





Vulnerabilidad Poblacional a Desastres en Bolivia

Marzo, 2023

Contenido

Lista de abreviaciones.....	3
1. Introducción	5
2. Antecedentes	8
2.1. Normativa internacional y nacional sobre vulnerabilidad	8
2.2. Estudios previos sobre vulnerabilidad a nivel internacional y en Bolivia	11
3. Procesamiento de información	14
3.1. Información sobre amenazas a nivel municipal	14
3.2. Información para calcular los indicadores de vulnerabilidad	15
4. Metodología	25
4.1. Modelo Bayesiano de vulnerabilidad	25
4.2. Elicitación de priors con criterios expertos.....	28
4.3. Importancia de los indicadores.....	28
5. Resultados	29
5.1. Índice de vulnerabilidad poblacional	29
5.2 Importancia de los indicadores que inciden en la vulnerabilidad según dimensión y amenaza	40
5.3 Correlación de los índices de vulnerabilidad según amenaza por indicadores ..	42
6. Conclusiones	44
Referencias.....	46
Apéndice 1: Glosario de términos del estudio.....	52
Apéndice 2: Clasificación de municipios según amenaza y vulnerabilidad	60
Anexo A1: Amenazas de desastres naturales	70
Anexo A2: Amenazas biológicas	72
Anexo A3: Elicitación de priors con las respuestas de los expertos acerca del efecto que tiene cada indicador sobre la vulnerabilidad poblacional, para cada amenaza ...	77

Lista de abreviaciones

ABE	Agencia Boliviana Espacial
BID	Bando Interamericano de Desarrollo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIPCA	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado
COE	Comité de Operaciones de Emergencia
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
DGEA	Dirección General de Emergencias y Auxilio
DGRP	Dirección General de Prevención y Reconstrucción
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres
ER	Escala de Richter
ETA	Entidad Territorial Autónoma
FORADE	Fondo para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y Emergencias
GDM	Geólogos del Mundo
GdRD	Gestión de Riesgos de Desastres
GIS	Sistema de Información Geográfica
IBVM	Índice Básico de Vulnerabilidad Municipal
INE	Instituto Nacional de Estadística
IRD	Índice de Riesgo de Desastre
ISI	Índice de Superficie Impermeable
IVSM	Índices de Vulnerabilidad Sectorial Municipal
MAH	Marco de Acción de Hyogo
MCMC	Markov Chain Monte Carlo
MCR	Modelo de Concurrencia y Relajación
MPD	Ministerio de Planificación del Desarrollo
NDVI	Normalized difference vegetation index
NEAR	Network for Empowered Aid Response
NTL	Nighttime lights
OND	Observatorio Nacional de Desastres
ONG	Organización no gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PIB	Producto Interno Bruto
PMA	Programa Mundial de Alimentos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PVI	Índice de Vulnerabilidad Prevalente
SARS-CoV-2	Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2
SINAGER	Sistema Integrado de Información Nacional para la Reducción de Riesgos
SoVI	Índice de Vulnerabilidad Social
UDAPE	Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas
UGR	Unidades de Gestión de Riesgo
UNDRO	United Nations Disaster Relief Organization
UNFPA	Fondo de las Naciones Unidas para la Población
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
VIDECI	Viceministerio de Defensa Civil
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

1. Introducción

La vulnerabilidad es el conjunto de condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto de amenazas. La vulnerabilidad de la población ante diferentes amenazas ha cobrado gran relevancia debido a los incrementos en los efectos adversos del cambio climático y el surgimiento de nuevas amenazas biológicas como las relacionadas al SARS-CoV-2 (COVID 19). En los próximos años, puede esperarse un incremento en los impactos de eventos naturales, por lo que es importante identificar a los segmentos de la población que son altamente vulnerables ante amenazas meteorológicas, hidrológicas, climáticas y biológicas. Más aún, el impacto de las amenazas será diferenciado, por lo que algunas características poblacionales pueden ser más relevantes que otras al momento de determinar la vulnerabilidad poblacional. Una apropiada identificación de la vulnerabilidad social garantiza una asignación más eficiente y equitativa de los recursos de mitigación y respuesta.

En Bolivia, cada año se observa un creciente número de desastres naturales a raíz de diferentes fenómenos, como inundaciones, sequías, heladas, incendios o granizadas. Estos desastres naturales afectan de forma disímil a determinados sectores de la población, circunscritos en unidades geográficas y administrativas específicas, como municipios o departamentos. Poblaciones con alta incidencia de pobreza se ubican por ejemplo en zonas rurales o periurbanas dentro de estas unidades administrativas. Por su topografía, estas regiones experimentan un mayor impacto socioeconómico en comparación con zonas habitadas por poblaciones con un mayor grado de resiliencia.

Existen además características específicas que pueden influir directamente en el grado de vulnerabilidad de una población ante las diversas amenazas. Variables como el acceso a servicios de salud o el acceso a servicios financieros permiten hacer frente a un riesgo cuando se materializa y pueden reducir así el impacto de las amenazas. Regiones con menor acceso a servicios de salud y financieros, y que tienen además una población con mayor grado de dependencia de

adultos mayores y niños, serán en cambio más vulnerables ante el impacto de las amenazas naturales y biológicas.

Entender con precisión el grado de vulnerabilidad de una población es sin embargo; una tarea compleja debido al gran número de factores que pueden ser determinantes para identificar el grado de vulnerabilidad de una población. La complejidad multidimensional de la vulnerabilidad puede ser reducida al sintetizar toda la información de los indicadores de vulnerabilidad en un índice que resuma las principales características de vulnerabilidad de una población. Este índice sintetizado, permite medir en un solo constructo la vulnerabilidad diferenciada de la población ante los diferentes tipos de amenazas naturales y biológicas. Este documento desarrolla y calcula este índice de vulnerabilidad poblacional para los municipios de Bolivia.

El índice de vulnerabilidad poblacional del documento está basado en un modelo Bayesiano de reducción de la dimensionalidad. El enfoque Bayesiano permite incorporar las opiniones de expertos junto con la evidencia proporcionada por los datos, de manera que se utilicen ambas fuentes de información al momento de resumir indicadores de vulnerabilidad en un solo índice.

Un indicador Bayesiano de vulnerabilidad poblacional fue elaborado previamente en el año 2015 en un esfuerzo conjunto entre el Ministerio de Planificación del Desarrollo (MPD), el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) y la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE). El estudio de 2015 fue publicado además por la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, véase Gonzales Martinez, 2015). En el estudio sobre vulnerabilidad de 2015, se utilizó información del Banco Mundial y datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 de Bolivia para construir un índice que mida la vulnerabilidad de los municipios de Bolivia ante amenazas de inundaciones, sequías, granizadas y heladas.

Respecto al índice de vulnerabilidad de 2015, en este nuevo documento se calculan nuevos indicadores que amplían y actualizan la información de amenazas, se implementan mejoras metodológicas y se introducen innovaciones en las fuentes de información para que el índice de vulnerabilidad pueda ser recalculado periódicamente:

- Se analizan 6 amenazas: además de inundaciones, sequías, granizadas y heladas, en este estudio se evalúa la vulnerabilidad poblacional ante amenazas de incendios y ante amenazas biológicas.
- La información de amenazas ocasionados por desastres naturales fue actualizada con datos de recurrencias de eventos adversos meteorológicos, hidrológicos y climáticos. Estos datos fueron recopilados por el Observatorio Nacional de Desastres (OND). El OND es parte del Sistema Integrado de Información y Alerta para la Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGER), a cargo del Viceministerio Defensa Civil de Bolivia.
- Metodológicamente, el índice agregado Bayesiano utiliza métodos numéricos—Markov Chain Monte Carlo (MCMC)—para la integración de las densidades posterior. El índice de 2015 estaba basado en soluciones exactas a partir de conjugados naturales. El uso de MCMC permite que el modelo Bayesiano sea más flexible al momento de elicitar los priors, dando opciones para definir la dirección del efecto esperado de cada variable sobre la vulnerabilidad, además de la importancia relativa de cada indicador en el índice agregado de vulnerabilidad.
- En términos de datos, el uso de información censal limitaba la capacidad de actualizar periódicamente los indicadores utilizados en el estudio de 2015. En el actual indicador, se emplearon datos administrativos que son actualizados con más frecuencia, e información satelital, que permite tener información reciente sobre la situación económica y ambiental a nivel regional.

Los resultados del índice de vulnerabilidad poblacional identifican las unidades geográficas y administrativas con mayor vulnerabilidad ante una amenaza específica. Esta información permite definir e implementar políticas que coadyuven a tomar las medidas necesarias para que el impacto de las amenazas no afecte significativamente a la población que habita las unidades geográficas y administrativas sujetas a riesgos. Además de la formulación de políticas, la actualización y monitoreo del índice de vulnerabilidad permite contar con información base para evaluar el resultado de las políticas de gestión y mitigación de riesgos, contribuyendo así a generar metodologías y guías de planes de emergencia, asignación de recursos y estrategias de transferencia del riesgo óptimas.

La estructura de este documento es la siguiente: la sección 2 provee los antecedentes del estudio, la sección 3 describe las fuentes de datos y el procesamiento de información satelital, la sección 4 proporciona detalles sobre la metodología y la sección 5 muestra los resultados de calcular el índice de vulnerabilidad y la importancia de cada determinante de la vulnerabilidad, para cada amenaza. La sección 7 concluye.

2. Antecedentes

2.1. Normativa internacional y nacional sobre vulnerabilidad

Desde una perspectiva normativa, el indicador de vulnerabilidad poblacional puede enmarcarse tanto en los acuerdos internacionales como en las leyes nacionales sobre reducción de desastres. A nivel internacional, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó en 1989 el Marco Internacional de Acción para el Decenio Internacional en la Reducción de los Desastres. En 1994 se adoptó la Estrategia y Plan de Acción de Yokohama, a partir de la realización de la Primera Conferencia Mundial para la Reducción de Desastres Naturales y en 1999 fue aprobada la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. A partir de la estrategia de 1999, en la Segunda Conferencia Mundial para la Reducción de Desastres Naturales, se adoptó el Marco de Acción de Hyogo a ser cumplido en los años 2005-2015, con el cual se pretende aumentar la resiliencia de las Naciones y Comunidades.

Actualmente, el marco de Sendai 2015-2030 para la reducción del riesgo de desastres sucede al marco de Hyogo para la acción 2005–2015. El marco de Sendai fue adoptado por países miembros de la ONU entre el 14 y el 18 de marzo de 2015, durante la Conferencia Mundial sobre Reducción de Riesgo de Desastres celebrada en Sendai, Japón. El marco de Sendai expresa la necesidad de comprender mejor el riesgo de desastres en todas sus dimensiones, incluyendo la vulnerabilidad y características de las amenazas, para el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres.

El marco de Sendai establece 4 prioridades concretas de acción: comprender el riesgo de desastres, fortalecer la gobernanza del riesgo de

desastres para una mejor gestión, invertir en la reducción de riesgo de desastres para una mayor resiliencia y aumentar la preparación frente a desastres para responder mejor a ellos para una mejor recuperación, rehabilitación y reconstrucción. El índice de vulnerabilidad poblacional de este estudio se encuentra alineado con las acciones del marco de Sendai, ya que los indicadores de vulnerabilidad del estudio están enmarcados en las 4 dimensiones de vulnerabilidad del marco de Sendai, y los resultados del índice de vulnerabilidad agregado permiten informar y mejorar la gestión del riesgo de desastres, optimizando la inversión que busca generar resiliencia en las poblaciones vulnerables, al orientar apropiadamente el uso de recursos para la preparación ante diferentes amenazas.

En Bolivia, la Ley N° 2140, de 25 de octubre 2000, de Reducción de Riesgos establece definiciones, principios, responsabilidades y la necesidad de incluir la gestión de riesgos en el proceso de planificación e inversión pública. En términos de estas autonomías, la Ley N° 31, de 19 de julio de 2010, Marco de Autonomías y Descentralización Andrés Ibáñez definió las competencias en gestión de riesgos de los tres niveles de gobierno (central, departamental y municipal) y de las autonomías indígenas originario campesinas, resaltando la necesidad de desarrollar conocimiento en la gestión de riesgos y de la implementación de indicadores para mejorar la medición de la vulnerabilidad y la toma de las decisiones. La Ley N° 602, de 14 de noviembre de 2014, de Gestión de Riesgos, y el Decreto Supremo N° 2342, de 29 de abril de 2015, que reglamenta la Ley N° 602, profundizan los avances normativos sobre gestión de riesgos y los ajustan a la nueva estructura organizativa y funcional del Estado Plurinacional de Bolivia. Complementando esta normativa, la Resolución Ministerial N° 115, de 12 de mayo de 2015, del Ministerio de Planificación de Desarrollo, introduce la gestión de riesgos y la Adaptación al Cambio Climático en la pre-inversión a partir de la gestión 2016.

El índice de vulnerabilidad poblacional de este estudio se enmarca también en la normativa boliviana para la gestión de riesgos, ya que emplea como unidad geográfica y administrativa a los municipios, al ser estos la unidad competencial para gestionar y mitigar los riesgos de desastres. Al igual que en la Ley N° 602, el índice considera también la definición de vulnerabilidad como la propensión o susceptibilidad de las comunidades, grupos, familias e individuos a

sufrir daños o pérdidas vinculadas a las amenazas. Este estudio analiza 6 amenazas enmarcadas en las definiciones del Artículo 36 de la Ley N° 602; heladas, granizadas, inundaciones, sequías, incendios y amenazas biológicas.

El índice de vulnerabilidad Bayesiano pretende apoyar el cumplimiento del Artículo 21 de la Ley N° 602, que señala que las entidades territoriales autónomas, en el marco de sus competencias, deben incorporar parámetros básicos de identificación, evaluación, medición y zonificación de áreas con grados de vulnerabilidad. Adicionalmente, el índice de vulnerabilidad puede coadyuvar en el cumplimiento del Artículo 24 de la Ley N° 144, de 26 de junio de 2011, de la Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria, que establece que las entidades estatales en coordinación con las y los actores productivos, deberán implementar un sistema de prevención y gestión de riesgos relacionados entre otros a desastres asociados a fenómenos naturales, enfermedades y siniestros climáticos que puedan afectar la soberanía alimentaria, mediante el fomento al desarrollo de capacidades de las comunidades para la gestión de riesgos.

En la práctica, el índice de vulnerabilidad es de utilidad para el personal de instituciones públicas, privadas y organizaciones sin fines de lucro que trabajan en la gestión de riesgos. Particularmente, las Unidades de Gestión de Riesgos de los Gobiernos Autónomos Municipales tienen como responsabilidad elaborar Planes de Emergencia frente a desastres y/o emergencias, siguiendo los lineamientos de la Resolución Ministerial N°122 aprobada por el Ministerio de Defensa (2016). En estos lineamientos, se establece que un Plan de Emergencia debe reflejar la situación actual y las condiciones de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo de cada nivel territorial, priorizando los desastres y emergencias más recurrentes. El apartado 3.4.2 para la caracterización de escenarios de riesgo, establece que el Plan de Emergencia debe analizar las principales condiciones de vulnerabilidad: sociales, económicas, físicas y ambientales. Este estudio proporciona un análisis de indicadores para estas cuatro dimensiones de la vulnerabilidad, por lo que se enmarca también en los lineamientos y herramientas básicas para elaborar un plan de emergencia municipal en Bolivia.

2.2. Estudios previos sobre vulnerabilidad a nivel internacional y en Bolivia

El estudio de la vulnerabilidad como parte del estudio del impacto de desastres naturales se inició a partir de la década de los setenta, impulsado por la ocurrencia del terremoto en China de 1976 que ocasionó 242.000 muertos. Uno de los primeros esfuerzos para la medición de la vulnerabilidad poblacional fue el Índice de Vulnerabilidad Relativa, que forma parte del Índice de Riesgo de Desastre (IRD) formulado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El IRD está basado en las tasas de mortalidad de las poblaciones expuestas por cada amenaza y país entre los años 1980 y 2000 (Pelling y otros, 2004).

Otros indicadores fueron los desarrollados por el Proyecto de Focos de vulnerabilidad de la Universidad de Columbia, con apoyo del Banco Mundial (Dilley, 2005), y el índice de Vulnerabilidad Social (SoVI) utilizado como una medida de la vulnerabilidad en los condados de Estados Unidos (Cutter y otros, 2003), en base a información censal y administrativa acerca de la densidad de construcciones, la dependencia en un sector de actividad económica, la propiedad de vivienda, etnicidad, ocupación y la dependencia en la infraestructura. Adicionalmente, el Índice de Vulnerabilidad Prevalente, utilizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para evaluar la vulnerabilidad de los países de Latinoamérica y el Caribe, se basó en información administrativa, índices calculados por organismos internacionales, cuentas nacionales y datos censales para evaluar la vulnerabilidad pre-existente a nivel país (Cardona 2002; Cardona 2010). Recientemente, Nagy y otros (2018) realizaron también una evaluación de la vulnerabilidad a eventos extremos en Latino-América y clasificaron a Bolivia como un país de riesgo alto, en relación a problemas de salud ambiental e impactos ocasionados por desastres climáticos y eventos hidrológicos y meteorológicos.

En Bolivia, los primeros estudios sobre vulnerabilidad emplearon la información de encuestas de hogares para generar perfiles de vulnerabilidad de la población, siguiendo los lineamientos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2008)

respecto a la valoración de impacto derivadas de un evento específico, como los eventos climatológicos de El Niño y La Niña. La CEPAL, a solicitud del gobierno de Bolivia, aplicando su metodología, elaboró dos estudios para valorar los daños económicos, sociales y medioambientales de los eventos climatológicos que afectaron al país. Estos documentos permitieron reducir la vulnerabilidad en las poblaciones afectadas por los eventos climatológicos de El Niño y La Niña en los años 2006-2007 y 2008. Estos estudios utilizaron datos de la Encuesta Continua de Hogares 2003-2004 y la Encuesta Nacional de Hogares 2005 para evaluar la vulnerabilidad pre-existente; adicionalmente, se utilizaron encuestas realizadas por el Programa Mundial de Alimentos (PMA) en los departamentos afectados para evaluar la vulnerabilidad revelada. Lizárraga (2013), analiza también los deslizamientos de tierra ocurridos en el Macro-distrito IV del municipio de La Paz en febrero del 2011 y brinda características socioeconómicas de las personas desplazadas que ocuparon los diferentes campamentos. En 2017, utilizando indicadores calculados con imágenes satelitales, el Banco Mundial elabora un estudio del impacto socioeconómico de inundaciones en Bolivia (Banco Mundial, 2017).

Otros estudios más recientes sobre vulnerabilidad poblacional en Bolivia analizaron zonas específicas de desastres naturales o el impacto de eventos aislados en grupos poblacionales específicos. Perreault (2020) examina por ejemplo el impacto de la sequía del lago Poopó sobre el empobrecimiento de las comunidades indígenas Urus en el altiplano boliviano, Rosinger (2018) analiza los efectos en la salud y el acceso a agua limpia ocasionados por inundaciones en el Beni, Bustillo Sánchez y otros (2021) utilizan métodos espaciales para elaborar mapas de susceptibilidad a incendios en Santa Cruz, Bauer y otros (2018) analizan el impacto económico y la recuperación en 3 comunidades de la amazonia de Bolivia afectadas por inundaciones, Cantini y otros (2019) analizaron la deforestación, la contaminación del agua y los peligros de desplazamiento relacionados a precipitaciones en los municipios de Comarapa, Mairana, Moro Moro, Pampa Grande, Postervalle, Pucara, Quirisillas, Saipina, Samaipata, Trigal y Vallegrande, y finalmente Echeverría Jáuregui (2019) evalúa la vulnerabilidad a inundaciones en el Chaco boliviano. Entre estos estudios, solamente el estudio de

Echeverría Jáuregui (2019) construyó un indicador multidimensional de vulnerabilidad sintetizando indicadores sociales y económicos.

En 2014, el Banco Mundial utiliza información municipal para calcular Índices de Vulnerabilidad Sectorial Municipal (IVSM), que incorporan información sobre las características de los sectores de salud, agropecuario, forestal, vivienda, educación y transporte. En base a los datos de pérdidas de cada sector generados por cada amenaza, se realiza una ponderación de los IVSM que delimitan la vulnerabilidad de la población para cada amenaza. Una crítica que se puede realizar a ese trabajo es la elección subjetiva de los ponderadores utilizados para construir tanto la vulnerabilidad poblacional como los IVSM, lo que afecta los resultados de la clasificación de vulnerabilidad, volviéndola discrecional y sensible a la elección de las ponderaciones. Papathoma-Köhle et al. (2019) analizaron la importancia de las ponderaciones de indicadores en los índices de vulnerabilidad y concluyeron que una ponderación diferente de los indicadores conduce a resultados bastante diferentes en la clasificación de vulnerabilidad, lo que a su vez orienta de manera diferente a los tomadores de decisiones y los lleva a conclusiones y acciones diversas e incluso divergentes.

En el indicador de vulnerabilidad poblacional de 2015 elaborado por UDAPE, MPD y el UNFPA, se supera la limitación del IVSM al ampliar el número de variables que pueden llegar a incidir en la vulnerabilidad y al utilizar una ponderación de los indicadores de vulnerabilidad que está basada tanto en criterios de expertos en gestión de riesgos y ayuda humanitaria como en la evidencia proporcionada por los datos. Los enfoques estadísticos como el análisis de componentes principales o el análisis factorial se basan en una cantidad considerable de datos para obtener ponderaciones objetivas de los indicadores, pero los enfoques participativos, aunque subjetivos, también son importantes porque consideran el juicio de expertos con muchos años de experiencia en la temática de gestión de riesgos, vulnerabilidad y ayuda humanitaria ante desastres. El enfoque Bayesiano permite combinar rigurosamente a través del Teorema de Bayes ambas fuentes de información (de datos y expertos) al momento de obtener ponderaciones de los indicadores de vulnerabilidad en el índice agregado.

En este documento, se modifica el indicador Bayesiano de 2015 para considerar nuevas fuentes de información y mejoras metodológicas que permiten flexibilizar la inclusión de criterios expertos en el indicador Bayesiano.

3. Procesamiento de información

3.1. Información sobre amenazas a nivel municipal

En este estudio se consideran los siguientes eventos para el cálculo de amenazas:

- Eventos meteorológicos: heladas y granizadas.
- Eventos hidrológicos: inundaciones.
- Eventos climáticos: sequías e incendios.
- Eventos biológicos: epidemias.

Las inundaciones incluyen eventos como anegamientos, inundaciones estacionales o prolongadas, inundaciones ocasionales, riadas o turbiones, mientras que las sequías consideran sequías meteorológicas relacionadas a la ausencia de precipitaciones y sequías agrícolas.

La información sobre amenazas de desastres naturales a nivel municipal utilizada en este estudio se calculó con datos de recurrencias de eventos meteorológicos, hidrológicos y climáticos en Bolivia desde 2002 hasta 2020. La recurrencia de estos eventos adversos fue recopilada por el Observatorio Nacional de Desastres (OND) y se encuentra disponible en GeoSINAGER. El OND registra y consolida información de eventos adversos en Bolivia. El GeoSINAGER es una infraestructura de datos espaciales que aplica tecnologías y estándares para adquirir, procesar, almacenar, distribuir, publicar y mejorar la utilización de la información geográfica. Tanto el OND como GeoSINAGER son parte del Sistema Integrado de Información y Alerta para la Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGER-SAT), a cargo del Viceministerio Defensa Civil (VIDECI). La información de recurrencias no está disponible para todos los municipios debido a que algunos municipios no reportan la ocurrencia de eventos adversos, por lo que se complementó la información faltante utilizando análisis espacial. Esta complementación asume que los municipios que no reportaron eventos

en el pasado tienen una probabilidad baja, pero no igual a cero, de sufrir eventos en el futuro, de acuerdo con la recurrencia de los municipios colindantes. El Anexo A1 al final de este documento describe en detalle el proceso que se utilizó para calcular las amenazas en base a los datos de recurrencias.

La información de amenazas biológicas a nivel municipal se calculó en base a los datos de casos de SARS-CoV-2 (COVID-19) reportados en Bolivia entre 2020 y 2021. Un modelo epidemiológico se utilizó para calcular el número de reproducción viral efectivo en cada municipio. El número reproductivo efectivo es un parámetro epidémico que permite evaluar si una epidemia está creciendo, disminuyendo o manteniéndose estable (Gostic et al., 2020), y por tanto puede utilizarse para aproximar la situación de riesgo de transmisibilidad en un municipio. El Anexo A2 proporciona detalles sobre el cálculo de amenazas biológicas en Bolivia en base a la evolución del número de reproducción efectivo de cada municipio.

3.2. Información para calcular los indicadores de vulnerabilidad

Los indicadores de vulnerabilidad empleados en este estudio se calcularon con información de bases de datos administrativas y con indicadores calculados con imágenes satelitales. Las bases administrativas y con información satelital fueron recopiladas por la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE). Las bases de datos con indicadores calculados a partir de imágenes satelitales fueron elaboradas por la Agencia Boliviana Espacial (ABE) en coordinación con el personal técnico de UDAPE.

Con los datos administrativos y satelitales se calcularon 23 indicadores, divididos en 4 dimensiones de vulnerabilidad: física, social, económica y ambiental (Tabla 1). El sentido de los indicadores fue modificado para que valores más altos reflejen una mayor situación de vulnerabilidad. Esta consistencia teórica se considera un requisito para indicadores de vulnerabilidad (Spielman y otros, 2020). Por ejemplo, en la cobertura de servicios de comunicación, los indicadores reflejan la falta de cobertura en cada municipio.

Tabla 1. Indicadores de vulnerabilidad utilizados en el estudio

Dimensión	Indicador	Cálculo del indicador
Física	Densidad poblacional	Población total del municipio dividida entre la superficie total del municipio
	Asentamientos	Población total del municipio dividida entre la superficie total de asentamientos en el municipio
	Densidad caminera	Superficie total de asentamientos en el municipio dividida entre la superficie total del municipio
	Infraestructura de salud	Redes viales pavimentadas y no pavimentadas, fundamentales y secundarias divididas entre la superficie total del municipio
	Infraestructura de educación	Población total del municipio dividida entre el total de establecimientos de salud (de 1er, 2do y 3er nivel)
	Acceso a comunicaciones	Población total del municipio dividida entre el total de unidades educativas
	Servicio de energía eléctrica	Cobertura de internet, 2018 (% de habitantes) Cobertura de telefonía móvil, 2018 (% de habitantes)
	Personas con Discapacidad	Número de hogares con electricidad dividido entre la población total del municipio
Social	Tasa de dependencia	Personas con discapacidad grave y muy grave dividida entre la población total del municipio
	Adultos mayores	Total de población de 0 a 14 años más la población de 65 y más dividida entre la población de 15 a 64 años
	Niños	Total de población de 65 años y más dividida entre la población total del municipio
	Nivel de educación	Total de población de 0 a 14 años dividida entre la población total del municipio
	Etnicidad	Población con educación secundaria dividida entre la población de más de 4 años
	Género	Superficie de territorios indígenas originarios dividida entre la superficie total del municipio
	Salud	Población femenina dividida entre la población total del municipio
Económica	Actividad agrícola	Índice de salud municipal OPS
	Actividad económica	Superficie de cultivos dividida entre la superficie total del municipio
	Acceso a servicios financieros	Suma de luminosidad por municipio dividida entre la superficie total del municipio
	Recursos para la gestión de riesgos	Número de instituciones financieras dividida entre la población total del municipio
Ambiental	Bosques	Gasto público para gestión de riesgos dividida entre el gasto total del municipio
	Temperatura	Superficie boscosa dividida entre la superficie total del municipio
	Precipitación	Desviaciones de la temperatura media anual del municipio respecto a la media en Bolivia
	Calidad de la tierra	Desviaciones de la precipitación media anual del municipio respecto a la media en Bolivia
		Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI)

Los indicadores basados en información satelital fueron calculados por la Agencia Boliviana Espacial (ABE) en la gestión 2020 como parte de una consultoría para UDAPE. Esta consultoría tuvo como objetivo la generación de indicadores a partir del procesamiento de información de imágenes satelitales para la elaboración del índice de vulnerabilidad poblacional al riesgo de desastres en Bolivia. Los productos de esta consultoría se resumen en indicadores de luminosidad, temperatura, superficie de infraestructura, superficie cultivada y calidad de tierra.

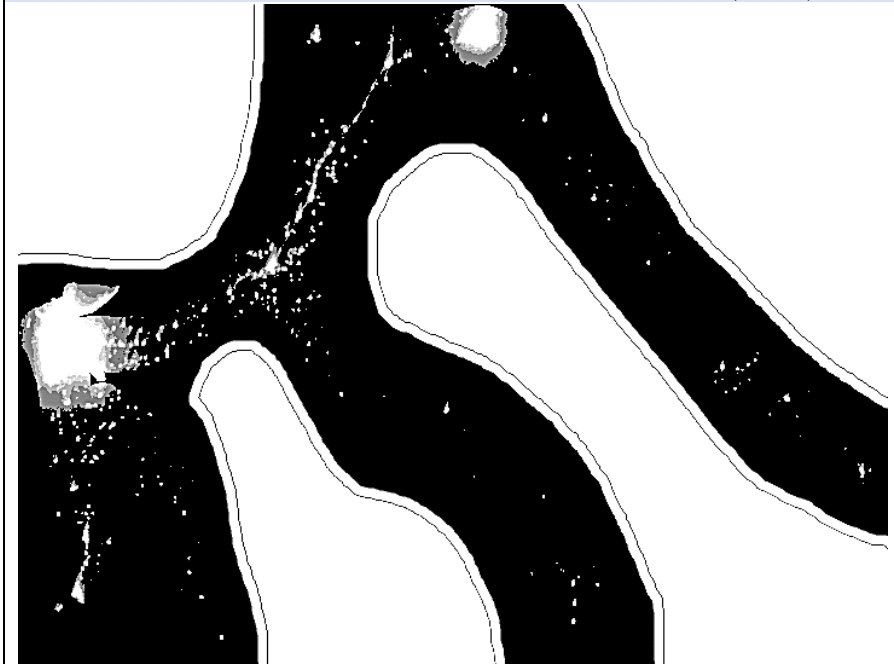
Las imágenes satelitales se obtuvieron del satélite Sentinel-2A y Sentinel-2B del programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea. Las imágenes Sentinel-2 se encuentran disponibles desde el año 2015, año en el que fue lanzado el primer satélite Sentinel-2A. La frecuencia de datos de imágenes se duplicó tras el lanzamiento del Sentinel-2B en 2017. Las imágenes Sentinel-2 están formadas por 13 bandas, desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta, con diferentes resoluciones: 10m, 20m o 60m.

Para los indicadores de luminosidad se descargaron imágenes mensuales del año sobre luminosidad de Sentinel-2, basadas en instrumentos VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*, suite de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles en Sentinel-2). Para cada pixel se obtuvo el promedio anual de los valores, pero debido a la alta nubosidad en algunos casos, se ajustó la media anual con los valores de la banda *cf_cvg* (*cloud-free coverage*). De esta manera, cada pixel contiene un valor denominado Luminosidad Media (LM), que representa el nivel de luminosidad anual promedio de 2018 en dicho pixel. La suma de este indicador se utilizó como proxy de la situación económica de una región en el indicador de actividad económica. La Figura 1 muestra un ejemplo de las imágenes de luminancia obtenidas con este procedimiento.

La Figura 2 muestra un indicador de vulnerabilidad calculado con imágenes satelitales: la actividad económica a nivel municipal. El indicador de actividad económica se calculó como la suma de luminancia dividida entre la superficie en km² de cada municipio. Se considera que la luminosidad tiene valor informativo como proxy de indicadores de población, actividad económica agregada, y pobreza, particularmente en

países con sistemas estadísticos de baja calidad, o sin censos económicos frecuentes (Chen y Nordhaus, 2011), tanto a nivel nacional como a nivel sub nacional (Beyer et al., 2018). El mapa de luminosidad de Bolivia y el cartograma de la Figura 2 muestran una concentración de la luminosidad en las ciudades capitales de departamento y en municipios circundantes, lo que sugiere que el indicador de actividad económica captura apropiadamente la concentración de la actividad económica en determinadas regiones de Bolivia.

Figura 1. Imágenes satelitales utilizadas para el cálculo de indicadores: Luminancia – área 2 (2018)

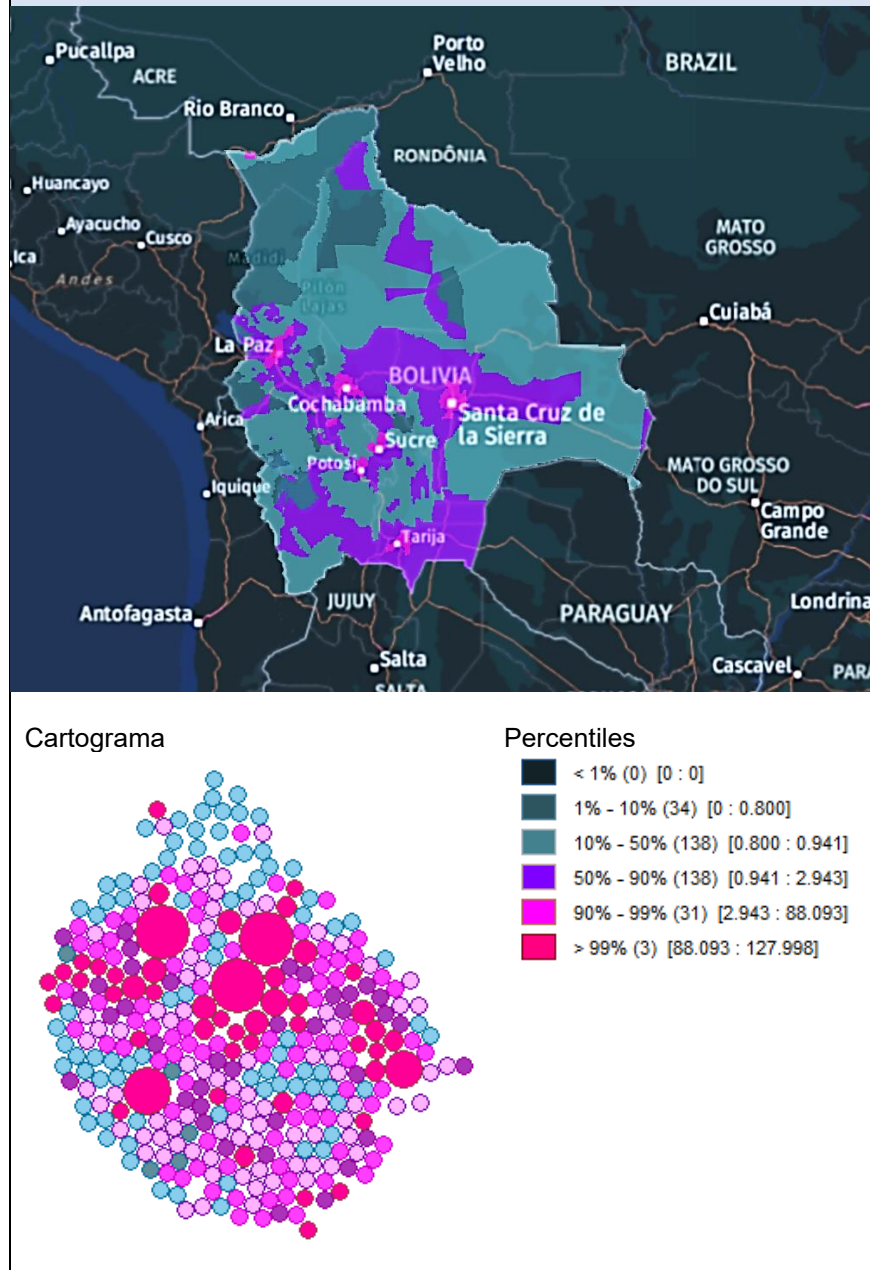


En la determinación de la superficie cultivada, se consideró la extensión de tierras de cultivos plantados y barbechos. Para la determinación de las áreas cultivadas se trabajó con imágenes satelitales de Sentinel 2 para la gestión 2018 y se utilizaron diferentes algoritmos clasificadores con enfoques supervisados y no supervisados, empleando procedimientos similares a los de la detección realizada para la superficie de infraestructura. En la clasificación supervisada se analizaron muestras de firmas espectrales que caracterizan a la superficie cultivada en Bolivia, y con dicha información se entrenaron los algoritmos de clasificación.

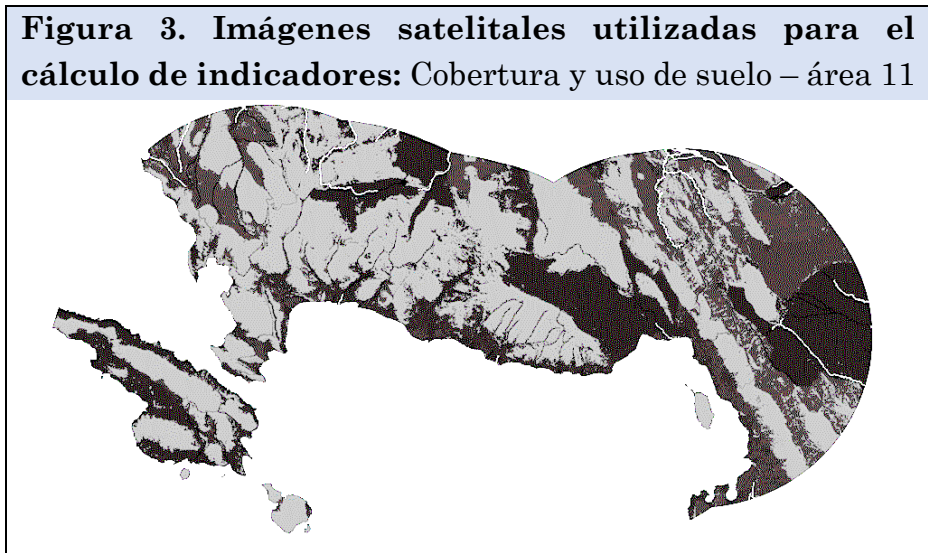
Para la identificación de la superficie de infraestructura la ABE aplicó tres enfoques de teledetección: semiautomático, obtención de datos supervisado, y obtención de datos no supervisado, en base a imágenes Sentinel-2 de 30 mts de resolución para el año 2018. En el enfoque semiautomático se calculó el Índice de Superficie Impermeable (ISI, por sus siglas en inglés), que permite distinguir las áreas construidas de aquellas que no están construidas, en base a la identificación de superficie impermeable. Asimismo, la identificación de zonas impermeables es combinada con el Índice de Luces Nocturnas (NTL, *nighttime lights*, por sus siglas en inglés), que rastrea las áreas con concentración de luminosidad. Este enfoque semiautomático se utilizó para localizar las áreas construidas, sobre todo aquellas con mayor conglomeración urbana, a las cuales se les excluyó la infraestructura vial. En el enfoque de obtención de datos supervisado se tomaron muestras sobre las firmas espectrales que caracterizan a las distintas superficies: suelo, vegetación, aguas, etc. En el caso de la superficie de infraestructura, se identificaron las respuestas espectrales de techos de la infraestructura. Finalmente, en el enfoque no supervisado se implementó una combinación de índices y ratios calculados a partir de la información de las bandas espectrales. Concretamente, se utilizaron: i) el Índice Urbano (UI, por sus siglas en inglés) que oscila entre -1 y 1, donde los valores negativos muy pequeños y cercanos a 0 se asocian con coberturas de superficies edificadas; ii) el Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada (NDBI, por sus siglas en inglés) que permite distinguir zonas con superficies edificadas o en desarrollo respecto a zonas con vegetación o desnudas; iii) el Índice de Vegetación Mejorado (IVM, por sus siglas en inglés) que ayudó a discriminar superficies de vegetación y superficies construidas, sobre todo en zonas tropicales; iv) los ratios de (banda 8/banda 2) y (banda 2/banda 8), que sirven para discriminar masas vegetales y superficie construida, la principal ventaja que tienen respecto al uso de bandas espectrales individuales es que muestran una mayor correlación con parámetros construidos y no construidos en áreas con presencia de vegetación o cultivos. Finalmente, debido a la diversidad de edificaciones y configuración urbanística, paisajes y tamaño de unidades de análisis dentro el territorio nacional, la consultoría aplicó combinaciones diferenciadas de estos indicadores para la identificación de superficie de

infraestructura en el llano, valle y altiplano. La información de superficie construida se utilizó para calcular el indicador de asentamientos en la dimensión física de vulnerabilidad.

Figura 2. Indicadores calculados con imágenes satelitales: Actividad económica (luminosidad dividida entre la superficie en km² de cada municipio)



La clasificación no supervisada se realizó mediante el uso simultaneo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y el IVM, así como combinaciones de bandas espectrales como (8A, 11, 2) y (8, 8A, 4), dependiendo de la región. Combinando la clasificación supervisada y no supervisada, se identificaron las áreas destinadas a cultivos y se aplicaron algoritmos de agrupación de zonas con pixeles vecinos de características similares. La Figura 3 muestra un ejemplo de las imágenes utilizadas para aproximar cobertura y uso de suelo. La información de superficies cultivadas se utilizó para calcular el indicador de actividad agrícola en la dimensión económica de la vulnerabilidad.



Finalmente, la calidad de tierra se aproximó con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). Para construir este indicador se descargaron imágenes Landsat 8 correspondiente al año 2018. En cada una de estas imágenes se calculó el NDVI en base a la siguiente formula aplicada a las bandas espectrales NIR y RED: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. Para el valor anual de cada pixel, se calculó la mediana de los datos obtenidos durante el 2018. La Figura 4 muestra una de las imágenes satelitales utilizadas para calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. El mapa y el cartograma de la Figura 5 muestran que el NDVI construido con imagen satelital captura apropiadamente el mayor grado de vegetación en el oriente de Bolivia.

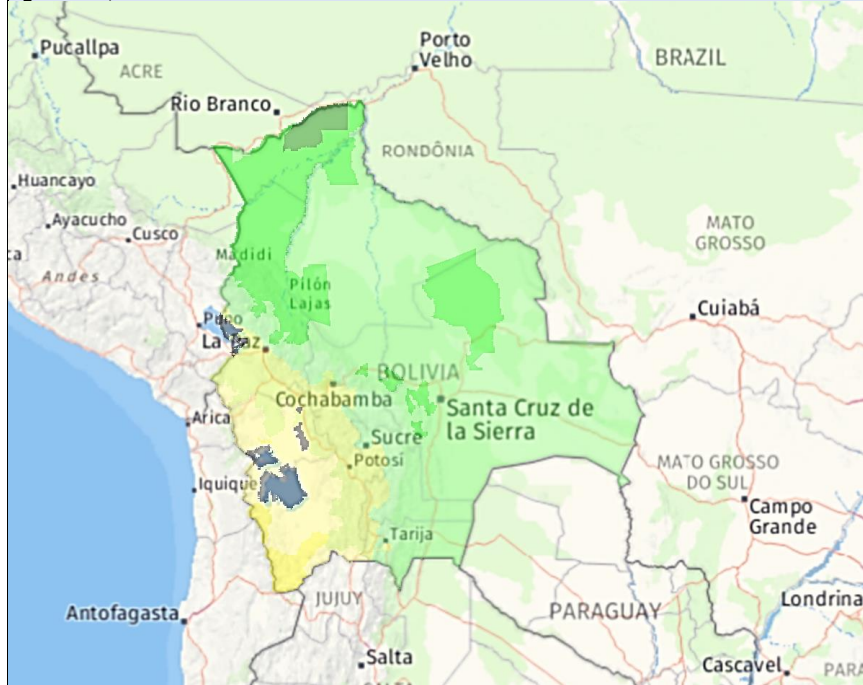
Figura 4. Imágenes satelitales utilizadas para el cálculo de indicadores. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – Área 11



En el caso de la información de temperatura, se descargaron imágenes mensuales de ERA5. Para cada pixel se obtiene el valor promedio anual. De esta manera, cada pixel contiene un valor denominado Temperatura Media (TMED). Esta información se utiliza para calcular un indicador de desviaciones de temperatura respecto al promedio regional por unidades administrativas. Un enfoque similar se aplicó para la precipitación: para la gestión 2018, se descargaron imágenes diarias, pentad y mensuales CHIRPs sobre precipitación. CHIRPs es un esfuerzo combinado del Servicio Geológico de EE.UU. y la Universidad de California que proporciona imágenes satelitales y de precipitación media registrada por las estaciones meteorológicas y otros predictores de lluvia, como altitud, latitud y longitud, para construir promedios de precipitación mensuales en alta resolución (celdas que cubren 0,05 grados al cuadrado, aproximadamente 5 km²). Para cada pixel se obtuvo el valor promedio anual, por lo que cada pixel contiene un valor denominado Precipitación Media Anual (PMA). Esta información se utiliza para calcular un indicador de desviaciones de precipitación respecto al promedio regional por unidades administrativas.

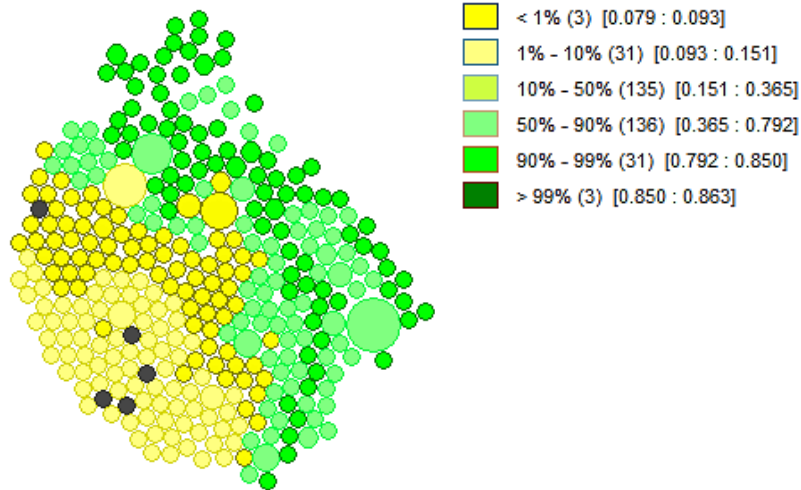
Figura 5. Indicadores calculados con imágenes satelitales:

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
(NDVI *por sus siglas en inglés*, promedio anual de
pixels)



Cartograma

Percentiles



4. Metodología

Los pasos para la construcción de un índice de vulnerabilidad son la selección de indicadores, la estandarización de los indicadores, la ponderación de los indicadores y la agregación de indicadores en un índice final (OECD, 2008). En este estudio la ponderación y agregación de los indicadores se realiza mediante un modelo Bayesiano de vulnerabilidad.

4.1. Modelo Bayesiano de vulnerabilidad

Sea $\mathbf{x}_i = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj})$ un vector con información de k -indicadores de vulnerabilidad estandarizados ($i = 1, 2, \dots, k$) para $j = 1, 2, \dots, m$ unidades espaciales (municipios). Estos indicadores reflejan las dimensiones física, social, económica y ambiental de la vulnerabilidad. La estandarización se obtiene restando a cada indicador su tendencia central (su valor promedio), para luego dividir el indicador entre su desviación estándar. La estandarización implica que cada indicador de vulnerabilidad después de la transformación tiene un promedio de cero y una desviación estándar unitaria. La estandarización se realiza para que los indicadores estén expresados en las mismas unidades y evitar así que indicadores con diferentes unidades de medición tengan un peso artificialmente alto o bajo en el índice agregado.

Un índice agregado de vulnerabilidad poblacional θ_j puede obtenerse extendiendo el modelo factorial clásico frecuentista,

$$\mathbf{x}_i = \Lambda \theta_j + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \Psi)$$

en el que Λ es un vector $k \times 1$ de cargas factoriales, y $\Psi = \text{diag}(\sigma_1^2, \dots, \sigma_k^2)$ es una matriz diagonal positiva definida en la que los elementos diagonales $\sigma_1^2, \dots, \sigma_k^2$ representan la varianza idiosincrática de cada indicador, i.e. la varianza específica que es única de cada indicador y no se comparte con los otros indicadores. El anterior modelo permite resumir en un factor latente θ_j los datos observados de los indicadores contenidos en $\mathbf{x}_i$. La importancia (el peso) de cada indicador en el índice

de vulnerabilidad agregado está definido por los valores contenidos en el vector de cargas factoriales Λ .

La varianza residual $\sigma_1^2, \dots, \sigma_k^2$ se obtiene después de estimar θ_j . Un enfoque Bayesiano extiende el modelo factorial clásico para que los vectores Λ , θ_j , y los elementos diagonales de Ψ sean estocásticos, i.e. se distribuyan de acuerdo con una distribución de probabilidad, que a su vez tiene sus propios parámetros, denominados hiper parámetros.

En un enfoque Bayesiano, se asigna priors conjugados a los parámetros Λ de cargas factoriales, al factor latente θ_j , y a la matriz $\Psi = \text{diag}(\sigma_1^2, \dots, \sigma_k^2)$ de la varianza idiosincrática de cada indicador:

$$\underline{\Lambda}_i \sim \mathcal{N}(\underline{l}_i, \underline{L}_i^{-1}), \quad \underline{\theta}_j \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \mathbf{I}), \quad \underline{\Psi}_{ji} \sim \mathcal{IG}\left(\frac{1}{2}\underline{\alpha}, \frac{1}{2}\underline{\beta}\right)$$

Siendo $\mathcal{N}(\cdot)$ una distribución Gaussiana, e $\mathcal{IG}(\cdot)$ una distribución Gamma-inversa. La barra debajo de Λ , θ_j , y Ψ denota los priors del modelo Bayesiano ($\underline{\Lambda}_i, \underline{\theta}_j, \underline{\Psi}_{ji}$) para $i = 1, 2, \dots, k$ indicadores y para $j = 1, 2, \dots, m$ municipios. Los priors son distribuciones de probabilidad que permiten introducir en el cálculo del índice agregado los resultados de otros estudios sobre vulnerabilidad o información de criterios expertos sobre los determinantes de vulnerabilidad. La información sobre estudios previos o la de criterios expertos se introduce mediante la elicitación de los hiper-parámetros de la distribución prior. Es posible no elicitación los priors de del modelo de vulnerabilidad con información previa e ignorar la opinión de expertos; si este es el caso, los priors no se elicitación, y el modelo utiliza *solamente* la información de los datos para calcular el índice de vulnerabilidad agregado.

Son de especial interés los priors $\underline{l}_i$ y $\underline{L}_i^{-1}$. El vector $\underline{l}_i$ es un vector de ponderación de indicadores con un número de elementos igual al número de indicadores, ya que este vector permite incluir la información de estudios previos o la información de expertos en los cálculos de las cargas factoriales que asignan una importancia relativa a cada indicador contenido en $\mathbf{x}_i$. La diagonal de la matriz de varianza covarianza inversa $\underline{L}_i^{-1}$ contiene los valores de la precisión de los priors, por lo que asignar valores cercanos a cero implicara que se tiene menos certeza sobre los priors (mayor varianza) y la información de los datos pesara más en los

estimadores posterior, mientras que al asignar valores positivos que tiendan a infinito implica que se tiene más confianza en las respuestas de los expertos, por lo que la opinión de estos pesara más en los resultados, en el límite cuando los valores de la diagonal de $\underline{\mathbf{L}}_i^{-1}$ tiendan a infinito.

El índice de vulnerabilidad agregado se obtiene calculando a través del Teorema de Bayes las distribuciones posteriores de Λ , θ_j , y Ψ :

$$p(\bar{\Lambda}_i, \bar{\theta}_j, \bar{\Psi}_{ii} | \underline{\Lambda}_i, \underline{\theta}_j, \underline{\Psi}_{ii}, \mathbf{x}_i) \propto p(\underline{\Lambda}_i, \underline{\theta}_j, \underline{\Psi}_{ii}) \mathcal{L}(\mathbf{x}_i | \bar{\Lambda}_i, \bar{\theta}_j, \bar{\Psi}_{ii})$$

La barra encima de Λ , θ_j , y Ψ ($\bar{\Lambda}_i, \bar{\theta}_j, \bar{\Psi}_{ii}$) denota las distribuciones posteriores del modelo Bayesiano de vulnerabilidad para $i = 1, 2, \dots, k$ indicadores y $j = 1, 2, \dots, m$ municipios. Los estimadores posteriores de interés,

$$p(\bar{\theta}_j | \underline{\theta}_j, \bar{\Lambda}_i, \bar{\Psi}_{ii}, \mathbf{x}_i), \quad p(\bar{\Lambda}_i | \underline{\Lambda}_i, \underline{\mathbf{L}}_i^{-1}), \quad p(\bar{\Psi}_{ii} | \underline{\alpha}, \underline{\beta}),$$

se obtienen mediante integración de Monte Carlo con cadenas de Markov (MCMC) con 10 mil iteraciones, un *burn-in* de 5000 simulaciones y un *thinning* (adelgazamiento) de 10 iteraciones.

Nótese que, siendo el modelo Bayesiano probabilístico en parámetros, el estimador del factor de vulnerabilidad será también probabilístico, i.e. tendrá una distribución de probabilidad para cada municipio en lugar de tener un valor puntual para cada municipio. Un estimador puntual del factor de vulnerabilidad $\hat{\bar{\theta}}_j$ puede obtenerse asumiendo pérdida cuadrática, i.e. igual a la tendencia central de la densidad posterior de $\bar{\theta}_j$.

La información de las encuestas a expertos se utilizó para elicitación los hiper-parámetros de posición $\underline{\mathbf{l}}_i$ del prior de cargas factoriales $\underline{\Lambda}_i$. Debido a que en las encuestas se dio la opción a los expertos de diferenciar la importancia de las variables vulnerabilidad respecto a diferentes amenazas, existe una elicitación de cargas factoriales diferente para cada n -amenaza, $n \in \mathbb{Z}^+$, i.e. $\underline{\Lambda}_{i1}, \underline{\Lambda}_{i2}, \dots, \underline{\Lambda}_{in}$; por lo que existen indicadores de vulnerabilidad poblacional diferenciados para cada amenaza:

$$\hat{\theta}_{j1}, \hat{\theta}_{j2}, \dots, \hat{\theta}_{jn}$$

Con la información de las encuestas, el modelo de vulnerabilidad Bayesiano diferenciado por amenaza, que incluye la elicitación de expertos, es:

$$\mathbf{x}_i = \Lambda_n \theta_{j,n} + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim \mathcal{N}(0, \Psi)$$

$$\underline{\Lambda}_{in} \sim \mathcal{N}(\underline{l}_{in}, \underline{\mathbf{L}}_i^{-1}), \quad \underline{\theta}_{jn} \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \mathbf{I}), \quad \underline{\Psi}_{in} \sim \mathcal{JG}\left(\frac{1}{2}\underline{\alpha}, \frac{1}{2}\underline{\beta}\right)$$

$$p_n(\bar{\theta}_{jn} | \underline{\theta}_{jn}, \bar{\Lambda}_{in}, \bar{\Psi}_{in}, \mathbf{x}_i), \quad p_n(\bar{\Lambda}_{in} | \underline{l}_{in}, \underline{\mathbf{L}}_i^{-1}), \quad p_n(\bar{\Psi}_{in} | \underline{\alpha}, \underline{\beta})$$

4.2. Elicitación de priors con criterios expertos

La elicitación de los priors de posición de cargas factoriales $\underline{l}_{in}$ para cada amenaza se obtuvo calculando el promedio por categorías de las respuestas de los encuestados, para cada amenaza e indicador. Este cálculo es equivalente a la suma ponderada (la combinación convexa) de las respuestas de los encuestados, ponderada por la frecuencia de las respuestas. Se asumió un valor de precisión de 0.01 (el inverso de una varianza de 100, i.e. 1/100) para la diagonal de la matriz de precisión $\underline{\mathbf{L}}_i^{-1}$. Este valor refleja confianza en las respuestas de los expertos sobre la importancia de cada indicador para la vulnerabilidad poblacional a una amenaza específica. El Anexo A3 proporciona detalles sobre el procedimiento de elicitación de priors empleado en la construcción del índice de vulnerabilidad Bayesiano. Los priors elicitados en base a las respuestas de los expertos se combinaron con los indicadores estandarizados para calcular el índice de vulnerabilidad poblacional.

4.3. Importancia de los indicadores

La importancia de cada indicador en el índice agregado de vulnerabilidad se calcula empleando el método Lindeman-Merenda-Gold (LMG). Este método descompone la varianza del índice de vulnerabilidad mediante la descomposición del coeficiente de determinación del coeficiente R^2 de una regresión del índice de vulnerabilidad (de cada amenaza) regresionado contra los indicadores de vulnerabilidad incluidos en el estudio. Formalmente, en la

descomposición de varianza LMG, la importancia $\text{imp}(k)$ de cada k indicador para la vulnerabilidad se obtiene con:

$$\text{imp}(k) = \frac{1}{k!} \sum_{\pi} \text{svar}(k|S_k(\pi)) = \frac{1}{k} \sum_{l=0}^{k-1} \left(\frac{\sum_{S \subseteq \{2, \dots, k\} \atop n(S)=l} \text{svar}(k|S)}{\binom{k-1}{l}} \right)$$

En la anterior formula, la importancia de un indicador k se obtiene como el promedio de la variancia secuencial $\text{svar}(\cdot)$ a lo largo de una serie de permutaciones π , para $S_k(\pi)$ el conjunto de indicadores incluidos en la permutación π , y $\text{svar}(k|S_k(\pi))$ igual a:

$$\begin{aligned} \text{svar}(k|S_k(\pi)) &= [\text{var}(\bar{\theta}_{jn}) - \text{var}(\bar{\theta}_{jn} | \mathbf{x}_l, l \in (M \cup S))] \\ &\quad - [\text{var}(\bar{\theta}_{jn}) - \text{var}(\bar{\theta}_{jn} | \mathbf{x}_l, l \in S)] \end{aligned}$$

que se obtiene a partir de la diferencia entre la variancia del índice de vulnerabilidad y la variancia explicada por el subconjunto S de indicadores incluidos en la permutación, y el subconjunto disjunto M de indicadores no considerados en la permutación π .

5. Resultados

5.1. Índice de vulnerabilidad poblacional

La Figura 6 muestra la relación entre los indicadores utilizados en el estudio para aproximar la vulnerabilidad. Los indicadores de densidad poblacional, asentamientos y densidad caminera se encuentran altamente relacionados (tienen una alta correlación positiva), así como los indicadores ambientales (bosques, temperatura, precipitación y calidad de tierra).

Un grupo adicional de indicadores altamente correlacionados son los indicadores físicos de infraestructura de salud, infraestructura de educación, acceso a comunicaciones y servicios de energía eléctrica, que están positivamente relacionados con indicadores de la dimensión social (la tasa de dependencia, el porcentaje de adultos mayores y niños, el nivel de educación, la etnicidad, el género y el índice de salud) y con

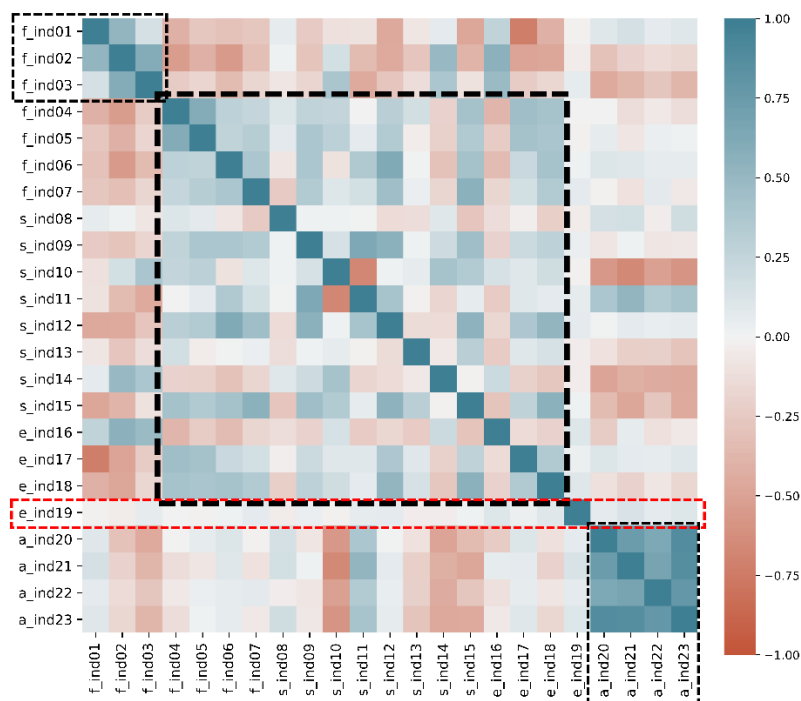
indicadores de la dimensión económica (actividad agrícola, actividad económica y acceso a servicios financieros). No se observa una correlación significativa entre los recursos para la gestión de riesgos (e_ind19) con el resto de los indicadores para cada municipio.

La alta correlación entre los indicadores muestra que éstos comparten información común que puede ser resumida en un solo índice de vulnerabilidad. Las Figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 muestran los mapas de vulnerabilidad elaborados con el índice de vulnerabilidad calculado con los indicadores para cada amenaza (heladas, granizadas, inundaciones, sequías, incendios y amenazas biológicas). El Apéndice 2 al final del documento muestra la clasificación de todos los municipios considerados en el estudio, según amenaza y vulnerabilidad.

En el caso de heladas (Figura 7), los municipios con mayor grado de amenaza y vulnerabilidad se encuentran en los departamentos de La Paz, Oruro y Tarija. En La Paz, los municipios con mayor vulnerabilidad y mayor amenaza a heladas son Achacachi, Guaqui, Desaguadero, Taraco, Calamarca, Patacamaya, Copacabana y Tito Yupanqui. En Oruro, los municipios más vulnerables a heladas son: Oruro, Caracollo, Huachacalla, Machacamarca y Eucaliptus. El modelo de vulnerabilidad también identifica municipios en el sur del país que son altamente vulnerables a heladas: Tarija, Bermejo, Uriondo y San Lorenzo. En estos municipios las temperaturas bajo cero han ocasionado previamente fuertes pérdidas agrícolas en plantaciones de papa, tomate, trigo, arveja y maíz.

La vulnerabilidad poblacional alta y amenaza de granizadas muy alta se concentran en los departamentos de Chuquisaca, La Paz y Potosí (Figura 8). En Chuquisaca, en el municipio de Sucre; en La Paz, en los municipios de Achacachi y Copacabana; en Potosí, en los municipios de Uncía, Llallagua, Puna y Villazón. El modelo de vulnerabilidad Bayesiano también identifica al municipio de Tarija como uno de los municipios altamente vulnerables a granizadas. En el año 2021, cuatro personas fallecieron por sumersión e hipotermia en Sucre a causa de una tormenta con granizo.

Figura 6. Correlación entre los indicadores estandarizados (heatmap)



Indicadores en la dimension fisica:

f_ind01: Densidad poblacional
f_ind02: Asentamientos
f_ind03: Densidad caminera
f_ind04: Infraestructura de salud
f_ind05: Infraestructura de educación
f_ind06: Acceso a comunicaciones
f_ind07: Servicio de energía eléctrica

Indicadores de la dimension social:

s_ind08: Personas con discapacidad
s_ind09: Tasa de dependencia
s_ind10: Adultos mayores
s_ind11: Niños
s_ind12: Nivel de educación
s_ind13: Etnicidad
s_ind14: Género
s_ind15: Salud

Indicadores de la dimension economica:

e_ind16: Actividad agrícola
e_ind17: Actividad económica
e_ind18: Acceso a servicios financieros
e_ind19: Recursos para la gestión de riesgos

Indicadores de la dimension ambiental:

a_ind20: Bosques
a_ind21: Temperatura
a_ind22: Precipitación
a_ind23: Calidad de la tierra

Los municipios más vulnerables a inundaciones (Figura 9) son los municipios de Riberalta y Trinidad en el departamento de Beni; y los municipios de Achacachi, La Paz, Mecapaca y Viacha en el departamento de La Paz. El municipio de Bermejo en Tarija es también uno de los municipios que tiene una alta vulnerabilidad a inundaciones. Bermejo, a seis horas de la ciudad de Tarija, fue afectado en 2021 por un

temporal que ocasionó inundaciones en casas y riadas en calles y canchas del municipio.

Respecto a sequías, la vulnerabilidad a estos eventos esta más dispersa (Figura 10), el modelo Bayesiano identifica municipios vulnerables a amenazas de sequías en los nueve departamentos. En Beni, los municipios más vulnerables son Guayaramerín, Riberalta y Trinidad. En Chuquisaca, los municipios más vulnerables a sequías son: Sucre, Monteagudo, Tarabuco y San Lucas. Mientras que en Cochabamba los municipios más vulnerables son: Tarata, Arani, Vacas, Capinota, Santibañez y Punata. En Santa Cruz, Cuevo es un municipio con una amenaza muy alta de sequías y al mismo tiempo una vulnerabilidad media-alta a esta amenaza; en 2020, Cuevo se declaró en emergencia por sequías. En La Paz, los municipios vulnerables a sequías son: Achachi, Puerto Acosta y Umala, municipios en los que las sequías afectan a los cultivos y comprometen además la supervivencia del ganado. En Pando, el municipio vulnerable y con amenaza muy alta de sequías es Cobija. En Tarija, los municipios de Villamontes, Yacuiba y el Puente tienen vulnerabilidad y amenazas altas. En Potosí los municipios mas vulnerables son Llallagua, Colcha K y Puna. Mientras que en Oruro los municipios mas vulnerables son Oruro, Caracollo, Challapata y Eucaliptus.

La vulnerabilidad poblacional a incendios se concentra en los departamentos de Beni, Santa Cruz y Cochabamba (Figura 11). En Beni, en los municipios de Riberalta y Trinidad. En Cochabamba en los municipios de Cochabamba, Colomi, Quillacollo, Sacaba y Tiquipaya. Y en Santa Cruz en los municipios de Cabezas, San Ramón y Santa Cruz de la Sierra. El modelo Bayesiano de vulnerabilidad también identifica tres municipios en Tarija con vulnerabilidad alta a incendios Tarija, Bermejo y Yacuiba. En Tarija, los incendios se relacionan a aquellos que son producidos frecuentemente en la Reserva de Sama.

Finalmente, la Figura 12 muestra tanto las amenazas biológicas a nivel regional en Bolivia como la vulnerabilidad de cada municipio a las amenazas biológicas. Las amenazas biológicas se concentran en las ciudades capitales y los municipios circundantes a las ciudades capitales, particularmente en los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz. Se observa también una concentración de amenazas

biológicas en municipios ubicados en regiones fronterizas o cercanas a las fronteras con otros países; como en los municipios de Bermejo, Caraparí, Padcaya y Yacuiba, con comunidades colindantes o cercanas a la frontera con Argentina, o en los municipios de Guayaramerín y Riberalta, que tienen comunidades colindantes o cercanas a la frontera con Brasil.

En términos de vulnerabilidad poblacional a las amenazas biológicas, los municipios más vulnerables se concentran en Cochabamba y Santa Cruz. En Cochabamba, los municipios con mayor vulnerabilidad son: Cochabamba, Colcapirhua, Quillacollo, Sacaba, San Benito, Tiquipaya y Vinto; en el departamento de Santa Cruz, los municipios más vulnerables a amenazas biológicas son Cotoca, El Torno, La Guardia, Okinawa Uno y Santa Cruz de la Sierra.

Figura 7.1. Amenaza de heladas

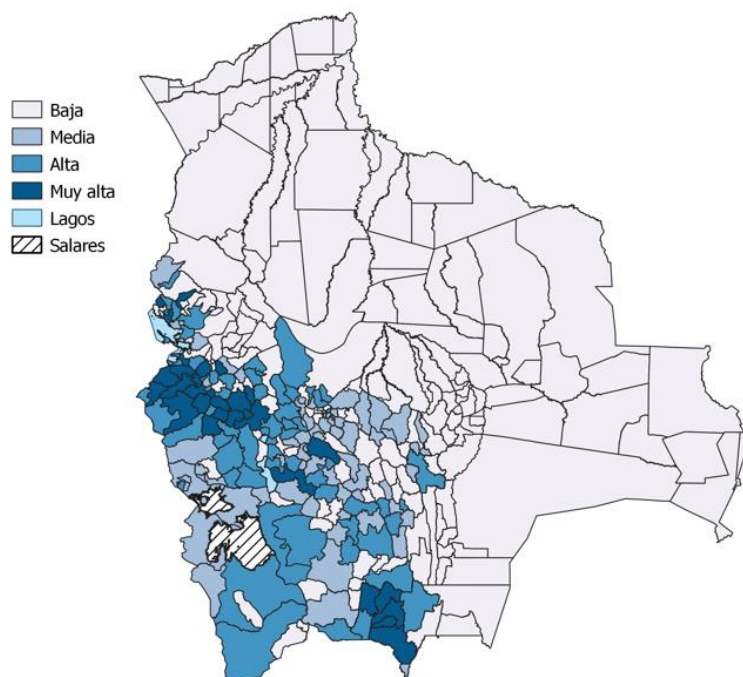


Figura 7.2. Vulnerabilidad a heladas

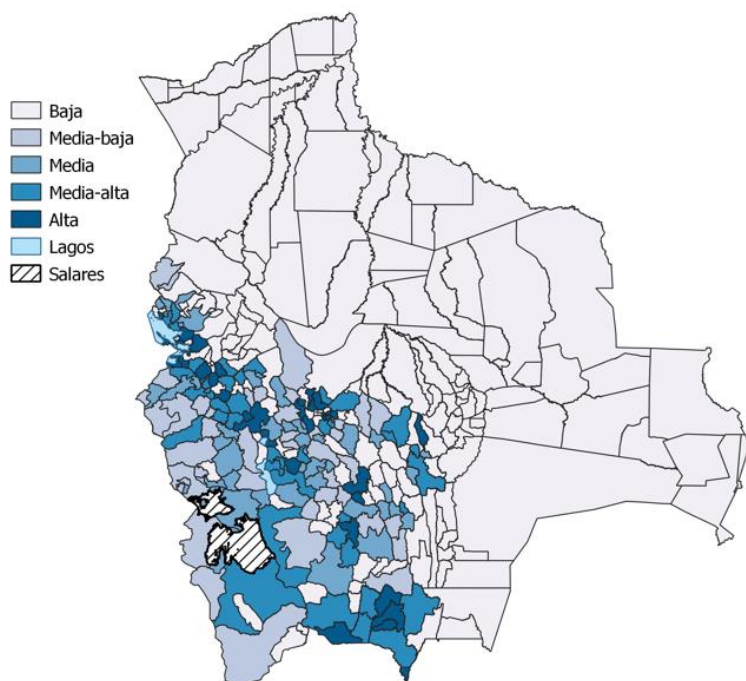


Figura 8.1. Amenaza de granizadas

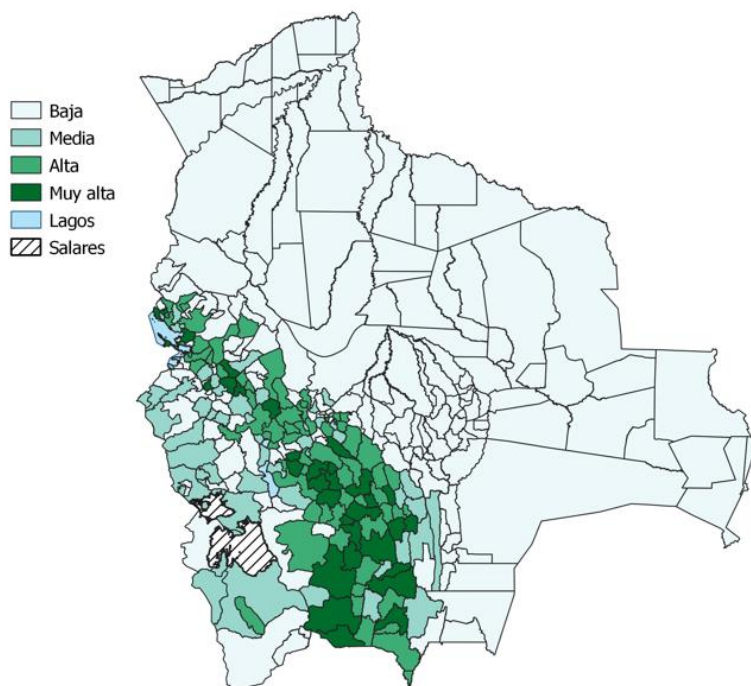


Figura 8.2. Vulnerabilidad a granizadas

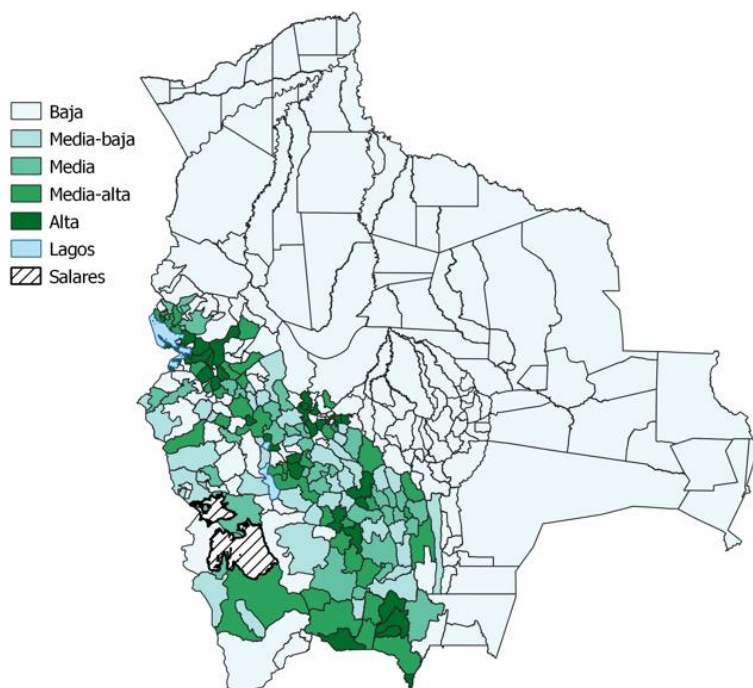


Figura 9.1. Amenaza de inundaciones

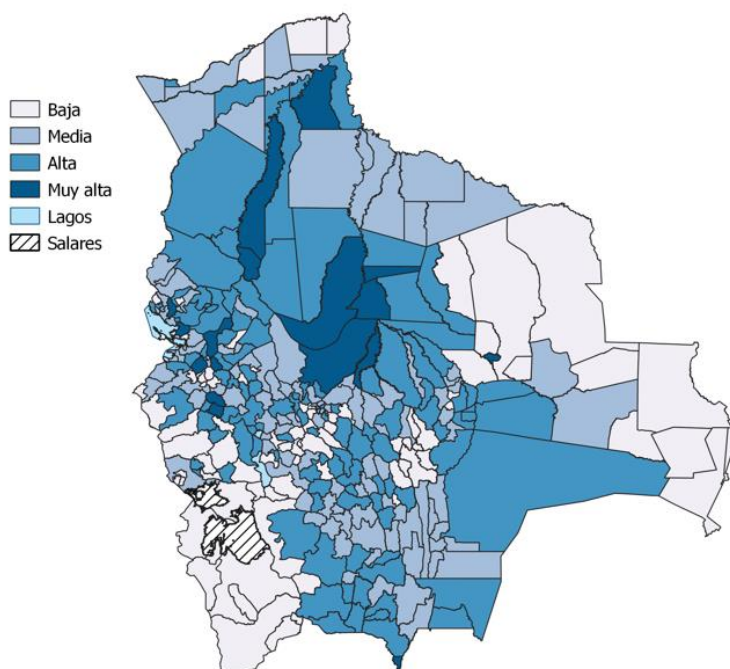


Figura 9.2. Vulnerabilidad a inundaciones

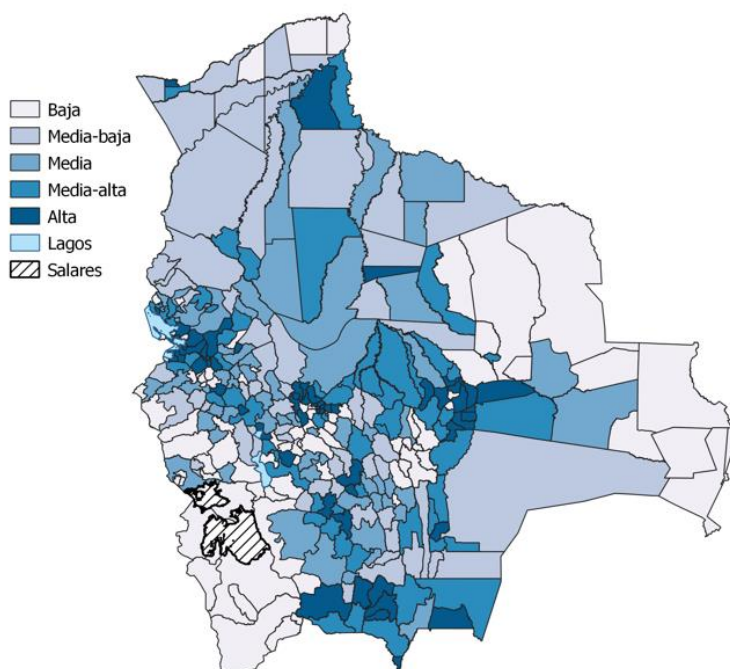


Figura 10.1. Amenaza de sequías

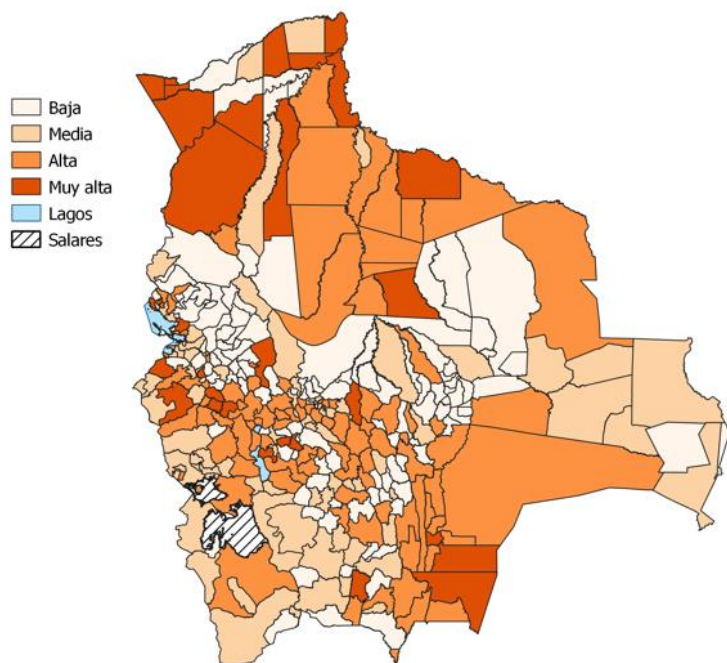


Figura 10.2. Vulnerabilidad a sequías

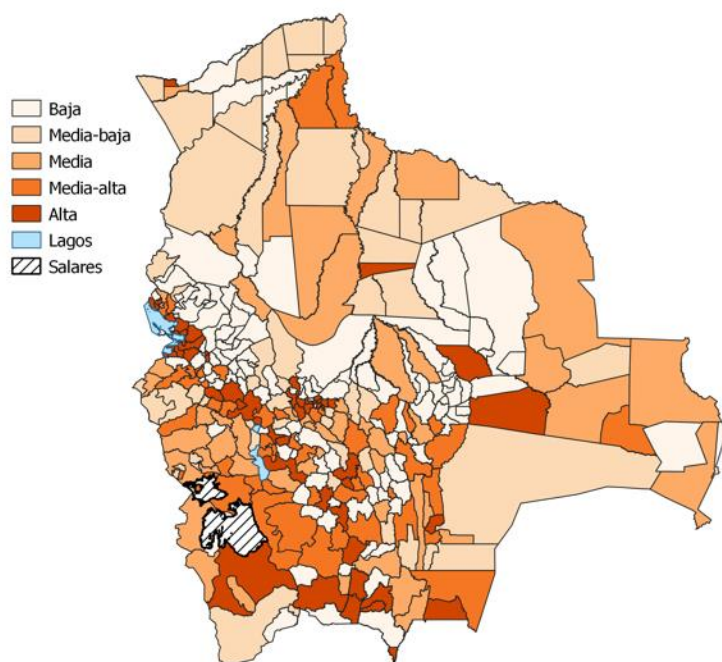


Figura 11.1. Amenaza de incendios

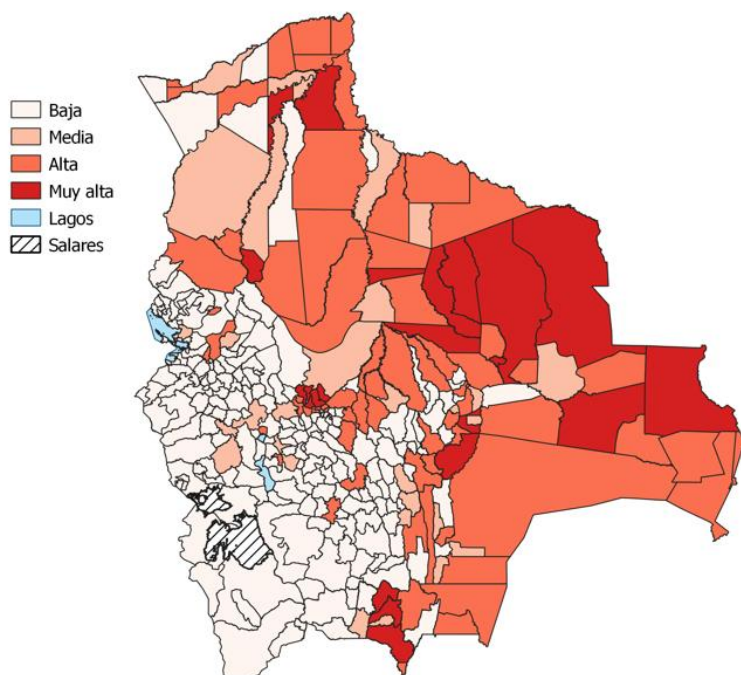


Figura 11.2. Vulnerabilidad a incendios

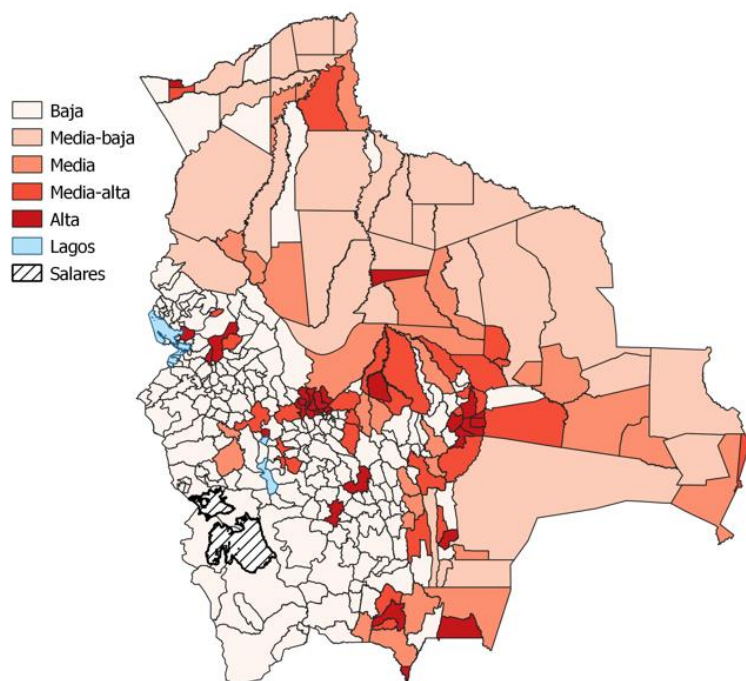


Figura 12.1. Amenazas biológicas

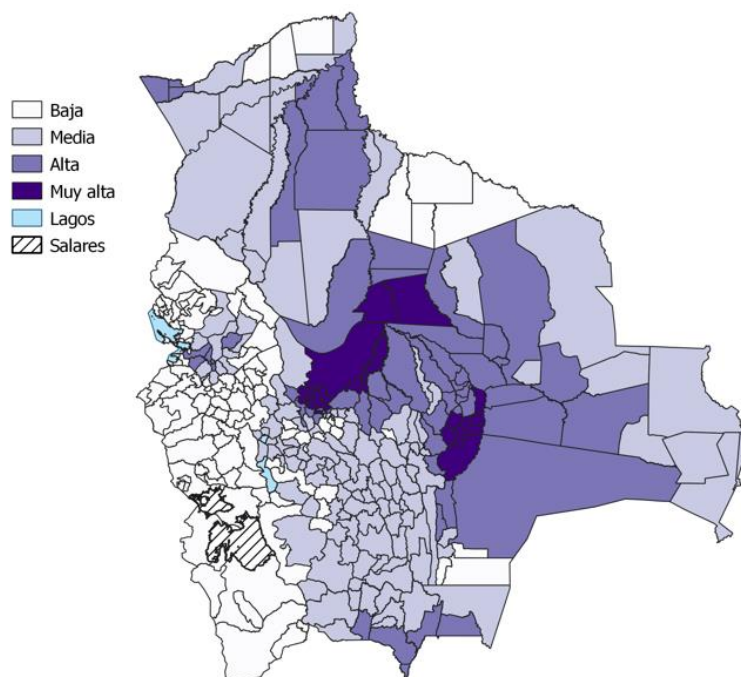
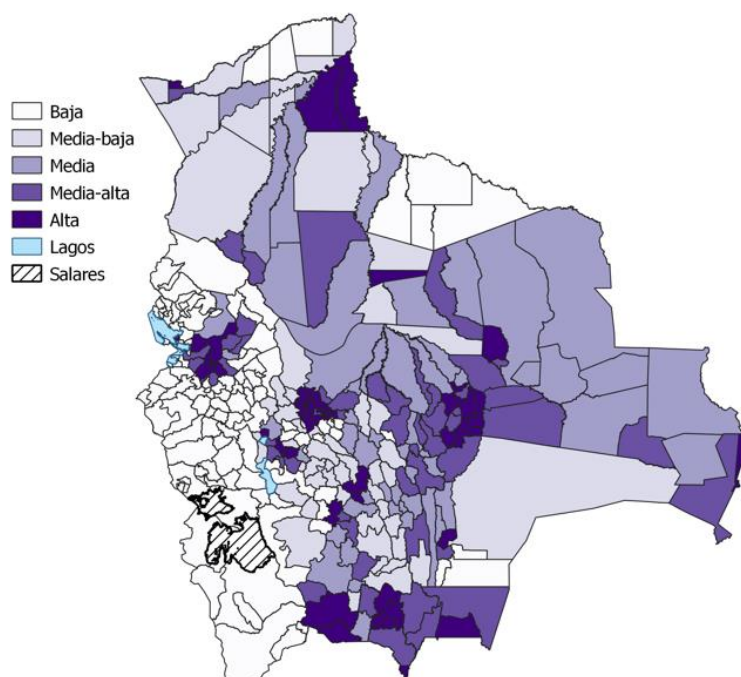


Figura 12.2. Vulnerabilidad a amenazas biológicas



5.2 Importancia de los indicadores que inciden en la vulnerabilidad según dimensión y amenaza

La importancia de los indicadores utilizados en la estimación de la vulnerabilidad poblacional se calculó mediante la descomposición de varianza del índice de vulnerabilidad para cada amenaza. Los resultados se muestran en las Tablas 2 y 3. La Tabla 2 muestra resultados agregados según dimensión de vulnerabilidad, y la Tabla 3 muestra resultados desagregados para cada una de las variables utilizadas para calcular el índice de vulnerabilidad poblacional.

Tabla 2. Importancia de los Indicadores sobre la Vulnerabilidad, según dimensión y amenaza (En porcentaje)

Dimensión de vulnerabilidad	Amenaza					
	Sequías	Inundaciones	Incendios	Heladas	Granizadas	Biológicas
Física	41,68	54,10	56,12	52,50	52,17	50,45
Social	28,53	25,30	19,72	25,47	27,48	32,49
Económica	17,36	16,91	10,87	19,88	18,36	14,86
Ambiental	12,44	3,69	13,30	2,15	1,99	2,21

En el caso de sequías, la dimensión física (41,68%) y la dimensión social (28,53%) resultan las más relevantes para la vulnerabilidad a esta amenaza (Tabla 2). En la dimensión física, los asentamientos (14,83%) y acceso a comunicaciones (8,34%) resultan particularmente incidentes en la vulnerabilidad ante la amenaza de sequías.

En el caso de inundaciones, la dimensión física tiene mayor importancia para la vulnerabilidad (54,10%), particularmente por los asentamientos (17,69%). La importancia de la dimensión física para la vulnerabilidad a inundaciones resulta coherente porque el impacto de las inundaciones es significativo en áreas con asentamientos. En la vulnerabilidad a amenazas de incendios, un 56,12% de importancia se concentra en la dimensión física de la vulnerabilidad, nuevamente en relación con los asentamientos (25,76%).

Para las heladas, la vulnerabilidad física recibe mayor peso (52,50%), en comparación con las dimensiones social (25,47%), económica (19,88%) y ambiental (2,15%). A nivel de indicadores

individuales, la actividad agrícola es la variable con mayor peso para la vulnerabilidad poblacional a heladas en la dimensión económica (7,27%). Las heladas pueden destruir severamente los cultivos, por lo que una población con actividades económicas concentradas en la agricultura será más vulnerable a esta amenaza. Las dimensiones físicas (52,17%) y social (27,48%) tiene un mayor peso al momento de determinar la vulnerabilidad poblacional a granizadas y la variable con mayor importancia en la dimensión física son los asentamientos (17,44%). Un resultado similar se obtiene para las amenazas biológicas, para las que la dimensión física tiene mayor relevancia (50,45%), debido nuevamente a asentamientos (11,72%).

Tabla 3. Importancia de los indicadores en el índice de la vulnerabilidad, según dimensión y amenaza (En porcentaje)

Indicador	Amenazas					
	Sequías	Inundaciones	Incendios	Heladas	Granizadas	Biológicas
Densidad poblacional	4,94	9,07	4,67	9,16	10,11	9,03
Asentamientos	14,83	17,69	25,76	16,24	17,44	11,72
Densidad caminera	4,31	4,28	8,22	3,62	3,52	3,48
Infraestructura de salud	3,67	6,16	3,90	7,98	7,22	6,03
Infraestructura de educación	1,45	5,05	7,51	3,80	1,70	6,98
Acceso a comunicaciones	8,34	7,53	3,71	8,09	8,77	7,39
Servicio de energía eléctrica	4,14	4,32	2,34	3,62	3,41	5,82
Personas con Discapacidad	1,59	0,70	0,27	0,82	0,62	0,84
Tasa de dependencia	1,10	1,83	2,83	1,87	2,12	3,24
Adultos mayores	2,57	0,62	0,89	0,42	0,45	0,64
Niños	2,21	1,40	2,62	1,32	1,53	2,25
Nivel de educación	6,42	7,47	3,03	7,21	8,54	11,03
Etnicidad	0,60	0,53	0,56	1,12	0,80	0,34
Género	10,11	6,21	7,17	4,07	4,01	4,48
Salud	3,93	6,55	2,35	8,64	9,39	9,67
Actividad agrícola	7,46	4,67	3,48	7,27	4,97	2,02
Actividad económica	2,58	5,40	3,86	5,75	5,61	5,66
Acceso a servicios financieros	5,62	5,94	2,94	6,34	7,09	6,52
Recursos gestión de riesgos	1,70	0,89	0,59	0,52	0,69	0,67
Bosques	3,51	1,46	3,79	0,71	0,40	0,59
Temperatura	2,27	0,77	4,14	0,66	0,34	0,65

Precipitación	3,49	0,60	1,64	0,34	0,94	0,39
Calidad de la tierra	3,17	0,87	3,73	0,44	0,32	0,57

5.3 Correlación de los índices de vulnerabilidad según amenaza por indicadores

Obtenidos los índices de vulnerabilidad para cada tipo de amenaza, a través del método de análisis factorial Bayesiano, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre los índices de vulnerabilidad y los indicadores propuestos. Los resultados, presentados en la Tabla 4, muestran que existe una correlación positiva, calificada como moderada a fuerte, entre los índices de vulnerabilidad y los indicadores de densidad poblacional, asentamientos, densidad caminera, género y actividad agrícola; es decir que cuando estos indicadores aumentan los índices de vulnerabilidad también se incrementan. En la dimensión física, una mayor cantidad de población, asentamientos e infraestructura expuesta, representaría un mayor grado de vulnerabilidad; en la dimensión social, la población con mayor proporción de mujeres tiende a ser mas vulnerable; y en la dimensión económica, los municipios con mayor superficie agrícola son más vulnerables a las distintas amenazas.

Por el contrario, existe una correlación negativa, que va de débil a moderada y fuerte, entre los índices de vulnerabilidad y los indicadores de infraestructura de salud, acceso a comunicaciones, el servicio de energía eléctrica, nivel de educación, salud, actividad económica y acceso a servicios financieros; es decir, cuando estos indicadores tienden a aumentar, la vulnerabilidad disminuye. Esto muestra que, en la dimensión física una mayor infraestructura de salud y acceso a comunicaciones esta asociada con menores niveles de vulnerabilidad; en la dimensión social, la vulnerabilidad es menor en poblaciones donde el nivel de educación es mayor, y los servicios de salud son mejores; en la dimensión económica, mayores niveles de actividad económica y acceso a servicios financieros están relacionados con menor vulnerabilidad.

En la dimensión ambiental, los indicadores considerados como: bosques, temperatura, precipitación y calidad de la tierra; presentan correlaciones débiles que pueden ser positivas o negativas para los índices de vulnerabilidad a amenazas de inundación, heladas, granizadas y biológicas. Esto significa que influyen muy poco o nada en la vulnerabilidad de la población. Sin embargo, estos mismos indicadores presentan correlaciones negativas para los índices de vulnerabilidad de sequías e incendios.

Tabla 4. Correlación de los índices de vulnerabilidad, según amenaza por indicadores

Indicador	Amenazas					
	Sequías	Inundaciones	Incendios	Heladas	Granizadas	Biológicas
Densidad poblacional	0,42	0,71	0,61	0,72	0,73	0,74
Asentamientos	0,84	0,92	1,00	0,90	0,90	0,84
Densidad caminera	0,56	0,56	0,78	0,51	0,50	0,53
Infraestructura de salud	-0,46	-0,65	-0,58	-0,72	-0,68	-0,63
Infraestructura de educación	-0,29	-0,62	-0,74	-0,54	-0,35	-0,72
Acceso a comunicaciones	-0,68	-0,69	-0,59	-0,71	-0,71	-0,71
Servicio de energía eléctrica	-0,48	-0,56	-0,49	-0,51	-0,48	-0,63
Personas con Discapacidad	0,18	0,11	0,01	0,17	0,10	0,13
Tasa de dependencia	-0,19	-0,40	-0,50	-0,40	-0,41	-0,53
Adultos mayores	0,36	0,05	0,19	-0,03	-0,02	-0,04
Niños	-0,42	-0,34	-0,51	-0,31	-0,34	-0,45
Nivel de educación	-0,59	-0,70	-0,57	-0,68	-0,72	-0,82
Etnicidad	-0,06	-0,17	-0,18	-0,26	-0,20	-0,11
Género	0,70	0,57	0,73	0,47	0,44	0,49
Salud	-0,37	-0,62	-0,49	-0,74	-0,76	-0,74
Actividad agrícola	0,58	0,52	0,47	0,64	0,50	0,40
Actividad económica	-0,43	-0,61	-0,60	-0,62	-0,60	-0,63
Acceso a servicios financieros	-0,52	-0,64	-0,54	-0,65	-0,68	-0,68
Recursos gestión de riesgos	-0,15	-0,14	-0,23	-0,07	-0,10	-0,13
Bosques	-0,41	-0,27	-0,60	-0,07	0,00	-0,16
Temperatura	-0,35	-0,13	-0,57	0,14	0,00	-0,11
Precipitación	-0,42	-0,19	-0,42	0,09	0,21	-0,15
Calidad de la tierra	-0,38	-0,19	-0,60	0,08	0,05	-0,14

6. Conclusiones

El análisis espacial de la vulnerabilidad con indicadores físicos, sociales, económicos y ambientales permite identificar regiones con una población altamente susceptible a la materialización de amenazas. Este documento presentó un enfoque Bayesiano para la construcción de un índice de vulnerabilidad poblacional ante amenazas biológicas, sequías, inundaciones, heladas, incendios y granizadas.

El enfoque Bayesiano permite considerar tanto la información de los datos como las opiniones de expertos en gestión de desastres/ayuda humanitaria al momento de calcular la importancia de los indicadores en el índice agregado de vulnerabilidad diferenciado para cada amenaza. Adicionalmente, el uso de fuentes de información administrativas y de imágenes satelitales permite que el índice de vulnerabilidad sea actualizado periódicamente, lo que mejora el monitoreo y la alerta temprana de las situaciones de vulnerabilidad.

En la práctica, los mapas de vulnerabilidad y la clasificación de los municipios elaborados en el estudio proporcionan a los gobiernos sub-nacionales conocimiento sobre el grado de vulnerabilidad en sus regiones, lo que fortalece la toma de decisiones de estos actores acerca de reformas para la prevención y la necesidad de formular e implementar medidas de adaptación y mitigación locales. El fortalecimiento de la toma de decisiones en la reducción del riesgo de desastres mejora las capacidades en la fase previa al desastre y crea conciencia sobre la necesidad de planificación de estrategias de respuesta de emergencia ante eventos adversos.

La información de los mapas de vulnerabilidad también proporciona evidencia basada en datos para que los hacedores de política consideren las necesidades de la población con dificultades de movilidad, ancianos, niños y otros grupos vulnerables, que deben ser identificados e incluidos en los planes de emergencia para cada amenaza, de forma que la evacuación y la gestión de eventos sean más eficientes. Las personas pobres se ven afectadas de manera desproporcionada por las amenazas naturales y los desastres. Los grupos vulnerables tienen una mayor exposición y una menor resiliencia a desastres, ya que, los grupos vulnerables pueden verse desproporcionadamente afectadas por eventos

adversos, y tienen además una menor capacidad para hacer frente a eventos adversos y menos recursos para recuperarse de los impactos de desastres. La baja correlación entre los gastos en gestión de riesgos y los indicadores vulnerabilidad sugiere que existe espacio para mejorar la asignación de estos recursos en grupos poblacionales vulnerables, para reducir así el impacto social y económico de desastres ex-ante, o para que la reconstrucción ex-post aumente la resiliencia y reduzca la vulnerabilidad a amenazas en Bolivia.

Referencias

- Adger, W. N. (1999). Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World development*, 27(2), 249-269.
- Assunção, R. M., Neves, M. C., Câmara, G., & da Costa Freitas, C. (2006). Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 797-811.
- Balica, S. F., Douben, N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water science and Technology*, 60(10), 2571-2580.
- Banco Mundial (2017). *Quantitative Analysis of the Impact of Floods in Bolivia*.
- Banco Mundial, Ministerio de Planificación del Desarrollo de Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, Ministerio de Salud, Ministerio de Educación, Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, Ministerio de Defensa, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2014). *Metodología para el cálculo del índice de riesgo municipal con datos del censo 2012*. Banco Mundial y Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR).
- Bauer, T., Ingram, V., De Jong, W., & Arts, B. (2018). The socio-economic impact of extreme precipitation and flooding on forest livelihoods: evidence from the Bolivian Amazon. *International Forestry Review*, 20(3), 314-331.
- Beyer, R., Chhabra, E., Galdo, V., & Rama, M. (2018). Measuring districts' monthly economic activity from outer space. *World Bank Policy Research Working Paper 8523*.
- Birkmann, J. (2006). In *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards disaster resilient societies* (ed. Birkmann, J.). UNU Press, 55–77.
- Blaikie, Piers; Cannon, Terry; Davis, Ian y Wisner, Ben (2004). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.

- Bollin, Christina; Cárdenas, Camilo; Hahn, Herwig y Vatsa, Krishna S. (2003). Disaster risk management by communities and local governments. Informe técnico, Inter-American Development Bank.
- Bourdieu, Pierre (1986). The forms of capital. Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education.
- Bustillo Sánchez, M., Tonini, M., Mapelli, A., & Fiorucci, P. (2021). Spatial Assessment of Wildfires Susceptibility in Santa Cruz (Bolivia) Using Random Forest. *Geosciences*, 11(5), 224.
- Cantini, F., Castelli, G., Foderi, C., Salazar Garcia, A., López de Armentia, T., Bresci, E., & Salbitano, F. (2019). Evidence-Based Integrated Analysis of Environmental Hazards in Southern Bolivia. *International journal of environmental research and public health*, 16(12), 2107.
- Cardona, O. D. (2002). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. En: *Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*. Wageningen, Disaster Studies of Wageningen University and Research Center.
- Cardona, O. D. (2010). Indicators of disaster risk and risk management. Informe técnico, Inter-American Development Bank, 2010.
- Chen, X., & Nordhaus, W. D. (2011). Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8589-8594.
- Combin, D., Schmidt, C., & Visintini, M. L. (2010). La vulnerabilidad económico-productiva en el departamento Garay-Santa Fe: el caso de la ganadería de islas. *Revista Universitaria de Geografía*, 19(1), 19-47.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2008). Evaluación del impacto acumulado y adicional ocasionado por La Niña en 2008 en Bolivia. Informe técnico, Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL.
- Con, Melina; Susini, Sonia; Catalá, Silvia y Quinteros, Silvina (2011). Índice de vulnerabilidad social (IVS) Documento metodológico.

Informes temáticos de la Dirección de Investigación y Estadística del Ministerio de Educación del GCBA.

- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261.
- Dilley, M. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis* (Vol. 5). World Bank Publications.
- Echeverría Jáuregui, D. D. (2019). *Aplicación del índice de vulnerabilidad a la inundación en la cuenca del río Ipa en la región del Chaco boliviano*. Universidad de Alcalá de Henares.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Naciones Unidas.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2013). *Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2011. Informe técnico*, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres y Corporación OSSO.
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., & Dahe, Q. (Eds.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.
- Field, C. B., & Barros, V. R. (Eds.). (2014). *Climate change 2014—Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*. Cambridge University Press.
- Fisher, W. D. (1958). On Grouping for Maximum Homogeneity. *Journal of the American Statistical Association* 53: 789–98.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Población: *Guías para la recolección y análisis de datos sociodemográficos a utilizar en situaciones de crisis humanitarias en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas, 2014.
- Fuchs, S., Keiler, M., Ortlepp, R., Schinke, R., & Papathoma-Köhle, M. (2019). Recent advances in vulnerability assessment for the built

- environment exposed to torrential hazards: Challenges and the way forward. *Journal of hydrology*, 575, 587-595.
- Gonzales Martínez, R. (2015). Una aproximación bayesiana a la medición de la vulnerabilidad poblacional a desastres naturales: estudio de caso para el Estado Plurinacional de Bolivia. *Notas de Población* Numero 100, pp. 171-194.
- Gostic, K. M., McGough, L., Baskerville, E. B., Abbott, S., Joshi, K., Tedijanto, C., ... & Cobey, S. (2020). Practical considerations for measuring the effective reproductive number. *PLoS computational biology*, 16(12), e1008409.
- Guillaumont, P. (1999). On the economic vulnerability of low income countries. Recuperado de <http://publi.cerdi.org/ed/2001/2001.02.pdf>
- Ingleton, Jon (1999). *Natural disaster management*. Tudor Rose, Leicester.
- Jenks, G. F. 1977. "Optimal Data Classification for Choropleth Maps." Occasional. Paper no. 2. Lawrence, KS: Department of Geography, University of Kansas.
- Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 115(772), 700-721.
- Lindell, Michael K. (2013). Disaster studies. *Current Sociology*, 61(5-6), pp. 797–825.
- Lizárraga, R. (2013). Evaluación de las pérdidas económicas de los deslizamientos de tierra producidas en el Macrodistrito IV San Antonio. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras, Carrera de Economía.
- Ministerio de Defensa de Bolivia (2016). *Lineamientos y Herramientas Básicas para elaborar el Plan de Emergencia Municipal*. Resolución Ministerial 122.
- Nagy, G. J., Azeiteiro, U. M., Heimfarth, J., Verocai, J. E., & Li, C. (2018). An assessment of the relationships between extreme weather events, vulnerability, and the impacts on human

- wellbeing in Latin America. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 1802.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Joint Research Centre-European Commission.
- Ortega Hernández, A., León Andrade, M., & Rodríguez Haros, B. (2020). Vulnerabilidad económica-productiva entre productores maiceros del municipio de Salvatierra.
- Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, P., Peduzzi, P., Dao, Q. H., ... & Kluser, S. (2004). Reducing disaster risk: a challenge for development.
- Perreault, T. (2020). Climate Change and Climate Politics: Parsing the Causes and Effects of the Drying of Lake Poopó, Bolivia. *Journal of Latin American Geography*, 19(3), 26-46.
- Papathoma-Köhle, M., Cristofari, G., Wenk, M., & Fuchs, S. (2019). The importance of indicator weights for vulnerability indices and implications for decision making in disaster management. *International journal of disaster risk reduction*, 36, 101103.
- Portillo-Riascos, L. H. (2020). El concepto de vulnerabilidad macroeconómica. Una revisión de la literatura. *Sociedad y economía*, (40), 99-118.
- Rosinger, A. Y. (2018). Household water insecurity after a historic flood: Diarrhea and dehydration in the Bolivian Amazon. *Social Science & Medicine*, 197, 192-202.
- Saldaña-Zorilla, S. (2007). Socio-economic vulnerability to natural disasters in Mexico: rural poor, trade and public response. volumen 92. United Nations Publications.
- Spielman, S. E., Tuccillo, J., Folch, D. C., Schweikert, A., Davies, R., Wood, N., & Tate, E. (2020). Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. *Natural Hazards*, 100(1), 417-436.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo: Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial (2011). Gobierno de Chile.

- Yarnal, Brent (2007). Vulnerability and all that jazz: Addressing vulnerability in New Orleans after Hurricane Katrina. *Technology in Society*, 29(2), pp. 249–255.
- Zhou, T., & Ji, Y. (2020). Semiparametric Bayesian inference for the transmission dynamics of COVID-19 with a state-space model. *Contemporary Clinical Trials*, 97, 106146.

Apéndice 1: Glosario de términos del estudio

Amenaza: La amenaza es la probabilidad de que un evento de origen natural, socio-natural o antrópico, se concrete y se produzca en un determinado tiempo o en una determinada región. La amenaza es un factor externo del riesgo, es un evento físico latente, un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud; al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos o daños ambientales. A pesar de que la amenaza es definida como un factor exógeno (Cardona, 2001; Banco Mundial y otros, 2014), las acciones para mitigar el riesgo pueden generar efectos secundarios e incrementar o reducir una amenaza (Field y otros, 2012). En este sentido, los eventos que llegan a convertirse en amenazas pueden ser causados por la naturaleza o por el hombre.

Amenaza Natural: Una amenaza natural es una amenaza relacionada a la ocurrencia de un proceso o fenómeno natural (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2011; Fondo de las Naciones Unidas para la Población, 2014). Las amenazas naturales pueden ser hidro-metereológicas, geológicas o biológicas. Las definiciones de los tres tipos de amenazas gozan de cierto acuerdo. En este documento se utilizan definiciones utilizadas por organismos internacionales relacionadas con la ayuda humanitaria como: Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Fondo de las Naciones Unidas para la Población Banco Mundial; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

Amenaza Hidrometeorológica: Es la amenaza que se origina a partir de un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico. Esta clase de amenazas es la que más pérdidas ha producido en Latinoamérica (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2013). Ejemplos de este tipo de amenazas son los ciclones, las inundaciones, las sequías, los tornados, la temperatura extrema y la caída de rayos (Ingleton, 1999).

Amenaza Geológica: Es la amenaza que se origina por un proceso o fenómeno geológico. Ejemplos de este tipo de amenazas son los terremotos, las erupciones de volcanes, los tsunamis, y los

deslizamientos (Ingleton, 1999). A diferencia de las amenazas hidrometeorológicas, la probabilidad de ocurrencia es más baja; pero la intensidad que muestran por lo general lleva a consecuencias catastróficas. Además, existe la posibilidad de que la ocurrencia de eventos hidrológicos pueda provocar deslizamientos.

Amenaza Biológica: Es la amenaza que se origina de un proceso o fenómeno de origen orgánico o que se transporta mediante vectores biológicos, lo que incluye la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas que pueden ocasionar la muerte, enfermedades u otros impactos a la salud (Field y Barros, 2014). Este tipo de amenaza suele incrementarse con la ocurrencia de desastres de naturaleza hidrometeorológica o geológica. Esto depende de la situación epidemiológica preexistente. Esta relación ha llevado a la identificación de enfermedades trazadoras, que son aquellas enfermedades cuya morbilidad se acentúa ante la situación de hacinamiento y cambios psicológicos que afectan a la población.

Amenaza Socionatural: Son aquellas amenazas naturales cuya probabilidad de ocurrencia es incrementada por encima de lo natural por acciones humanas, son resultado de la interacción entre la sociedad y su medioambiente natural. En algunos casos, las acciones de mitigación adoptadas en un lugar pueden influir en mayores amenazas para otras poblaciones. Un ejemplo de esto es la creación de represas que pueden aumentar la intensidad de inundación en poblaciones que se ubican corriente arriba. Por esta razón, este tipo de amenazas son especialmente importantes para la planificación de largo plazo en el manejo de desastres (Field y otros, 2014).

Amenaza Antropogénica: Son atribuibles por completo a la acción humana y afectan directamente a un medio como los derrames de sustancias peligrosas, accidentes tecnológicos, incendios provocados, explosiones.

Amenaza Tecnológica: A diferencia de las amenazas naturales y socio-naturales estas amenazas son generadas a partir de condiciones tecnológicas e industriales. Esto incluye accidentes, procedimientos peligrosos, fallas en la infraestructura o actividades humanas específicas que llevan a pérdidas (Ingleton, 1999). Estas amenazas pueden ocurrir en cadena, ante la ocurrencia de una amenaza natural.

Cartograma: Un cartograma es un mapa de área de valor o mapa anamórfico que refleja las características de un conjunto de unidades espaciales modificando el tamaño geográfico para que sea directamente proporcional a una variable de interés.

Desastre: Un desastre es la materialización del riesgo en un medio expuesto (Field, 2012; Fondo de las Naciones Unidas para la Población, 2014; Bollin y otros, 2003). La definición de desastre utilizada en el estudio tiene una aceptación general (Fondo de las Naciones Unidas para la Población, 2014; Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2011; Lindell, 2013): “Un desastre es una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad, que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos” (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009).

Edafológico: Referido a la edafología, i.e. la ciencia que trata de la naturaleza y condiciones del suelo, en su relación con las plantas.

Estándares esfera: Normas utilizadas para la asistencia humanitaria; definen estándares referenciales para la atención a damnificados.

Exposición: El grado de exposición está relacionado con las decisiones y prácticas que ubican a una unidad social cerca a zonas de influencia de un fenómeno natural peligroso. Por lo tanto, la vulnerabilidad surge por las condiciones inseguras que representa la exposición, respecto a un peligro que actúa como elemento activador del desastre (PNUD, 2013).

Gestión de Riesgos: La Ley 602 define a la gestión de riesgos como el proceso de planificación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas, proyectos y acciones permanentes para la reducción de los factores de riesgo de desastre en la sociedad y los sistemas de vida de la Madre Tierra, que comprende también el manejo de las situaciones de desastre y/o emergencia, para la posterior recuperación, rehabilitación y reconstrucción, con el propósito de

contribuir a la seguridad, bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo integral.

Indicador: Los indicadores son variables que representan operativamente una característica o calidad de un sistema (Birkmann, 2006; Fuchs y otros, 2019).

Número de reproducción viral efectivo: El número reproductivo efectivo es el número esperado de nuevas infecciones causadas por un individuo infeccioso en una población en la que algunos individuos pueden dejar de ser susceptibles. Las estimaciones del número reproductivo efectivo se utilizan para evaluar cómo los cambios en la política, la inmunidad de la población y otros factores han afectado la transmisión de una enfermedad en momentos específicos. El número reproductivo efectivo también se puede utilizar para monitorear cambios en la transmisión casi en tiempo real (Gostic et al., 2020).

Plan de Gestión de Riesgos: es un conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción de riesgos, los preparativos para la atención de emergencias y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población (Ministerio de Defensa de Bolivia, 2016).

Plan de Emergencias: Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y simulación para la capacitación y revisión, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad de la sociedad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso (Ministerio de Defensa de Bolivia, 2016).

Resiliencia: capacidad de un sistema para sufrir cualquier perturbación y mantener niveles significativos de eficiencia en sus componentes sociales, económicos, ambientales y físicos (Balica et al., 2009).

Riesgo: El riesgo está asociado a la incertidumbre y es un concepto dinámico, que puede cambiar de acuerdo a las circunstancias y

actividades que desarrolla el hombre en su actividad cotidiana; por lo tanto, las formas de entenderlo varían de acuerdo a la situación específica de análisis y a los diferentes campos de estudio; es por ello que el concepto de riesgo muchas veces resulta complejo de definir, especialmente el riesgo a desastres, que se manifiesta de diversas formas y está asociado a la vulnerabilidad y a la amenaza. Dependiendo de qué tan concentrada esté la pérdida en el tiempo y el espacio, el riesgo puede clasificarse como intensivo o extensivo (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2013). La definición de riesgo que estudiamos es la que está asociada a la posibilidad de pérdida de vidas humanas, infraestructura y medios de vida, que puede experimentar una determinada región o más específicamente un determinado municipio. En este caso, la definición de riesgo utilizada por Banco Mundial y otros (2014), que a la vez concuerda con la Ley N° 602 Ley de Gestión de Riesgos de 14 de noviembre de 2014 del Estado Plurinacional de Bolivia, United Nations Disaster Relief Organization (1979) y la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (2011), es la que más se relaciona con el documento, al referirse al riesgo como a la pérdida de vidas, personas heridas, propiedades afectadas, medio ambiente destruido y actividad económica detenida.

Riesgo Intensivo: La manifestación intensiva del riesgo se produce cuando existe exposición de poblaciones altamente aglutinadas. Esto hace que el riesgo se manifieste en un área reducida, dada la concentración de actividades económicas, construcciones, y sistemas de servicios, por ejemplo. El umbral para calificar el riesgo de desastre en un determinado lugar como intensivo es que existan 25 o más pérdidas de vidas humanas o 300 o más viviendas destruidas. Desde una perspectiva temporal, la literatura en cambio climático utiliza también los términos de riesgo emergente y clave, mismos que no son considerados en este estudio.

Riesgo Extensivo: La manifestación extensiva del riesgo se da cuando existe exposición de poblaciones dispersas a condiciones reiteradas o persistentes con una intensidad baja o moderada. La identificación de este tipo de riesgo se relaciona a eventos que ocasionan pérdidas de menos de 25 vidas humanas o menos de 300 viviendas destruidas.

Vulnerabilidad: La vulnerabilidad es la propensión o susceptibilidad de las comunidades, grupos, familias e individuos a sufrir daños o pérdidas vinculadas a las amenazas. La vulnerabilidad es el factor interno de riesgo. Es el potencial de un sujeto, objeto o sistema expuesto de sufrir daños o pérdidas al estar expuesto a una amenaza, por lo tanto, es su disposición intrínseca a ser afectado (Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud de Chile, 2010; Banco Mundial y otros, 2014). Esta disposición intrínseca depende en gran medida de la misma sociedad, a diferencia de la exposición y la amenaza (Blaikie y otros, 2004), por lo que es el objetivo de política más utilizado en la reducción del riesgo de desastres. En el Marco de Acción de Hyogo se define a la vulnerabilidad como las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto de amenazas.

Vulnerabilidad Física: La vulnerabilidad física es una función de los elementos expuestos, pero no es equivalente a la exposición. Lindell (2013) diferencia la vulnerabilidad humana referida a las condiciones biofísicas relacionadas a muerte, enfermedad o accidentes; la vulnerabilidad agropecuaria para referirse a la vulnerabilidad de cultivos y ganado; y la vulnerabilidad estructural para referirse a la falta de adecuación de las construcciones y obras civiles. Por lo tanto, son propiedades específicas de cada elemento expuesto (Yarnal, 2007; Lindell, 2013).

Vulnerabilidad Social: A diferencia de la vulnerabilidad física, la vulnerabilidad social se compone por condiciones basadas en el estatus socioeconómico de las personas que sufren la exposición, por el cual son propensos a ubicarse en áreas altamente expuestas y tienen deficiencias en su capacidad para afrontar las amenazas y adaptarse (Yarnal, 2007). Es por eso por lo que autores como Saldaña-Zorilla (2007); Con y otros (2011) relacionan la vulnerabilidad social a la tenencia de activos, entendidos de la forma más extensiva, incluyendo tanto la posesión de activos físicos como el capital cultural y social. El capital cultural se refiere a diferentes formas de conocimiento, aptitudes, educación y ventajas que una persona tiene; los cuales le dan un mayor estatus en la sociedad (Bourdieu, 1986). Este capital puede ser transformado en

capital económico o capital social. El capital social son los recursos efectivos y potenciales que se derivan de la pertenencia estable a una red social con relaciones de conocimiento y reconocimiento mutuo más o menos institucionalizadas (Bourdieu, 1986). Este capital puede ser transformado en capital cultural o capital económico.

Vulnerabilidad Colectiva: La vulnerabilidad colectiva de una nación, región o comunidad está determinada por las estructuras institucionales (Adger, 1999), a nivel cultural, económico y político, como las creencias religiosas, el sistema de protección social o la politización de la ayuda gubernamental. La vulnerabilidad colectiva también está asociada a las causas radicales a las que se refieren Blaikie y otros (2004).

Vulnerabilidad Individual: La vulnerabilidad individual está determinada por el acceso a recursos y la diversidad de fuentes de ingreso, así como la posición de una persona en la sociedad (Adger, 1999); entre estas se pueden señalar: las construcciones precarias, no tener acceso a fuentes de crédito, entre otras.

Vulnerabilidad Clave: Son las vulnerabilidades que ocasionan riesgo de daños considerables. Se toman en cuenta tanto a las vulnerabilidades que incrementan significativamente el daño de amenazas por encima de lo esperado; o por acompañar amenazas de eventos extremos (Field y otros, 2014).

Vulnerabilidad Emergente: La vulnerabilidad emergente o futura viene influenciada por la tendencia del riesgo a crecer. Este crecimiento del riesgo puede darse por un aumento en la intensidad o severidad de la amenaza, que hace que una vulnerabilidad que no era activa sea considerada como clave; o se muestre con incrementos en la misma vulnerabilidad. El incremento de la amenaza también puede darse por la expulsión de la población hacia zonas amenazadas causado por conflictos armados, degradación del suelo, así como acciones de prevención realizadas en otras poblaciones, como es el caso de la construcción de represas (Field y otros, 2014).

Vulnerabilidad poblacional: La vulnerabilidad poblacional puede definirse como la vulnerabilidad colectiva, física y social de quienes habitan una región sujeta a una amenaza específica. A diferencia de la vulnerabilidad de un individuo (Adger, 1999), la vulnerabilidad

poblacional es una vulnerabilidad colectiva porque afecta a una comunidad delimitada por algún criterio geográfico.

Apéndice 2: Clasificación de municipios según amenaza y vulnerabilidad

Departamento: Chuquisaca

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas
10101	Sucre	alta	alta	media	muy alta	alta	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta
10102	Yotala	alta	media	media	alta	baja	media	alta	alta	alta	alta	baja	alta
10103	Poroma	alta	alta	media	alta	baja	media	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
10201	Azurduy	media	media	media	media	baja	media	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
10202	Tarvita	alta	alta	alta	muy alta	baja	media	media-baja	media	media-baja	media-baja	baja	media-baja
10301	Zudañez	alta	baja	media	muy alta	baja	media	media	baja	media	media	baja	media
10302	Presto	media	alta	baja	alta	baja	media	media-baja	media-baja	baja	media-baja	baja	media-baja
10303	Mojaocoya	media	media	baja	alta	baja	media	media-baja	media	baja	media-baja	baja	media-baja
10304	Icla	alta	baja	alta	alta	baja	media	media	baja	media	media	baja	media-baja
10401	Padilla	alta	baja	baja	media	media	media	media	baja	baja	media	media	media
10402	Tomina	alta	baja	baja	media	baja	media	media	baja	baja	media	baja	media
10403	Sopachuy	media	baja	media	alta	baja	media	media	baja	media	media	baja	media
10404	Villa Alcalá	baja	media	alta	alta	baja	media	baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	media
10405	El Villar	media	baja	media	muy alta	media	media	media	baja	media	media	media	media
10501	Monteaquedo	media	alta	baja	media	alta	media	media-alta	media-alta	baja	media-alta	media-alta	media-alta
10502	Huacareta	media	alta	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja
10601	Tarabuco	media	alta	baja	alta	baja	media	media	media-alta	baja	media	baja	media-baja
10602	Yamparáez	media	media	baja	muy alta	baja	media	media-alta	media-alta	baja	media-alta	baja	media
10701	Camargo	alta	media	baja	alta	baja	media	media-alta	alta	baja	media-alta	baja	media-alta
10702	San Lucas	media	alta	alta	muy alta	baja	media	media	media-alta	media	media	baja	media-baja
10703	Incahuasi	alta	baja	baja	muy alta	baja	media	media-baja	baja	baja	media-baja	baja	media-baja
10704	Villa Charcas	media	baja	baja	media	baja	media	media	baja	baja	media	baja	media-baja
10801	Villa Serrano	baja	baja	baja	media	media	media	baja	baja	baja	media-alta	media	media-alta
10901	Villa Abecia	media	baja	baja	alta	baja	media	media	baja	baja	media	baja	media
10902	Culpina	alta	media	alta	muy alta	baja	media	media-baja	media	media-baja	media-baja	baja	media-baja
10903	Las Carreras	alta	media	baja	alta	baja	media	media-baja	media	baja	media-baja	baja	media-baja
11001	Muyupampa	media	alta	baja	media	alta	media	media-baja	media	baja	media-baja	media-baja	media
11002	Huacaya	media	alta	baja	baja	media	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja
11003	Machareti	media	muy alta	baja	baja	alta	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja

Departamento: La Paz

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas
20101	La Paz	muy alta	baja	baja	alta	alta	media	alta	baja	baja	alta	alta	alta
20102	Palca	alta	baja	media	muy alta	baja	media	media-alta	baja	media-alta	media-alta	baja	media-alta
20103	Mecapaca	muy alta	baja	muy alta	alta	baja	media	alta	baja	alta	alta	baja	alta
20104	Achocalla	media	alta	baja	baja	baja	alta	alta	alta	baja	baja	baja	alta
20105	El Alto	alta	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja	alta	alta	alta
20201	Achacachi	muy alta	muy alta	alta	muy alta	media	baja	alta	alta	alta	alta	alta	baja
20202	Ancoraimes	media	media	media	media	baja	baja	media-alta	alta	media-alta	media-alta	baja	baja
20203	Chua Cocani	media	alta	media	alta	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja
20204	Huarina	baja	alta	baja	baja	baja	baja	baja	alta	baja	baja	baja	baja
20205	Santiago de Huata	baja	baja	baja	baja	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja	alta
20206	Huatajata	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja
20301	Coro Coro	media	alta	muy alta	baja	baja	baja	media	media-alta	media-alta	baja	baja	baja
20302	Caquiaviri	media	alta	muy alta	media	baja	baja	media	media-alta	media	media	baja	baja
20303	Calacoto	alta	muy alta	muy alta	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja	baja
20304	Comanche	baja	media	muy alta	baja	baja	baja	baja	media-alta	media	baja	baja	baja
20305	Charaña	baja	media	alta	media	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
20306	Waldo Ballivian	baja	baja	alta	baja	baja	baja	baja	baja	media-alta	baja	baja	baja
20307	Nazacara de Pacajes	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media-alta	media-alta	baja	baja
20308	Callapa	media	media	muy alta	media	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
20401	Puerto Acosta	alta	muy alta	baja	muy alta	baja	baja	media-alta	alta	baja	media-alta	baja	baja
20402	Mocomoco	media	alta	alta	alta	baja	baja	media	media	media	media	baja	baja
20403	Pto. Carabuco	media	media	muy alta	alta	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
20404	Humanata	baja	baja	muy alta	baja	baja	baja	baja	baja	media	media	baja	baja
20405	Escoma	media	media	media	media	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja
20501	Chuma	muy alta	alta	alta	media	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
20502	Ayata	alta	alta	muy alta	alta	baja	baja	media	media-baja	media	media	baja	baja
20503	Aucapata	baja	baja	baja	alta	baja	baja	baja	baja	baja	media	baja	baja
20601	Sorata	alta	baja	alta	alta	baja	baja	media	baja	media	media	baja	baja
20602	Guanay	alta	baja	baja	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media
20603	Tacacoma	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-baja	baja	baja	baja	baja	baja
20604	Quiabaya	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-alta	baja	baja	baja	baja	baja
20605	Combaya	alta	baja	media	media	baja	media	media	baja	media	media	baja	baja
20606	Tipuani	alta	baja	baja	baja	alta	baja	media-alta	baja	baja	baja	media-alta	baja
20607	Mapiri	alta	baja	baja	baja	baja	baja	media-alta	baja	baja	baja	baja	baja
20608	Teoponte	alta	baja	baja	baja	baja	baja	media-baja	baja	baja	baja	baja	baja
20701	Apolo	alta	baja	baja	baja	alta	baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja	baja
20702	Pelechuco	media	media	media	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja	baja
20801	Viacha	muy alta	baja	muy alta	media	baja	media	alta	baja	alta	alta	baja	alta
20802	Guaqui	media	media	alta	baja	baja	baja	alta	alta	alta	baja	baja	baja

20803	Tiahuanacu
20804	Desaguadero
20805	San Andrés de Machaca
20806	Jesús de Machaca
20807	Taraco
20901	Luribay
20902	Sapahaqui
20903	Yaco
20904	Malla
20905	Cairoma
21001	Inquisivi
21002	Quime
21003	Cajuta
21004	Colquiri
21005	Ichoca
21006	Villa Libertad Licoma
21101	Chulumani
21102	Irupana
21103	Yanacachi
21104	Palos Blancos
21105	La Asunta
21201	Pucarani
21202	Laja
21203	Batallas
21204	Puerto Pérez
21301	Sica Sica
21302	Umale
21303	Ayo Ayo
21304	Calamarca
21305	Patacamaya
21306	Colquencha
21307	Collana
21401	Coroico
21402	Coripata
21501	Ixiamas
21502	San Buenaventura
21601	Charazani
21602	Curva
21701	Copacabana
21702	San Pedro de Tiquina
21703	Tito Yupanqui
21801	San Pedro Cuarahuara

media	media	muy alta	baja	baja	baja
baja	alta	alta	media	baja	baja
media	muy alta	muy alta	baja	baja	baja
alta	baja	muy alta	baja	baja	baja
media	media	alta	media	baja	baja
alta	baja	baja	muy alta	baja	baja
alta	media	alta	muy alta	baja	baja
alta	baja	muy alta	alta	baja	baja
baja	baja	baja	alta	baja	baja
media	baja	media	alta	baja	baja
media	muy alta	baja	alta	baja	baja
alta	baja	alta	baja	baja	baja
media	baja	alta	baja	baja	baja
media	baja	baja	muy alta	baja	media
alta	alta	alta	media	baja	baja
baja	alta	alta	baja	baja	baja
media	baja	baja	baja	baja	baja
alta	baja	baja	media	baja	baja
media	baja	baja	baja	baja	media
alta	media	baja	baja	baja	baja
alta	baja	baja	baja	baja	baja
media	media	baja	alta	baja	alta
media	media	media	alta	baja	media
media	media	media	alta	baja	baja
media	alta	muy alta	media	baja	baja
muy alta	muy alta	muy alta	baja	baja	baja
baja	baja	baja	media	baja	baja
baja	baja	alta	media	baja	media
media	baja	alta	baja	baja	baja
baja	muy alta	media	muy alta	baja	baja
baja	media	alta	baja	baja	media
alta	baja	baja	baja	media	alta
baja	baja	baja	baja	baja	media
alta	muy alta	baja	baja	media	media
alta	alta	baja	baja	alta	media
media	baja	baja	baja	baja	baja
media	baja	alta	baja	baja	baja
baja	baja	alta	muy alta	baja	baja
media	baja	baja	alta	baja	baja
baja	alta	alta	baja	baja	baja
muy alta	muy alta	muy alta	media	baja	baja

alta	alta	alta	baja	baja	baja
baja	alta	alta	alta	baja	baja
media-baja	media	media-baja	baja	baja	baja
media-alta	baja	media-alta	baja	baja	baja
alta	alta	alta	alta	baja	baja
media	baja	baja	media	baja	baja
media	media-alta	media-alta	media	baja	baja
media-baja	baja	media-baja	media-baja	baja	baja
baja	baja	baja	media-baja	baja	baja
media	baja	media-alta	media-alta	baja	baja
media-baja	media-baja	baja	media-baja	baja	baja
media	baja	media	baja	baja	baja
media	baja	media-alta	baja	baja	baja
media-baja	media-baja	baja	media-baja	baja	baja
media	baja	media	baja	baja	baja
media	baja	media-alta	baja	baja	baja
media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
baja	media-baja	media	baja	baja	baja
alta	baja	baja	baja	baja	baja
media	baja	baja	media-alta	baja	baja
media	baja	baja	baja	baja	media
media	media	baja	baja	baja	baja
media-baja	baja	baja	baja	baja	baja
alta	alta	baja	alta	baja	media-alta
media-alta	alta	media-alta	media-alta	baja	media-alta
alta	alta	alta	alta	baja	alta
alta	alta	alta	alta	baja	baja
media-alta	alta	media-alta	media-alta	baja	baja
media-alta	alta	media-alta	baja	baja	baja
baja	baja	baja	media-alta	baja	baja
baja	baja	alta	alta	baja	media-alta
alta	baja	alta	baja	baja	baja
baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
baja	media-alta	media-alta	baja	baja	media-alta
media-alta	baja	baja	baja	media-alta	media-alta
baja	baja	baja	baja	baja	media-alta
media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
media-alta	media	baja	baja	media	media-alta
media-baja	baja	baja	baja	baja	baja
media-baja	baja	media-baja	baja	baja	baja
baja	baja	alta	alta	baja	baja
alta	baja	baja	alta	baja	baja
baja	media-alta	alta	baja	baja	baja
media	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja

21802	Papel Pampa	alta	muy alta	muy alta	baja	baja	baja	media	media-alta	media-alta	baja	baja	baja
21803	Chacarilla	alta	alta	alta	media	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
21901	Santiago de Machaca	media	media	muy alta	media	baja	baja	media	media	media	media	baja	baja
21902	Catacora	baja	media	alta	media	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
22001	Caranavi	alta	baja	baja	alta	baja	media	media-alta	baja	baja	media-alta	baja	media-alta
22002	Alto Beni	media	baja	baja	baja	baja	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja

Departamento: Cochabamba

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
30101	Cochabamba	alta	baja	media	media	muy alta	muy alta	alta	baja	alta	alta	alta	alta
30201	Aiquile	alta	alta	baja	alta	baja	media	media-alta	media-alta	baja	media-alta	baja	media
30202	Pasorapa	alta	alta	baja	baja	baja	media	media-baja	media	baja	baja	baja	media-baja
30203	Omereque	alta	alta	media	baja	baja	media	media	media	media	baja	baja	media
30301	Independencia	media	baja	alta	alta	baja	media	media	baja	media	media	baja	media-baja
30302	Morochata	media	alta	alta	baja	baja	alta	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja
30303	Cocapata	media	media	alta	baja	baja	media	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja
30401	Tarata	baja	alta	baja	media	baja	alta	baja	alta	baja	alta	baja	alta
30402	Anzaldo	media	alta	media	alta	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
30403	Arbieto	baja	media	baja	baja	alta	muy alta	baja	alta	baja	baja	alta	media-alta
30404	Sacabamba	alta	media	media	media	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
30501	Arani	media	alta	media	alta	baja	media	alta	alta	alta	alta	baja	alta
30502	Vacas	alta	alta	baja	alta	baja	media	alta	alta	baja	alta	baja	media-alta
30601	Arque	media	alta	alta	alta	baja	media	media	media	media	media	baja	media-baja
30602	Tacopaya	media	alta	alta	alta	baja	baja	media	media-alta	media	media	baja	baja
30701	Capinota	alta	alta	media	alta	baja	media	alta	alta	alta	alta	baja	alta
30702	Santivañez	baja	alta	baja	baja	alta	alta	baja	alta	baja	baja	alta	alta
30703	Sicaya	media	media	media	media	baja	alta	media	media	media	media	baja	media-baja
30801	Cliza	alta	media	media	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja	alta
30802	Toko	media	baja	media	alta	baja	media	alta	baja	alta	alta	baja	alta
30803	Tolata	media	baja	baja	baja	alta	alta	alta	baja	baja	baja	alta	alta
30901	Quillacollo	media	media	baja	alta	muy alta	muy alta	alta	alta	baja	alta	alta	alta
30902	Sipe Sipe	alta	media	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta
30903	Tiquipaya	alta	baja	alta	baja	muy alta	muy alta	alta	baja	alta	baja	alta	alta
30904	Vinto	alta	baja	media	alta	alta	muy alta	alta	baja	alta	alta	alta	alta
30905	Colcapirhua	alta	baja	media	baja	media	muy alta	alta	baja	alta	baja	alta	alta
31001	Sacaba	media	baja	alta	baja	muy alta	muy alta	alta	baja	alta	baja	alta	alta
31002	Colomi	alta	baja	alta	media	muy alta	muy alta	media-alta	baja	media-alta	media-alta	alta	media-alta
31003	Villa Tunari	muy alta	baja	baja	baja	media	muy alta	media	baja	baja	baja	media	media
31101	Tapacari	alta	alta	alta	alta	media	media	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-alta	media-baja
31201	Totora	media	muy alta	media	baja	alta	alta	media-baja	media-baja	media-baja	baja	media	media-baja
31202	Pojo	media	alta	media	baja	alta	alta	media-baja	media-baja	media-baja	baja	media	media-baja

31203	Pocona	baja	media	baja	baja	alta	media	baja	media	baja	baja	media-alta	media
31204	Chimoré	muy alta	baja	baja	baja	alta	muy alta	media-alta	baja	baja	baja	media-alta	media
31205	Puerto Villarroel	alta	baja	baja	baja	alta	alta	media-alta	baja	baja	baja	alta	media-alta
31206	Entre Rios	media	baja	baja	baja	media	alta	media-alta	baja	baja	baja	media-alta	media-alta
31301	Mizque	alta	alta	media	alta	alta	media	media	media	media	media	media-alta	media
31302	Vila Vila	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
31303	Alalay	baja	media	media	alta	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
31401	Punata	alta	alta	alta	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta
31402	Villa Rivero	media	media	media	baja	baja	media	alta	alta	alta	baja	baja	alta
31403	San Benito	media	media	baja	baja	alta	muy alta	alta	alta	baja	baja	alta	alta
31404	Tacachi	alta	baja	media	baja	baja	baja	alta	baja	alta	baja	baja	baja
31405	Cuchumuela	baja	media	baja	media	baja	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
31501	Bolivar	media	alta	alta	alta	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
31601	Tiraque	media	baja	media	baja	alta	alta	media-alta	baja	media-alta	baja	media-alta	media-alta
31602	Shinahota	media	baja	baja	baja	baja	muy alta	media-alta	baja	baja	baja	baja	media

Departamento: Oruro

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
40101	Oruro	alta	alta	alta	alta	alta	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta
40102	Caracollo	alta	alta	muy alta	alta	media	baja	media-alta	alta	alta	media-alta	media-alta	baja
40103	El Choro	alta	alta	baja	media	baja	media	media-baja	media-baja	baja	media-baja	baja	media-baja
40104	Soracachi	media	alta	alta	alta	baja	media	media	media-alta	media	media	baja	media
40201	Challapata	media	alta	muy alta	alta	baja	baja	media-alta	alta	media-alta	media-alta	baja	baja
40202	Quillacas	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-alta	baja	baja	baja	baja
40301	Corque	baja	alta	alta	baja	media	baja	baja	media	media	baja	media	baja
40302	Choque Cota	alta	baja	alta	baja	baja	baja	media	baja	media	baja	baja	baja
40401	Curahuara de Carangas	baja	alta	alta	media	baja	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
40402	Turco	baja	media	media	media	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja
40501	Huachacalla	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja
40502	Escara	baja	media	baja	media	baja	baja	baja	media	baja	media	baja	baja
40503	Cruz de Machacamarca	alta	media	media	media	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
40504	Yunquyo de Litoral	alta	media	media	media	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
40505	Esmeralda	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media	media	baja	baja	baja
40601	Poopó	media	alta	alta	baja	baja	media	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja	media-alta
40602	Pazña	baja	muy alta	alta	media	baja	baja	baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja
40603	Antequera	alta	media	media	alta	alta	media	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta
40701	Huanuni	baja	media	baja	baja	media	media	baja	alta	baja	baja	media-alta	alta
40702	Machacamarca	media	baja	alta	alta	baja	media	alta	baja	alta	alta	baja	media-alta
40801	Salinas de García Mendoza	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media-alta	media	media	baja	baja
40802	Pampa Aullagas	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media-alta	media	baja	baja	baja

40901	Sabaya	media	media	media	media	baja	baja	media	media	media-baja	media-baja	baja	baja
40902	Coipasa	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media-alta	media	media	baja	baja
40903	Chipaya	media	media	media	media	baja	baja	media	media-alta	media	media	baja	baja
41001	Toledo	alta	alta	alta	baja	baja	baja	media-baja	media	media-baja	baja	baja	baja
41101	Eucaliptus	media	alta	muy alta	media	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja
41201	Santiago de Andamarca	baja	alta	alta	media	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja
41202	Belén de Andamarca	alta	media	alta	baja	baja	baja	media	media-alta	media	baja	baja	baja
41301	San Pedro de Totora	alta	alta	muy alta	baja	baja	baja	media	media	media-baja	baja	baja	baja
41401	Huari	baja	alta	media	media	baja	media	baja	media	media	media-baja	baja	media-baja
41501	La Rivera	baja	alta	media	baja	baja	baja	baja	media-alta	media	baja	baja	baja
41502	Todos Santos	baja	media	alta	media	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	baja
41503	Carangas	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	baja
41601	Huayllamarca	baja	alta	alta	alta	media	baja	baja	media	media	media	media	baja

Departamento: Potosí

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequías	heladas	granizadas	incendios	biológicas
50101	Potosí	media	media	baja	alta	alta	media	alta	alta	baja	alta	alta	alta
50102	Tinguipaya	alta	baja	alta	muy alta	baja	baja	media-baja	baja	media-baja	media-baja	baja	baja
50103	Yocalla	alta	media	baja	alta	baja	baja	media-alta	media-alta	baja	media-alta	baja	baja
50104	Urmiri	media	baja	media	alta	baja	media	media-baja	baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
50201	Uncía	media	baja	alta	muy alta	media	media	alta	baja	alta	alta	media-alta	media-alta
50202	Chayanta	baja	muy alta	media	alta	baja	media	baja	media-alta	media-alta	media-alta	baja	media
50203	Llallagua	baja	muy alta	baja	muy alta	baja	media	baja	alta	baja	alta	baja	alta
50204	Chuquihuta	baja	baja	media	alta	baja	media	baja	baja	media	media	baja	media-baja
50301	Betanzos	alta	alta	alta	muy alta	baja	media	media	media-alta	media	media	baja	media
50302	Chaquí	media	baja	media	muy alta	baja	media	media-alta	baja	media-alta	media-alta	baja	media-alta
50303	Tacobamba	media	media	media	alta	baja	media	media-baja	media-baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
50401	Colquechaca	alta	alta	alta	muy alta	baja	media	media	media	media	media	baja	media-baja
50402	Ravelo	alta	baja	baja	alta	baja	media	media-baja	baja	baja	media-baja	baja	media-baja
50403	Pocoata	media	alta	media	muy alta	baja	media	media	media-alta	media	media	baja	media-baja
50404	Ocurí	baja	baja	media	muy alta	baja	media	baja	baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
50501	S.P. De Buena Vista	baja	baja	muy alta	alta	baja	media	baja	baja	media-baja	media-baja	baja	media-baja
50502	Toro Toro	baja	media	baja	muy alta	baja	media	baja	media	baja	media-baja	baja	media-baja
50601	Cotagaita	alta	media	media	muy alta	baja	media	media	media-alta	media	media	baja	media
50602	Vitichi	media	media	alta	muy alta	baja	media	media-alta	media-alta	media-alta	media-alta	baja	media
50701	Villa deSacaca	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media	media	baja	baja
50702	Caripuyo	alta	baja	media	baja	baja	media	media-baja	baja	media-baja	baja	baja	media-baja
50801	Tupiza	alta	media	media	muy alta	baja	media	alta	alta	media-alta	media-alta	baja	alta
50802	Atocha	baja	baja	baja	media	baja	media	baja	baja	baja	media-alta	baja	media-alta
50901	Colcha K	baja	alta	alta	media	baja	baja	baja	alta	media-alta	media-alta	baja	baja

50902	San Pedro de Quemes	baja	media	media	media	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja
51001	San Pablo de Lipez	baja	media	alta	baja	baja	baja	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	baja
51002	Mojinete	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-baja	baja	baja	baja	baja
51003	San Antonio de Esmoruco	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja	baja
51101	Puna	media	alta	alta	muy alta	baja	media	alta	alta	alta	baja	media-alta	media-alta
51102	Caiza D	media	baja	media	alta	baja	media	media-alta	baja	media-alta	baja	media	media
51103	Ckochas	media	baja	media	alta	baja	media	media-baja	baja	media-baja	baja	media-baja	media-baja
51201	Uyuni	baja	media	alta	baja	baja	baja	baja	media-alta	media-alta	baja	baja	baja
51202	Tomave	alta	media	alta	alta	baja	media	media	media-alta	media-baja	baja	media-baja	media-baja
51203	Porco	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-alta	baja	baja	baja	baja	baja
51301	Arampampa	baja	media	media	baja	baja	media	baja	media	media-baja	baja	baja	media-baja
51302	Acasio	alta	media	media	baja	baja	baja	media	media	media	baja	baja	baja
51401	Llica	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media	media-baja	baja	baja	baja
51402	Tahua	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media	baja	baja	baja
51501	Villazón	alta	baja	alta	muy alta	baja	media	media-alta	baja	alta	alta	baja	alta
51601	San Agustín	baja	media	baja	alta	baja	baja	baja	media	baja	media-baja	baja	baja

Departamento: Tarija

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
60101	Tarija	alta	alta	muy alta	muy alta	muy alta	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta
60201	Padcaya	alta	baja	muy alta	alta	muy alta	alta	media-alta	baja	media-alta	media-alta	media	media-alta
60202	Bermejo	muy alta	alta	media	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alta
60301	Yacuiba	alta	alta	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja	alta	alta
60302	Carapari	media	alta	baja	baja	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media-alta
60303	Villamontes	alta	muy alta	baja	baja	alta	media	media-alta	media-alta	baja	baja	media	media-alta
60401	Uriando	alta	media	muy alta	alta	media	media	alta	alta	alta	alta	media-alta	alta
60402	Yunchará	alta	alta	alta	alta	media	alta	media-alta	alta	media-alta	media-alta	media	media
60501	Villa San Lorenzo	media	baja	muy alta	alta	muy alta	media	alta	baja	alta	alta	media-alta	alta
60502	El Puente	alta	muy alta	muy alta	media	baja	media	alta	alta	media-alta	media-alta	baja	media-alta
60601	Entre Rios	media	alta	alta	media	alta	media	media-alta	media	media-alta	media	media	media-alta

Departamento: Santa Cruz

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
70101	Santa Cruz de la Sierra	alta	baja	baja	baja	muy alta	muy alta	alta	baja	baja	baja	alta	alta
70102	Cotoca	alta	baja	baja	baja	media	muy alta	alta	baja	baja	baja	alta	alta

70103	Porongo	media	baja	baja	baja	alta	muy alta	media-alta	baja	baja	baja	alta	media-alta
70104	La Guardia	media	baja	baja	baja	alta	muy alta	alta	baja	baja	baja	alta	alta
70105	El Torno	alta	alta	baja	baja	baja	muy alta	media-alta	media-alta	baja	baja	baja	alta
70201	Wernes	alta	baja	baja	baja	alta	alta	alta	baja	baja	baja	alta	alta
70202	Okinawa Uno	alta	baja	baja	baja	media	muy alta	alta	baja	baja	baja	media-alta	alta
70301	San Ignacio de Velasco	baja	alta	baja	baja	muy alta	media	baja	media	baja	baja	media-baja	media
70302	San Miguel de Velasco	media	media	baja	baja	media	alta	media	media	baja	baja	media	media
70303	San Rafael	baja	media	baja	baja	alta	media	baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media
70401	Buena Vista	alta	baja	baja	baja	baja	alta	media-alta	baja	baja	baja	baja	media-alta
70402	San Carlos	alta	baja	baja	baja	baja	media	alta	baja	baja	baja	baja	media-alta
70403	Yapacani	alta	media	baja	baja	alta	alta	media-alta	media	baja	baja	media-alta	media
70404	San Juan de Yapacani	media	baja	baja	baja	baja	media	media-alta	baja	baja	baja	baja	media-alta
70501	San José de Chiquitos	media	media	baja	baja	muy alta	alta	media	media	baja	baja	media	media
70502	Pailón	alta	alta	baja	baja	alta	alta	media-alta	alta	baja	baja	media-alta	media-alta
70503	Roboré	baja	media	baja	baja	alta	media	baja	media-alta	baja	baja	media	media-alta
70601	Portachuelo	media	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja	baja	baja	alta
70602	Santa Rosa del Sara	alta	alta	baja	baja	alta	alta	media	media	baja	baja	media	media
70603	Colpa Belgica	baja	baja	baja	baja	media	alta	baja	baja	baja	baja	media-alta	media-alta
70701	Lagunillas	media	alta	baja	baja	media	alta	media-alta	media	baja	baja	media-alta	media
70702	Charagua	alta	alta	baja	baja	alta	alta	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
70703	Cabezas	alta	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	media-alta	media-alta	baja	baja	media-alta	media-alta
70704	Cuevo	media	muy alta	baja	baja	baja	media	media-alta	media-alta	baja	baja	baja	media-alta
70705	Gutiérrez	media	alta	baja	baja	baja	alta	media-alta	media-alta	baja	baja	baja	media
70706	Camiri	media	alta	baja	baja	alta	media	alta	alta	baja	baja	alta	alta
70707	Boyube	media	alta	baja	baja	media	baja	media-alta	media	baja	baja	media	baja
70801	Vallegrande	baja	alta	alta	baja	alta	media	baja	media-alta	media-alta	baja	media-alta	media-alta
70802	Trigal	baja	alta	media	baja	baja	media	baja	media	media-alta	baja	baja	media-alta
70803	Moro Moro	baja	baja	baja	baja	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja	media
70804	Postrer Valle	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja	baja	baja	media	media
70805	Pucara	baja	baja	media	baja	baja	media	baja	baja	media	baja	baja	media
70901	Samaipata	baja	media	baja	baja	alta	alta	baja	media	baja	baja	media	media-alta
70902	Pampa Grande	media	baja	baja	baja	baja	media	media	baja	baja	baja	baja	media
70903	Mairana	baja	alta	media	baja	baja	media	baja	media-alta	alta	baja	baja	media-alta
70904	Quirusillas	baja	baja	media	baja	baja	media	baja	baja	media	baja	baja	media
71001	Montero	baja	baja	baja	baja	baja	alta	baja	baja	baja	baja	baja	alta
71002	Gral. Saavedra	media	baja	baja	baja	alta	alta	alta	baja	baja	baja	media-alta	media-alta
71003	Mineros	media	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja	baja	baja	alta
71004	Fernández Alonso	media	baja	baja	baja	baja	alta	media-alta	baja	baja	baja	baja	media
71005	San Pedro	alta	baja	baja	baja	alta	alta	media-alta	baja	baja	baja	media-alta	media
71101	Concepción	baja	baja	baja	baja	muy alta	alta	baja	baja	baja	baja	media-baja	media
71102	San Javier	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja	baja	baja	media-alta	alta
71103	San Ramón	muy alta	baja	baja	baja	muy alta	alta	media-alta	baja	baja	baja	media-alta	media-alta

71104	San Julián	baja	media	baja	baja	alta	alta	baja	alta	baja	baja	media-alta	media-alta
71105	San Antonio de Lomerio	baja	baja	baja	baja	alta	media	baja	baja	baja	baja	media	media
71106	Cuatro Cañadas	alta	baja	baja	baja	baja	alta	alta	baja	baja	baja	baja	media-alta
71201	San Matías	baja	media	baja	baja	muy alta	media	baja	media	baja	baja	media-baja	media
71301	Comarapa	alta	alta	media	baja	baja	media	media-alta	media-alta	media-alta	baja	baja	media-alta
71302	Saipina	media	baja	media	baja	baja	baja	media-alta	baja	media-alta	baja	baja	baja
71401	Puerto Suarez	baja	media	baja	baja	alta	media	baja	media	baja	baja	media	media-alta
71402	Puerto Quijarro	baja	baja	baja	baja	alta	media	baja	baja	baja	baja	media-alta	alta
71403	Carmen Rivero Torrez	baja	baja	baja	baja	alta	media	baja	baja	baja	baja	media-baja	media
71501	Ascensión de Guarayos	alta	baja	baja	baja	muy alta	alta	media-alta	baja	baja	baja	media	media-alta
71502	Urubichá	baja	baja	baja	baja	muy alta	media	baja	baja	baja	baja	media-baja	media
71503	El Puente	alta	baja	baja	baja	muy alta	alta	media-baja	baja	baja	baja	media	media-baja

Departamento: Beni

Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
80101	Trinidad	muy alta	alta	baja	baja	muy alta	alta	alta	alta	baja	baja	alta	alta
80102	San Javier	alta	alta	baja	baja	alta	alta	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
80201	Riberalta	muy alta	alta	baja	baja	muy alta	alta	alta	media-alta	baja	baja	media-alta	alta
80202	Guayaramerín	alta	muy alta	baja	baja	alta	alta	media-alta	media-alta	baja	baja	media	alta
80301	Reyes	muy alta	media	baja	baja	media	media	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media
80302	San Borja	alta	baja	baja	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media	media
80303	Santa Rosa	alta	muy alta	baja	baja	baja	alta	media	media	baja	baja	baja	media
80304	Rurrenabaque	muy alta	baja	baja	baja	muy alta	media	media-alta	baja	baja	baja	media	media-alta
80401	Santa Ana de Yacuma	alta	alta	baja	baja	alta	media	media-alta	media	baja	baja	media-baja	media-alta
80402	Exaltación	media	alta	baja	baja	alta	alta	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
80501	San Ignacio	muy alta	alta	baja	baja	alta	alta	media	media	baja	baja	media-baja	media
80601	Loreto	muy alta	alta	baja	baja	media	muy alta	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
80602	San Andrés	alta	muy alta	baja	baja	alta	muy alta	media	media-baja	baja	baja	media	media
80701	San Joaquín	media	alta	baja	baja	media	media	media	media	baja	baja	media-baja	media
80702	San Ramón	media	alta	baja	baja	alta	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja
80703	Puerto Siles	media	media	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja
80801	Magdalena	media	muy alta	baja	baja	alta	baja	media	media	baja	baja	media-baja	baja
80802	Baures	media	alta	baja	baja	alta	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja
80803	Huacaraje	media	alta	baja	baja	media	baja	media	media-baja	baja	baja	media-baja	baja

Departamento: Pando

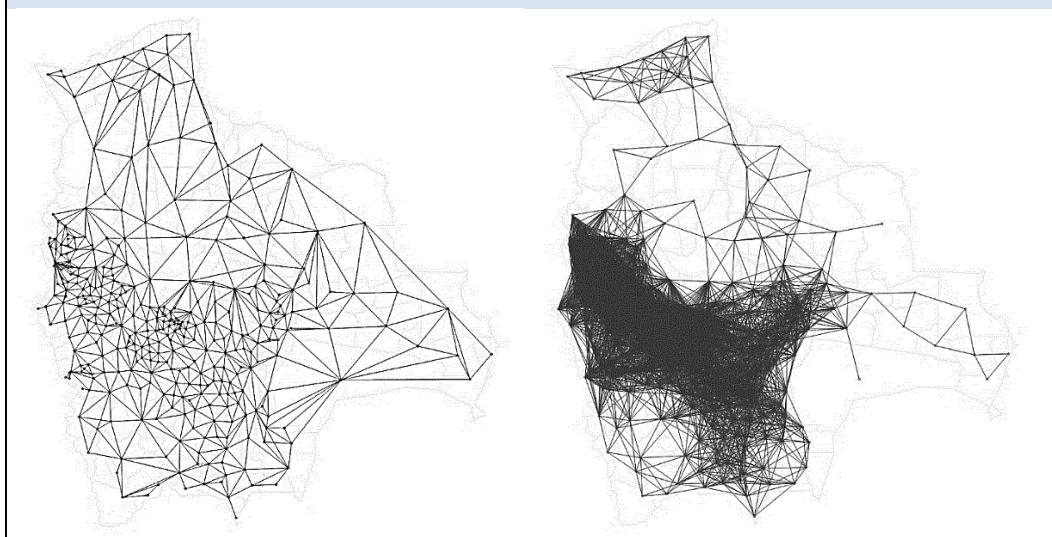
Código municipal	Municipio	Amenaza						Vulnerabilidad					
		inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas	inundaciones	sequias	heladas	granizadas	incendios	biológicas
90101	Cobija	alta	muy alta	baja	baja	alta	alta	alta	alta	baja	baja	alta	alta
90102	Porvenir	media	muy alta	baja	baja	alta	alta	media-alta	media	baja	baja	media-alta	media-alta
90103	Bolpebra	media	muy alta	baja	baja	baja	alta	media-baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja
90104	Bella Flor	media	baja	baja	baja	media	media	media-baja	baja	baja	baja	media-baja	media-baja
90201	Puerto Rico	alta	baja	baja	baja	alta	media	media-baja	baja	baja	baja	media-baja	media
90202	San Pedro	media	baja	baja	baja	media	media	media-baja	baja	baja	baja	media-baja	media-baja
90203	Filadelfia	media	muy alta	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja
90301	Puerto Gonzales Moreno	alta	baja	baja	baja	media	alta	media	baja	baja	baja	media	media
90302	San Lorenzo	alta	baja	baja	baja	muy alta	media	media-baja	baja	baja	baja	media	media-baja
90303	Sena	media	muy alta	baja	baja	baja	media	media-baja	media-baja	baja	baja	baja	media-baja
90401	Santa Rosa	baja	media	baja	baja	baja	baja	baja	media-baja	baja	baja	baja	baja
90402	Ingavi	media	muy alta	baja	baja	alta	baja	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja
90501	Nueva Esperanza	baja	muy alta	baja	baja	alta	media	baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
90502	Villa Nueva - Loma Alta	media	muy alta	baja	baja	alta	media	media-baja	media-baja	baja	baja	media-baja	media-baja
90503	Santos Mercado	baja	media	baja	baja	alta	baja	baja	media-baja	baja	baja	media-baja	baja

Anexo A1: Amenazas de desastres naturales

Para calcular las amenazas se empleó la información de recurrencias de eventos de desastres proporcionada por Viceministerio de Defensa Civil (VIDECI). En la información de recurrencias del VIDEI, existen municipios que no cuentan con información, debido a que no reportaron el suceso de eventos en el periodo considerado (2002-2020). Para complementar la información faltante, se combina la información de amenazas de Banco Mundial et al. (2014) con la información del VIDEI, empleando el algoritmo de Assunção et al. (2006).

El algoritmo de Assunção et al. (2006) considera una matriz de contigüidad/distancia entre unidades espaciales. En base a la matrix de contigüidad/distancia, se crea un gráfico de conectividad que captura la relación de vecindad entre los objetos espaciales. La estructura del vecindario se resume mediante un árbol de expansión mínimo (*minimum spanning tree*, MST). El resultado es la división de los objetos espaciales en regiones conectadas que tienen la máxima homogeneidad interna, y valores de unidades espaciales conectadas en el MST se consideran grupos comunes. En este estudio, la contigüidad/distancia entre unidades espaciales de la matriz se calculó mediante la triangulación de Delaunay (Figura A1.1).

Figura A1.1. Triangulación de Delaunay:
Matriz de contigüidad (izquierda) y matriz de distancia (derecha)



Las Figuras A1.2 y A1.3 ilustran el proceso de complementación de información faltante con el algoritmo MST, utilizando como ejemplo el caso de heladas e inundaciones. La Figura A1.2 muestra que 145 de los 339 municipios analizados en el estudio (43% del total) no tienen información sobre la recurrencia de heladas que permita aproximar el grado de amenaza a este evento. Para complementar esta información, se utiliza los datos de amenazas a heladas elaborados por el Banco Mundial, considerando la contigüidad/distancia espacial entre unidades espaciales (municipios).

Figura A1.2. Recurrencia de heladas (izquierda) y amenaza de heladas (derecha)

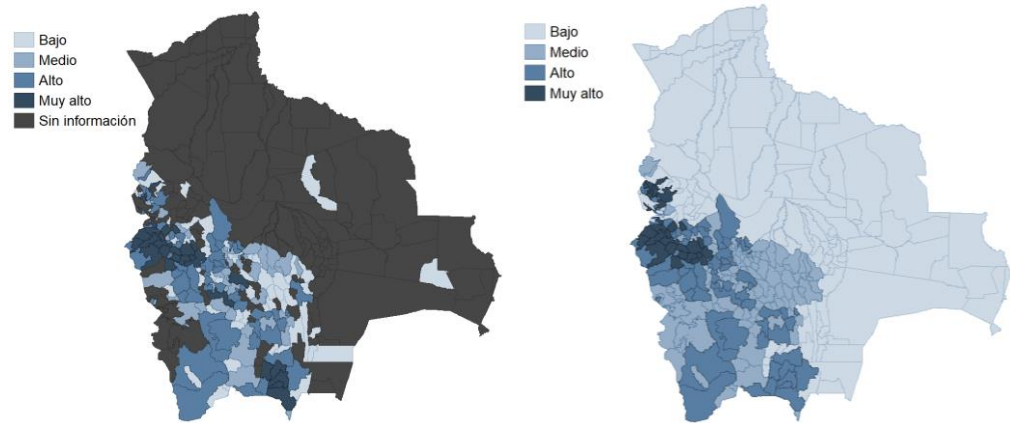
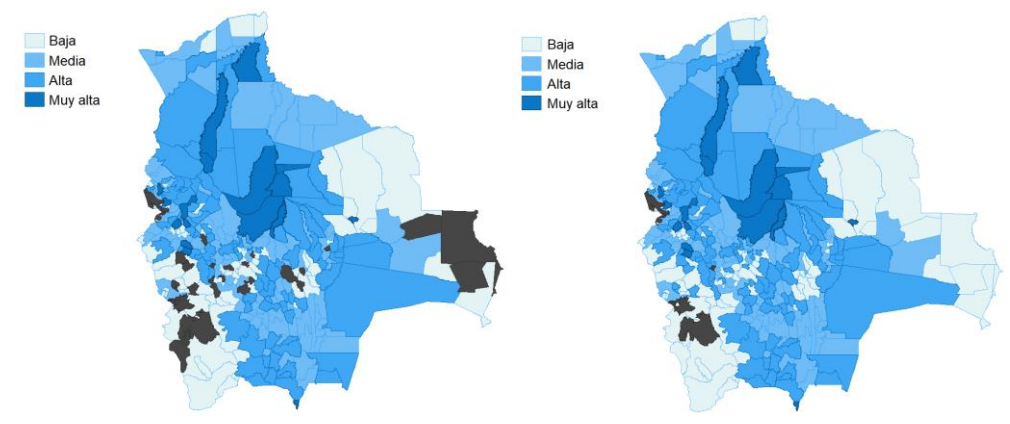


Figura A1.3. Recurrencia de inundaciones (izquierda) y amenaza de inundaciones (derecha)



Anexo A2: Amenazas biológicas

Para calcular el grado de amenaza biológica se utilizó información del número de casos reportados de SARS-CoV-2 (COVID-19) en cada municipio de Bolivia. Los datos de la población en los municipios y la prevalencia de COVID-19 se utilizaron para calcular el número de reproducción viral efectivo de cada municipio ($\mathcal{R}_e$), mediante la estimación Bayesiana semi-paramétrica del modelo epidemiológico de compartimentos de Zhou y Ji (2020). Los datos del número de reproducción viral efectivo de cada municipio $\mathcal{R}_e$ se categorizaron en 4 niveles de riesgo (bajo, medio, alto y muy alto) empleando el algoritmo Fisher-Jenks (Fisher, 1958; Jenks, 1977).

El modelo epidemiológico utilizado en el estudio es una extensión del modelo clásico SIR desarrollado por Kermack y McKendrick (1927). El modelo de Kermack y McKendrick (1927) describe el proceso en el que una población experimenta una epidemia mediante la asignación secuencial de grupos poblacionales en 3 compartimentos: aquellos susceptibles a ser infectados (S), los infectados (I) y la población recuperada de la infección (R). El modelo original SIR es un modelo de ecuaciones diferenciales determinístico que describe el flujo de población entre compartimentos S-I-R:

$$\begin{aligned}\frac{dS_t}{dt} &= -\frac{\beta}{N} S_t I_t \\ \frac{dI_t}{dt} &= \frac{\beta}{N} S_t I_t - \alpha I_t, \\ \frac{dR_t}{dt} &= \alpha I_t\end{aligned}$$

siendo β y α dos parámetros que representan la tasa de transmisión de la enfermedad y la tasa de eliminación, respectivamente. Dos métricas epidemiológicas clave que se derivan del modelo SIR son el número de reproducción básico ($\mathcal{R}_0$) y el número de reproducción efectivo ($\mathcal{R}_e$):

$$\mathcal{R}_0 = \frac{\beta}{\alpha}, \quad \mathcal{R}_e = \frac{\beta S_0}{\alpha N}$$

en los que S_0 es la población susceptible en el momento $t = 0$ y $N = S_t + I_t + R_t$. El número de reproducción básico $\mathcal{R}_0$ mide el potencial de transmisión de una enfermedad y representa el número promedio de

infecciones secundarias producidas por un caso típico de infección en una población donde todos son susceptibles. El número reproductivo efectivo $\mathcal{R}_e$ captura la situación en la que no toda la población se infecta y en consecuencia el número medio de casos secundarios por caso infeccioso será inferior al número básico de reproducción. Si $\mathcal{R}_e > 1$, el número de casos aumentará, si $\mathcal{R}_e = 1$ la enfermedad es endémica y si $\mathcal{R}_e < 1$ habrá una disminución en el número de casos.

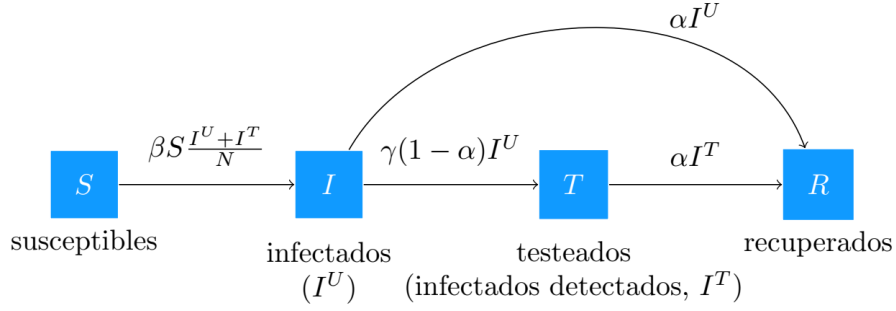
El modelo SIR clásico en tiempo continuo puede expresarse en tiempo discreto como:

$$\begin{aligned} S_t &= S_{t-1} - \beta \frac{S_{t-1} I_{t-1}}{N} \\ I_t &= (1 - \alpha) I_{t-1} + \beta \frac{S_{t-1} I_{t-1}}{N} \\ R_t &= R_{t-1} + \alpha I_{t-1} \end{aligned}$$

Zhou y Ji (2020) proponen una extensión al modelo SIR clásico en el contexto de la epidemia de COVID-19. Zhou y Ji (2020) proponen un modelo SI(T)R que incluye esfuerzos de testeo y separa a la población de personas contagiadas I en dos grupos: (1) un grupo I_t^T de personas contagiadas a las que se les ha detectado la enfermedad con algún test serológico, de antígeno o de reacción en cadena de la polimerasa (*Polymerase Chain Reaction*, PCR), y (2) un grupo I_t^U de personas infectadas que no saben que están infectadas, debido a que a que no fueron testeadas (porque tienen una sintomatología leve o por otro motivo), pero que aunque no testeadas aún están infectadas y pueden contagiar a otros segmentos de la población:

$$\begin{aligned} S_t &= S_{t-1} - \beta_{t-1} \frac{S_{t-1} (I_{t-1}^T + I_{t-1}^U)}{N} \\ I_t^U &= (1 - \alpha) I_{t-1}^U + \beta_{t-1} \frac{S_{t-1} (I_{t-1}^T + I_{t-1}^U)}{N} - B_{t-1} \\ I_{t-1}^T &= (1 - \alpha) I_{t-1}^T + B_{t-1} \\ R_t &= R_{t-1} + \alpha (I_{t-1}^T + I_{t-1}^U) \end{aligned}$$

siendo B_t los casos reportados de COVID-19. Gráficamente:

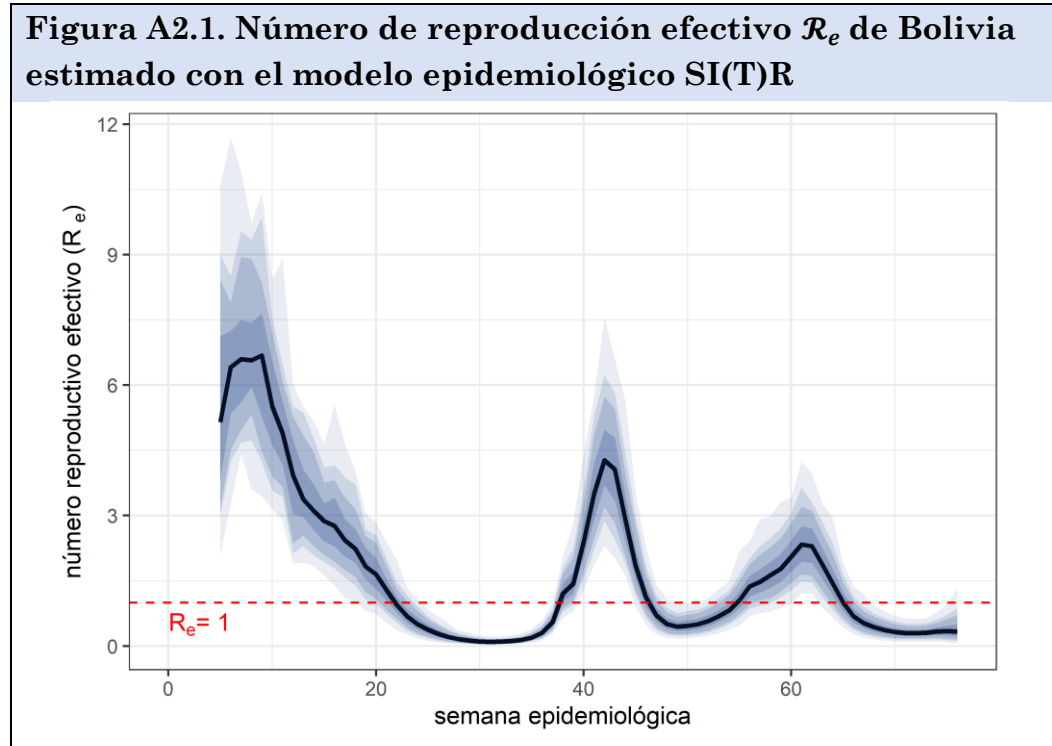


En el modelo de Zhou y Ji (2020) la tasa de transmisión β_t de la enfermedad no es constante a lo largo del tiempo, sino que cambia dependiendo de la situación de la epidemia o por políticas de contención. Esto permite capturar los cambios en la tasa de transmisión del COVID-19, por ejemplo, aquellos que se experimentan entre las olas (*waves*) de contagio de COVID-19, debido a la propia dinámica de contagio o por las políticas farmacéuticas o no farmacéuticas de contención de la epidemia. Debido a que la tasa de transmisión β_t es dinámica, el número de reproducción básico $\mathcal{R}_0$ y el número de reproducción efectivo $\mathcal{R}_e$ calculado en el estudio para Bolivia cambian también en el tiempo para reflejar los cambios en el riesgo de contagio de COVID-19:

$$\mathcal{R}_0(t) = \frac{\beta_t}{\alpha}, \quad \mathcal{R}_e(t) = \frac{\beta_t S_t}{\alpha N}$$

La Figura A2.1 muestra los resultados de estimar el número de reproducción efectivo $\mathcal{R}_e(t)$ de Bolivia, empleando el método semi-paramétrico Bayesiano descrito en Zhou y Ji (2020, sección 4) y datos de casos reportados de COVID-19 desde el 15 de marzo de 2020 (semana epidemiológica 1 en el gráfico) hasta el 22 de agosto de 2021 (semana epidemiológica 76 en el gráfico). En el gráfico, se observa que la estimación de $\mathcal{R}_e$ captura las tres olas de contagios de COVID-19 que se observaron en Bolivia ($\mathcal{R}_e > 1$) desde el inicio de la epidemia, así también como los periodos en que hubo una reducción de los casos de COVID-19 ($\mathcal{R}_e < 1$). La Figura A2.1 muestra también que han existido cambios en el número de reproducción efectivo entre olas de epidemia, siendo $\mathcal{R}_e(t)$ en general mas bajo en la segunda ola y en la tercera ola. Esta reducción del número de reproducción efectivo puede relacionarse

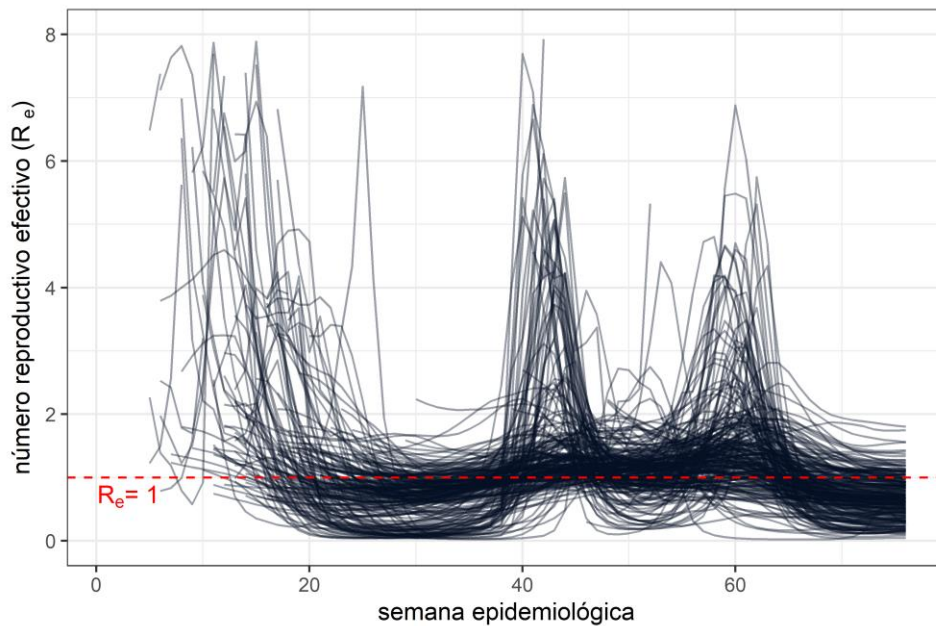
con las políticas de mitigación farmacéuticas (como la vacunación) y no farmacéuticas (como el distanciamiento social y los confinamientos).



La Figura A2.2 muestra los resultados estimar el número de reproducción efectivo $\mathcal{R}_e(t)$ en los municipios de Bolivia. Nuevamente se observan claramente tres olas de contagios de COVID-19, pero existen claras diferencias en la sincronía de la dinámica de reproducción viral efectiva entre municipios. Particularmente en la primera ola del COVID-19, algunos municipios empezaron después de otros a mostrar una escalada/desescalada de casos de COVID-19. Para capturar esta heterogeneidad en los riesgos de transmisibilidad entre municipios, en el estudio se toma el valor $\mathcal{R}_e(t)$ máximo de cada municipio en las últimas dos olas, y luego se clusteriza esta información en 4 categorías de riesgo (bajo, medio, alto y muy alto) utilizando el algoritmo Fisher-Jenks (Fisher, 1958; Jenks, 1977). Tomar el valor máximo de solamente las última dos olas evita el sesgo de imprecisión temporal y el sesgo de sobre-estimación o sub-estimación en el valor de la reproducción viral que se produce al principio de una epidemia de acuerdo a Ghostic (2020).

El algoritmo Fisher-Jenks busca iterativamente las mejores agrupaciones en función de qué tan cerca están entre sí los valores de $\mathcal{R}_e$ (minimizando la varianza media del grupo de municipios), y al mismo tiempo maximiza las diferencias entre las diferentes agrupaciones (maximizando la varianza entre grupos). Cuatro categorías se escogieron para que la clasificación de amenazas biológicas tenga relación con la categorización empleada por el VIDECI.

Figura A2.2. Número de reproducción efectivo $\mathcal{R}_e$ de los municipios, estimado con el modelo epidemiológico SI(T)R



Nota:

Semana epidemiológica 1: semana al 15 de marzo de 2020

Semana epidemiológica 20: semana al 26 de julio de 2020

Semana epidemiológica 40: semana al 13 de diciembre de 2020

Semana epidemiológica 60: semana al 2 de mayo de 2021

Anexo A3: Elicitación de priors con las respuestas de los expertos acerca del efecto que tiene cada indicador sobre la vulnerabilidad poblacional, para cada amenaza

En el estudio se realizaron encuestas a expertos para que especialistas de diferentes instituciones puedan reflejar su percepción sobre la importancia de variables determinantes para la vulnerabilidad de la población a inundaciones, sequías, granizadas, heladas, incendios y amenazas biológicas. Los especialistas trabajan en temáticas relacionadas a gestión de riesgos, vulnerabilidad de grupo poblacionales susceptibles, y ayuda humanitaria en Bolivia.

En la encuesta se proporcionó a los especialistas un listado de variables que pueden afectar la vulnerabilidad (para cada amenaza) y se les solicitó puedan otorgar un valor numérico entre 5 opciones de una escala de Likert: efecto alto (5), medio-alto (4), medio (3), medio-bajo (2), bajo (1). Las opciones de respuesta fueron: sin efecto, efectos positivos (+), o efectos negativos (-). El efecto positivo (marcado con el signo "+") indica que la variable hace más vulnerable a la población ante una amenaza específica (inundaciones, sequías, granizadas, heladas, incendios y amenazas biológicas). El efecto negativo (signo "-") indica que la variable hace menos vulnerable a una población ante una de las amenazas. En caso de que los expertos consideraran que una variable no tiene efecto sobre la vulnerabilidad ante una determinada amenaza, se les pidió dieran el valor de 0, es decir, sin efecto.

Efecto sobre la vulnerabilidad										
Reduce la vulnerabilidad					Sin Efecto (0)	Aumenta la vulnerabilidad				
Alto (-5)	Medio alto (-4)	Medio (-3)	Medio bajo (-2)	Bajo (-1)		Bajo (+1)	Medio bajo (+2)	Medio (+3)	Medio alto (+4)	Alto (+5)

Por ejemplo, si se considera que la variable "precipitaciones" aumenta la vulnerabilidad (tiene un efecto positivo) en el caso de una inundación, porque hay una mayor cantidad de personas expuestas ala amenaza, y si este efecto positivo es medio, se le otorgaría un valor de "3" en la fila de

la variable "precipitaciones", en la columna de la amenaza "Inundaciones". Asimismo, si la persona considera que ante una amenaza de sequía la vulnerabilidad se reduce, porque las precipitaciones han de reducir la amenaza, entonces se le otorga un valor negativo, que si la persona considera como una reducción media, se le otorgaría el valor de "-3", como se señala a continuación:

Q1. ¿En qué medida cree que la vulnerabilidad POBLACIONAL se ve afectada ante un(a) ...

	Inundaciones	Sequías	Granizadas	Heladas	Incendios	Biológicas
Incremento de las precipitaciones	3	-3	2	2	-4	0

La figura debajo muestra un ejemplo del llenado del cuestionario por parte de uno de los expertos:

Q1. ¿En qué medida cree que la vulnerabilidad POBLACIONAL se ve afectada ante un(a) ...

	Inundaciones	Sequías	Granizadas	Heladas	Incendios	Biológicas
Mayor cantidad de personas (densidad)	4	-3	1	1	4	5
Mayor cantidad o extensión de asentamientos	4	-3	2	2	4	5
Mayor densidad de redes camineras	-3	-4	-4	-4	-5	-5
Mayor cobertura de la infraestructura en salud	-5	-4	-5	-5	-4	-5
Mayor cobertura de la infraestructura en educación	-4	-4	-4	-4	-4	-5
Mayor cobertura del servicio de telefonía celular	-5	-3	-4	-4	-5	-5
Mayor cobertura del servicio de energía eléctrica	-3	-2	-4	-4	0	-5
Personas con discapacidad	4	2	2	2	4	5
Mayor tasa de dependencia (mas niños y adultos por persona en edad de trabajar)	4	3	3	3	4	5
Adultos mayores	4	2	3	3	5	5
Niñas, niños y adolescentes	4	3	2	2	4	5
Mayor nivel de educación	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Naciones Pueblo Indígena Originario Campesinos	4	3	3	2	-2	5
Mujeres	3	2	0	0	0	0
Mejor estado de salud de la población y mejores servicios de salud	-4	-4	-3	-3	-3	-5
Mayor superficie agrícola	3	4	2	2	1	0
Mayor actividad económica (producción de bienes y servicios)	-3	-3	-1	-1	-4	-5
Mayor acceso a servicios financieros	-2	-2	0	0	-2	-3
Mayores recursos destinados a la gestión de riesgo	-3	-3	-2	-2	-4	-5
Mayor cobertura de bosques	-5	-5	-3	-3	4	0
Incremento de la Temperatura	3	4	-1	-1	5	0
Incremento de las precipitaciones	3	-3	2	2	-4	0
Mejor calidad de la tierra (mayor superficie con bosques y tierra fértil)	-4	-4	-2	-2	2	0

Las encuestas se realizaron a 23 expertos e instituciones:

1. Antonio Miranda (Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, OCHA)
2. Amparo Ergueta (Cooperación Suiza en Bolivia, COSUDE)
3. Marco Antonio Rodríguez
4. Heber Romero
5. Silbert Siles Arteaga (CIPCA Santa Cruz)
6. Sergio Fernando Torres Moreno
7. Lidia Pereira (Humanity & Inclusion, H&I)
8. John Javier Larrea Rodríguez (Fundación Ayuda en Acción)
9. Carlos Mariaca (Viceministerio de Defensa Civil, VIDECI)
10. Willams Zavaleta Quiroz (Save the Children in Bolivia)
11. Marco Antonio Laura Morales
12. Alcides Carrasco Barrientos (Fundación Intercultural Nor Sud - Ayuda en Acción)
13. Gabriel Salinas (Fundación Intercultural Nor Sud - Ayuda en Acción)
14. Andrea López Valle
15. Reynaldo Ayala García (Cruz Roja Boliviana - Filial La Paz)
16. Maria de los Angeles Lara Mollinedo (PLAN International)
17. Pilar Arispe (PLAN International)
18. Pablo Ramos Roncal (CARITAS Suiza)
19. Oscar Mendoza (FAO Bolivia)
20. María Gabriela Carrasco Ferrufino
21. Jhamil Alex Caballero Camacho (Fundación Ayuda en Acción)
22. Shintaro Akiyama (JICA Bolivia)
23. Mariko Watanabe (JICA Bolivia)

Entre estas instituciones, el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA) es una organización no gubernamental (ONG) enfocada en el desarrollo rural que trabaja con organizaciones campesinas indígenas para contribuir a que se constituyan en actores relevantes en el proceso de cambios legales y sociales del país. H&I es una ONG independiente e imparcial que trabaja en situaciones de pobreza y exclusión, conflicto y desastre en alrededor de 60 países. *Ayuda en acción* es una ONG que lucha contra la pobreza y la desigualdad desde 1981 en 20 países de América Latina, Asia, África y Europa. Por

otra parte, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) está orientada hacia el trabajo de campo, enfocándose en la seguridad humana.

Las Figuras A3.1, A3.2 y A3.3 muestran los resultados de las encuestas. La amplitud de las barras en los gráficos representa la respuesta promedio de los expertos sobre el efecto de cada variable para la vulnerabilidad a una amenaza específica. En el caso de inundaciones, en promedio, por ejemplo, la existencia de bosques, la educación y el acceso a servicios reducen la vulnerabilidad de acuerdo con los expertos, mientras que los otros indicadores aumentan la vulnerabilidad (Figura A3.1). En el caso de las amenazas de sequías, los expertos consideran que además de la educación, la existencia de superficie boscosa, y el acceso a servicios de energía eléctrica y comunicación en un municipio, los recursos para la gestión de riesgos y la infraestructura de salud y educación reducen la vulnerabilidad a desastres (Figura A3.1).

La Figura A3.4 muestra los resultados agregados y la dispersión de las respuestas de los expertos. En el caso de la densidad poblacional, por ejemplo, los expertos coinciden en que esta variable provoca un aumento de la vulnerabilidad (efecto positivo), particularmente en el caso de inundaciones, sequías y amenazas biológicas. En el caso del nivel de educación, las respuestas de los especialistas se concentran en una reducción de la vulnerabilidad, particularmente para inundaciones, amenazas biológicas y heladas. Los valores promedio de las respuestas de los expertos se utilizan como el vector de posición del prior de las cargas factoriales en el modelo de vulnerabilidad Bayesiano, para cada amenaza: inundaciones, sequías, heladas, granizadas, incendios, y amenazas biológicas.

Figura A3.1. Elicitación de los hiper-parámetros de posición del prior de cargas factoriales en base a las respuestas de las encuestas

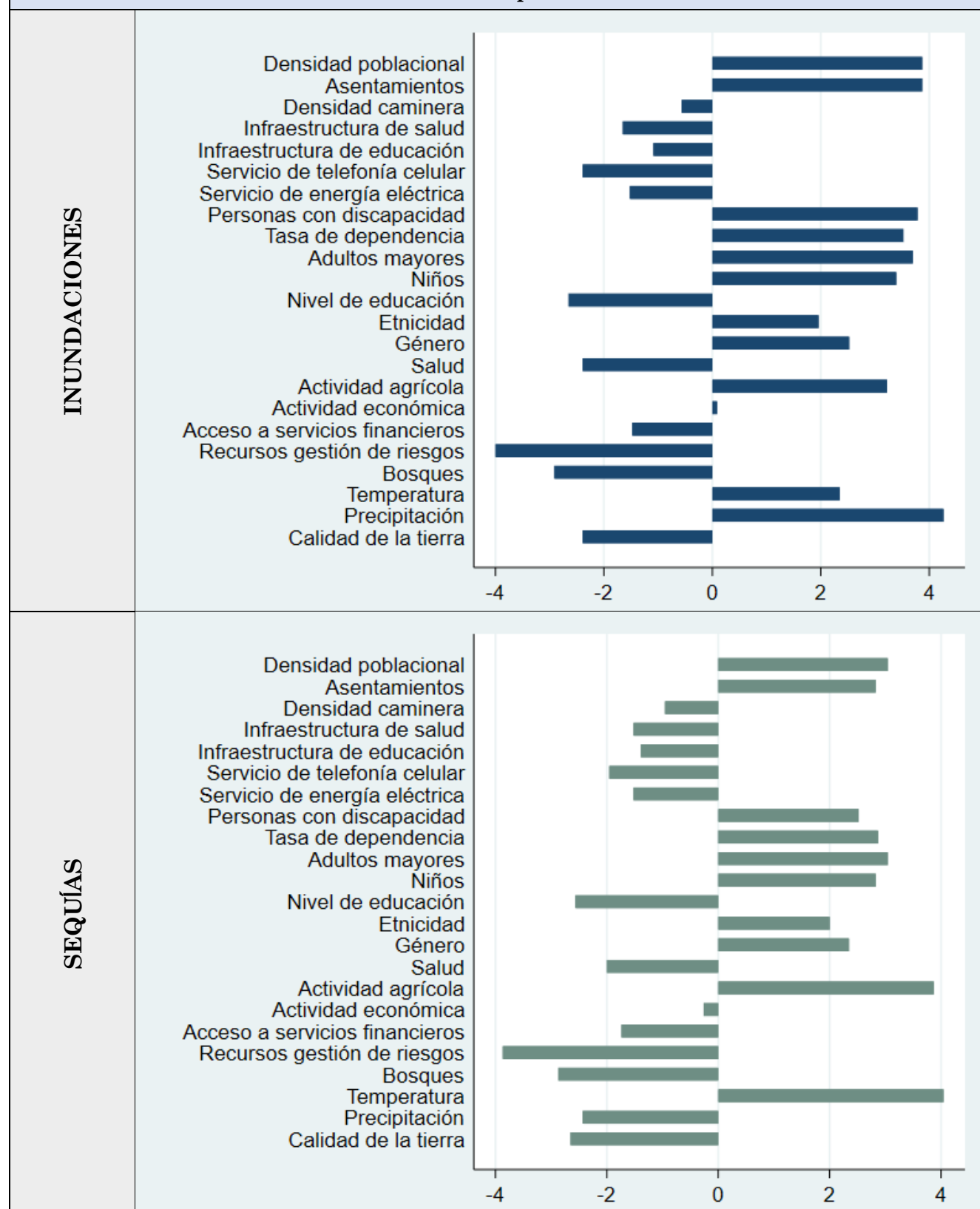


Figura A3.2. Elicitación de los hiper-parámetros de posición del prior de cargas factoriales en base a las respuestas de las encuestas

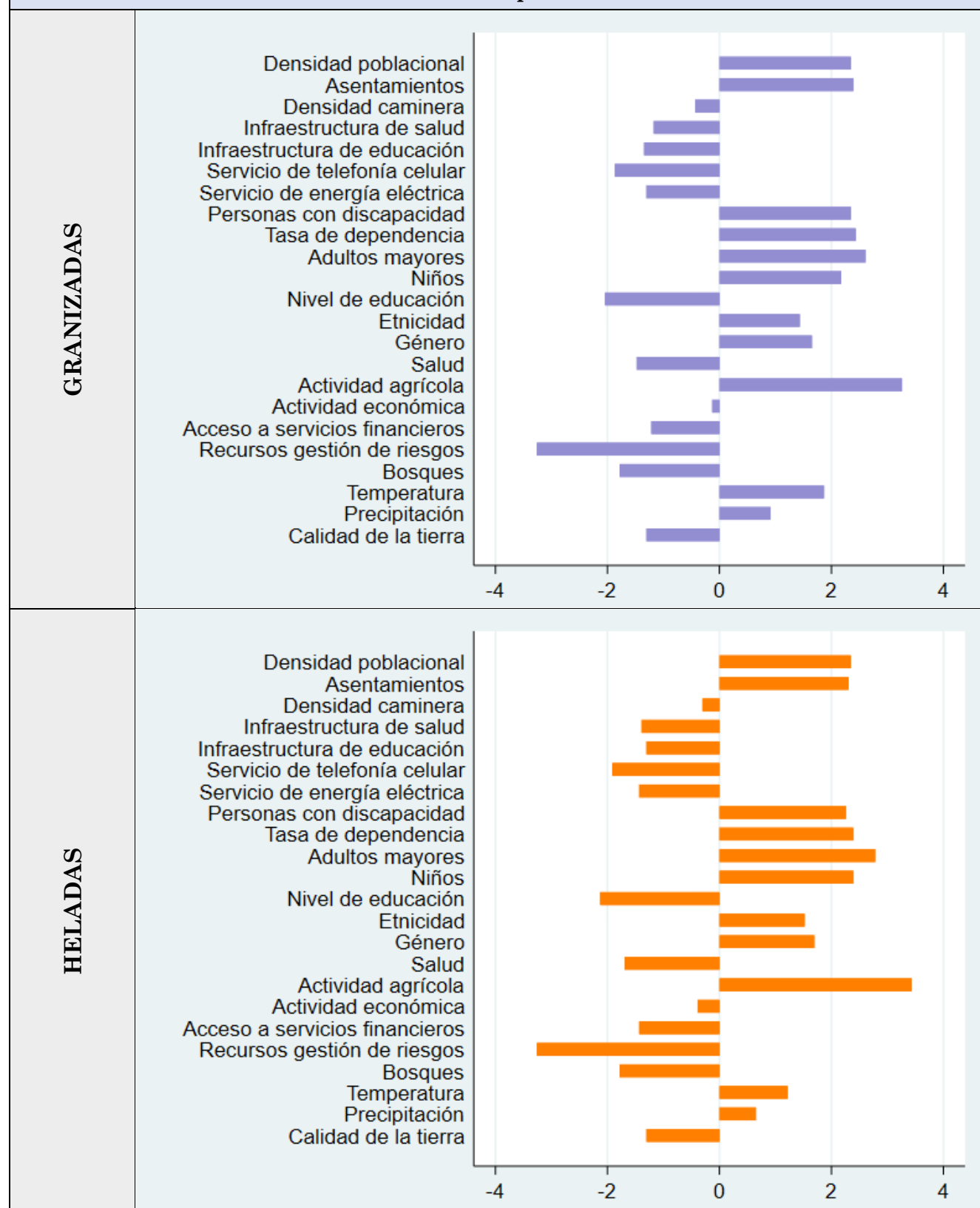


Figura A3.3. Elicitación de los hiper-parámetros de posición del prior de cargas factoriales en base a las respuestas de las encuestas

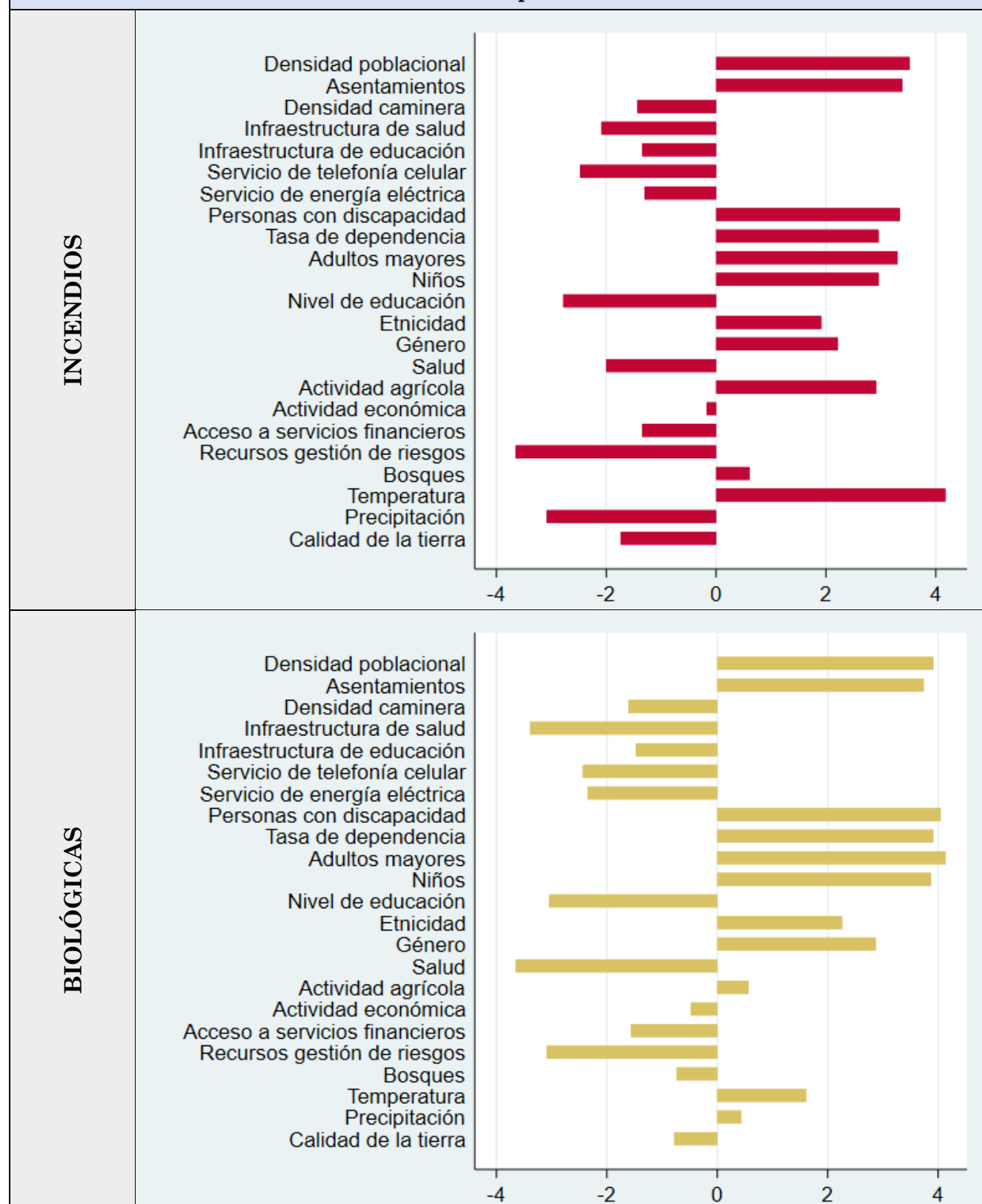


Figura A3.4. Elicitación de los hiper-parámetros de posición del prior de cargas factoriales en base a las respuestas de las encuestas: resultados agregados



