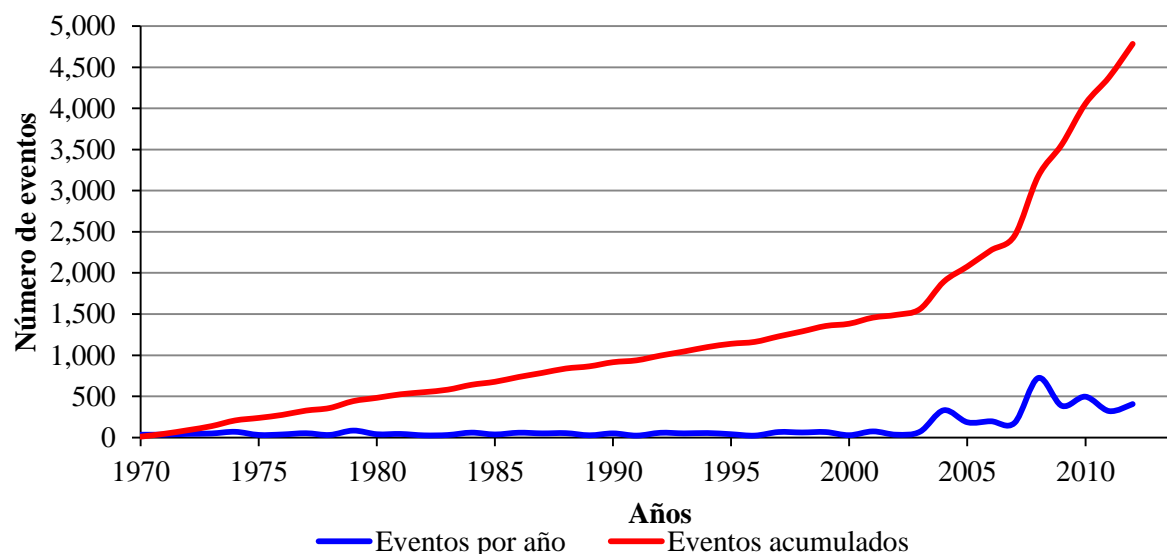


Figura 8. Número total de registros en DesInventar.

De acuerdo con esta información el periodo de análisis seleccionado en el presente estudio es desde 1970 hasta 2012 para un total de 43 años de registro, dado que desde esta fecha puede considerarse que hay mayor completitud en el registro de información. En este periodo de tiempo la base de datos genera un total de 4,808 registros individuales a nivel del país con lo cual se obtiene un promedio general de 112 registros de desastre por año. La información disponible indica que a partir del año 2003-2004 se presenta un aumento en la tasa de registros por años lo cual puede estar asociado a una mejor calidad de información de la base de datos y/o a un aumento en la frecuencia de eventos por año.

Para el caso específico de inundación y deslizamiento se presentan las estadísticas relevantes en la Tabla 10.

Tabla 10. Características de los registros de inundación y deslizamiento reportados en DesInventar Bolivia.

| | Inundación | Deslizamiento |
|---|---------------------|---------------------|
| Número de registros reportados | 1948 | 409 |
| Periodo de tiempo | 1970-2012 (43 años) | 1970-2012 (43 años) |
| Número total de registros con pérdidas económicas reportadas | 16 | 2 |
| Número total de registros con información de viviendas afectadas o destruidas | 1948 | 409 |
| Número total de registros con información de víctimas | 1948 | 409 |
| Pérdidas económicas totales reportadas (\$USD) | 579,218,670 | 33,214,215 |
| Número total de personas afectadas | 1,994,070 | 83,583 |
| Número medio de registros por año | 45 | 10 |

1.4.2 Eventos de inundación

En la base de datos de DesInventar se reportan un total de 1,948 registros de tipo inundación. De estos, hay 73 registros para los cuales solo se conocen el año de ocurrencia. En la Figura 9 se presenta el número de registros por año para eventos de inundación en Bolivia.

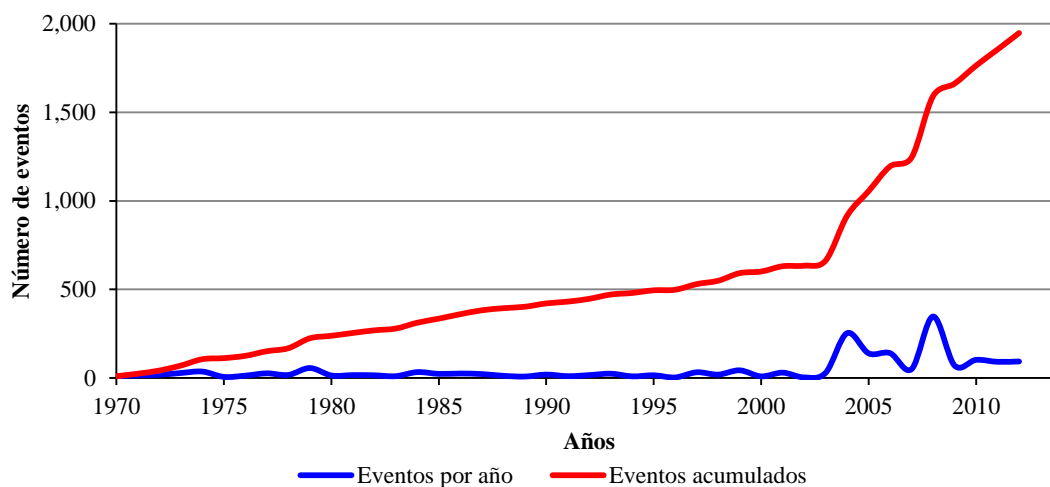


Figura 9. Número de registros de inundación por año en Bolivia reportados en DesInventar.

En la Figura 10 se presenta el mapa con la distribución geográfica por municipio del número total de registros de inundación reportados en la base de datos DesInventar para Bolivia durante el periodo 1970 - 2012.

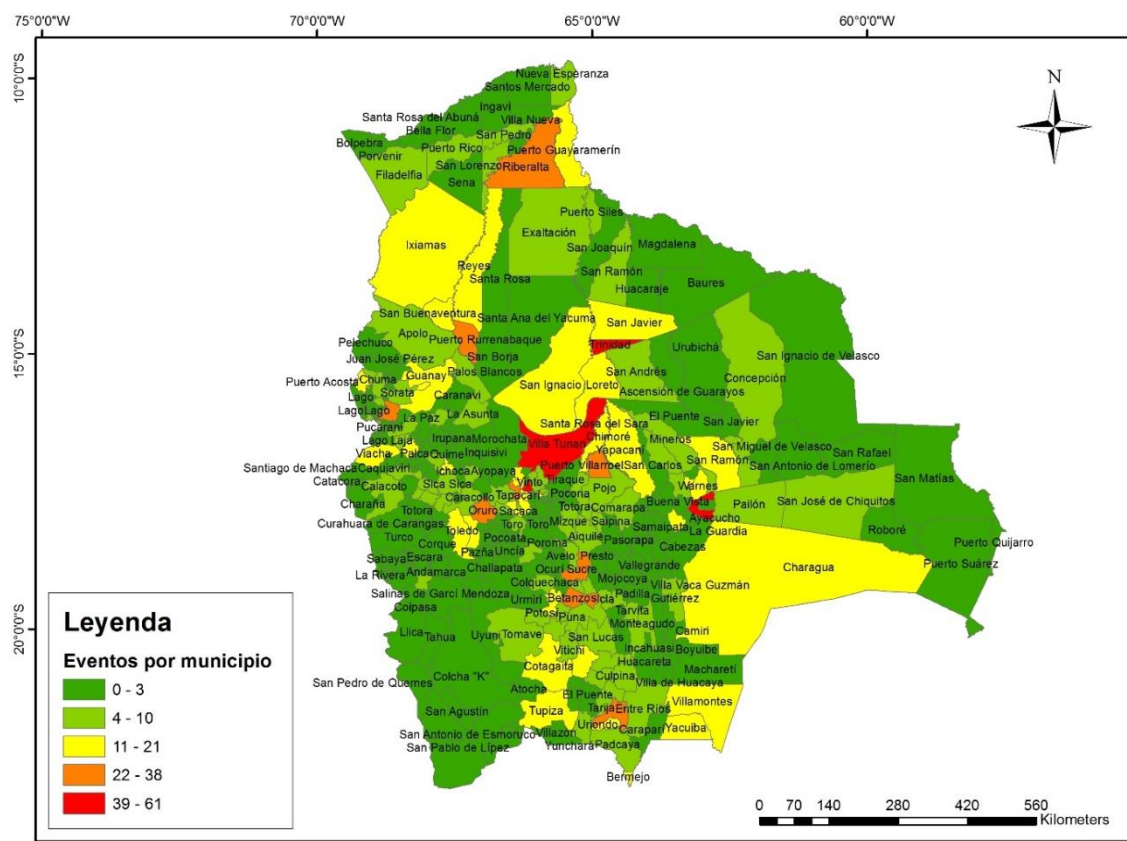


Figura 10. Número total de registros de inundación reportados en DesInventar por municipio (1970-2012). Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

Del análisis de la información disponible en la base de datos DesInventar se establece que los eventos de inundación de mayor impacto en el país son los que se indican en la Tabla 11. Eventos de inundación de mayor impacto registrados entre 1970 y 2012 en DesInventar Bolivia.

Tabla 11. Eventos de inundación de mayor impacto registrados entre 1970 y 2012 en DesInventar Bolivia.

| Nombre (ID) | Fecha Inicio | Zonas Mayor Impacto | Personas Afectadas | Número Muertos | Viviendas Destruídas | Otros Impactos | Valor económico (\$USD Millones) |
|-------------|--------------|---------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------|--|----------------------------------|
| 2004-0118 | 08/01/2004 | Santa Cruz/Obispo Santistevan/Montero | 0 | 0 | 0 | 35,000 Hectáreas de cultivos afectadas | 30 |
| 2005-0171 | 21/11/2005 | Santa Cruz/Sara | 0 | 0 | 0 | 30,000 Hectáreas de cultivos afectadas | 25 |
| 2006-0078 | 08/01/2006 | Santa Cruz/Obispo Santistevan/Mineros | 0 | 0 | 0 | 45,000 Hectáreas de cultivos afectadas | 38 |
| 2007-0068 | 28/02/2007 | Santa Cruz | 0 | 0 | 0 | Un número total de 1290 personas | 178 |

| Nombre (ID) | Fecha Inicio | Zonas Mayor Impacto | Personas Afectadas | Número Muertos | Viviendas Destruídas | Otros Impactos | Valor económico (\$USD Millones) |
|-------------|--------------|----------------------------|--------------------|----------------|----------------------|--|----------------------------------|
| | | | | | | evacuadas y 210,000 Hectáreas de cultivos afectadas | |
| 2007-0137 | 06/12/2007 | Santa Cruz/Ichilo/San Juan | > 0 | 0 | 0 | 20,000 Hectáreas de cultivos afectadas y hubo damnificados | 17 |

En la Figura 11 se presenta el número de registros de inundación por año reportados o cual indica un aumento significativo a partir del año 2004.

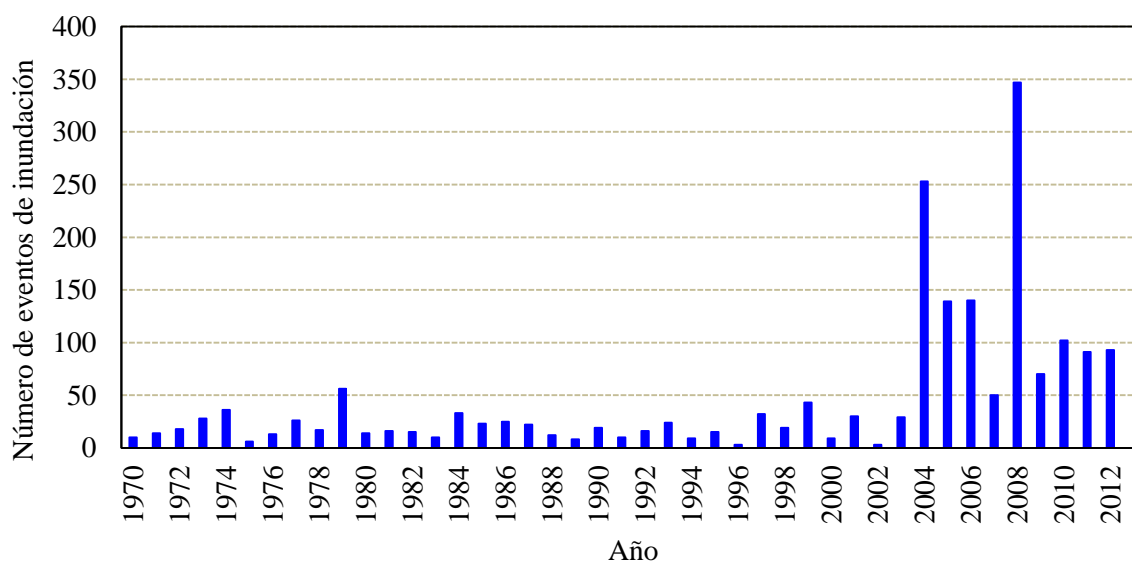


Figura 11. Número de registros de inundación por año.

De la figura se observa que en el año 2008 se reportaron el mayor número de eventos con un total de 347 registros. Seguido por el año 2004 con un total de 253 y 2010 donde se encuentra un total de 102 registros.

Adicionalmente en la Figura 12 se presenta la desagregación de la distribución de registros por década y para cada uno de los meses.

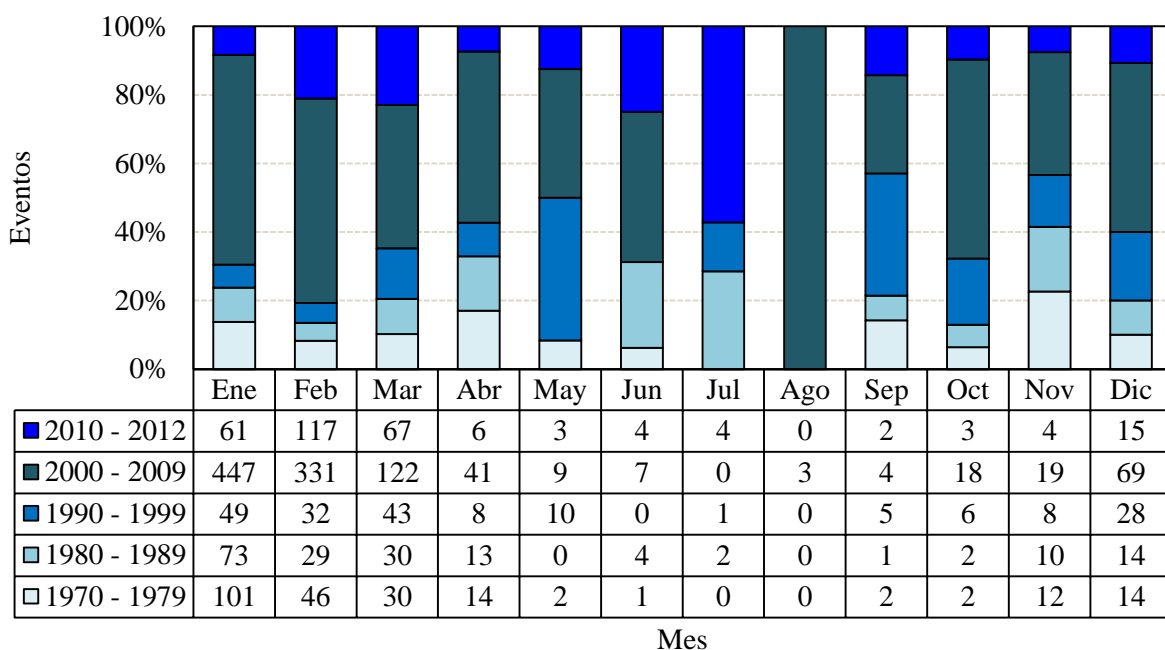


Figura 12. Registros de inundaciones desagregados por meses de acuerdo a la década.

De esta figura se concluye que la frecuencia de registros de inundación se concentra en la década del 2000 al 2009, especialmente en los meses en que se concentran la alta intensidad de lluvias para el país. También se encuentra que en la década que empieza en el 2010, el número de registros sigue con una frecuencia similar al de la década anterior.

En la Figura 13 se presenta el número promedio de eventos en cada mes en el periodo 1970 a 2009.

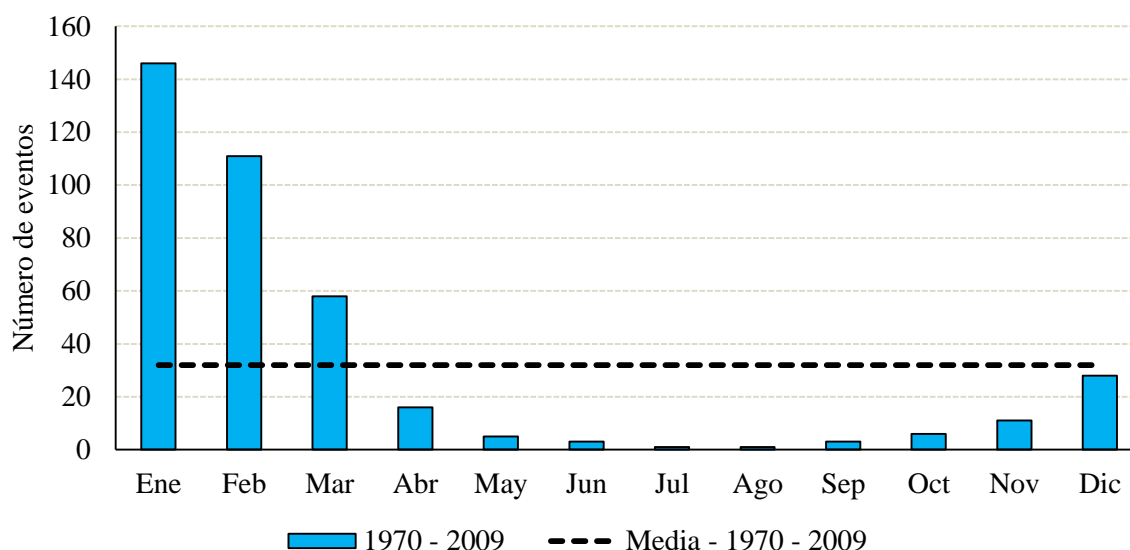


Figura 13. Eventos de inundaciones promedios de décadas desagregados mes a mes (1970 – 2009).

De la figura anterior se observa que los 3 primeros meses del año siempre están por encima de la media del número de registros por décadas. Además se encuentra que el régimen pluviométrico coincide con la aparición de eventos de inundación en el país, dado que en el mes de noviembre comienzan las precipitaciones, la cuales se incrementan en el mes de enero y se mantienen hasta el mes de marzo. Dado que se trata de inundaciones con velocidades de escurrimiento muy bajas, éstas se mantienen hasta aproximadamente el mes de mayo y en junio comienzan a evaporarse, cerrando así el ciclo.

1.4.3 Eventos de deslizamiento

En la base de datos de DesInventar se encontraron un total de 409 registros de deslizamientos, de los cuáles para 10 registros solo se conoce el año en que ocurrieron, y para 24 registros no se indica el día del evento.

En la Figura 14 se presenta el número de registros por año para eventos de deslizamiento en Bolivia.

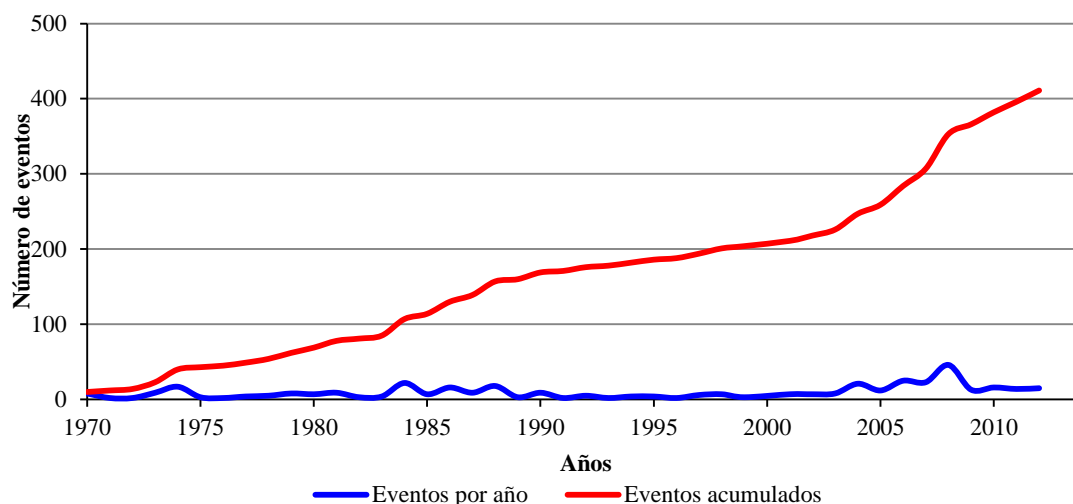


Figura 14. Número de registros por año para eventos de deslizamiento en Bolivia reportados en DesInventar.

En la Figura 15 se presenta el mapa de ubicación de deslizamientos reportados en DesInventar durante el periodo 1970 - 2012.

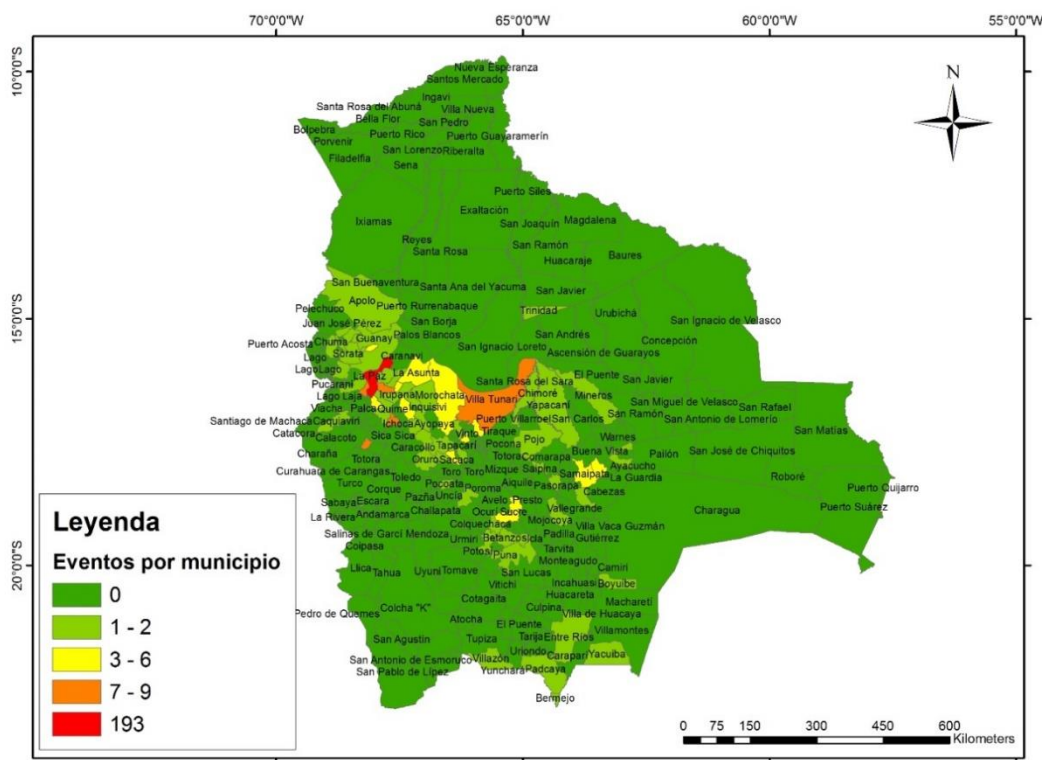


Figura 15. Número de registros de deslizamientos registrados en DesInventar por municipio (1970-2012). Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

Del análisis de la información disponible en la base de datos DesInventar se establece que los registros de deslizamientos de mayor impacto en el país son los que se indican en la Tabla 12.

Tabla 12. Eventos de deslizamiento de mayor impacto registrados entre 1970 y 2012 en DesInventar Bolivia.

| Nombre (ID) | Fecha Inicio | Zonas de Mayor Impacto | Personas Afectadas | Número Muertos | Viviendas Destruídas | Otros Impactos | Valor Económico Estimado (\$USD Millones) |
|-------------|--------------|--|--------------------|----------------|----------------------|--|---|
| 1996-0007 | 09/04/1996 | La Paz/Murillo/ Nuestra Señora De La Paz | > 0 | 11 | 80 | 52 viviendas afectadas y 1070 damnificados | 0.95 |
| 2003-0029 | 30/03/2003 | La Paz/Larecaja/ Tipuani | > 0 | 24 | 116 | 33 viviendas afectadas, 690 damnificados y 145 desaparecidos | 1.27 |
| 2009-0056 | 23/01/2009 | La Paz/Sur Yungas/ La Asunta | 0 | 2 | 106 | 151 Hectáreas de cultivos afectadas | 1.21 |
| 2011-0100 | 26/02/2011 | La Paz/Murillo/ Nuestra Señora De La Paz | 0 | 0 | 600 | 800 viviendas afectadas, 5230 damnificados y 223 hectáreas de cultivos afectadas | 9.75 |
| 2012-0117 | 25/02/2012 | Cochabamba/ Ayopaya/ Morochata | 0 | 0 | 0 | 2415 damnificados y 2500 hectáreas de cultivos afectadas | 2.13 |

En la Figura 16 mostrada a continuación se presenta el número de registros por año.

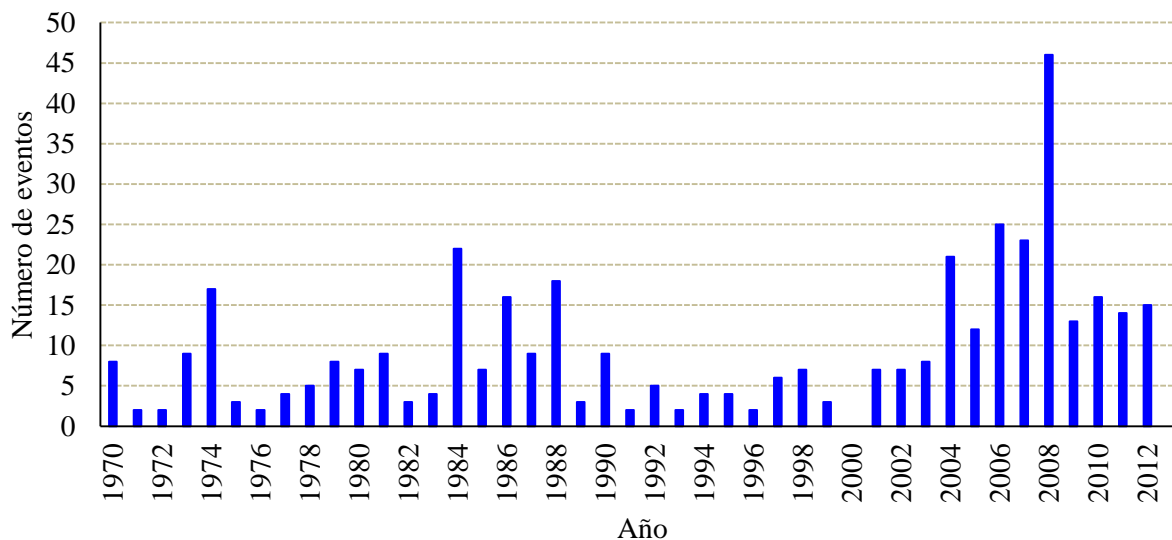


Figura 16. Registros de deslizamientos reportados anualmente (1970-2012)

De la Figura anterior se observa que en el año 2008 se reportaron el mayor número de registros con un total de 46. Seguido por el año 2006 con 25 eventos y 2007 donde se reportaron un total de 23 registros. También es evidente un ligero aumento en el número de eventos por año a partir del año 2004.

En la Figura 17 se presenta la desagregación de la distribución de registros por década y para cada uno de los meses.

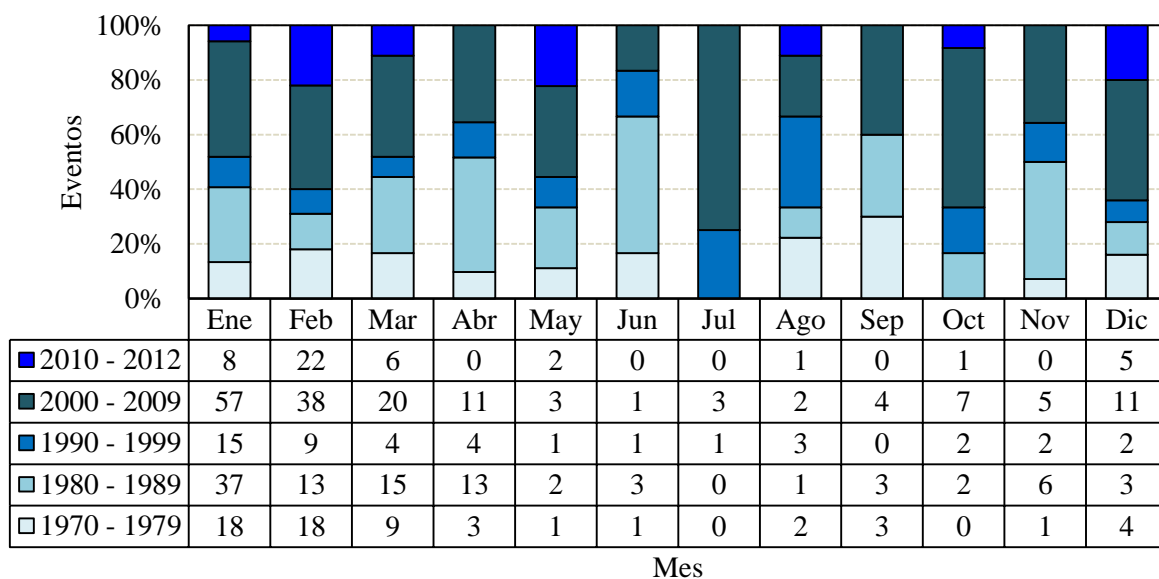


Figura 17. Desagregación de la distribución de registros por década y para cada uno de los meses.

En la Figura 18 se presenta el número promedio de registros en cada mes en el periodo comprendido entre 1970 y 2009.

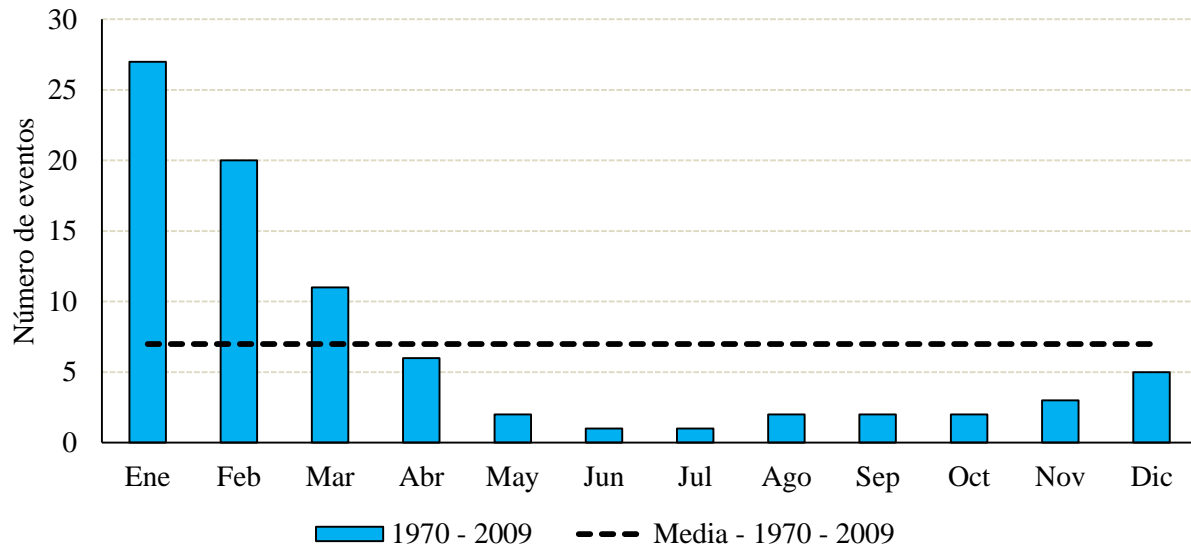


Figura 18. Número promedio de registros por décadas desde 1970 hasta 2000 y desde 1970 a 2012.

De la figura anterior se observa que los 4 primeros meses del año siempre están por encima de la media del número de registros por décadas. Además se encuentra que el régimen pluviométrico coincide con la aparición de eventos de deslizamiento en el país, dado que en el mes de noviembre comienzan las precipitaciones, la cuales se incrementan en el mes de enero y se mantienen hasta el mes de marzo.

2 INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA EL ANÁLISIS DE AMENAZA Y RIESGO

A continuación se presenta el inventario de información disponible para los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. En el Anexo 2.1 se presenta una lista exhaustiva de las referencias consultadas.

A continuación se presentan algunos mapas representativos a nivel país que se utilizan en los análisis de riesgo por inundaciones y por deslizamientos simplificados que se presentan más adelante. Los mapas que se ilustran son los siguientes:

- Figura 19: Mapa de la división administrativa de Bolivia
- Figura 20: Mapa de los principales ríos de Bolivia
- Figura 21: Modelo de elevación digital.
- Figura 22: Mapa de Centros poblados.
- Figura 23: Mapa de Centros poblados.
- Figura 24: Mapa de información por provincia de distribución de población. Mapas de a) Distribución de población por provincia, b) Densidad poblacional por provincia, y c) Distribución de área construida por provincia, en Bolivia. (Fuente: BID, 2009).
- Figura 25: Mapa de formaciones geológicas
- Figura 26: Mapa de fisiografía

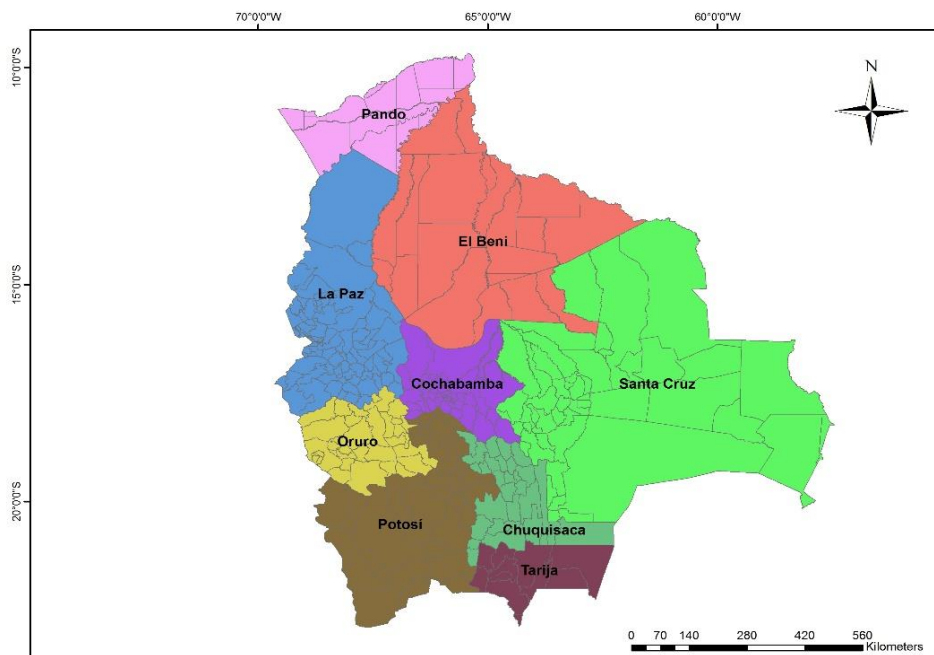


Figura 19. Mapa de la división administrativa de Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

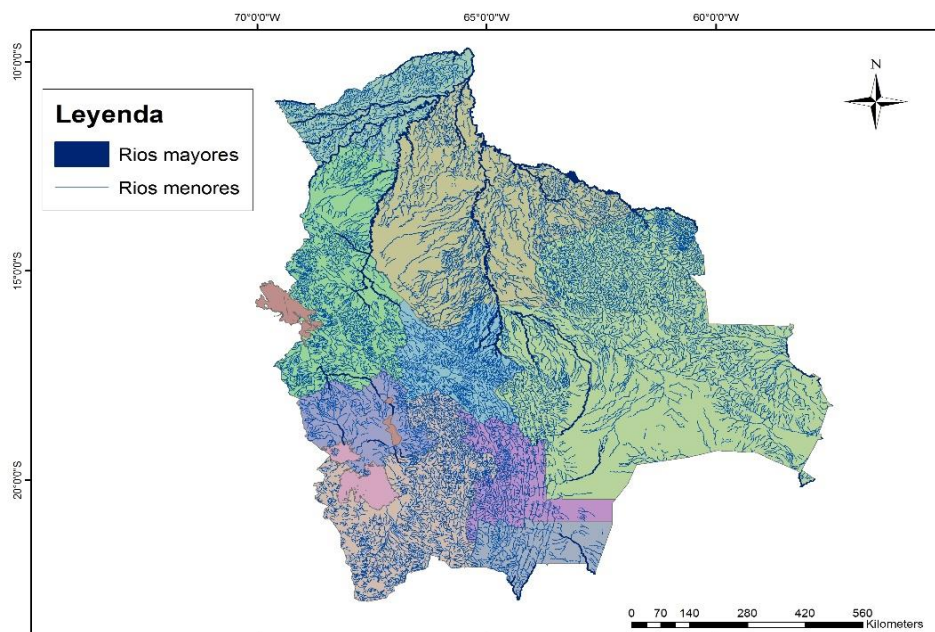


Figura 20. Mapa de los principales ríos de Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

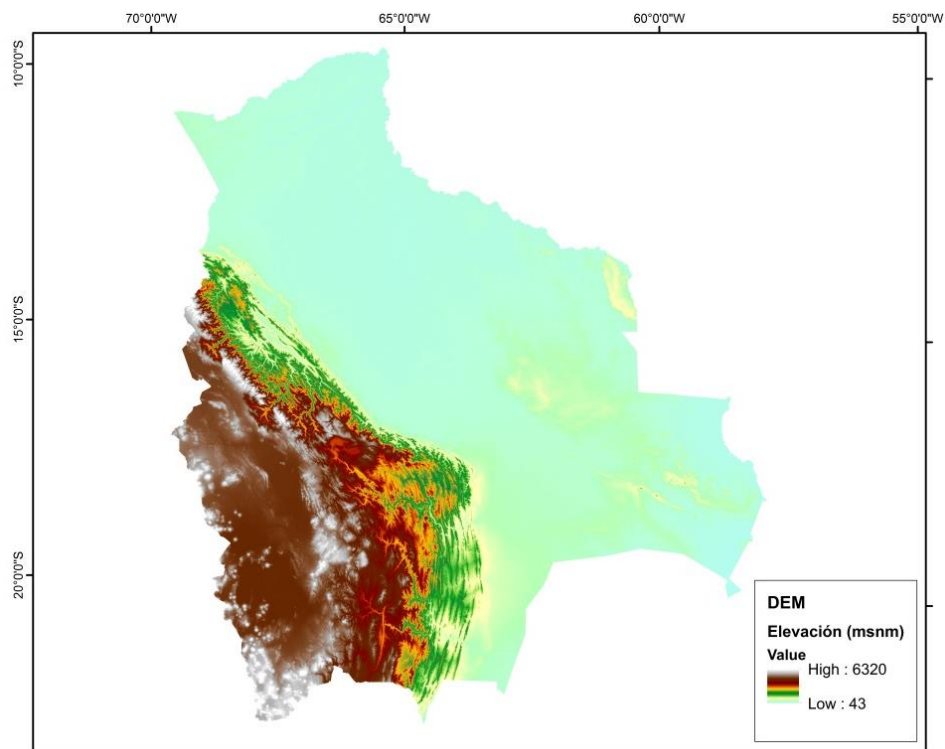


Figura 21. Modelo de elevación digital. Fuente: Consultor con base en información disponible de ASTER-GDEM.

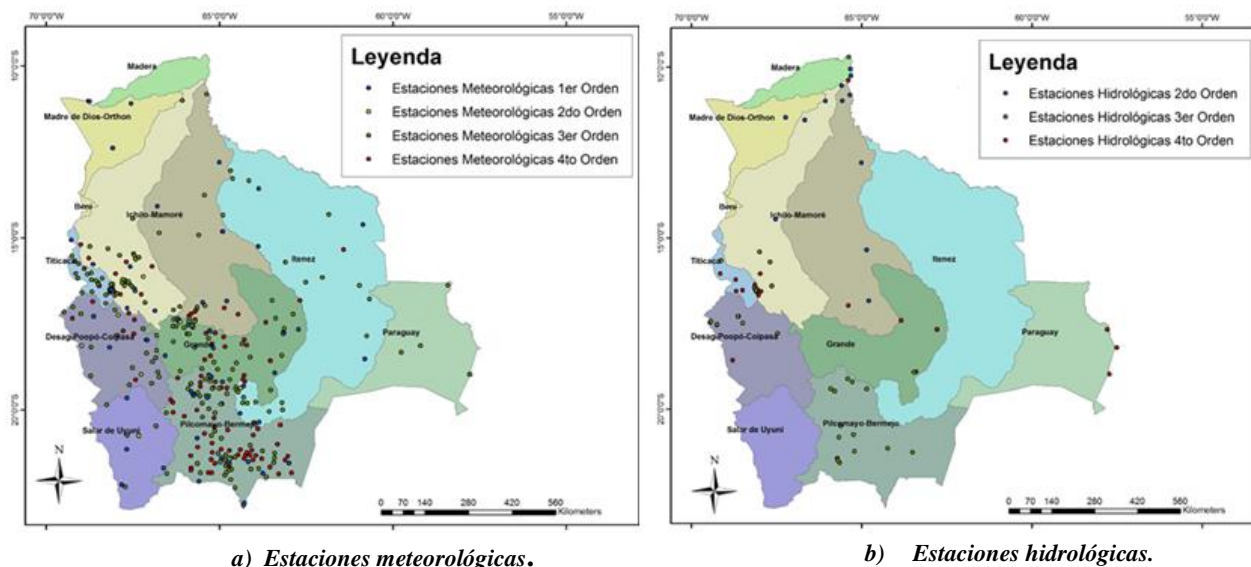


Figura 22. Mapa de ubicación de estaciones del SENAMHI. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia.

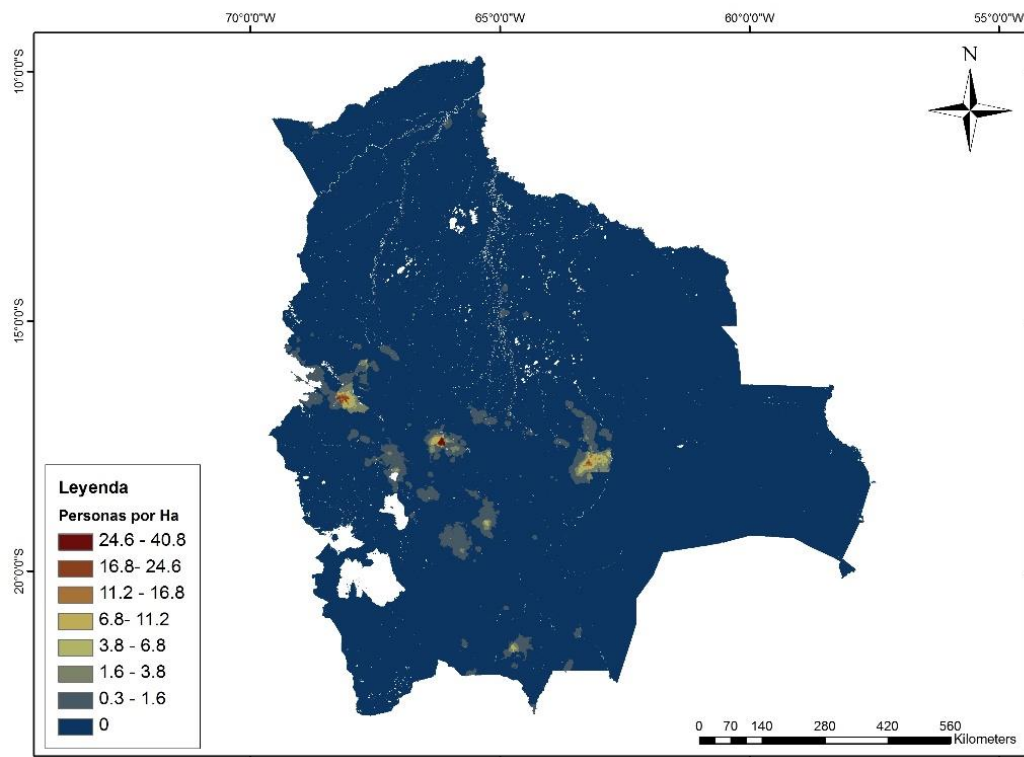


Figura 23. Mapa de Centros poblados. Fuente: Consultor con base en información disponible en WorldPop.

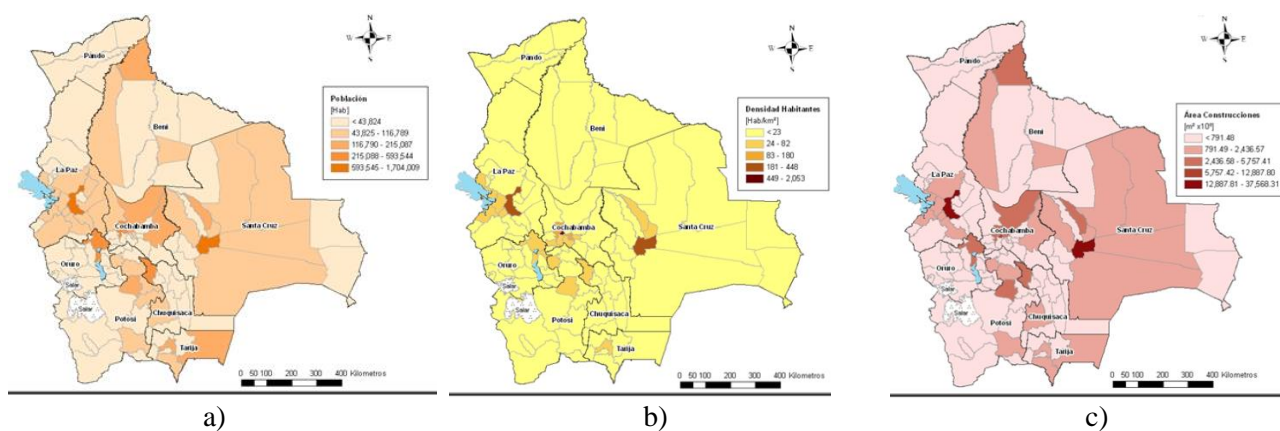


Figura 24. Mapa de información por provincia de distribución de población. Mapas de a) Distribución de población por provincia, b) Densidad poblacional por provincia, y c) Distribución de área construida por provincia, en Bolivia. (Fuente: BID, 2009).

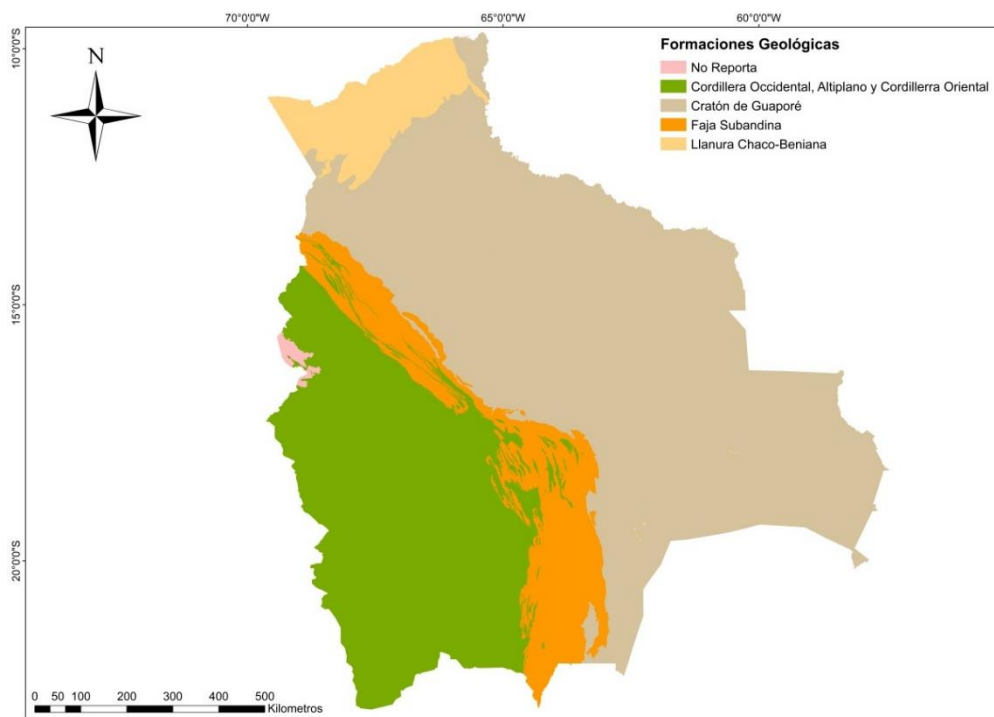


Figura 25. Mapa de formaciones geológicas. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

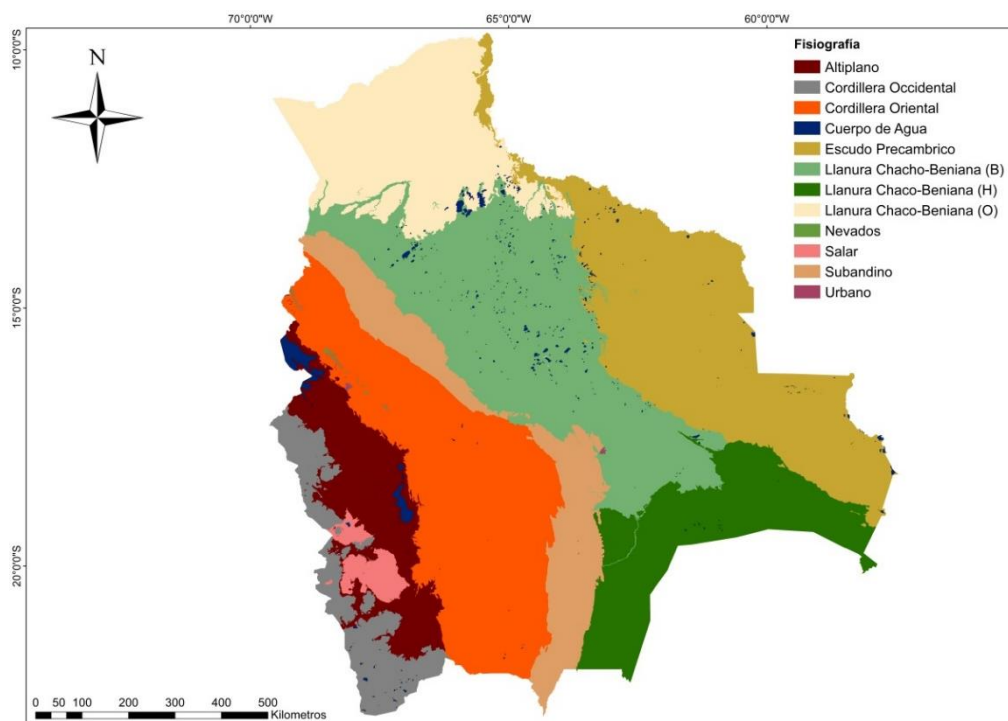


Figura 26. Mapa de fisiografía Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

3 ANÁLISIS GENERAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES

3.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GENERAL DE INUNDACIONES

Se realiza un análisis simplificado de susceptibilidad a las inundaciones a nivel país el cual tiene como propósito principal identificar las principales zonas inundables y aquellas de mayor potencialidad de daños en relación a impactos en la población, cultivos y zonas productivas. La metodología propuesta incluye las siguientes actividades específicas:

- Análisis general de información de lluvias a nivel país utilizando para el efecto las estaciones más importantes y que tengan la información de mayor calidad. Con la información principal se elabora un mapa general de isohietas simplificado a nivel país con el fin de identificar aquellas zonas en que se producen los mayores niveles de precipitación. Se genera información a nivel diaria, mensual y anual.
- Identificación preliminar de posibles zonas susceptibles de inundación: con base en el modelo de elevación digital disponible, el mapa general de cuencas y la cartografía de los ríos principales se elaboran mapas de zonas susceptibles de inundación (zonas planas en cercanía a ríos caudalosos).
- Se realiza una evaluación simplificada de la profundidad de agua representativa en cada celda a partir del caudal que potencialmente puede acumular. Para esto se sigue la metodología y algoritmo que se resume en la Figura 27.
- Identificación de zonas susceptibles a las inundaciones a partir de los resultados del análisis simplificado.
- El mapa de susceptibilidad a las inundaciones se cruza con el mapa de distribución de la población por celdas para identificar las zonas de mayor riesgo potencial por inundaciones en relación a afectación de la población.
- Simultáneamente el mapa de susceptibilidad a las inundaciones se cruza con el mapa de usos del suelo con el fin de identificar las zonas del país con mayor riesgo potencial por inundaciones en relación a la afectación de zonas productivas.
- Finalmente se obtienen estadísticas para cada una de las cuencas y ríos importantes del país en relación a la extensión geográfica de las zonas potencialmente inundables, la población y las zonas productivas expuestas. Con base en esto se plantea una zonificación preliminar de riesgo por inundación para el país.
- Con base en la zonificación propuesta se definen las cuencas con mayor potencial de riesgo por inundación en relación a posibles impactos sobre los centros poblados, zonas de desarrollo crítico para el país o zonas de alta productividad agrícola y económica.

Complementariamente a lo anterior se realiza un análisis de los eventos históricos para los cuales exista información con el fin de tener una validación general de los resultados.

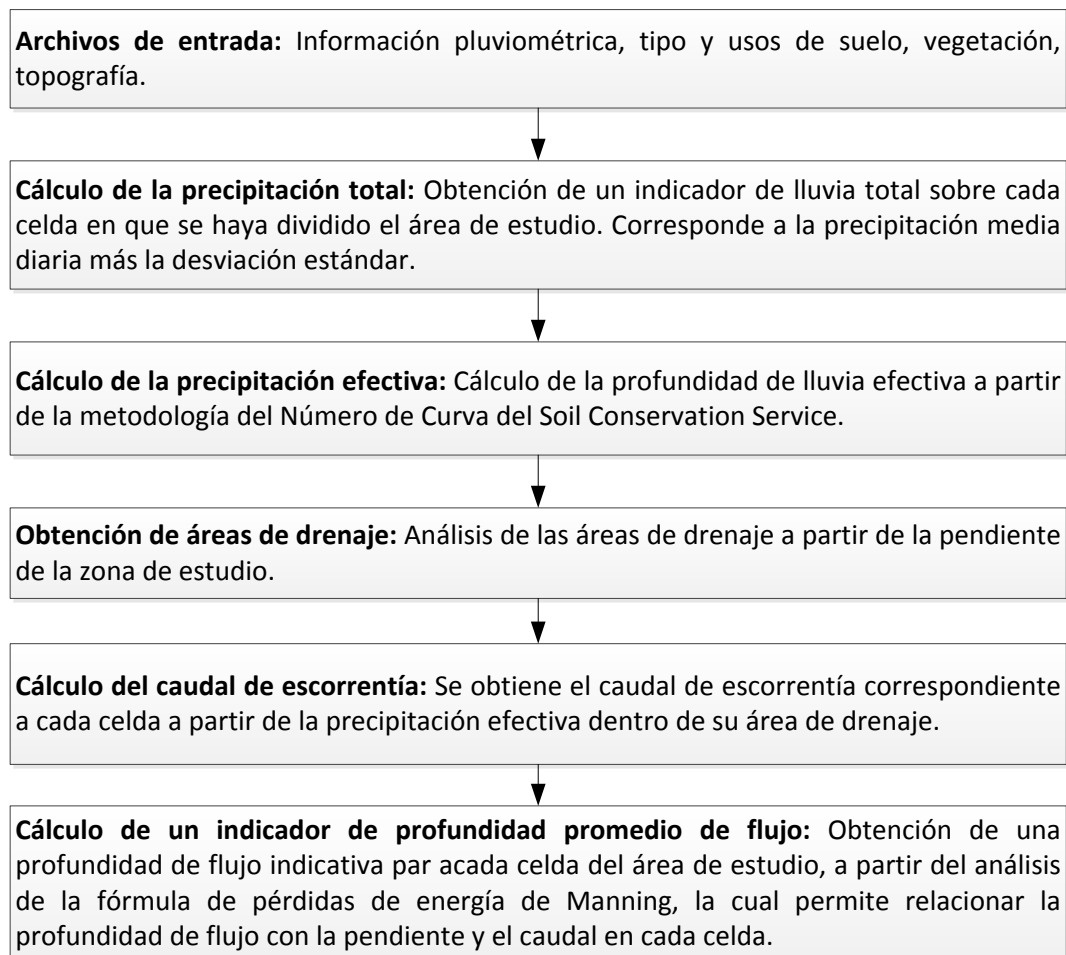


Figura 27. Algoritmo del análisis simplificado para identificación de zonas bajo amenaza de inundación.

3.2 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES A NIVEL PAÍS

Para el análisis de susceptibilidad a las inundaciones se utilizan un total de 66 estaciones con registros de lluvias en los periodos de 2000 a 2012. La Figura 28 indica la ubicación de las estaciones utilizadas para el análisis. Por otro lado la Figura 29 presenta las isohietas resultantes del análisis en términos de precipitación mensual y anual.

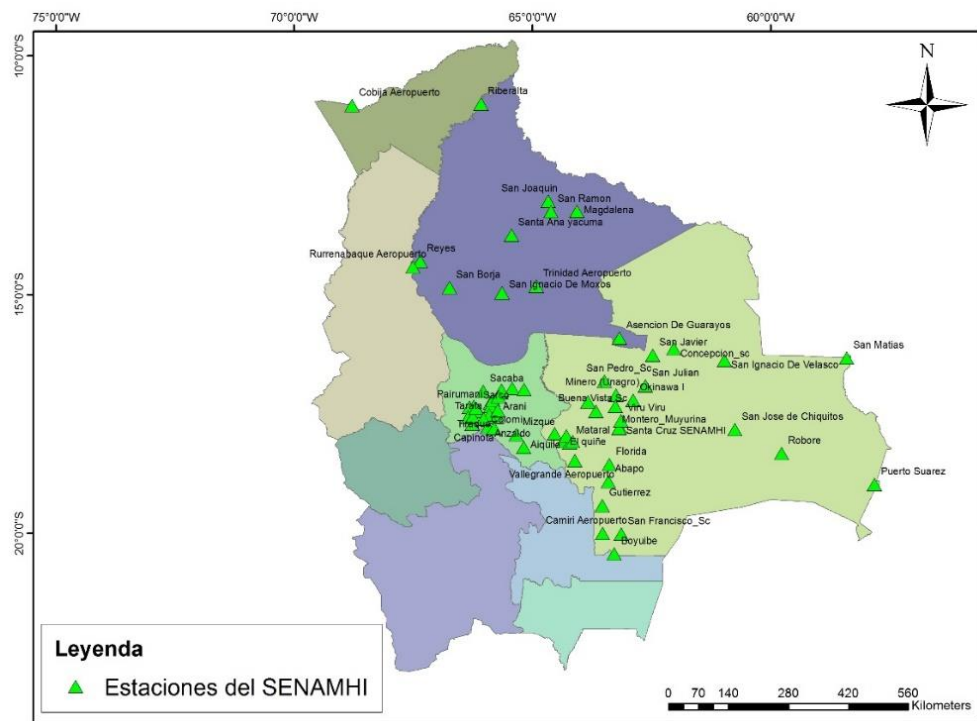


Figura 28. Ubicación de estaciones del SENAMHI en Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del SENAMHI.

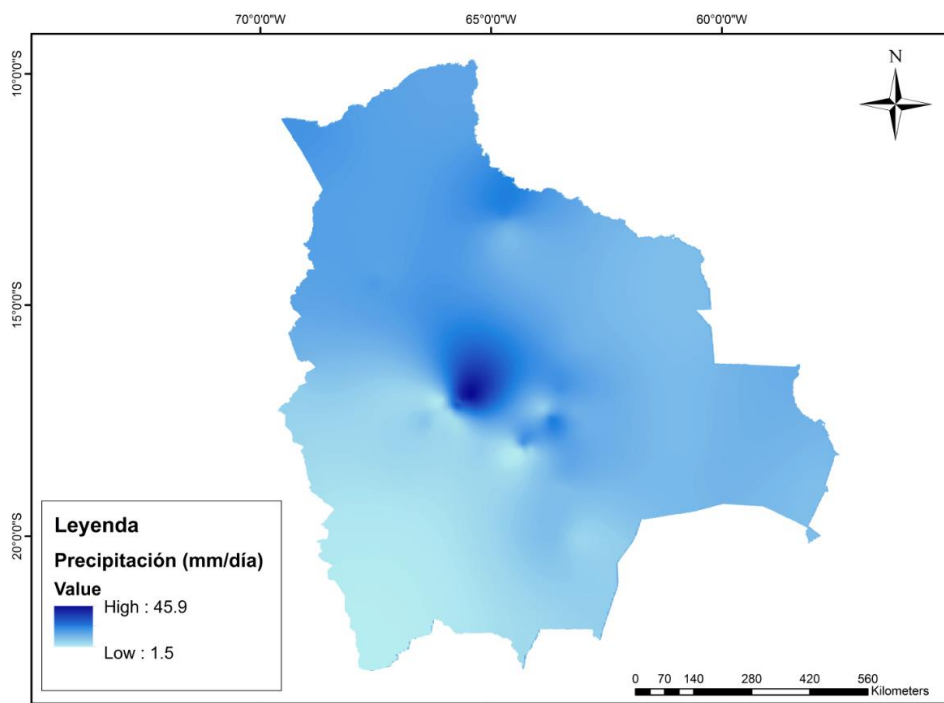


Figura 29. Mapa de precipitación mm por día en Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible de registros pluviométricos en base a estaciones del SENAMHI.

La Figura 30 presenta la calificación general de susceptibilidad a las inundaciones que se obtiene con la metodología explicada anteriormente.

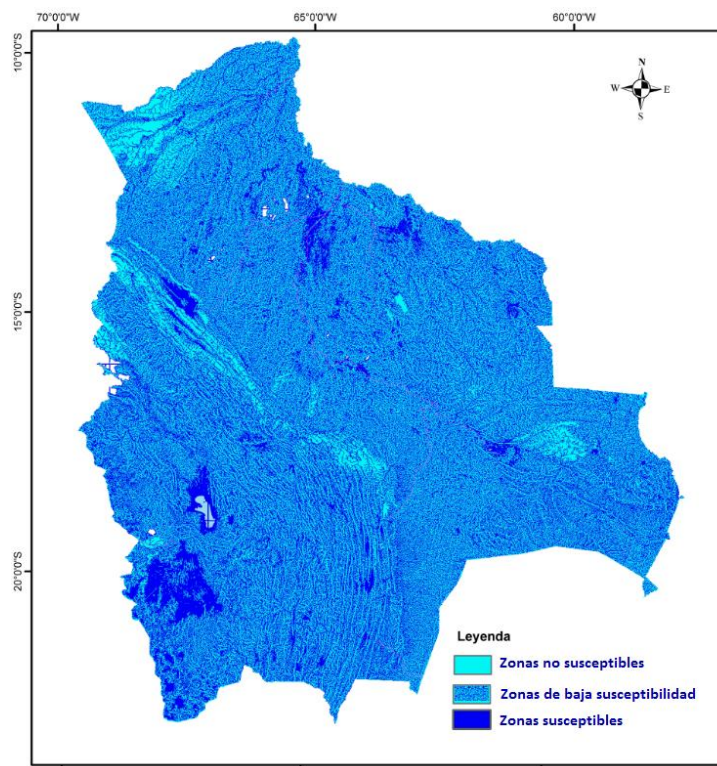


Figura 30. Mapa de calificación de susceptibilidad.

El mapa obtenido al aplicar el algoritmo del análisis simplificado permite identificar zonas susceptibles a inundación ubicadas en zonas bajas de las cuencas y en planicies. Por lo anterior, áreas de gran extensión donde la pendiente podría considerarse nula, tales como el salar de Uyuni son clasificadas como “zonas susceptibles” por la metodología simplificada. Por esta razón, se realiza un proceso de validación del mapa inicial, donde se eliminan este tipo de zonas. La Figura 31 presenta el mapa final propuesto de susceptibilidad a las inundaciones.

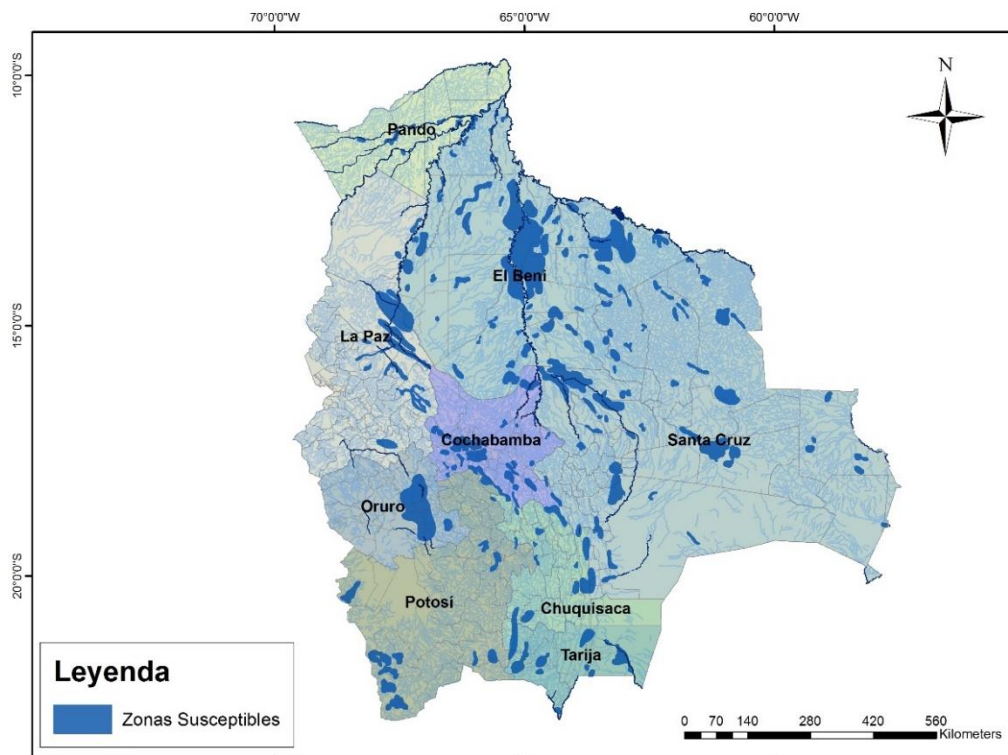


Figura 31. Mapa general de zonas susceptibles a inundaciones en Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para división departamental.

La Figura 31, Figura 32 y Figura 33 presentan el detalle de las zonas inundables correspondientes al río Rocha y río Grande, respectivamente.



Figura 32. Zonas susceptibles de inundación en la cuenca del Río Rocha.



Figura 33. Zonas susceptibles de inundación en la cuenca del Río Grande.

En la Tabla 13 se resumen algunos datos relevantes correspondientes a los resultados de la metodología simplificada de inundaciones, específicamente para los ríos Rocha y Grande.

Tabla 13. Datos relevantes de las zonas susceptibles cercanas al río Rocha y al río Grande.

| | Río Rocha | Río Grande |
|---|--|--|
| Área de la zona susceptible cercana al cauce | 75 Km ² | 3,408 Km ² |
| Municipios y zonas susceptibles | Quillacollo, Cochabamba, Sipe Sipe, Sacaba y Cliza | El Puente, San Ramón, Mineros, Puerto Pailas, Cultivos aledaños al río |
| Departamento | Cochabamba | Santa Cruz |
| Población | 70,620 habitantes | 41,166 habitantes |

3.3 INDICADORES GENERALES DE RIESGO POR INUNDACIÓN

El mapa de susceptibilidad a las inundaciones se cruza con información de exposición correspondiente a la distribución geográfica de la población, ubicación de cuencas y de grupos de uso del suelo (ver Figura 34 a Figura 36).

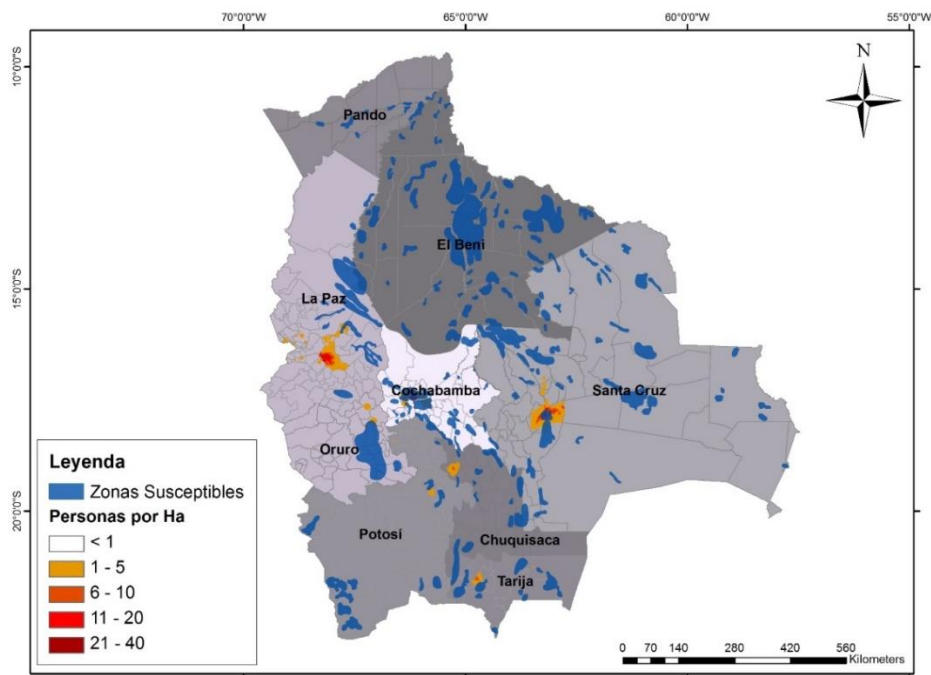


Figura 34. Mapa general de población vs. Susceptibilidad a inundación. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para división departamental.

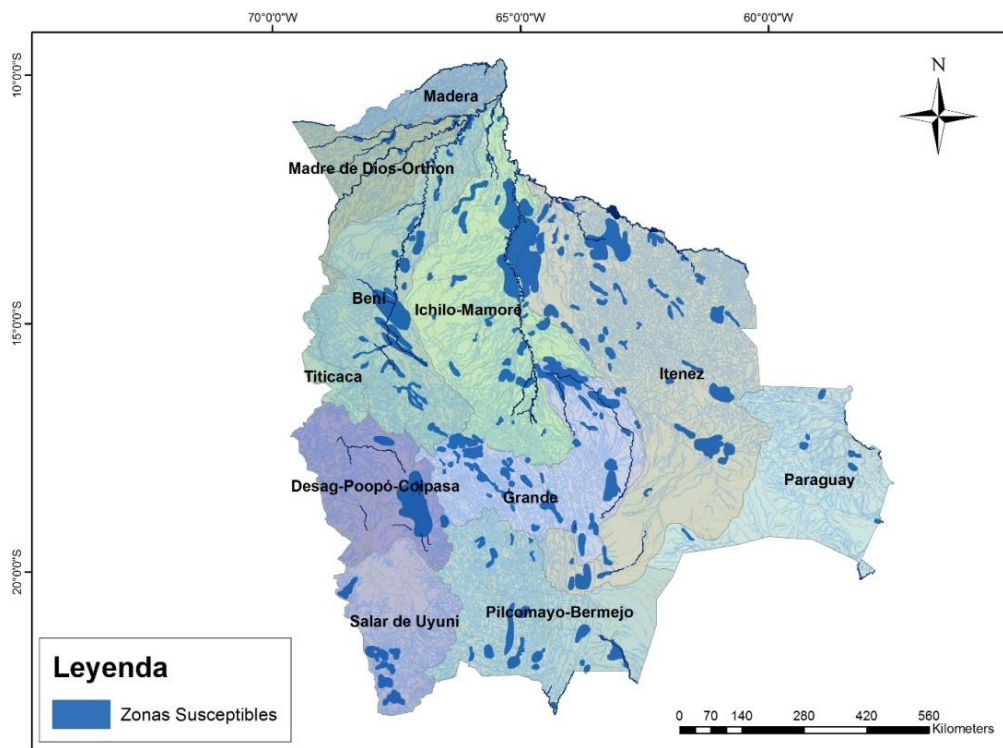


Figura 35 . Mapa general de cuencas vs. susceptibilidad a inundación. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para cuencas y ríos.

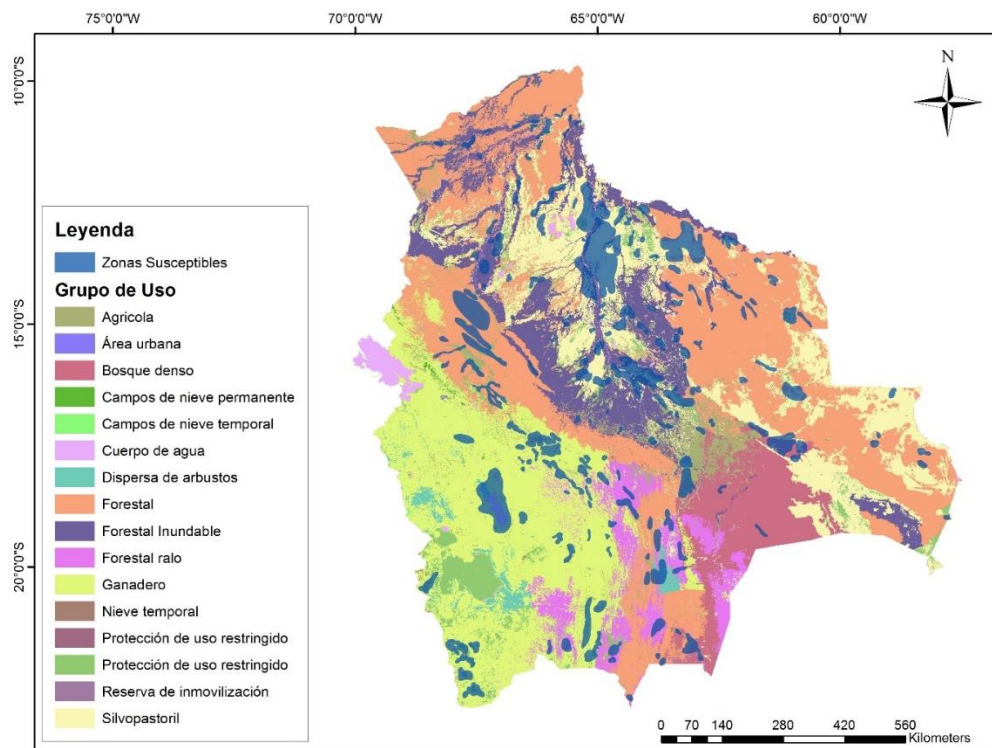


Figura 36. Mapa general usos del suelo vs. susceptibilidad a inundación. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para grupo de uso del suelo.

Las figuras anteriores presentan el cruce de información correspondiente con base en el cual se obtienen las estadísticas que se presentan en la Tabla 14, para las zonas susceptibles identificadas por la metodología simplificada de mayor relevancia en el país.

Tabla 14. Indicadores de riesgo por inundación para zonas susceptibles principales.

| Zona o Municipio | Departamento | Río | Población expuesta | Área susceptible (km ²) | Cultivos expuestos (m ²) | Fuentes |
|-------------------------------------|--------------|-----------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Mizque | Cochabamba | Caine | 800 | 3.5 | 250,000 | http://www.cuencasbolivia.org/files/visi on_lineamientos_estateg__pdcrg.pdf |
| Cochabamba y Quillacollo | Cochabamba | Rocha | 12,000 | 15.0 | 1000,000 | http://www.lostiempos.com/diario/actualidad/local/20120215/aumenta-el-caudal-del-río-rocha-se-preve-desborde-en-cultivos-y_160536_335519.html |
| Villamontes | Tarija | Pilcomayo | 140,000 | 17.5 | -- | http://bolsonweb.com.ar/diariobolson/detalle.php?id_noticia=12305 |
| Trinidad | Beni | Mamoré | 50,000 | 5.0 | -- | http://www.elnuevoherald.com/noticias/article1919303.html |
| El Puente | Santa Cruz | Grande | 700 | 1.0 | -- | http://bolivia.unfpa.org/category/etiquetas-desastres/inundaciones |
| Puerto Pailas y Cultivos Río Grande | Santa Cruz | Grande | 4,500 | 12.0 | -- | http://www.conosur-rirh.net/noticia_vista.php?id=904 |
| Santa Rosa del Sara | Santa Cruz | Piraí | 1,000 | 2.25 | -- | http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/bolivia_emergencia.htm |
| Yapacani | Santa Cruz | Yapacaní | 1,300 | 5.15 | 2,700,000 | http://www.montero-noticias.com/index.php?option=com_content&view=article&id=128:familias-damnificadas-de-yapacani-reciben-alimentos&catid=20&Itemid=124 |

De acuerdo con lo anterior, la Figura 37 presenta una zonificación general de municipios a nivel país de acuerdo con su potencialidad de impacto a la población y a las zonas productivas.

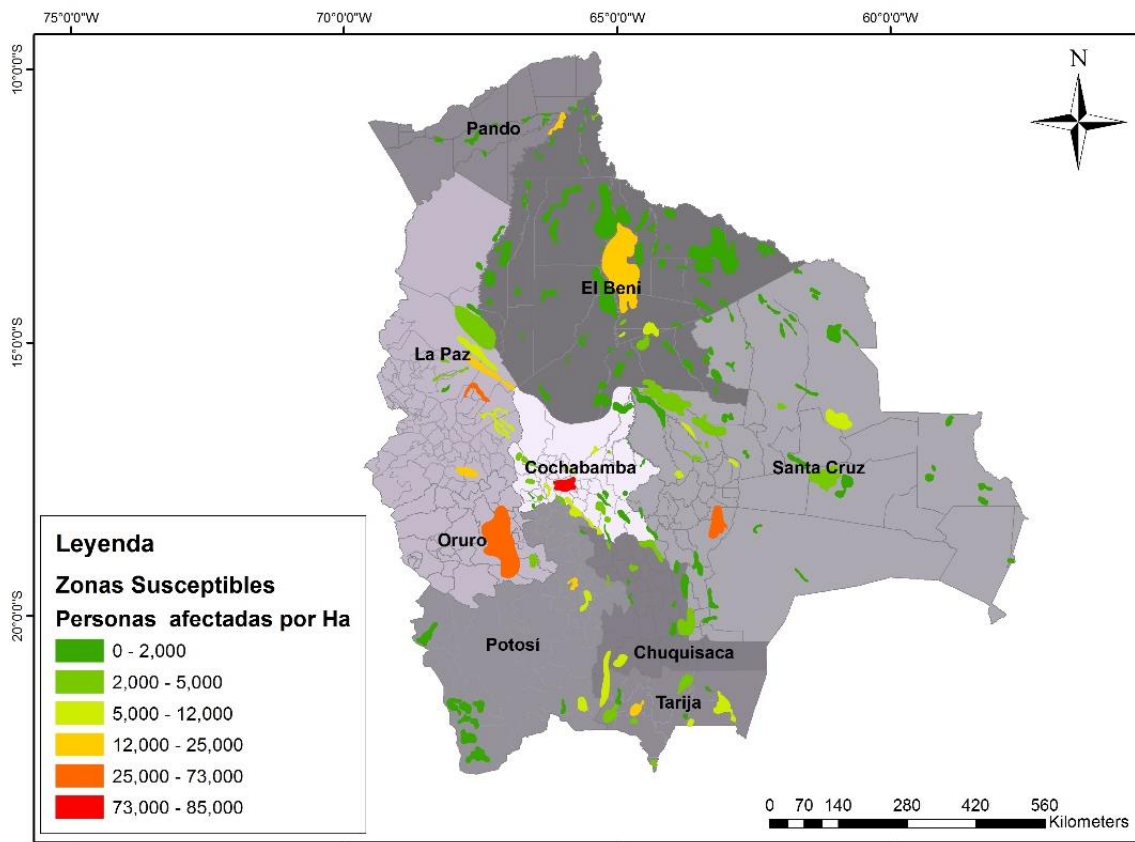


Figura 37. Mapa general de riesgo por inundación en Bolivia.

A partir de los resultados presentados anteriormente, obtenidos al aplicar la metodología simplificada de riesgo por inundación se concluye que el departamento con mayor nivel de riesgo corresponde a Cochabamba en las laderas del río Rocha a la altura del municipio de Cochabamba, dado su alto nivel de población. Las cuencas de Oruro y Santa Cruz también presentan zonas de alta susceptibilidad. Por otra parte, a pesar de que el departamento de Beni es el que mayor cantidad de zonas susceptibles presenta, las cuales en su mayoría corresponden a las laderas del río Mamoré, la población expuesta es poca en comparación con las zonas mencionadas anteriormente.

4 ANÁLISIS GENERAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS

4.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GENERAL DE DESLIZAMIENTOS

Se realiza un análisis general de susceptibilidad a los deslizamientos el cual tiene como propósito principal identificar las principales zonas con alta potencialidad de daños en relación a impactos en la población, en zonas productivas y en el sector vial y de transporte. La metodología utilizada en este análisis incluye las siguientes actividades específicas:

- Análisis general de información de lluvias a nivel país utilizando para el efecto las estaciones más importantes y que tengan la información de mayor calidad. Con la información principal se elabora un mapa general de isohietas simplificado a nivel país con el fin de identificar aquellas zonas en que se producen los mayores niveles de precipitación. Se genera información a nivel mensual y anual.
- Análisis simplificado de la amenaza sísmica del país con el fin de estudiar la potencialidad de sismos por regiones como detonantes de eventos de deslizamientos.
- Análisis de las formaciones geológicas superficiales y caracterización preliminar de susceptibilidad de acuerdo con información geotécnica complementaria y conceptos geológico-geotécnicos. Esta actividad se realiza con el apoyo de un geólogo especialista y se apoya en la interpretación de imágenes de satélite y fotografías aéreas.
- Análisis general de susceptibilidad a los deslizamientos utilizando el software *IT-Deslizamientos* el cual considera el modelo de elevación digital del país, la información geológica y geotécnica e información complementaria para realizar un análisis simplificado de factores de seguridad a la falla.
- Análisis de susceptibilidad general a los deslizamientos incluyendo variables complementarias tales como cercanía a vías, a centros poblados y otros.
- Análisis de susceptibilidad a los deslizamientos para diferentes escenarios de análisis de precipitación y de sismicidad.
- Propuesta de zonificación general del país en zonas de susceptibilidad a los deslizamientos en las diferentes cuencas y zonas geográficas principales del país
- La información anterior se cruza con la información de poblaciones con el fin de identificar las zonas importantes del país en las cuales se concentra el riesgo de las poblaciones con respecto a eventos de inundaciones. El análisis también puede aplicarse a otros componentes de infraestructura

como la red vial primaria y secundaria o las zonas de cultivos con el fin de evaluar el impacto económico de este tipo de eventos.

- Con base en la zonificación propuesta se definen las cuencas con mayor potencial de riesgo por deslizamientos en relación a posibles impactos sobre los centros poblados, zonas de desarrollo crítico para el país o zonas de alta productividad agrícola y económica, red vial e infraestructura.

Complementariamente a lo anterior se realiza un análisis de los eventos históricos para los cuales exista información con el fin de tener una validación general de los resultados. Igualmente se utiliza la información de zonas inestables que resulte de la interpretación de imágenes y de información complementaria para efectos de validación.

4.2 METODOLOGÍA DETALLADA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

4.2.1 Información disponible

Para el análisis se cuenta con la siguiente información básica:

- Modelo de elevación digital del terreno
- Información de la geología superficial
- Mapa de ríos y cuerpos de agua
- Mapa de vías principales y secundarias.
- Mapa de usos del suelo
- Informes e inventario de eventos previos y zonas inestables

4.2.2 Análisis de factores de seguridad

Se realiza un análisis de factores de seguridad como uno de los indicadores principales de susceptibilidad a los deslizamientos. Para el análisis se utilizará el software *IT- Deslizamientos*. El procedimiento de análisis incluye los siguientes pasos principales:

- (1) Conformación y adecuación de toda la información requerida, incluyendo la información topográfica basada en el modelo de elevación digital (MDE), información geológica y geomorfológica, información de suelos, información de usos de la tierra, aguas freáticas o subterráneas, coberturas del suelo, etc.
- (2) Selección de las áreas críticas en función de la densidad de eventos en el pasado y según la susceptibilidad geológico-geotécnica. Los principales factores a tomar en cuenta para la zonificación son:
 - Evidencia de deslizamientos pasados.

- Presencia de rocas arcillosas y lutíticas con desarrollo de perfiles de meteorización paralelos al terreno, así como perfiles de meteorización local de mayor profundidad en algunas unidades de lutita (falla rotacional).
 - Existencia de rocas de mayor dureza (areniscas, conglomerados), tanto del Cretácico como del Terciario, que presenten mecanismos de ruptura dominados por la configuración estructural (diaclasas, buzamiento desfavorable). Este mecanismo puede presentarse también en lutitas y arcillolitas con buzamiento desfavorable.
 - Presencia de depósitos coluviales que puedan originar fallas de tipo rotacional y también planar en el contacto con la roca.
 - Factores detonantes primordiales, como por ejemplo el efecto de cortes en tramos viales, la acción del agua y erosión/socavación.
 - Evidencias y efectos de deforestación intensiva, y sobrecargas excesivas en la corona de los taludes.
 - Características adicionales de las formaciones geológicas encontradas.
 - Mapa de pendientes topográficas.
- (3) Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos con el método de falla plana con aplicación tridimensional mediante el software *IT-Deslizamientos*.
- (4) Seleccionar las condiciones de humedad (nivel freático) y sus frecuencias anuales de ocurrencia.
- (5) Seleccionar el conjunto de eventos sísmicos estocásticos detonantes calculados a partir de las condiciones de amenaza sísmica.
- (6) Evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos en la zona de estudio para los diferentes eventos detonantes y para las condiciones de niveles freáticos seleccionados.

4.3 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS

Para la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos se requiere la siguiente información básica:

- Modelo de elevación digital del terreno
- Mapa de formaciones geológico-geotécnicas principales (incluyendo los parámetros geotécnicos indicativos)
- Condiciones de humedad del suelo
- Eventos detonantes como son las lluvias y terremotos localizados.

La Figura 38 presenta el mapa de pendientes que se ha generado a partir del modelo de elevación digital (ver Figura 21 arriba). Por otro lado la Figura 25 presenta el mapa de formaciones geológico-geotécnicas que se utiliza en análisis.

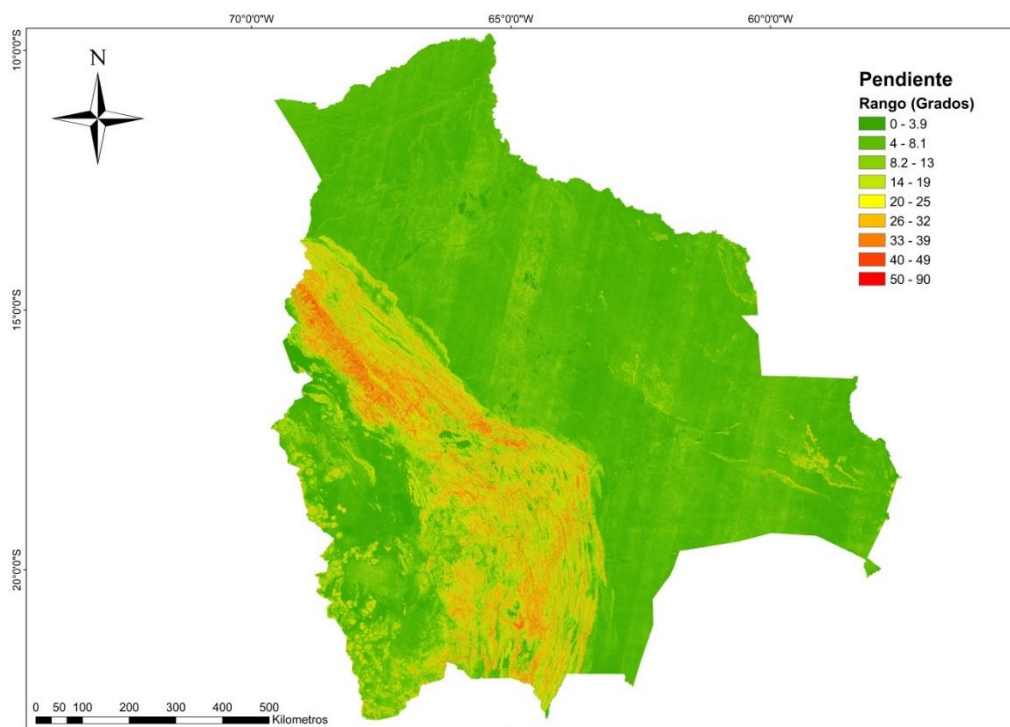


Figura 38. Mapa de pendientes. Fuente: Consultor con base en información disponible en ASTER-GDEM para el modelo de elevación digital.

Con respecto a posibles eventos detonantes se utiliza el mapa de isohietas generado para intensidades de 30 días que se presentó anteriormente en la Figura 29. Para este tipo de intensidad se genera una distribución de condiciones de nivel freático variable entre depósito totalmente saturado, cuando la intensidad de lluvia acumulada de 30 días sobrepasa un valor de 400 mm, y depósito sin nivel freático cuando la intensidad es inferior a los 100 mm para 30 días.

Adicionalmente, con respecto a eventos sísmicos detonantes de deslizamientos, la Figura 39 presenta la distribución geográfica de algunos escenarios estocásticos representativos que se utilizan para el análisis de susceptibilidad en condiciones sísmicas. Estos escenarios se han definido con base en la información de fallas activas del país y en las magnitudes máximas representativas de sismos que pueden llegar a ocurrir en la zona. Se considera para el análisis tres diferentes eventos sísmicos históricos reportados en la base de datos de la USGS (“United States Geological Survey” por sus siglas en inglés), estos tres eventos reportan magnitudes entre 6 – 7.5. Los eventos seleccionados se encuentran en tres diferentes zonas a lo largo del país, zona norte, centro y sur.

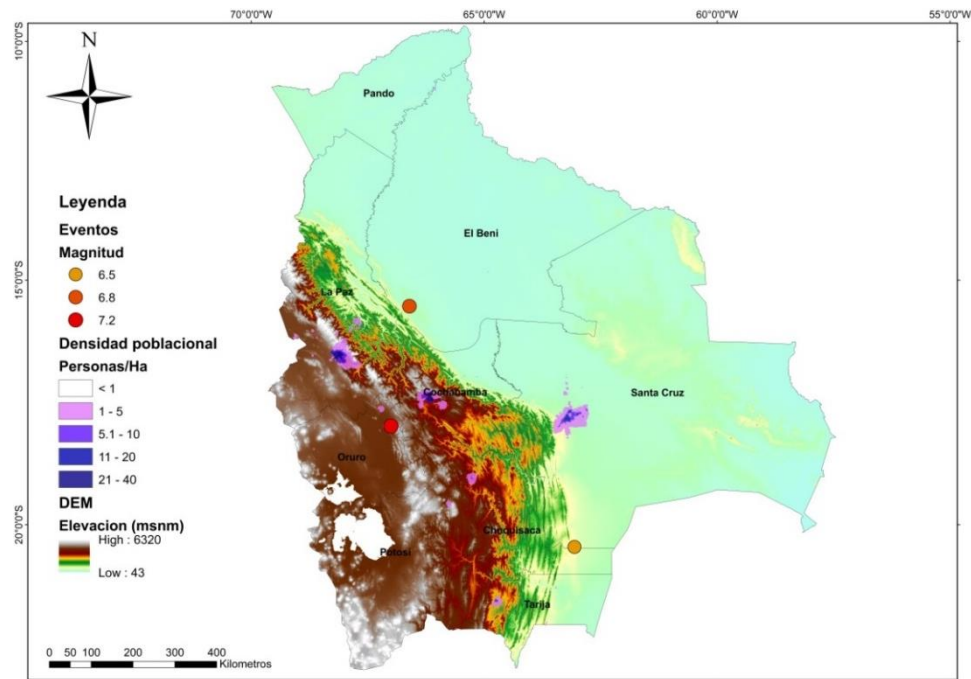


Figura 39. Escenarios estocásticos para el análisis. Fuente: Consultor con base en información disponible en ASTER-GDEM para el modelo de elevación digital y para la densidad poblacional WorldPop.

Con base en la información anterior y en la metodología expuesta anteriormente se generan mapas de susceptibilidad a los deslizamientos para las siguientes condiciones de análisis:

- Condición 1: sin nivel freático y sin sismo
- Condición 2: con nivel freático según lo indicado anteriormente y sin sismo
- Condición 3: sin nivel freático y con los tres escenarios sísmicos considerados
- Condición 4: con nivel freático y con sismo.

La Figura 40 a Figura 44 presentan los resultados del análisis.

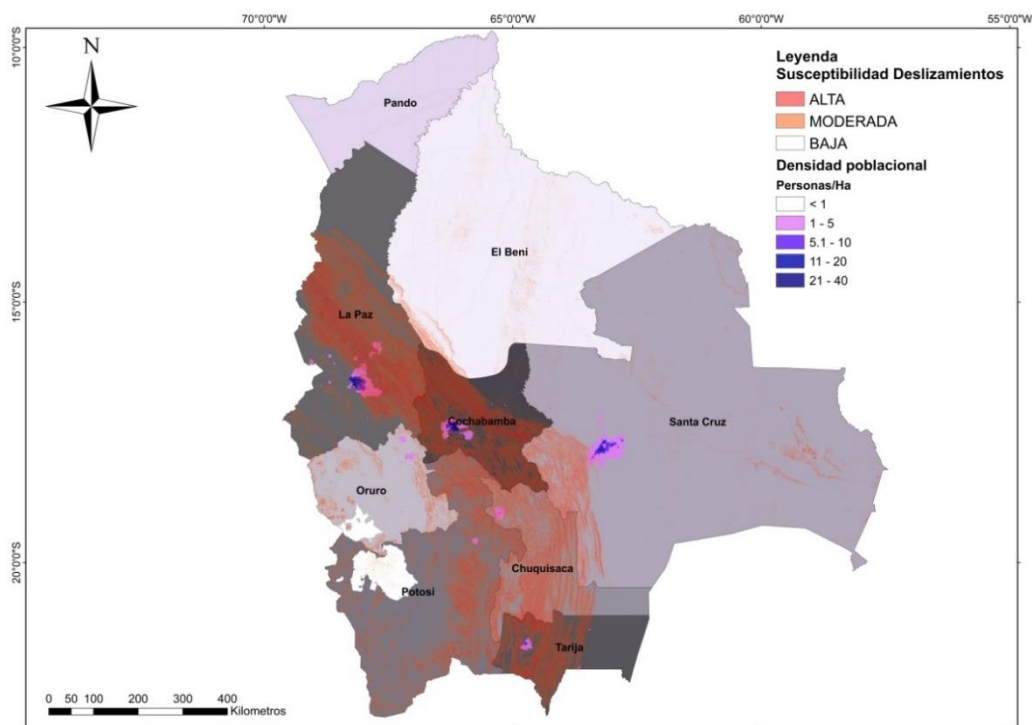


Figura 40. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental y para la densidad poblacional WorldPop.

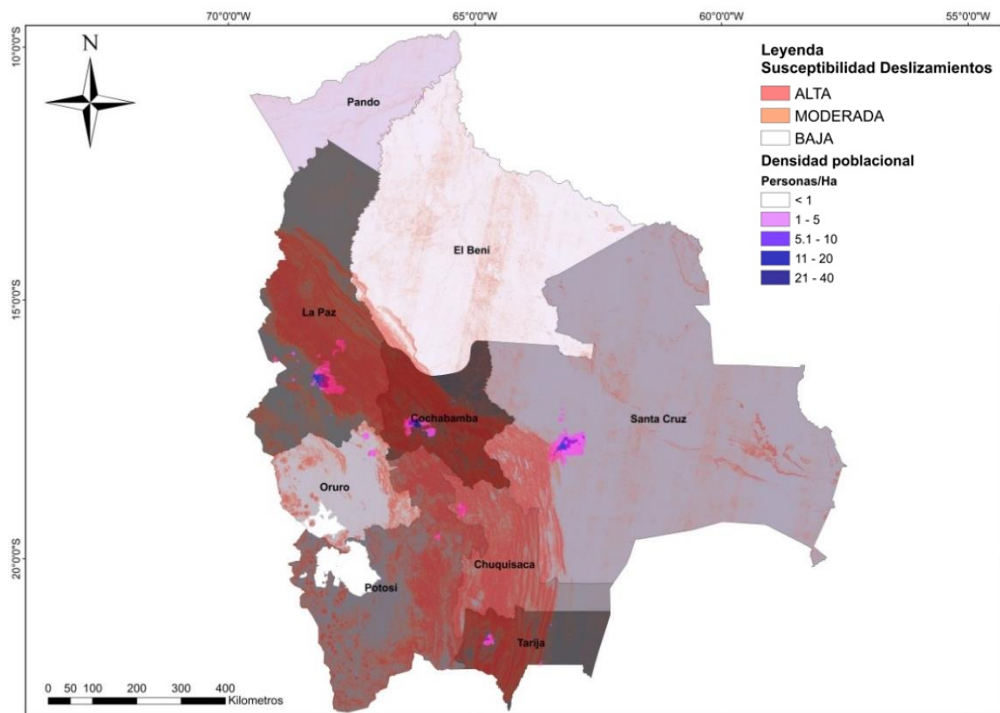


Figura 41. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 2. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental y para la densidad poblacional WorldPop.

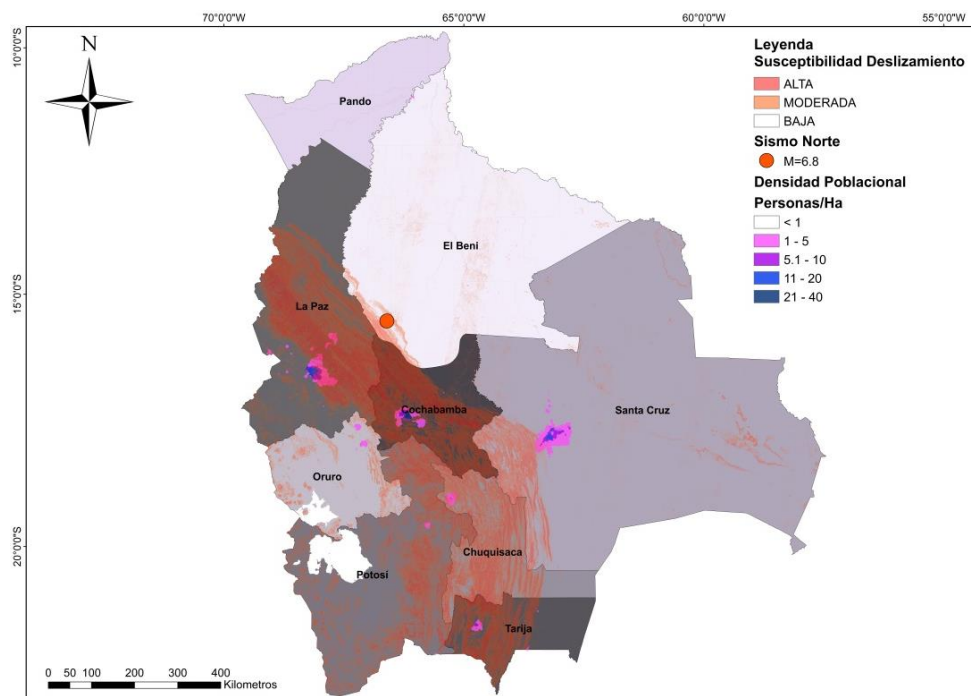


Figura 42. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 3 escenario sísmico No. 1. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental y para la densidad poblacional WorldPop.

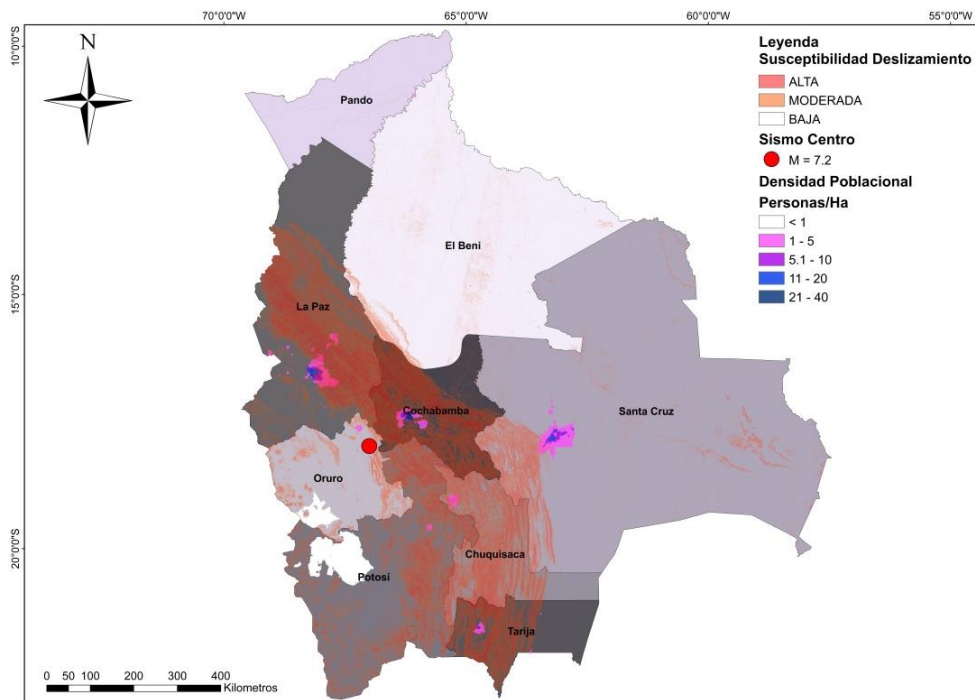


Figura 43. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 3 escenario sísmico No. 2. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental, para sismo USGS y para la densidad poblacional WorldPop.

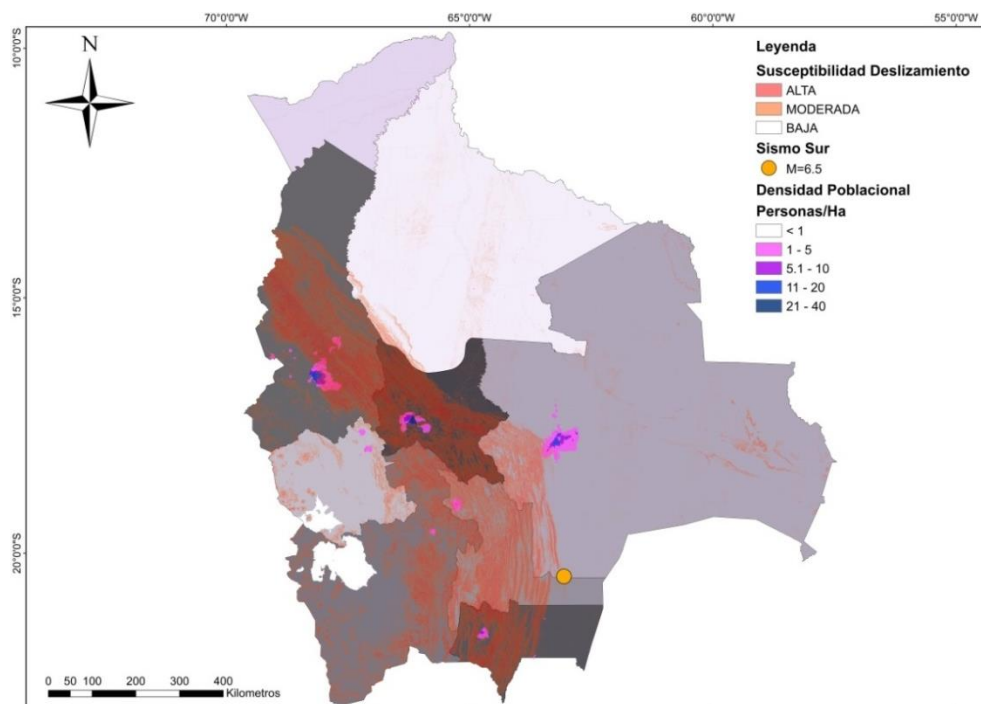


Figura 44. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 3 escenario sísmico No. 3. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental, para sismo USGS y para la densidad poblacional WorldPop.

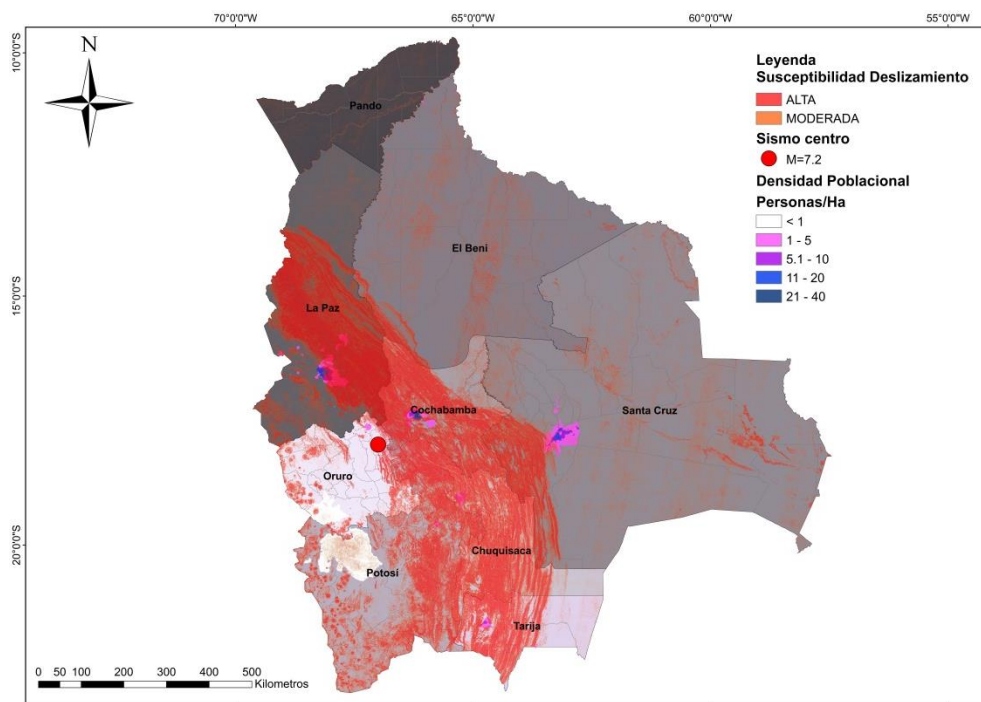


Figura 45. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 4 escenario sísmico No. 2. Fuente: Consultor con base en información disponible en GeoBolivia para la división departamental, para sismo USGS y para la densidad poblacional WorldPop.

4.4 INDICADORES GENERALES DE RIESGO POR DESLIZAMIENTOS

El mapa de susceptibilidad a los deslizamientos se cruza con información de exposición correspondiente a la distribución geográfica de la población (ver Figura 23, Distribución geográfica de la población en Bolivia). El análisis también puede realizarse para cuantificar el riesgo en otros componentes tales como la infraestructura de la red vial principal del país o el nivel de riesgo para las zonas de cultivos en las diferentes regiones del país.

El análisis de indicadores de riesgo por deslizamiento se realiza únicamente para la exposición de la población y para la condición de amenaza No. 2, o sea en condiciones de alta saturación pero sin escenario sísmico. Los resultados se presentan en la Figura 46.

Por otro lado la Figura 47 a Figura 50, presentan de manera aproximada la amenaza a deslizamientos para las cuatro principales ciudades de Bolivia; La Paz, Cochabamba, Sucre y Santa Cruz, para la condición No. 1.

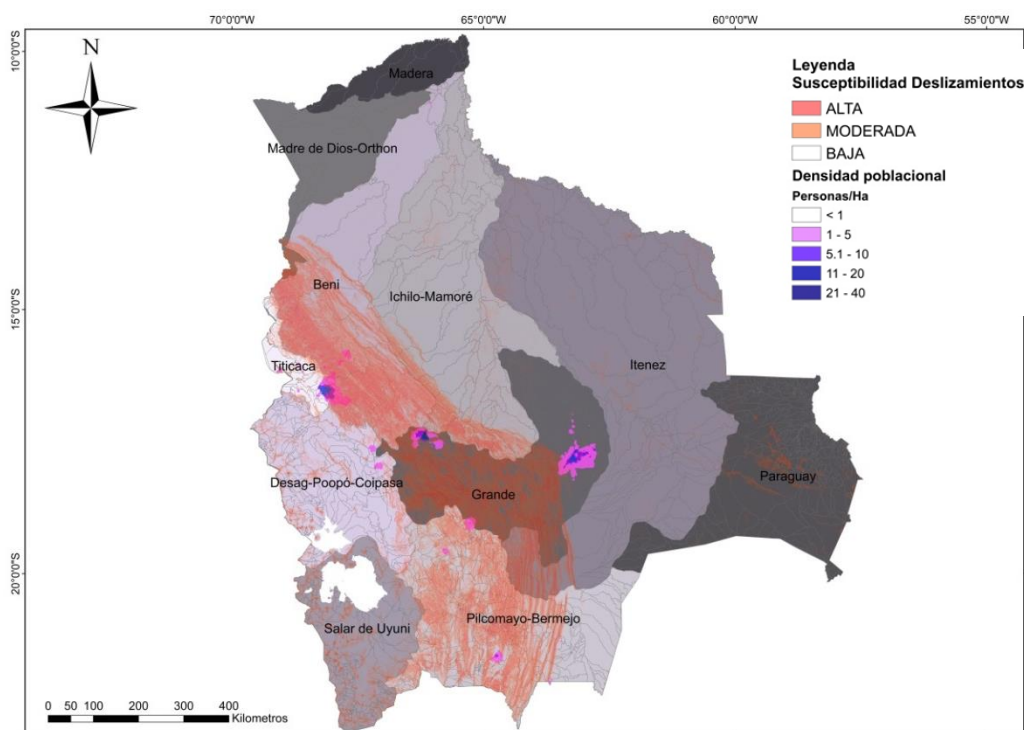


Figura 46. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1 para las cuencas. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales y para la densidad poblacional WorldPop.

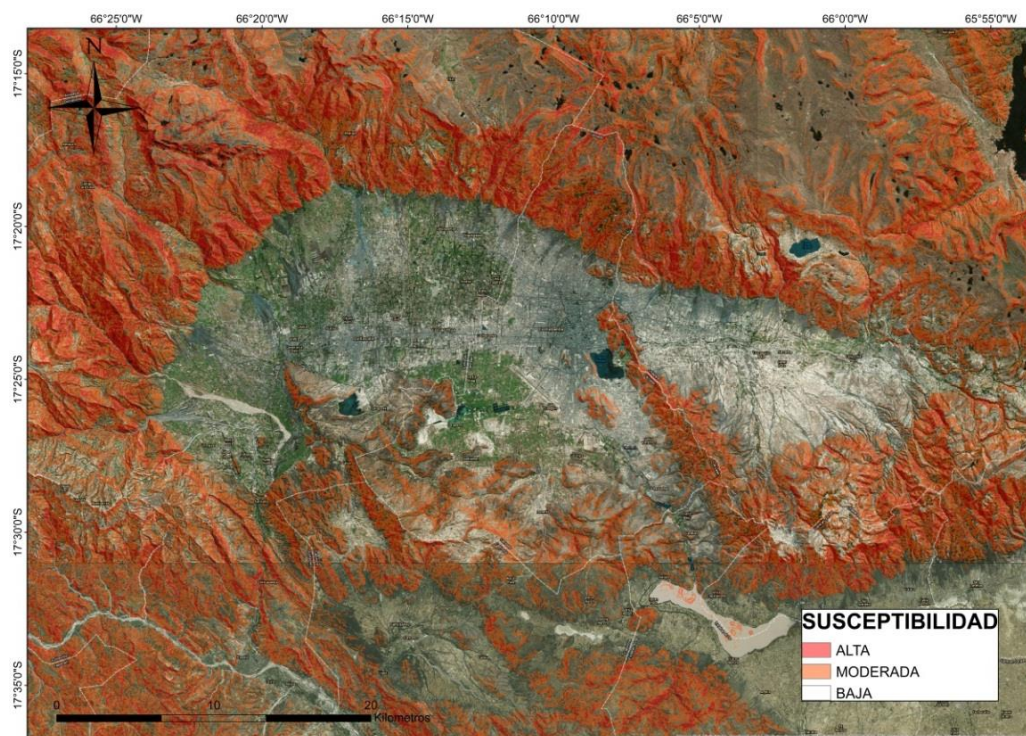


Figura 47. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1, ciudad de Cochabamba. Fuente: Consultor con base en información disponible en GOOGLE EARTH para imagen satelital.

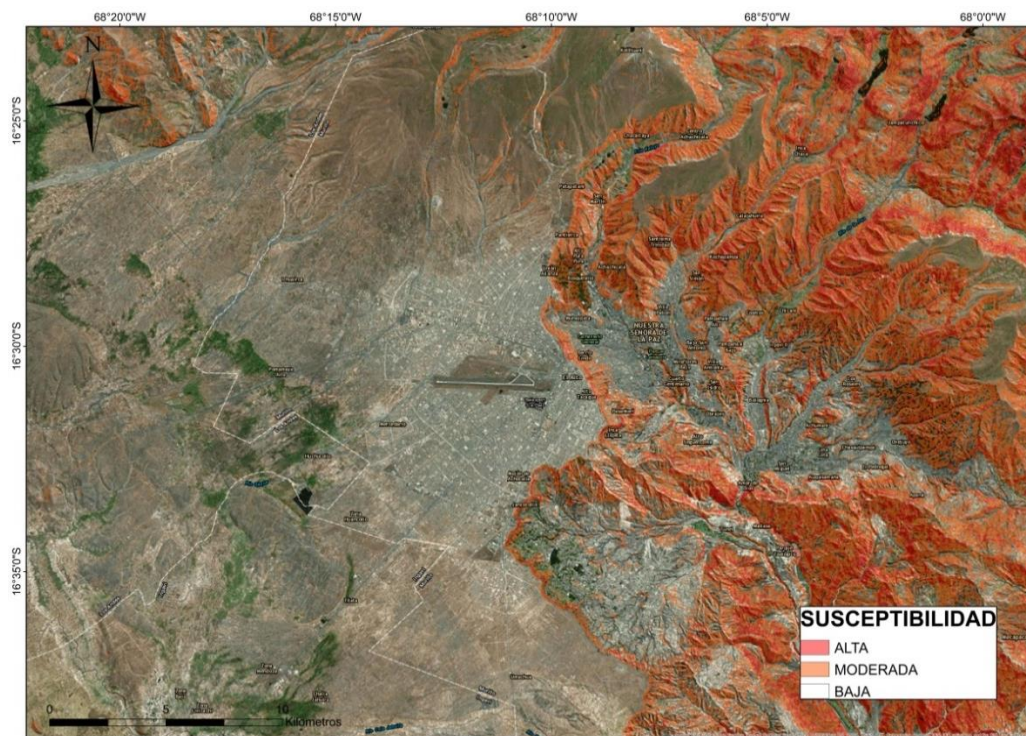


Figura 48. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1, ciudad de La Paz. Fuente: Consultor con base en información disponible en GOOGLE EARTH para imagen satelital.

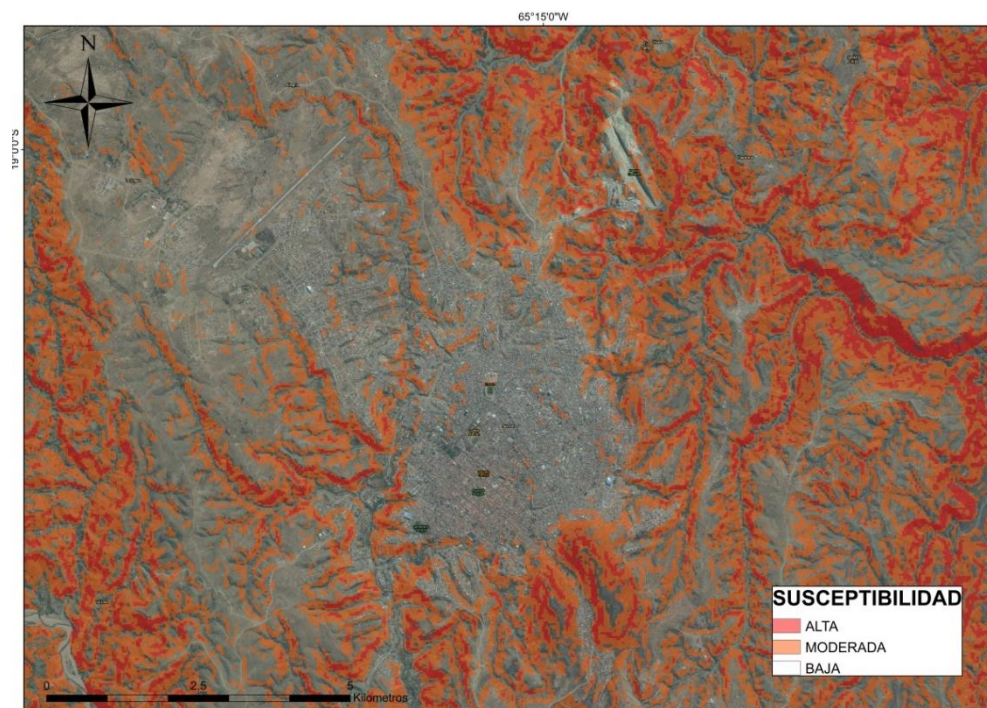


Figura 49. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1, ciudad de Sucre. Fuente: Consultor con base en información disponible en GOOGLE EARTH para imagen satelital.

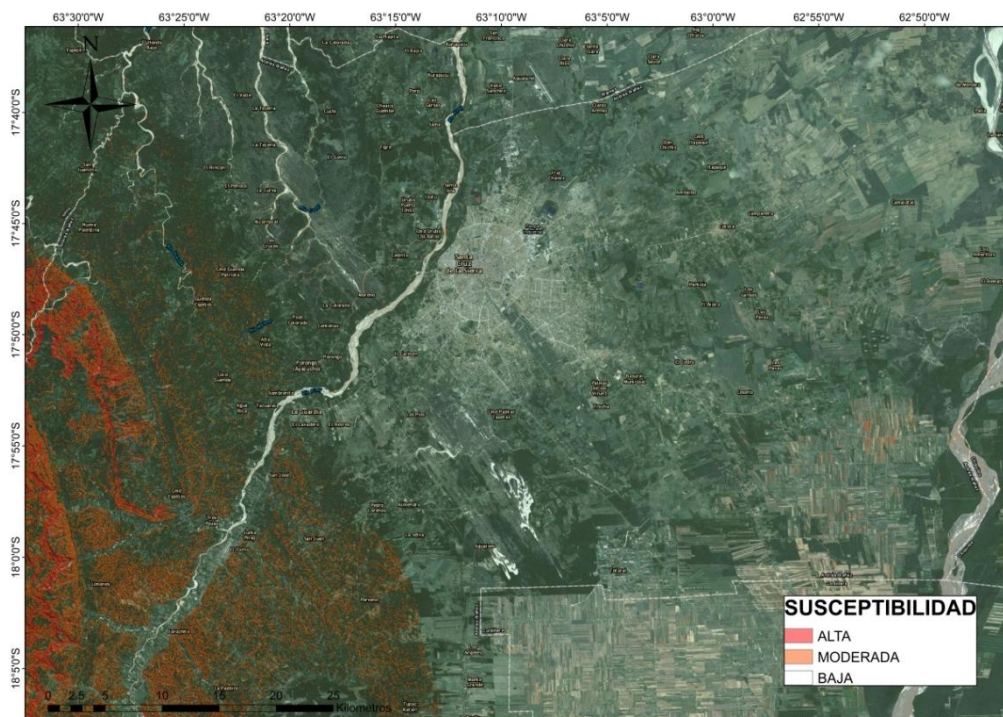


Figura 50. Resultados típicos de análisis de susceptibilidad a los deslizamientos condición 1, ciudad de Santa Cruz. Fuente: Consultor con base en información disponible en GOOGLE EARTH para imagen satelital.

Con base en las figuras anteriores se obtienen las estadísticas que se presentan en la para la condición 1 y condición 2 respectivamente. La Tabla 15, resume las estadísticas de personas afectadas a nivel departamental para la condición 2.

Tabla 15. Indicadores de riesgo por deslizamientos nivel departamental condición 2 de análisis.

| Departamento | Población | | | Área [km2] | | |
|--------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|
| | Afectados | Total | Porcentaje Afectados | Afectada | Total | Porcentaje |
| La Paz | 913,425 | 2,219,204 | 41.2% | 41975.2 | 126549.8 | 33.2% |
| Cochabamba | 373,248 | 1,425,186 | 26.2% | 25012.6 | 54051.4 | 46.3% |
| Potosí | 280,042 | 666,590 | 42.0% | 31474.0 | 108783.1 | 28.9% |
| Chuquisaca | 245,828 | 464,944 | 52.9% | 25559.6 | 51074.0 | 50.0% |
| Tarija | 104,322 | 384,726 | 27.1% | 10967.0 | 37345.6 | 29.4% |
| Santa Cruz | 103,699 | 2,168,622 | 4.8% | 17709.7 | 359568.4 | 4.9% |
| Oruro | 44,845 | 403,141 | 11.1% | 4337.9 | 45693.6 | 9.5% |
| El Beni | 11,323 | 379,106 | 3.0% | 4891.4 | 214460.2 | 2.3% |
| Pando | 204 | 90,256 | 0.2% | 114.7 | 62704.1 | 0.2% |
| Total | 2,076,936 | 8,201,775 | 25% | 162042.3 | 1060230.3 | 15% |

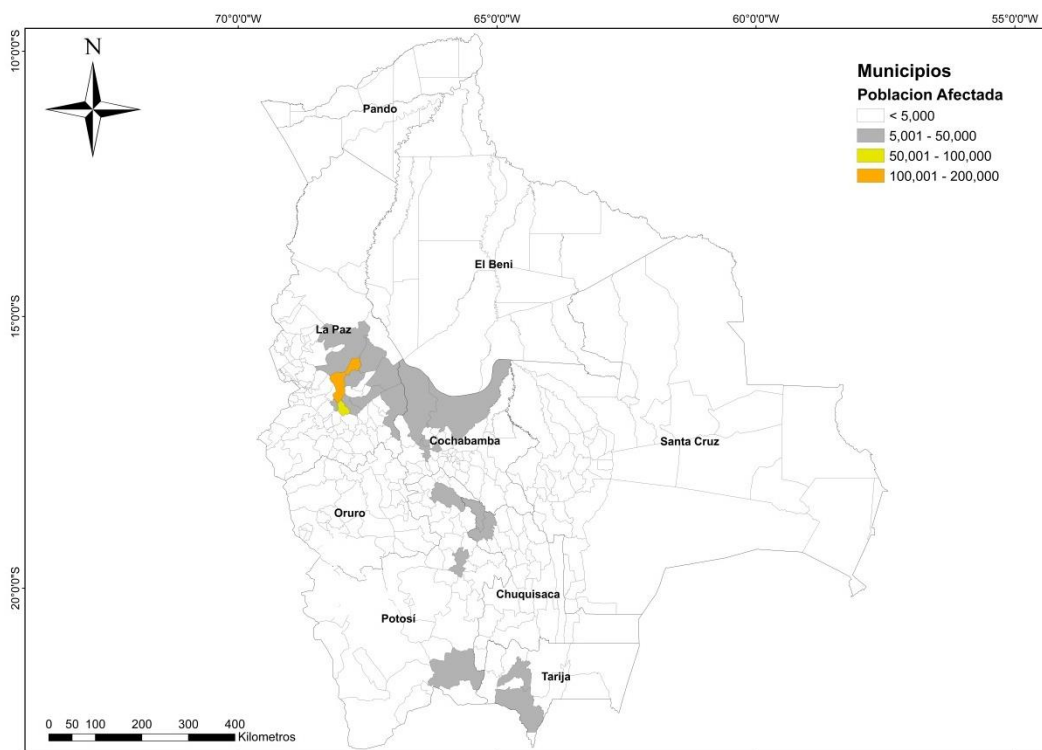


Figura 51. Resultados población afectada por municipios para la condición 1 de análisis. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales para división departamental.

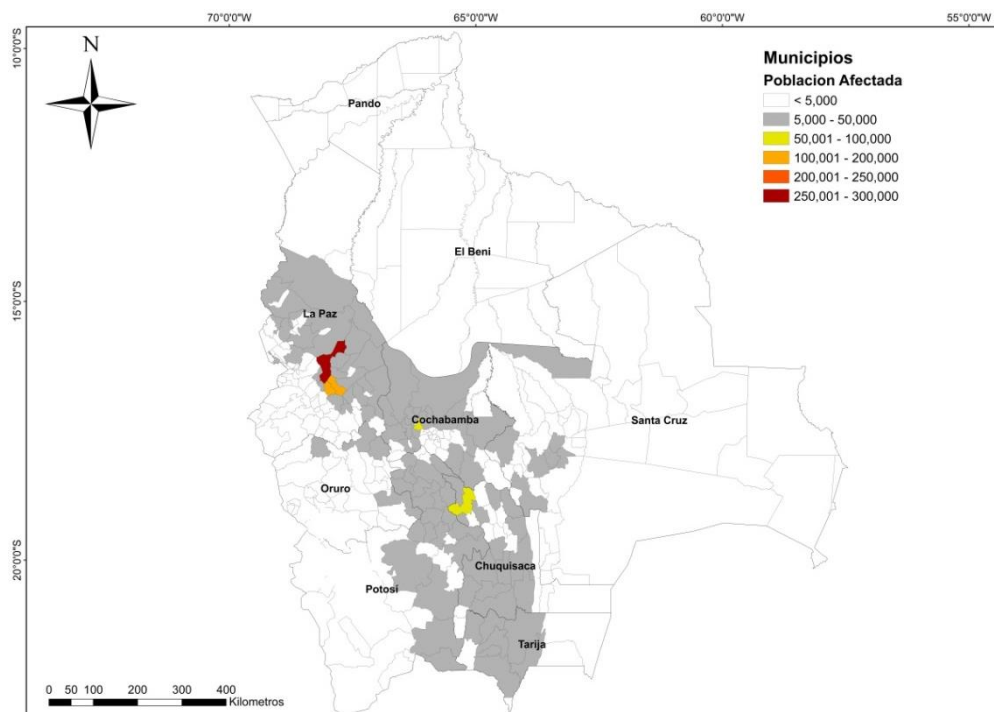


Figura 52. Resultados población afectada por municipios para la condición 2 de análisis. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales para división departamental.

Finalmente, en la Tabla 16 se presentan las estadísticas de los indicadores de riesgo para los 15 municipios con mayor número de afectados por deslizamiento para los resultados de la condición 2 del análisis.

Tabla 16. Indicadores de riesgo por deslizamientos por municipio, condición 2 de análisis.

| Departamento | Municipio | Población | | | Área [km2] | | | Observaciones |
|--------------|--------------|-----------|---------|------------|------------|---------|------------|---------------|
| | | Afectados | Total | Porcentaje | Afectada | Total | Porcentaje | |
| La Paz | La Paz | 294,765 | 525,903 | 56% | 1401.6 | 1983.0 | 71% | |
| La Paz | Mecapaca | 145,240 | 225,423 | 64% | 340.4 | 504.5 | 67% | |
| La Paz | Palca | 124,484 | 174,162 | 71% | 545.6 | 730.9 | 75% | |
| Cochabamba | Cochabamba | 76,496 | 501,097 | 15% | 62.7 | 283.5 | 22% | |
| Chuquisaca | Sucre | 74,797 | 145,850 | 51% | 1051.3 | 1780.7 | 59% | |
| Tarija | Tarija | 40,902 | 155,754 | 26% | 973.3 | 2052.4 | 47% | |
| Cochabamba | Villa Tunari | 36,975 | 121,914 | 30% | 3932.8 | 11167.9 | 35% | |
| La Paz | Guanay | 33,261 | 52,708 | 63% | 4351.9 | 6690.0 | 65% | |
| Santa Cruz | El Torno | 32,329 | 136,249 | 24% | 319.1 | 961.5 | 33% | |
| Cochabamba | Sipe Sipe | 31,766 | 94,629 | 34% | 235.7 | 502.4 | 47% | |
| La Paz | Achocalla | 29,169 | 190,830 | 15% | 38.8 | 225.9 | 17% | |
| Chuquisaca | Poroma | 28,707 | 43,074 | 67% | 943.8 | 1393.2 | 68% | |

| Departamento | Municipio | Población | | | Área [km2] | | | Observaciones |
|--------------|-----------|-----------|--------|------------|------------|--------|------------|---------------|
| | | Afectados | Total | Porcentaje | Afectada | Total | Porcentaje | |
| Potosi | Potosi | 25,349 | 68,723 | 37% | 481.3 | 1252.1 | 38% | |
| La Paz | Caranavi | 22,906 | 44,565 | 51% | 1274.5 | 2367.5 | 54% | |
| Tarija | Padcaya | 19,578 | 34,386 | 57% | 2709.0 | 4584.4 | 59% | |

Con base a los resultados observados se observa una correlación entre el modelo de análisis para los deslizamientos en las zonas reportadas como susceptibles y el historial de eventos de deslizamientos reportados en la base de datos de DesInventar.

Finalmente la presenta el mapa de la susceptibilidad a deslizamientos para usos del suelo.

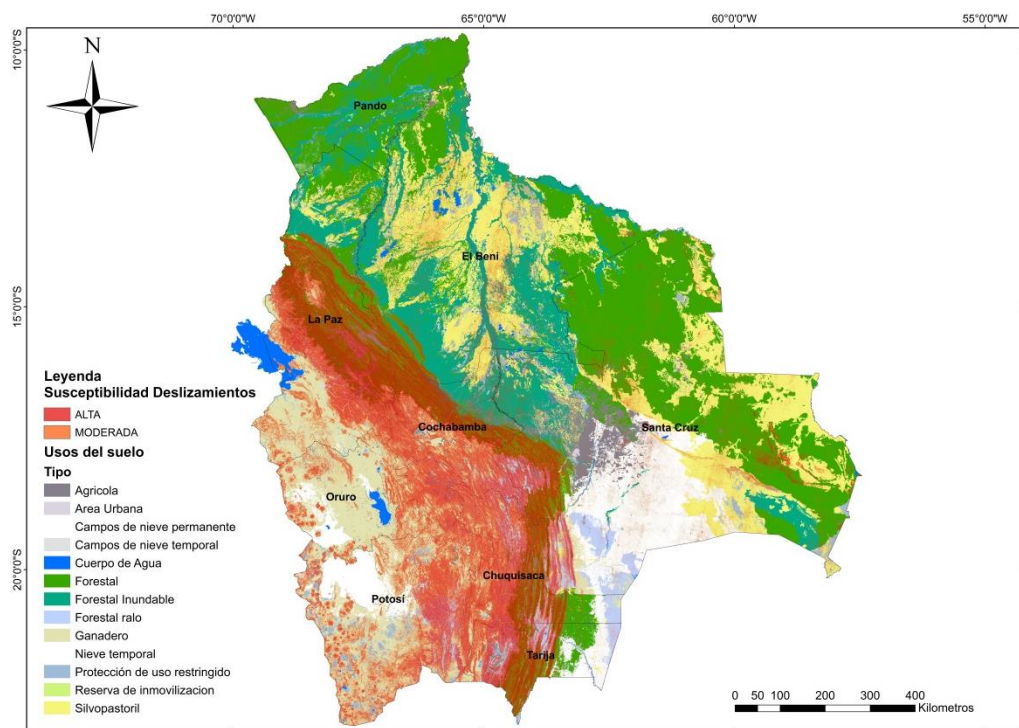


Figura 53. Resultados por uso del suelo para la condición 2 de análisis. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales para uso del suelo.

5 SELECCIÓN DE CUENCAS PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIONES

5.1 GENERALIDADES

La selección de las cuencas para el análisis en el marco del presente proyecto se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores principales:

- Importancia relativa de la cuenca para el país.
- Tipo de cuenca y representatividad para futuras aplicaciones en el país.
- Nivel de amenaza y susceptibilidad a inundaciones.
- La historia de pérdidas por eventos de inundación.
- Nivel de riesgo en zonas pobladas y en zonas productivas
- Información existente que permita un análisis de buena calidad.
- Características de los tramos críticos para los análisis.

Con base en la información general del país que se presenta en el numeral 1.1 y en los resultados del análisis general de susceptibilidad a las inundaciones presentado anteriormente se llega a la conclusión de que la problemática de riesgo por inundaciones se concentra en la parte norte y central del país.

En la Figura 54 se presentan diferentes niveles de división de cuencas, a partir de las cuales se realizará la selección de cuencas correspondientes a las zonas con mayor riesgo de deslizamientos determinadas por el análisis simplificado. La Tabla 17 presenta algunos datos de interés de las cuencas asociadas a las zonas susceptibles de inundación más relevantes, identificadas por medio de la metodología simplificada.

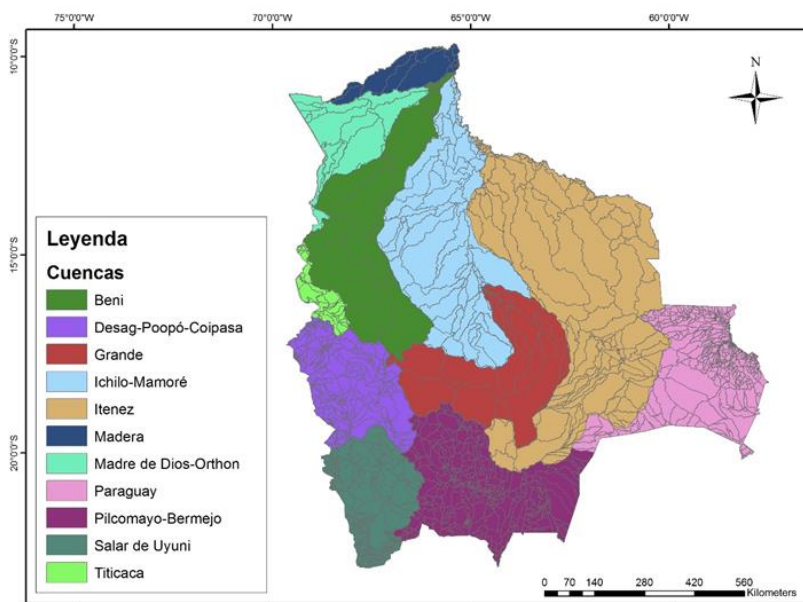


Figura 54. Mapa de cuencas y subcuencas de Bolivia. Fuente: Consultor con base en información disponible en Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia

Tabla 17. Información de interés de algunas de las cuencas más relevantes de Bolivia.

| Municipios o zonas susceptibles | Cuenca | Deptos. | Área ^a (km ²) | No. Provincias | No. Municipios | Población (censo de 2001) ^b | No. de estaciones meteorológicas | No. de eventos históricos | |
|--|---------------|---|---|-------------------|-------------------|---|--|--------------------------------------|-----------|
| | | | | | | | | (DesInventar 1970-2012) ^d | |
| | | | | | | | | Inundac. | Dezlizam. |
| El Puente, San Ramón, Mineros, Puerto Pailas, y cultivos aledaños al río | Río Grande | Chuquisaca, Cochabamba, El Beni, La Paz, Oruro, Potosí y Santa Cruz | 102,602 | 41 | 109 | 3,223,111 | 69 | 459 | 31 |
| Santa Rosa del Sara | Río Piraí | Santa Cruz | 13,466 | 8 | 22 | 326,550 | 4 | 171 | 9 |
| Cochabamba, Quillacollo, y Sipe Sipe | Río Rocha | Cochabamba | 5,000 | 7 | 16 | 888,506 | 9 | 93 | 14 |
| Villamontes | Río Pilcomayo | Potosí, Chuquisaca, Tarija | 96,270 | 14 | 35 | 914,696 | 16 | 235 | 18 |
| Mizque | Río Caine | Cochabamba y Potosí | 9,500 | 16 | 42 | 1,117,544 | 18 | 344 | 39 |
| Yapacaní | Río Yapacaní | Santa Cruz | 11,608 | 7 | 16 | 79,303 | 6 | 74 | 10 |
| Trinidad | Río Mamoré | Santa Cruz, Cochabamba | 241,660 | 12 | 27 | 419,640 | 9 | 195 | 21 |

a. Tomado del valor de área reportado en el Shape de subcuencas realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua y el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego de Bolivia, en 2010. Disponible en http://essm.tamu.edu/bolivia/info_geoespacial_vector_es.htm

b. Calculado con base en el Shape de centros poblados realizado por el Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE), a partir del censo poblacional de 2001. Disponible en http://essm.tamu.edu/bolivia/info_geoespacial_vector_es.htm

c. Calculado con base en el Shape de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI) para 2011. Disponible en http://geo.gob.bo/download/?w=mdryt&l=ucr_Estaciones_meteorologicas_SENAMHI.

d. Tomado de la base de datos Desinventar para Bolivia 1970 – 2010, con base en los eventos ocurridos en los municipios contenidos por cada cuenca. Disponible en http://online.desinventar.org/desinventar/#BOL-1248983224-bolivia_inventario_historico_de_desastres

5.2 CONDICIONES DE AMENAZA Y RIESGO DE CUENCAS PRINCIPALES

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las cuencas críticas preseleccionadas y de los aspectos relacionados con amenaza, riesgo y disponibilidad de información en cada una de ellas.

En la Figura 55 se resaltan las cuencas de los principales ríos que se analizan más adelante

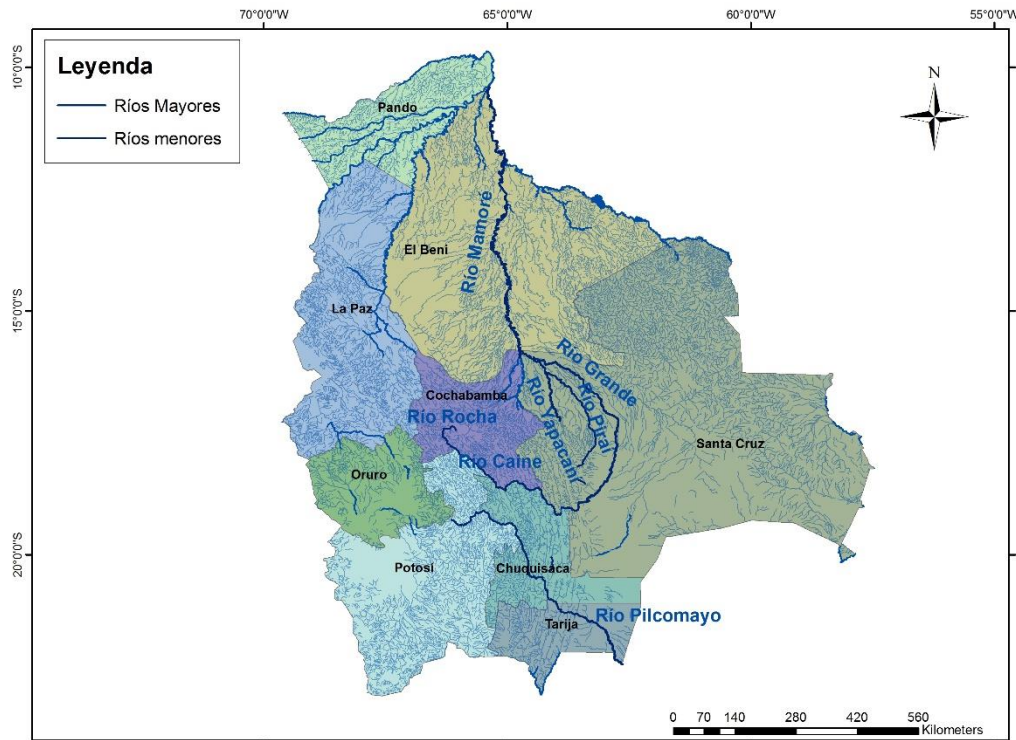


Figura 55. Cuencas de los principales ríos. Fuente: Consultor con base en información disponible en Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia

5.2.1 Cuenca del Río Grande

El río Grande también conocido como río Guapay nace en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, cerca de Cochabamba donde las alturas oscilan entre los 3500 y 5200 m.s.n.m.. Su cuenca drena una superficie de 101.902 km², dividida en cuenta alta (59 mil km²) y cuenca baja (42 mil km²) y hace parte de la Gran Cuenca del río Amazonas, la mayor de las tres grandes macro cuencas que componen Bolivia. Fluye principalmente por el departamento de Santa Cruz y funciona como límite entre los departamentos de Chuquisaca y Cochabamba. La cuenca del río Grande contiene la subcuenca del río Caine en su parte alta y las subcuencas del Pirá y Yacapaní en su parte baja.

A través de 1438 km desciende rápidamente por terrenos muy escarpados, fluye por una planicie a los 400 m.s.n.m. y a los 148 m.s.n.m. desemboca en el río Mamoré. En su recorrido desde la cordillera oriental, el río Grande atraviesa parte de la zona Andina, Subandina y la llanura Chaqueña zonas con condiciones geomorfológicas y climatológicas particulares que difieren en cuanto a relieve, clima, cobertura vegetal y tipos de roca.

Su cuenca se enfrenta a inundaciones recurrentes que ocasionan pérdidas humanas y económicas que en daño a la infraestructura y afectaciones a la producción agrícola representan un gasto anual tanto para campesinos como para el gobierno. Estudios anteriores atribuyeron los desbordamientos e inundaciones a la expansión de la frontera agrícola hacia los márgenes del río, a la eliminación de la cobertura arbórea antes existente en las riberas del río y a la acumulación de sedimentos que vienen desde la zona alta del río. En cuanto a la zona baja, vale la pena resaltar que las invasiones urbanas y agropecuarias dentro de las llanuras de inundación naturales son una causa y agravante grave de las inundaciones.

Adicionalmente, esta cuenca es objeto de estudio actual por motivo de la construcción de la central hidroeléctrica Rositas sobre el río Grande en Abapó. Este es un proyecto de gran importancia que pretende impulsar la generación de energía eléctrica, generar condiciones favorables que fomenten las actividades agropecuarias y agrícolas, controlar la irrigación y sirve como control a inundaciones y crecientes.

5.2.2 Cuenca del Río Pirai

La cuenca del río Pirai contenida en el departamento de Santa Cruz, tiene una superficie de 15.249 km² y una longitud de 457 km. Hace parte de la cuenca baja del río Grande y en esta medida de la Gran Cuenca Amazónica. El río Pirai nace donde confluyen los ríos Bermejo y Piojeras a 1642 m.s.n.m. y desemboca en el río Yacapaní a 200 m.s.n.m. aproximadamente. Esta es una cuenca de gran importancia en términos de riesgo ya que atraviesa la ciudad más grande y poblada de Bolivia, Santa Cruz de Sierra, considerada como la ciudad más importante desde el punto de vista productivo, industrial y financiero. El río Pirai fluye a través de los municipios del Torno, La Guardia, Warnes, Montero y Portachuelo entre otros y es un atractivo turístico en época de verano.

Sus elevadas pendientes, su geología y el patrón de lluvias que rige en la región hacen de esta cuenca un área especialmente propicia a la erosión. La cuenca del Pirai es conocida por los repetidos eventos en los que sus desajustes hidro-geológicos ocasionaron inundaciones en la ciudad y en las áreas peri-urbanas y agrícolas que rodean su cauce motivo por el cual, en 1983, con la creación del Servicio de Encauzamiento de Aguas y Regularización del Río Pirai (SEARPI), se impulsó la ejecución de obras de contención que resultaron en una reducción directa de los eventos de inundación de alto impacto en la ciudad de Santa Cruz.

Adicionalmente, la cuenca presenta problemáticas ambientales como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas y el uso inadecuado de los suelos.

La cuenca del río Piraí ha sido caso de estudio en diferentes investigaciones y en esta medida se cuenta con una gran cantidad de información que puede facilitar la evaluación del riesgo y cuenta con 28 estaciones hidrométricas de monitoreo.

5.2.3 Cuenca del Río Rocha

La cuenca del río Maylanco-Rocha contenida en el departamento de Cochabamba hace parte de la cuenca alta del río Grande, tiene una superficie de 1150 km² que abarca cinco provincias: Chapare, Cercado, Capinota, Tapacarí y Quillacollo y comprende 11 municipios. El río Rocha nace en la Cordillera de los Andes al este de la ciudad de Sacaba a 2635 m.s.n.m., atraviesa las ciudades de Cochabamba y Quillacomo en dirección oeste y posteriormente confluye con el río Arque para formar el río Caine a una altitud de 2350 m.s.n.m. Su longitud total es de 115 km. El río drena zonas de clima subhúmedo a seco cuyo régimen hidrológico incluye crecidas intempestivas de corta duración que arrastran gran cantidad de sólidos y modifican las condiciones del cauce.

La cuenca del río Rocha es de gran importancia pues atraviesa la ciudad de Cochabamba, cuarta ciudad más grande de Bolivia, cuya población supera el millón de habitantes y fluye a través de un valle en explosión demográfica donde predomina la invasión ilegal en zonas de inundación que contribuye a la contaminación del agua superficial y subterránea, del aire y del suelo, aumenta la demanda de agua y disminuye la escorrentía. La falta de encausamiento y de regulación de la cuenca genera desbordes e inundaciones en la parte baja del valle, en especial en la ciudad de Quillacomo ubicada a 13 km de Cochabamba afectando familias, viviendas y cultivos.

5.2.4 Cuenca del Río Pilcomayo

El río Pilcomayo a diferencia de los ríos anteriores, hace parte de la macro cuenca del río de la Plata y fluye a través de Bolivia, Paraguay y Argentina. Su cuenca drena 270.000 km² y tiene una longitud de 2426 km. Nace a 3900 m.s.n.m. en un lugar conocido como Chiurpkho Pampa en el límite entre los departamentos de Oruro y Potosí sobre la cordillera de los Andes en Bolivia. Desde allí discurre en dirección este y sudeste por los departamentos de Potosí, Chuquisaca y Tarija donde desempeña un papel importante dentro de la actividad pesquera de la región. El 31% del área de la cuenca se encuentra en Bolivia, el 44% en Paraguay y el 25% en Argentina y la población total dentro del área es de aproximadamente 1.5 millones de habitantes de los cuales 950.000 residen en Bolivia.

La problemática principal del río se basa en el transporte de sedimentos y productos de la explotación minera hacia las llanuras del Chaco en Argentina y Paraguay donde el taponamiento del curso genera constantes cambios de cauce y el derrame de productos tóxicos contamina las aguas y

los suelos. En esta medida el análisis de amenaza por inundación y deslizamientos no es el principal objeto de estudio de este río.

5.2.5 Cuenca del Río Caine

La cuenca del río Caine está contenida dentro de la cuenca del río Grande, en la parte alta de esta última. Fluye a través de los departamentos de Cochabamba y Potosí y drena un área de 9500 km² en una longitud de 162 km. El río Caine nace a 2350 m.s.n.m. cerca de la población de Capinota donde confluyen el río Rocha y el río Arque y se une con el río San Pedro para formar el Río Grande. La cuenca alberga una población de 1' 117,544 habitantes que practican la agricultura a pequeña escala y la actividad pecuaria. Los cultivos principales son de maíz, maní, guayaba, chirimoya, cítricos y verduras. La ganadería en la región es de subsistencia. Para esta área no existen proyectos de investigación previos que involucren la modelación hidrológica o hidrodinámica. Adicionalmente, no hay información de estaciones hidrométricas que sirva como punto de partida para el análisis.

5.2.6 Cuenca del Río Yapacaní

La cuenca del río Yapacaní contenida en el departamento de Santa Cruz drena un área de 11.608 km² a través de 7 provincias y 16 municipios con una altitud media de 1473 m.s.n.m. Nace en las formaciones subandinas del Parque Nacional Amboró donde confluyen los ríos Alturas del Yapacaní y el Surutú, a 2759 m.s.n.m. y desciende en sus 335 km hasta los valles cruceños en la provincia de Ichilo a 187 m.s.n.m. donde desemboca en la parte baja del río Grande. Funciona como frontera entre los municipios de San Juan y Yapacaní. Es de gran importancia económica por su potencial pesquero y constituye una zona de riesgo en época de crecidas. Cuenta con cuatro estaciones hidrométricas de monitoreo y la mayor parte de su información está asociada a proyectos realizados con base en el río Piraí.

5.2.7 Cuenca del Río Mamoré

El río Mamoré es un río amazónico que recorre gran parte del territorio boliviano y parte del territorio brasileño y es la principal vía de transporte pluvial pues es navegable durante todo el año en 1507 km desde el puerto Villarroel en hasta Guayaramerín. Su cuenca tiene una superficie de 241.660 km² que va desde su nacimiento donde confluyen los ríos Chapare y Marmorecillo y continua su curso en dirección norte hasta su desembocadura donde confluye con el río Beni para formar el río Madeira, uno de los principales afluentes del Amazonas. Es el río más importante de Bolivia y abarca parte de los departamentos del Beni, Santa Cruz, Cochabamba, Potosí y Chuquisaca. Tiene una longitud real de 1319 km que por ser un río meándrico aumenta hasta llegar a un total de 2853 km. Recibe un elevado número de afluentes dentro de los cuales destacan el río Grande, el río Yata, el río Isiboro y el Río Iténez o Guaporé que marca la frontera entre Bolivia y Brasil. Este último se inunda periódicamente en el periodo de crecidas.

El río Mamoré es un río muy grande lo que dificulta la modelación detallada y el desarrollo de un análisis exhaustivo que permita cuantificar las pérdidas por inundación y deslizamientos. La eventual modelación de un río como el Mamoré requiere del trabajo previo de evaluación de las amenazas por inundación en sus principales afluentes.

5.3 SELECCIÓN DE CUENCAS CRÍTICAS PARA EL ANÁLISIS

Los criterios que se han definido hasta el momento para realizar la elección de las cuencas hidrográficas que serán analizadas bajo el perfil de riesgo son:

1. Población: las cuencas con mayor cantidad de habitantes tendrán prioridad por considerar que en éstas se dan una mayor cantidad de afectados en caso de un evento natural extremo.
2. Eventos históricos de inundación: la cantidad de eventos históricos de inundación que se han presentado en la cuenca da una idea general de la magnitud de la amenaza por inundación que tiene la misma.
3. Pérdidas estimadas por inundación: teniendo la base de datos que indica los eventos históricos, puede encontrarse el costo total que han ocasionado los eventos extremos históricos de inundación para cada cuenca, lo que relaciona de forma directa la exposición (Habitantes, cultivos, entre otros) y la amenaza.
4. Pérdidas estimadas por deslizamiento: de igual forma, el valor monetario o costo en el que ha incurrido el país ocasionado por eventos históricos de deslizamiento.
5. Precipitación total anual promedio multianual: el promedio simple de la precipitación anual que se ha presentado en la cuenca desde que se tienen registros históricos de precipitación.
6. Susceptibilidad de inundación: la susceptibilidad de la cuenca a eventos de inundación depende de los usos del suelo, el relieve y el clima. Una cuenca con grandes espacios antrópicos, afectados por el hombre, con alta precipitación y bajo relieve, presenta grandes riesgos de inundación.
7. Susceptibilidad de deslizamiento: de la misma manera la susceptibilidad de la cuenca a eventos de inundación depende principalmente del relieve y el tipo de suelo. En suelos blandos con altas pendientes, es decir, en las zonas cercanas a las cordilleras, se presenta grandes riesgos de deslizamiento.
8. Disponibilidad de información: este criterio permite determinar la cantidad de información disponible con la que se cuenta en cierta cuenca a fin de llevar a cabo el proyecto.
9. Calidad de la información disponible: se refiere al nivel de resolución y detalle de la información disponible relativa a cada cuenca.
10. Accesibilidad a la zona: hace referencia a si la zona de modelación es fácilmente asequible o no para realizar levantamiento topográficos y de características de las edificaciones, cultivos y población expuesta.
11. Concepto de expertos locales: indica según el criterio de los expertos locales involucrados en el proyecto el nivel de importancia de la cuenca en cuanto a eventos de inundación, la recurrencia con la que éstos se presentan y el impacto económico y social que dichos eventos generan.

El análisis de la información disponible con los criterios indicados permiten plantear las siguientes tres cuencas para el análisis de riesgo indicativo que se adelante en el presente estudio: Cuenca del Río Rocha, cuenca del Río Grande, y cuenca del Río Piraí. De estas se seleccionan inicialmente las dos primeras para ser incluidas en el estudio.

5.4 DESCRIPCIÓN DE CUENCAS Y TRAMOS CRÍTICOS PARA EL ANÁLISIS

La Figura 56 destaca la ubicación de las cuencas seleccionadas para el análisis detallado.

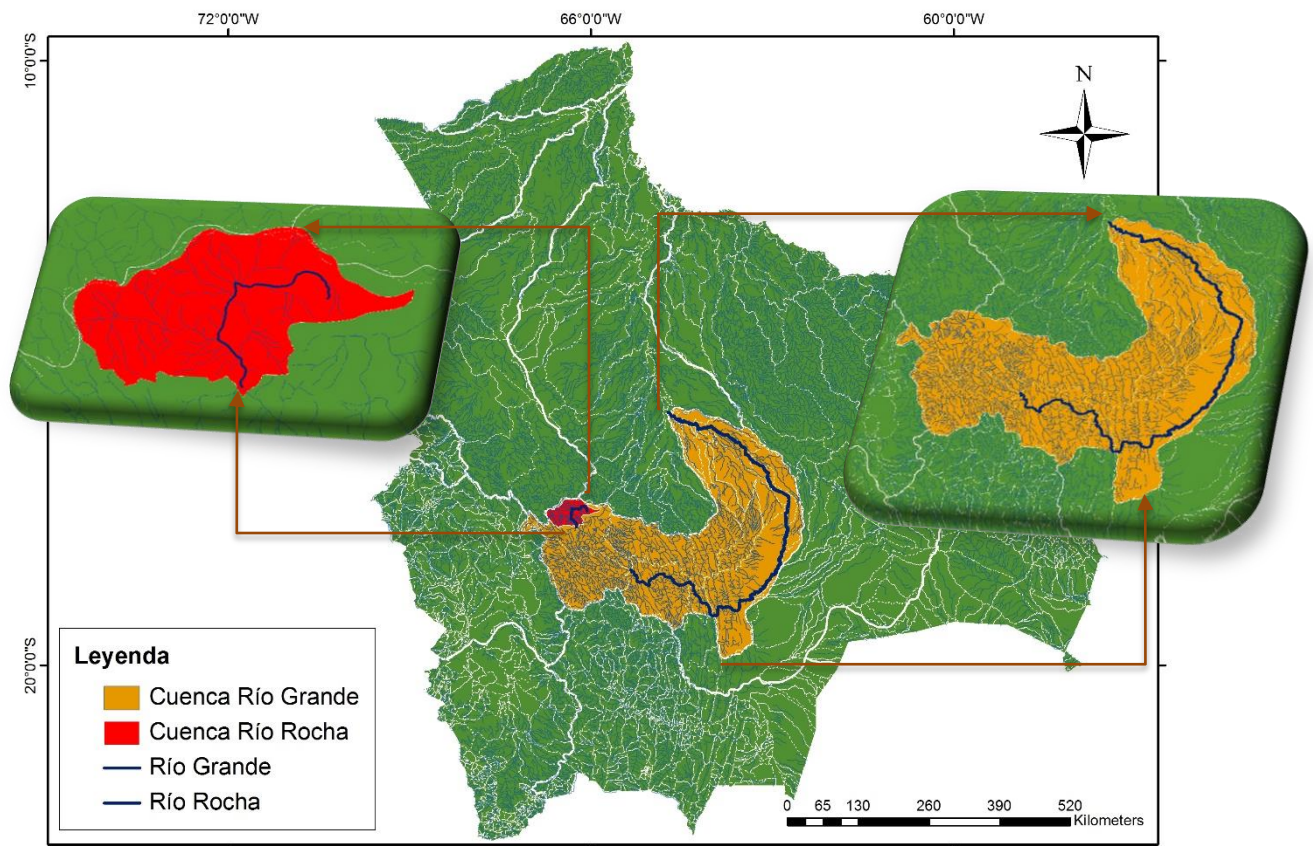


Figura 56. Cuencas seleccionadas para el análisis. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia.

5.4.1 Cuenca del Río Rocha

La cuenca del río Rocha resalta por su proximidad a las ciudades de Cochabamba y Quillacomo donde la invasión ilegal de las zonas naturales del río es una de las mayores problemáticas. La falta de regulación en la cuenca se traduce en una mayor amenaza ante inundaciones y deslizamientos. En general la población de Quillacomo es la más vulnerable, pues allí llegan personas del área rural

buscando las oportunidades laborales que ofrecen los centros urbanos y se instalan junto al cauce del río en viviendas construidas bajo condiciones deficientes de seguridad que se ven fácilmente afectadas en la temporada de lluvias. Esta cuenta cuya altitud supera los 2600 m.s.n.m. tiene precipitaciones de 1,200 mm en las cabeceras y 540 mm y en estos valles predomina la agricultura de pequeña escala, vinculada al uso de agua para riego que en terrenos pendientes con poca cobertura vegetal incrementan las tasas erosivas y el flujo de sedimentos a través del río.

En la Tabla 18 se presentan la información relevante de la cuenca del Río Rocha en relación a cada uno de los criterios de selección descritos en el numeral 5.3.

Tabla 18. Información relevante de la cuenca del río Rocha

| COCHABAMBA - CUENCA DEL RÍO ROCHA | | |
|---|--|---|
| Población total en la cuenca | 840,793 | |
| Número de eventos históricos de inundación | 166 | |
| Número de eventos históricos de deslizamiento | 10 | |
| Pérdidas estimadas por inundación (USD\$) | 16,198,194 | |
| Pérdidas estimadas por deslizamiento (USD\$) | 486,600 | |
| Precipitación total anual promedio multianual | 671.75 mm | |
| Población susceptible a inundación | 716,899 habitantes | |
| Población susceptible a deslizamientos | 166,390 habitantes | |
| Disponibilidad de información | Mapa de usos del suelo | Disponible |
| | Información de predios y construcciones en zonas inundables | A solicitar en la gobernación de Cochabamba |
| | Información de predios y construcciones en zonas susceptibles de deslizamientos | Debe ser levantada en campo |
| | Estaciones pluviométricas con mínimo 30 años de registro diario | 9 |
| | Mapa de vegetación | A solicitar en la gobernación de Cochabamba |
| | Mapa de ríos | A solicitar en la gobernación de Cochabamba |
| | Mapa de geología | A solicitar en la gobernación de Cochabamba |
| | DEM | AsterGDEM 30mx30m |
| | Ríos y estaciones con mediciones de caudales diarios, fechas de medición y calidad y completitud de la información disponible | Shape estaciones SENAMHI |
| | Información geométrica de estructuras hidráulicas presentes en el cauce y/o cauces a evaluar | Debe ser levantada en campo |
| | Estudios previos | |
| Calidad de la información disponible | | |
| Accesibilidad a la zona | De fácil accesibilidad por su cercanía con la ciudad de Cochabamba | |
| Concepto de expertos locales | Gran relevancia a nivel nacional dado que presenta inundaciones recurrentes en zonas agrícolas de la ciudad de Cochabamba, y zonas urbanas de los municipios de Quillacollo y Sipe Sipe. | |

En la Figura 57 se presenta un mapa ilustrativo de la cuenca del río Rocha indicando los ríos principales, los municipios a lo largo de los cauces y las zonas susceptibles de inundación de acuerdo con lo explicado anteriormente.

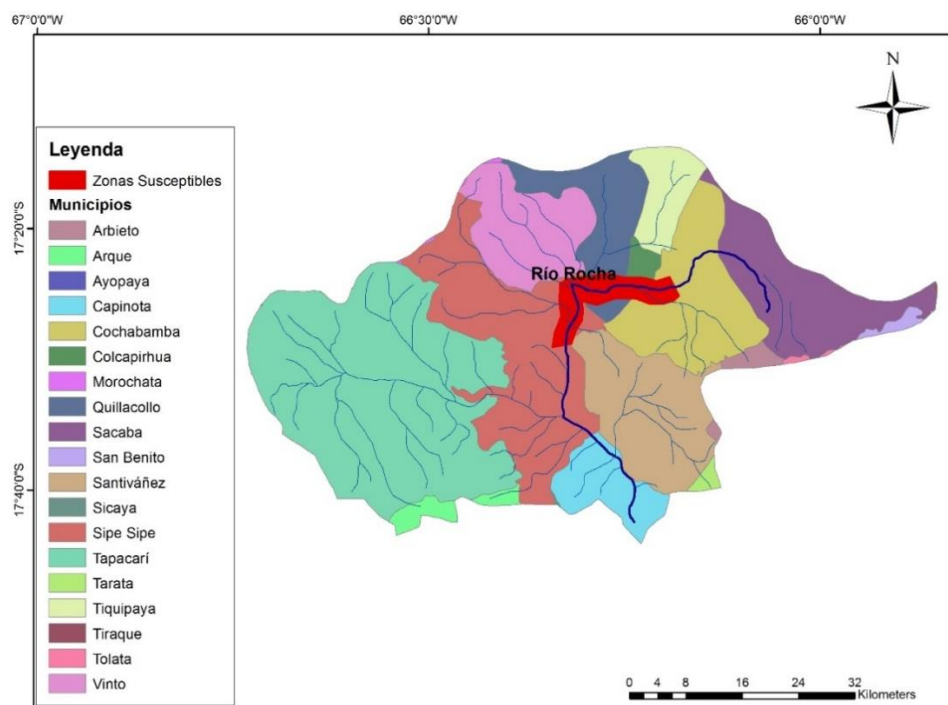


Figura 57. Localización y entorno de la Cuenca Río Rocha. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para división municipal.

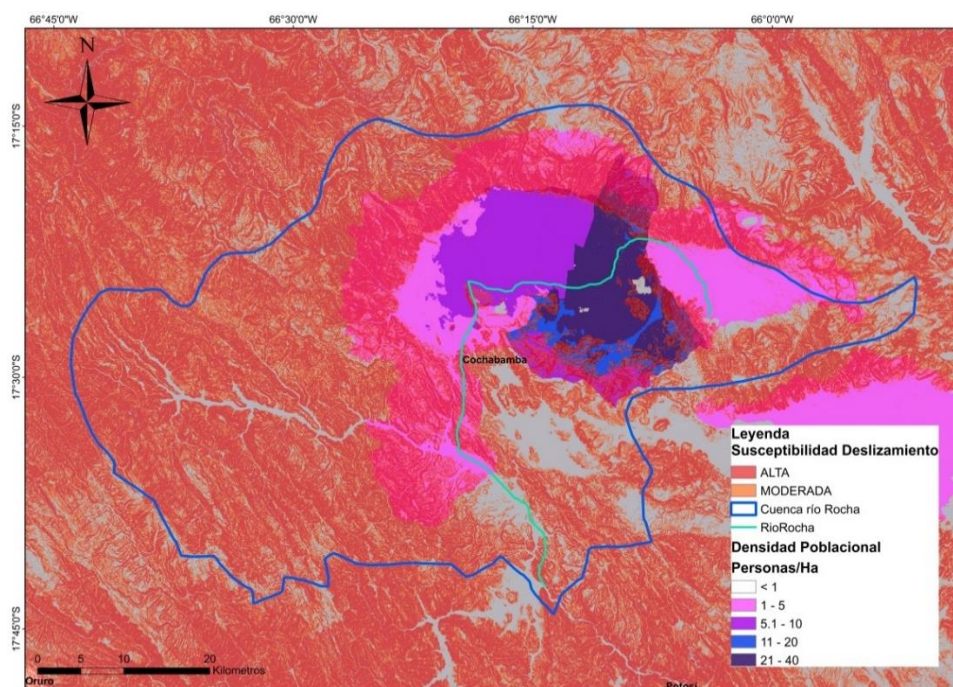


Figura 58. Susceptibilidad a los deslizamientos para la cuenca del río Rocha condición de análisis 2.

5.4.2 Cuenca del Río Grande

La cuenca del río Grande, ubicada en la parte central del territorio boliviano se distribuye en cinco departamentos: Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Santa Cruz y Oruro y en 104 municipios. Cubre cerca del 10% del país y contiene cerca del 30% de su población. Se compone por dos zonas marcadamente diferenciadas, una montañosa, la parte alta, donde predominan los suelos arenosos con altas tasas de erosión asociadas a las pendientes del terreno y a la escasez de vegetación, las tierras de cultivo son bastante reducidas. La parte baja, es una zona plana donde la precipitación es más alta y la vegetación más densa.

La cuenca es la más poblada del país y la de mayor volumen de producción agropecuaria donde conviven un gran potencial de desarrollo y una gran problemática ambiental. Contiene zonas como los valles interandinos del Cono Sur de Cochabamba, los valles de Chuquisaca y los valles Cruceños de importante potencial agroproductivo donde se presentan acelerados procesos de degradación del suelo. También, dentro de la cuenca baja, en la región del Chaco Cruceño, principal en cuanto a producción agroindustrial y alimenticia, la amenaza por las inundaciones frecuentes y por la acumulación de sedimentos juega un papel importante. Las malas prácticas de cultivo y de ocupación del territorio afectan la fertilidad de los suelos, la deforestación, el sobrepastoreo y la actividad agrícola aumentan la erosión y pérdida de suelo, causan desertificación y vulnerabilidad ante la variación climática.

La tasa de erosión en la cuenca alta es de 87 ton/ha/año y genera una carga de sedimentos en el río Grande de 500 millones de toneladas por año lo cual se deposita en la parte baja de la cuenca y genera elevaciones en el cauce del río ocasionando inundaciones. Según datos recopilados por las Naciones Unidas (referencia), en 2007, casi 18 mil familias del departamento de Santa Cruz se vieron afectadas por dichas inundaciones. Once (11) personas murieron y se cuantificaron 44 millones USD en pérdidas materiales. Según un estudio de la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica (referencia), entre 1997 y 2007 ocurrieron ocho eventos de inundaciones catastróficas lo que implica que cada dos años se presenta uno de estos eventos. Los estudios realizados dentro del marco del proyecto de la hidroeléctrica Rositas estiman los costos promedio asociados a las inundaciones en el río Grande en \$100 millones anuales.

La cuenca del río Grande es una región en crecimiento donde miles de familias procedentes del altiplano y del valle se han asentado en los últimos años, en zonas de alta exposición a desastres naturales. Fue seleccionada en función de su carácter estratégico nacional, su complejidad ambiental, social y económica, la recurrencia de desastres a la cual son vulnerables las poblaciones en su cuenca y en función de la calidad y la cantidad de información hidrológica disponible.

En la Tabla 19 se presenta la caracterización de la cuenca del río Rocha respecto a cada uno de los criterios de selección descritos en el numeral 5.3.

Tabla 19. Cuenca del Río Grande

| ZONAS CULTIVADAS Y PUERTO PAILAS - CUENCA DEL RÍO GRANDE | | |
|---|---|--|
| Población total en la cuenca | 3,276,938 | |
| Número de eventos históricos de inundación | 190 | |
| Número de eventos históricos de deslizamiento | 15 | |
| Pérdidas estimadas por inundación (US\$) | 152,165,072 | |
| Pérdidas estimadas por deslizamiento (US\$) | 5,304,015 | |
| Precipitación total anual promedio multianual (mm) | 1039.11 | |
| Población susceptible a inundación | 1,348,088 | |
| Población susceptible a deslizamientos | 550,714 | |
| Disponibilidad de información | Mapa de usos del suelo | Existe mapa realizado por la Gobernación de Santa Cruz en 2012 |
| | Información de predios y construcciones en zonas inundables | Debe ser levantada en campo |
| | Información de predios y construcciones en zonas susceptibles de deslizamientos | Debe ser levantada en campo |
| | Estaciones pluviométricas con mínimo 30 años de registro diario | 73 |
| | Mapa de vegetación | Existe mapa realizado por la Gobernación de Santa Cruz en 2012 |
| | Mapa de ríos | A solicitar en la gobernación de Santa Cruz |
| | Mapa de geología | Existe mapa realizado por la Gobernación de Santa Cruz en 2012 |
| | DEM | AsterGDEM 30mx30m |
| | Ríos y estaciones con mediciones de caudales diarios, fechas de medición y calidad y completitud de la información disponible | |
| | Información geométrica de estructuras hidráulicas presentes en el cauce y/o cauces a evaluar | No hay información disponible |
| Estudios previos | | |
| Calidad de la información disponible | | |
| Accesibilidad a la zona | Muy accesible | |
| Concepto de expertos locales | La cuenca es de gran relevancia en el país dado que anualmente presenta pérdidas por inundación en extensas áreas de cultivos y ciertas poblaciones localizadas en las laderas del río. | |

En la Figura 59 se presenta un mapa ilustrativo de la cuenca del río Rocha indicando los ríos principales, los municipios a lo largo de los cauces y las zonas susceptibles de inundación de acuerdo con lo explicado anteriormente.

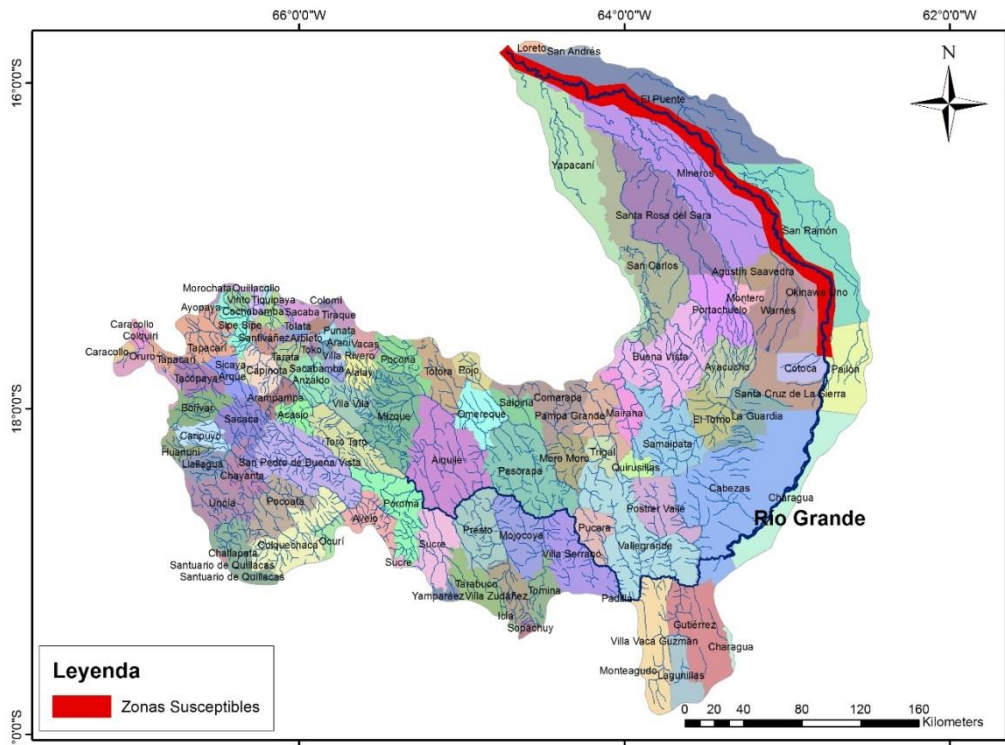


Figura 59. Localización y entorno de la cuenca Río Grande. Fuente: Consultor con base en información disponible del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia para división municipal.

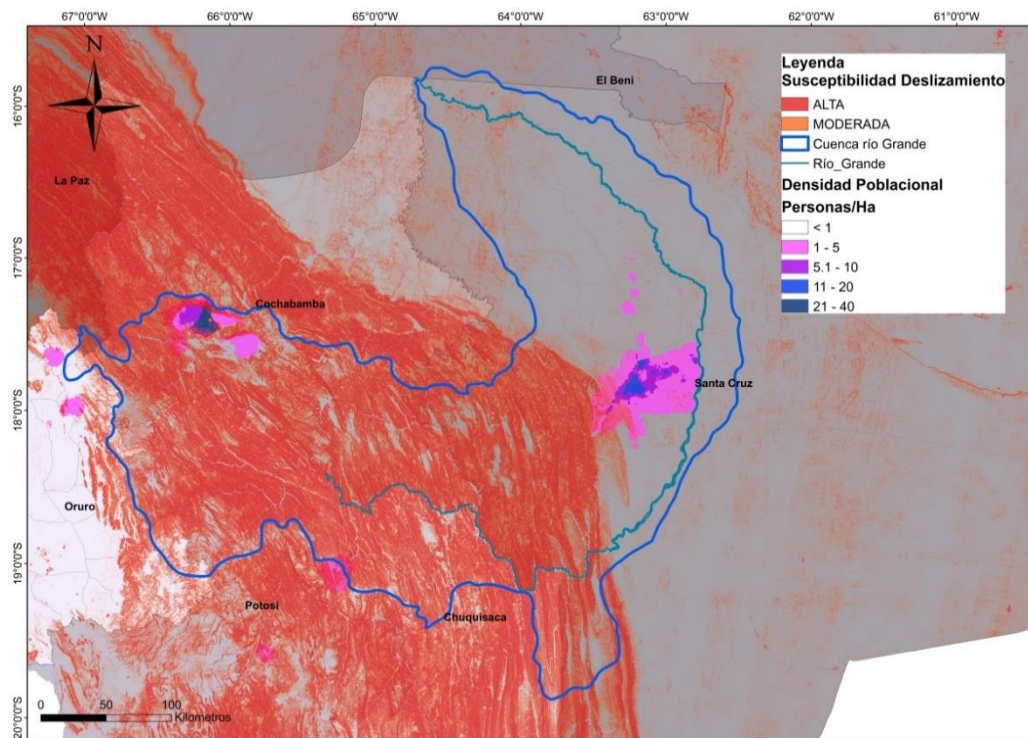


Figura 60. Susceptibilidad a los deslizamientos para la cuenca del río Rocha condición de análisis 2.

6 Referencias

- UNISDR. (2011). *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development*. . s.c.: United Nations.
- Aircraft Information. (s.f.). *Technical aircraft information*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.aircraft-charter-world.com/airports/southamerica/bolivia.htm#explanations>
- Airport Authority. (s.f.). *The Airport Guide*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.the-airport-guide.com/search.php?by=country&search=Bolivia>
- ASTER GDEM. (2013). *ASTER GDEM - NASA*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- Berkeley U. (s.f.). *Biogeography*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://biogeo.berkeley.edu/bgm/gdata.php>
- Birdlife.org. (s.f.). *Cuencas de Ríos Caine y Mizque*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.birdlife.org/datazone/sitefactsheet.php?id=14350>
- CentralAmericaData. (s.f.). *Central America Data*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.centralamericadata.com>
- CEPAL. (2003). *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*. . La Paz: s.e.
- CEPIS. (s.f.). *Videos cepis*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsade/cd/videos/Orosi%20Tecnico.pdf>
- Chipana, W. (2013). *La razón*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.la-razon.com/index.php?url=/economia/Mitad-poblacion-boliviana-transicion-media_0_1930606961.html
- Chipana, W. (28 de Octubre de 2013). *La razón*. Obtenido de http://www.la-razon.com/index.php?url=/economia/Mitad-poblacion-boliviana-transicion-media_0_1930606961.html
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology* (Segunda ed.). S.I: International Editions: McGraw-Hill .
- CIG. (Octubre de 2006). *Cig-Noticias*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.cig.gov.do/noticias/octubre-2006/05-10-06/gov-invi.html>
- CONAGUA. (2011). *Manual para el control de inundaciones*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>
- DesInventar. (2013). *DesInventar Disaster Information Management System, Version 9.15. Inventario de Desastres Salvador (1900-2012)*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://online.desinventar.org/desinventar/#SLV-20120604210329>
- DesInventar Project. (2013). *DesInventar Bolivia*. Obtenido de http://online.desinventar.org/desinventar/#BOL-1248983224-bolivia_inventario_historico_de_desastres
- EM_DAT. (2014). *Disaster, EM_DAT: The OFDA/CRED International*. (U. C. Louvain, Editor) Obtenido de www.emdat.net
- ERN América Latina. (2009). *CAPRA: Central American Probabilistic Risk Assessment*. s.c.: WB Group, IADB, UN_ISDR, CEPREDENAC.
- ERN América Latina. (2009b). *Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección. Tomo I*. s.c: CEPREDENAC, ISDR, IDB, GFDRR, WB.
- ERN Evaluación de Riesgos Naturales. (2011). *Tutorial ERN-Inundación*. México D.F.: ERN - Ingenieros Consultores S.C.
- ERN Latinoamerica. (s.f.). *ERN Aplicaciones CAPRA*. Recuperado el s.f. de 2014, de http://www.ern-la.com/aplicaciones_capra/aplicaciones_capra.htm

- FAO. (2004). *Watershed Management Case Study: Latin America. Review and assessment of the status of watershed management*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j3887e/j3887e00.pdf>
- G., A. R. (2010). *La problemática de contaminación del río Rocha en el tramo metropolitano de Cochabamba. Todo Sobre el Agua. Boletín No. 100.* . Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.bivica.org/upload/boletin-agua_rio_rocha.pdf
- Gobernación Cochabamba. (s.f.). *Proyecto Gestión Integral del Río Rocha*. Recuperado el 2014 de Noviembre, de http://cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/resumenes/resumen_rio_rocha.pdf
- Gobernación de Cochabamba. (s.f.). *Proyecto Gestión Integral del Río Rocha*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://bicentenario.cochabamba.gob.bo/public/docs/medioambiente/proyectos/proy_rio_rocha.pdf
- Gobernación de Santa Cruz. (s.f.). *Las cuencas hidrográficas del departamento autónomo de Santa Cruz*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.santacruz.gob.bo/archivos/PN30062010140421.pdf>
- Gobernación de Santa Cruz. (s.f.). *Las cuencas hidrográficas del departamento autónomo de Santa Cruz*. . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.santacruz.gob.bo/archivos/PN30062010140421.pdf>
- Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. (s.f.). *Cuenca Hidrográfica Río Pirai*. . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.santacruz.gob.bo/accion/pdf/noticia.php?IdNoticia=4089>
- Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. IC RIMAC SRL. (2013). *Estudio de Factibilidad del Control de Inundaciones. Informe No. 3*. Santa Cruz: s.e.
- Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. SEARPI. (2012). *Resumen Hidrometeorológico RHM2011. Santa Cruz, Bolivia. Año2. Número2*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.searpi.org.bo/sistema/adjuntos/53f40e4cd3e68f6.pdf>
- Gobierno Departamental de Santa Cruz. (2009). *Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos Ambientales*. . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.santacruz.gob.bo/archivos/PN29062010111141.pdf>
- Gobierno Provincia Cochabamba. (s.f.). *Construcción de la visión, políticas y lineamientos estratégicos de la cuenca del río Grande*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.cuencasbolivia.org/files/vision_lineamientos_estrateg_pdcrg.pdf
- Hydrographs. (s.f.). *Handbook. Chapter 16* . s.c.: USDA.
- IFRCRCS. (2000). *Risk Reduction. Disaster Preparedness Training Programme*. s.c.: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- Instituto geográfico Boliviano. (s.f.). *GeoBolivia* . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://geo.gob.bo/>
- Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia. (2002). *Censo del año 2001*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.ine.gov.bo>
- INVIAS. (s.f.). *Portal INVIAS* . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallIG>
- Iñigo, R. (s.f.). *El Exportador*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.el-exportador.com/012002/mercados/n49_articulo.pdf
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(10).
- La Razón. (24 de Abril de 2006). *Actualidad Boliviana*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.bolivia.com/Noticias/AutoNoticias/DetalleNoticia32511.asp>

- Louvain, U. C. (2011). *Prevention Web*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/?cid=21>
- Michele, F., Aawa, G., Gero, M., Willis, F., Paul, B., Unibristol, N., & Ihe, B. T. (2011). Critical review of non structural measures for water related risks. . *Kulturisk Project*, 31, 1-42.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2011). *Propuesta de Programa del Plan Director de la Cuenca del Río Grande, Fase 1, 2011-2012*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.cuencasbolivia.org/files/propuesta_pd_cuenca_del_rio_grande.pdf
- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2009). *Manejo Integrado de Cuencas en la Región Andina: Aportes del Programa MIC a la gestión y generación de conocimientos. Sistematización de la exoeriencia (2005-2008)*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.redaac.net/programa-aacc/docs/sistematizacion-MIC.pdf>
- Mockus, V. (1957). *Use of storm and watershed characteristics in syntetic unit hidrograph analysis and application*. s.c.: U.S Soil Conservation Service.
- Natural Resources Conservation Service. (2007). *Part 630*. s.c.: Hydrology National Engineering .
- OPS/OMS Bolivia. (2014). *Programa de Emergencias y Desastres de la OPS/OMS: Emergencias Bolivia 2014 por Inundaciones. Informe de Situación*. Recuperado el Noviembre de 2014, de www.redhum.org/documento_download/14199
- Pappenberger, F., & Matgen, P. (2006). Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. . *Advances in Water Resources*, 29(10), 1430-1449.
- Presidencia de la República. (14 de Mayo de 2005). *Presidencia de la República*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.presidencia.gov.co/sne/2005/mayo/14/05142005.htm>
- Recursos Hídricos. (s.f.). *Geografía de Bolivia*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.bolivia.com/geografiadebolivia/cap13.htm>
- SENAMHI. (18 de Spetiembre de 2002). *Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología. Unidad de pronósticos*. Obtenido de <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/nino.php>
- SENAMHI. (18 de Septiembre de 2002). *Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología. Unidad de pronósticos*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/nino.php>
- SkyBTech. (2014). *J-SkyBiz Technology and Telecomunications S.A.* . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.skybtech.com/producto/categoria/9/mapas-digitales-2d-y-3d/>
- SNMH. (s.f.). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* . Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.senamhi.gob.bo/>
- Texas A&M University (TAMU). (2014). *Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia. Información Geoespacial*. . Recuperado el Noviembre de 2014 , de http://essm.tamu.edu/bolivia/info_geoespacial_vector_es.htm
- The democracy Center. (s.f.). *Cambio Climático*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://cambioclimatico.democracctr.org/?page_id=541
- The democracy Center. (s.f.). *Cambio Climático*. Obtenido de http://cambioclimatico.democracctr.org/?page_id=541
- UNISDR. (2013). *GAR13: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. . Geneva, Switzerland: ISDR, United Nations.
- USDA. (1986). *Urban hydrology for Small Watersheds*. s.c.: TR-55.
- Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia: Aeropuertos de Bolivia*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_en_Bolivia
- World aero data. (s.f.). *Worldaerodata*. Recuperado el s.f. de 2014, de <http://www.worldaerodata.com/countries/Bolivia.php>
- Zona Franca Puerto Aguirre. (s.f.). *Zona Franca Puerto Aguirre*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.puertoaguirre.com/>

ANEXOS

ANEXO 2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

| Nombre | Autor | Formato |
|--|--------------------------------------|---------|
| Mapa cartográfico general - Límites administrativos y geográficos | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Modelo de elevación digital con resolución mínima de 30 m | ASTER-GDEM. | Raster |
| Mapa geológico nacional | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de cuencas, ríos y cuerpos de agua a nivel nacional | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de usos del suelo | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de vegetación | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de poblaciones y áreas pobladas | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de la red vial nacional primaria y secundaria | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Registros de estaciones meteorológicas | GEOBOLIVIA | *.shp |
| Base de datos Desinventar | DesInventar | *.excel |
| Reportes de eventos pasados de inundaciones y deslizamientos a nivel país y en las cuencas seleccionadas | DesInventar | *.excel |
| Información de censos de población y vivienda | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Delimitación de la cuenca | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Modelo de elevación digital de la cuenca | ASTER-GDEM. | Raster |
| Registros de lluvias y caudales en estaciones cercanas | SENAMHI | Raster |
| Mapa de vegetación | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de uso del suelo | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Mapa de tipo de suelo | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Trayectoria del cauce principal | Centro Digital de Recursos Naturales | *.shp |
| Fotografías aéreas e imágenes de satélite | Google Earth | *.kml |