



Orientaciones para la zonificación del riesgo climático



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Cooperación Suiza en Bolivia

Reducción del riesgo de desastres

Orientaciones para
la zonificación del
riesgo climático

Créditos

Orientaciones para la zonificación del riesgo climático

Reducción del riesgo de desastres de la Cooperación Suiza.
HELVETAS Swiss Intercooperation.

Autor	Ivar Arana Pardo
Aportes temáticos	David Morales Rafael Paredes Oscar Paz Rada
Edición general	Claudia Rivadeneira Oscar Paz Rada
Fotos	Tony Suárez (Concurso de fotografía) Mancomunidad Región Andina de Cochabamba Mancomunidad Héroes de la Independencia Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras PROSUCO Ivar Arana
Depósito legal	4-1-971-14
Diseño e Impresión	Teleioo srl.

Abril 2014

Contenido

Acrónimos	5
Prólogo	7
1. Introducción y contexto	9
1.1. Antecedentes	11
1.2. Importancia de las Orientaciones	11
1.3. Estado de situación de la zonificación del riesgo en Bolivia	11
2. Conceptos importantes para la zonificación del riesgo	13
2.1. ¿Qué es exactamente el riesgo?	15
2.2. ¿Qué es una amenaza?	15
2.3. ¿Qué es la vulnerabilidad?	16
2.4. ¿Cómo se entiende el Riesgo?	20
2.5. Zonificación del riesgo	20
2.6. Evaluación del riesgo	21
2.7. Desastres	21
2.8. Mapa de riesgos y su uso	21
2.9. Actores sociales	22
2.10. Adaptación al cambio climático	22
2.11. Escala espacial	23
2.12. Escala temporal	24
2.13. Cambio climático	24
2.14. Variabilidad climática	24
2.15. Escenario climático	24
3. Los sistemas de información geográfica como herramienta para la zonificación del riesgo	27
3.1. Obtención y procesamiento de la información	29
3.2. Manejo, almacenamiento y recuperación de la información	30
3.3. Gestión y análisis de la información	31
3.4. Generación de productos	32
3.5. Uso de información de sensores remotos	33
3.6. Escalas de trabajo y representación	34
3.7. Unidad mínima cartografiable	34
3.8. Sistemas de proyección, coordenadas y georeferenciación	35
3.9. Parámetros de representación en los mapas	37
4. Consideraciones para el análisis espacial del riesgo integrando el impacto del cambio climático	41
4.1. Integración de la reducción del riesgo de desastres y el cambio climático en la zonificación del riesgo	43

5. Orientaciones para la zonificación del riesgo	45
5.1. Árbol de decisiones	47
6. Nivel 1. Aproximación básica de la zonificación del riesgo	49
6.1. Fase I. Cartografía base	52
6.2. Fase II. Determinación espacial de las amenazas	55
6.3. Fase III análisis de vulnerabilidad	58
6.4. Fase IV. Evaluación del riesgo	61
7. Nivel 2. Análisis basado en información sistemática	67
7.1. Fase I. Cartografía base	70
7.2. Fase II. Análisis espacial de las amenazas	73
7.3. Fase III. Análisis espacial de la vulnerabilidad	76
7.4. Fase IV. Zonificación del riesgo	81
8. Nivel 3. Análisis basado en indicadores complejos	83
8.1. Evaluación del riesgo actual	87
8.2. Análisis del riesgo futuro	94
9. Bibliografía	97
Anexos	101

Acrónimos

ACC:	Adaptación al Cambio Climático.
CMNUCC:	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
COE	Centro de Operaciones de Emergencias.
DEM:	Digital Elevation Model.
DGOT:	Dirección de Ordenamiento Territorial.
FUNDEPCO:	Fundación para el Desarrollo Participativo Comunitario.
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
IRS:	Indian Remote Sensing Satellite.
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change.
LDCM:	Landsat Data Continuity Mission.
Landsat MSS:	Landsat Multi Spectral Scanner.
GLCF:	Global Land Cover Facility.
NASA:	National Aeronautics Space Administration.
NCCR North South:	International, National Centre Competences in Research in North South.
NOAA:	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
OLI:	Operational Land Imager.
OXFAM:	Oxford Committee for Famine Relief.
PMA:	Programa Mundial de Alimentos.
PROSUCO:	Promoción Sustentable del Conocimiento Compartido.
PRRD:	Programa de Reducción del Riesgo de Desastres.
RRD:	Reducción del Riesgo de Desastres.
SEMENA:	Servicio para la Navegación Amazónica.
SIG:	Sistemas de Información Geográfica.
SINSAAT:	Sistema Nacional de Seguimiento a la Seguridad Alimentaria y Alerta Temprana.
SNHN:	Servicio Nacional de Hidrografía Naval.
SPOT:	Satellite Observador de la Tierra Spot 5.
UNISDR:	United Nations International Strategy Disaster Reduction.
USGS:	United States Geological Survey.
VDRA:	Viceministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario.
WGS84:	World Geodesic System 1984.

Prólogo

El Programa de Reducción del Riesgo de Desastres (PRRD) de la Cooperación Suiza, implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation, pone en consideración del personal técnico de los diferentes niveles del Estado el documento "*Orientaciones para la zonificación del riesgo climático*", el cual aporta con herramientas para identificar las amenazas de origen climático y las vulnerabilidades de acuerdo a las condiciones existentes en términos de información disponible.

Se identificó la necesidad de contar con herramientas actualizadas para zonificar el riesgo en los niveles subnacionales; el personal técnico requiere también orientaciones y muchos centros de formación solicitan instrumentos de fácil aplicación en este tema. Por ello el equipo del PRRD presenta estas orientaciones respondiendo a una demanda muy concreta de nuestros socios municipales.

El acceso a la tecnología mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se nutren de información georeferenciada de sensores remotos, cada vez con mayor resolución, proporciona oportunidades para mejorar mucho más las herramientas para el análisis del riesgo de desastres y la evaluación del impacto del cambio climático, con el propósito de generar opciones de respuesta a eventos extremos y adaptación al cambio climático. Sin embargo, esta información adquiere mayor trascendencia cuando está integrada con el conocimiento local en el ámbito territorial.

Estas orientaciones utilizan diferentes aspectos metodológicos y formas de aplicación práctica desde las experiencias de los socios del PRRD, con quienes se ha ido explorando y reflexionando la construcción y aplicación de los mapas de riesgo.

"Orientaciones de la zonificación del riesgo climático" no pretende remplazar los manuales de las herramientas SIG, ni poner barreras al proceso de investigación científica, sino más bien orientar a técnicos y profesionales de las diferentes áreas en la construcción de herramientas para el análisis espacial del riesgo, también pretende iniciar procesos que permitan hacer operativos los conceptos de vulnerabilidad, amenaza y riesgo desde una visión holística, recogiendo la experiencia de los socios del programa, tanto en el ámbito científico como en la recolección del conocimiento local. También busca un encuentro práctico de los enfoques de Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y Adaptación al Cambio Climático (ACC) en la aplicación de las herramientas de zonificación del riesgo.

La estructura del documento comprende tres partes: la primera explica los antecedentes, objetivos y alcances; la segunda, presenta los elementos conceptuales considerando la integración de la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático; finalmente, la tercera ofrece las orientaciones metodológicas estructuradas en tres niveles de análisis, orientando su aplicación en un árbol de decisiones para la selección del nivel más práctico para cada contexto.

El documento recoge el historial de aspectos técnicos y el conocimiento local en la construcción de la zonificación del riesgo climático, pretendiendo proporcionar criterios técnicos de análisis integrado de la RRD y ACC para mejorar la aplicación práctica en la gestión del riesgo y trascender de ésta a la adaptación al cambio climático desde lo local. De esta manera, se espera que los gobiernos regionales y locales, así como los centros de enseñanza puedan contar con un instrumento práctico para la construcción de mapas de riesgos, así como para la actualización de los mismos, proceso que a la larga debería ser implementado de manera rutinaria por las gobernaciones y municipios del país, como establece la normativa nacional.

Oscar Paz Rada
Coordinador del PRRD



1. Introducción y contexto

1.1. Antecedentes

El riesgo proveniente de las amenazas naturales adquiere singular importancia en el contexto internacional y nacional. En Bolivia, presenta un alto grado de sensibilidad debido a que gran parte de los medios de vida, especialmente en el área rural, dependen de las condiciones climáticas y donde cerca al 80 por ciento de las pérdidas por la ocurrencia de las amenazas naturales se debe al comportamiento climático, producto de la variabilidad, los eventos extremos y sus impactos de carácter agudo.

La ubicación geográfica y la configuración fisiográfica determinan diversas formas de exposición a las amenazas, presentan diferentes niveles de sensibilidad en los sistemas humanos y, en la gran mayoría de la población, existe baja capacidad de respuesta y/o adaptación.

Asociada a esta condición, surge la necesidad de “espacializar” la vulnerabilidad yendo más allá de la probabilidad de ocurrencia de amenazas de origen natural. Para determinar el riesgo, se debe evaluar la vulnerabilidad a partir de entender los factores y cómo estos afectan sus dimensiones; dando lugar a una aproximación más precisa puesto que la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y la Adaptación al Cambio Climático (ACC), establecen prioridades para realizar acciones de prevención, tanto en medidas estructurales (obras de ingeniería) y no estructurales (sociales e institucionales, entre otras).

La gobernabilidad de la RRD y ACC, si bien pasa por el fortalecimiento institucional, debe ser apoyada con la generación de instrumentos entre los que se encuentran los mapas de riesgo. Se espera que, a partir del acceso a la

tecnología, se mejore la precisión de estas herramientas y se permita tomar decisiones oportunas para la RRD y ACC en el proceso de desarrollo nacional, departamental, regional y local.

1.2. Importancia de las Orientaciones

Existen esfuerzos institucionales por representar el riesgo de desastres utilizando SIG, los mismos que necesitan aproximaciones y bases conceptuales comunes que permitan tener una interpretación espacial del riesgo a través del uso de herramientas cartográficas, útiles para la toma de decisiones y la preparación de medidas de adaptación o reducción del riesgo, desde la planificación del desarrollo.

El documento proporciona lineamientos orientadores bajo tres supuestos: **a)** cuando la unidad territorial de análisis no cuenta con información sistemática (red de observación meteorológica), situación frecuente en diferentes municipios del país donde se presenta la ocurrencia de amenazas (**nivel 1 de análisis**); **b)** cuando existe información meteorológica que permita inferir condiciones de sequía o eventos extremos (**nivel 2 de análisis**); y **c)** cuando se dispone de información meteorológica en series largas y también de herramientas más avanzadas como la determinación de indicadores (**nivel 3 de análisis**).

1.3. Estado de situación de la zonificación del riesgo en Bolivia

El fenómeno de El Niño 1997/98 ha marcado un hito importante en la zonificación de áreas de impactos causados por este fenómeno, la misma que estuvo a cargo del Sistema Nacional de Seguimiento

miento a la Seguridad Alimentaria y Alerta Temprana (SINSSAT). La información fue recogida a partir de las series meteorológicas observadas durante el evento, habiéndose diseñado varios mapas orientados a espacializar las amenazas de heladas, granizadas, inundaciones y sequías. Esta serie fue utilizada por el Programa Mundial de Alimentos (PMA) en el 2003 para generar el análisis de la cartografía de la inseguridad alimentaria. Sin embargo, esta serie de mapas no presentaba una memoria explicativa y la escala nacional sólo era referencial.

Asociado a esta experiencia, el SINSSAT generó también información para el seguimiento de las campañas agrícolas, la distribución de precipitaciones y el nivel de ríos para generar alertas de inundación con información observada de las estaciones limnimétricas ubicadas en diferentes puntos y puertos, lecturas realizadas por el Servicio Nacional de Hidrología Naval (SNHN) y el Servicio para la Navegación Amazónica (SEMENA).

La Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) el 2004, también desarrolló mapas de amenazas identificando zonas con promedio de ocurrencia de granizadas, heladas, sequías, inundaciones y, adicionalmente, generó el mapa de sismicidad.

El Atlas de Amenazas, Vulnerabilidades y Riesgos en Bolivia (2008) desarrollado por una alianza interinstitucional conformada por OXFAM Internacional, National Centre Competences in Research in North South (NCCR North South), Fundación para el Desarrollo Participativo Comunitario (FUNDEPCO), el Viceministerio de Defensa Civil (VIDECI) y la Cooperación al Desarrollo Integral, está basado en un análisis técnico que identifica cinco amenazas

naturales: terremotos y movimientos en masa como amenazas geológicas; inundaciones, sequías y heladas como amenazas hidrometeorológicas; así también, incendios forestales como amenazas socio-naturales. Cada amenaza cuenta con una serie de variables de base, pero no explica el tipo de modelación utilizada en la evaluación de la amenaza, ni cómo se integran estas variables para el análisis, asumiendo que es una simulación estocástica¹.

Por otra parte, se tiene el análisis de vulnerabilidad considerando tres dimensiones (física, económica y social) y no así los factores de vulnerabilidad existentes para cada tipo de amenaza (exposición y sensibilidad). Las limitaciones mayores en el análisis son la disponibilidad de información y los diferentes formatos de obtención y generación de la misma.

En 2012 el PMA, conjuntamente el VDRA, aporta con el "Mapa de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria" con datos más actualizados.

Otras iniciativas desarrollaron mapas de riesgos en niveles micros, como municipales y comunales. Esfuerzos importantes fueron realizados por varias mancomunidades en el marco del PRRD (fases II y III), como son: la Región Andina y el Caine en Cochabamba; Aymaras Sin Fronteras en Oruro, Norte Paceño Tropical en La Paz; Norte Potosí y Chichas en Potosí y Cintis en Chuquisaca; por su parte PROSUCO en el altiplano y los valles de Cintis, abordó el riesgo desde un enfoque agropecuario. En todas éstas, las aproximaciones se diferenciaron en el abordaje metodológico, en función de la existencia o no de información, pero en la mayoría de los casos contó con la participación de actores en la construcción de mapas de percepción local.

¹ Un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo.



Foto: Antonio Suárez

2. Conceptos importantes para la zonificación del riesgo

2.1. ¿Qué es exactamente el riesgo?

Para acercarse adecuadamente a una definición del riesgo, es preciso entender primero los conceptos de "amenaza" y "vulnerabilidad"; puesto que en función a términos espaciales: "el riesgo es el potencial encuentro de una amenaza sobre un territorio donde se encuentra un sistema humano vulnerable".

2.2. ¿Qué es una amenaza?

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, las pérdidas de los medios de sustento, servicios, trastornos sociales, pérdidas económicas o daños ambientales (UNISDR, 2009).

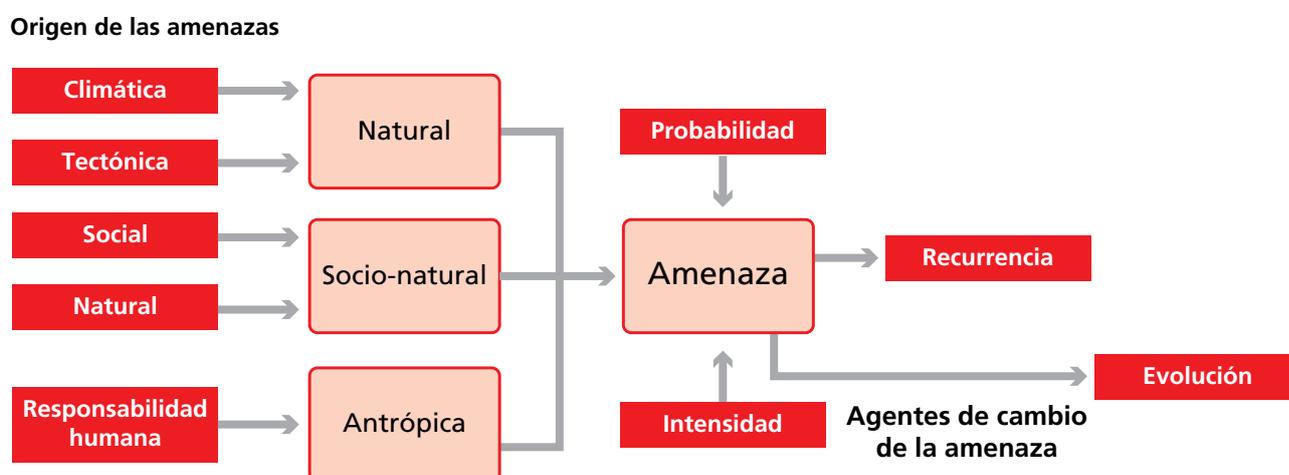
Una amenaza se materializa en función de su probabilidad de ocurrencia, su intensidad y la frecuencia con que

se presenta; la misma que evoluciona debido a las relaciones de diferentes aspectos desencadenantes, entre ellos el cambio climático.

Existen diferentes tipos de amenazas, clasificados por su origen como: amenazas naturales, socio-naturales y antrópicas. Las amenazas climáticas presentan una alta probabilidad de incertidumbre a momento de ser evaluadas y más aún cuando se pretende representar espacialmente. El carácter dicotómico a tiempo de representar una amenaza se describe a través de "la ocurrencia" o "no" de la misma. La sistematización de la información debe considerar aspectos inherentes al carácter, la recurrencia y la distribución espacial.

La amenaza está conformada desde el enfoque agroclimático por la relación de tres variables: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima en un período estacional (tres meses) y basados en la salida de un modelo estadístico. Estas variables son consideradas como los factores externos que inciden en el desarrollo fenológico de

Figura 1. Síntesis conceptual de las amenazas por su origen, el carácter y magnitud del mismo



Fuente: Elaboración propia.



Formación de nubes de granizada en Curahuara de Carangas.

los cultivos y los efectos adversos del aumento de intensidad y frecuencia de los mismos producen inundaciones, sequías, heladas, eventos extremos y excesos de calor (CIIFEN, 2010). A momento de aplicar los conceptos en la zonificación del riesgo se debe considerar estas relaciones.

2.3. ¿Qué es la vulnerabilidad?

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR, 2009) define la vulnerabilidad como: "las características y circunstancias de un comunidad, sistema o un bien que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza". Sin embargo, está determinada por factores económicos sociales y ambientales o procesos que incrementan el nivel de susceptibilidad de una comunidad a sufrir daño; por ejemplo, la posibilidad de un elemento del riesgo (persona o un medio de vida) que puede ser afectado o destruido por la ocurrencia de una amenaza. La

vulnerabilidad es estimada por el nivel de exposición y la valoración de la susceptibilidad de sufrir daño (situación determinada también por las características ambientales). En síntesis, es la propensión o predisposición que tiene un sistema natural o humano de ser afectado por la materialización de una determinada amenaza.

Desde el enfoque del cambio climático, el IPCC² (2001) define la vulnerabilidad como "la susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar efectos adversos del cambio climático y en particular de la variabilidad del clima y eventos extremos. La vulnerabilidad dependerá de la exposición, carácter, magnitud, rapidez del cambio al que está expuesto un sistema, su sensibilidad y capacidad de adaptación".

Desde ambos enfoques la vulnerabilidad es común. Sin embargo, para el impacto del cambio climático se identifica como factor de vulnerabilidad el carácter, magnitud y la rapidez del cambio con que se produce el mismo.

² Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático.

2.3.1. Factores de la vulnerabilidad

Determinan si un sistema humano es más o menos vulnerable. La evaluación de la vulnerabilidad tiene un alto grado de subjetividad, debido a que se pretende identificar condiciones en la que la amenaza puede tener mayor impacto. Son factores de la vulnerabilidad: a) la exposición, b) la sensibilidad, c) el carácter, magnitud y la rapidez del cambio en la amenazas, d) la capacidad de respuesta y/o adaptación.

2.3.1.1. Exposición

Espacialmente está determinada por la ubicación geográfica de la unidad territorial de análisis, sobre la cual actúa la influencia de la circulación general y la circulación local, que determinan condiciones de recurrencia de eventos climáticos adversos, con particularidades especiales que pueden materializar la amenaza, desencadenando en desastres. Adicionalmente, se debe considerar la proximidad de áreas o actividades económicas o servicios sociales en zonas sísmicas o con actividad volcánica.

La exposición se debe evaluar en las cuatro dimensiones de la vulnerabilidad (física, económica, social y ambiental) y categorizar cada una de ellas, por ejemplo: si se tiene una infraestructura de acceso o productiva, se valorará si está expuesta a una amenaza; en este caso particular la exposición afectará la dimensión física, que deberá ser valorada como: a) alta, b) media y c) baja. Los criterios para la categorización están en función a: la proximidad a las áreas de recurrencia de inundaciones, la proximidad a los ríos de curso cambiante y la distancia.

2.3.1.2. Sensibilidad

Se entiende como la capacidad de un entorno físico, económico, social o ambiental susceptible de alterarse ante la exposición u ocurrencia de una amenaza natural o antrópica.

En la evaluación de la vulnerabilidad es importante identificar cuánto depende la actividad económica, social o ambiental de las condiciones del tiempo, el clima y otras amenazas naturales, socio-naturales o antrópicas. Su efecto puede significar alteraciones negativas o positivas que inciden en las dimensiones de la vulnerabilidad. La valoración está en función del potencial efecto de las amenazas.

2.3.1.3. Carácter, magnitud y rapidez del cambio de las amenazas

Si no existe amenaza el riesgo es "Uno". En este factor de vulnerabilidad se considera también la rapidez del cambio en el comportamiento de las amenazas climáticas para integrar el riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en la zonificación del riesgo y su representación espacial en los mapas.

La probabilidad de ocurrencia de los eventos tiene como fuente de información la memoria histórica documentada, artículos de prensa, documento de declaraciones de emergencia o testimonios de los actores que ayudan a identificar los tipos de eventos existentes, así como la recurrencia, carácter y magnitud de las amenazas.

2.3.1.4. Capacidad de afronte, respuesta y/o adaptación

La capacidad se define como la combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro



Vista panorámica de una vivienda rural en el altiplano.

de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos de la RRD. (UNISDR, 2009). La capacidad puede incluir la infraestructura y los medios físicos, las instituciones y la capacidad de afronte de la sociedad, al igual que el conocimiento humano, las destrezas y los atributos colectivos tales como las relaciones sociales, el liderazgo y la gestión. La capacidad también puede describirse como aptitud.

En cambio la capacidad de respuesta es el suministro de servicios de emergencia y de asistencia pública durante o inmediatamente después de la ocurrencia de un desastre, con el propósito de salvar vidas, reducir los impactos a la salud, velar por la seguridad pública y satisfacer las necesidades básicas de subsistencia de la población afectada. (UNISDR, 2009)

La capacidad de afronte se define como la habilidad de la población, las organizaciones y los sistemas, mediante el uso de los recursos y las destrezas disponibles, de enfrentar y gestionar

condiciones adversas, situaciones de emergencia o desastres. (UNISDR, 2012).

La capacidad que tiene un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los eventos extremos climáticos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar los efectos positivos, o soportar las consecuencias negativas sin alterar su funcionamiento, es la capacidad de adaptación (IPCC, 2001).

La capacidad está en función de la organización social, los mecanismos de coordinación y deben ser interpretadas espacialmente a partir de los servicios de salud y educación, las vías de comunicación y los medios de vida.

2.3.2. DIMENSIONES DE LA VULNERABILIDAD

Las dimensiones de la vulnerabilidad (física, social, económica y ambiental) son intrínsecas (propias) de los sistemas humanos y naturales. Son las situaciones de fragilidad o debilidades de las personas, comunidades o municipios

para hacer frente a los efectos adversos de una amenaza.

2.3.2.1. Vulnerabilidad física

Es la condición de alteración o destrucción de la infraestructura de una comunidad, como son por ejemplo: las viviendas, los centros de salud, las escuelas, los hospitales, las edificaciones públicas y la infraestructura productiva.

2.3.2.2. Vulnerabilidad económica

Considera factores de la economía familiar con alta probabilidad de ser afectada por la potencial ocurrencia de una amenaza: insuficiencia de ingresos, desempleo, imposibilidad de acceso a servicios e imposibilidad de acceso a financiamiento para actividades productivas.

2.3.2.3. Vulnerabilidad ambiental

Cuando el modelo de desarrollo no se basa en la convivencia sino en la

explotación irracional y la destrucción de los recursos naturales, se habla de vulnerabilidad ambiental. Esta condición se refiere a la incapacidad del ecosistema para regularse y compensar efectos directos e indirectos de la acción humana y de la misma naturaleza. Un ejemplo es la deforestación de áreas reguladoras del ciclo hidrológico o cambio en el uso de la tierra.

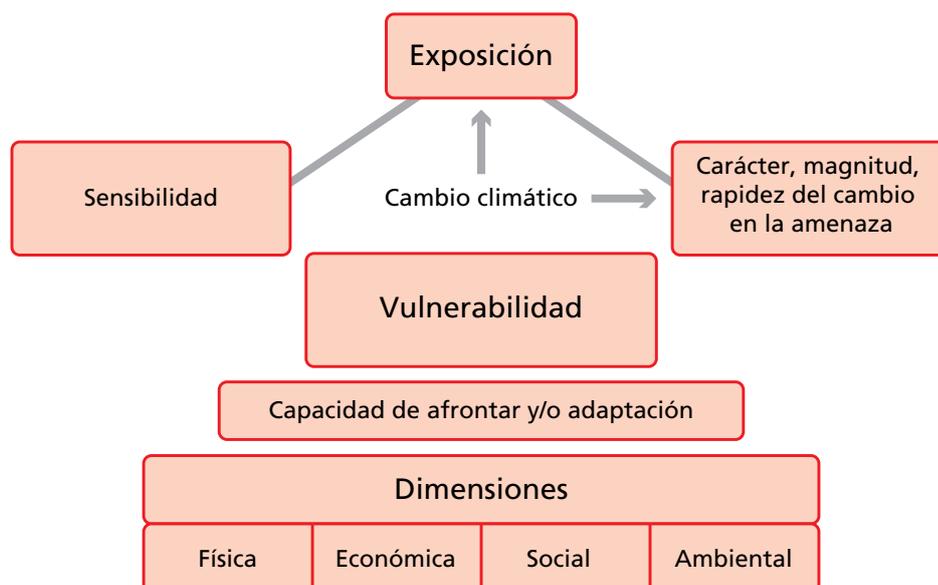
2.3.2.4. Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social puede ser política, institucional, organizacional, educativa, ideológica y cultural:

a) Vulnerabilidad política: Cuando en comunidades y municipios no existe participación y acuerdos para la toma de decisiones que afectan la gobernabilidad, se generan condiciones difíciles para la prevención y la respuesta a la ocurrencia potencial de las amenazas.

b) Vulnerabilidad institucional: Cuando la institución (municipio o gobernación)

Figura 2. Esquema de las dimensiones de Vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia.

no tiene autonomía para la toma de decisiones ni la capacidad de gestión y negociación, no se cuenta con la instancia responsable para llevar adelante políticas y tareas de prevención, ni hay coordinación intersectorial y multinivel.

c) Vulnerabilidad organizacional: Cuando las organizaciones son débiles, poco democráticas y escasamente representativas y no existe cooperación y solidaridad entre los habitantes del municipio y/o comunidad.

d) Vulnerabilidad educativa: Cuando el sistema educativo (formal e informal) no enseña cómo prevenir los riesgos ni cómo actuar en caso de que ocurra un desastre.

e) Vulnerabilidad ideológica y cultural: Cuando se piensa, por ejemplo, que los desastres son un castigo de Dios o de los astros y que no hay nada que se pueda hacer para prevenirlos y enfrentarlos.

2.4. ¿Cómo se entiende el Riesgo?

Como la probabilidad potencial de causar daño, como el resultado de la convergencia de la vulnerabilidad y las amenazas materializadas. Es la magnitud estimada de pérdida (de vidas, personas heridas, propiedades afectadas, medio ambiente destruido y actividad económica detenida) en un lugar dado y durante un período de exposición determinado para una amenaza en particular (Zimmerman, et al 2005).

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}}{\text{Capacidad de Respuesta}}$$

2.5. Zonificación del riesgo

La zonificación del riesgo es la interpretación espacial de la convergen-



Taller de evaluación participativa del riesgo de desastres.

cia de la amenaza y la vulnerabilidad en un espacio territorial ocupado por una determinada actividad humana. Se entiende también como un conjunto de herramientas que permiten identificar y categorizar el riesgo latente de una unidad de análisis, en base a criterios que permitan determinar y priorizar acciones para la reducción del riesgo. Sin embargo, estas condiciones no son estáticas, se mueven en función a los diferentes factores que determinan la vulnerabilidad y la evolución de la recurrencia o los cambios observados en la intensidad de las amenazas identificadas en este espacio. Asimismo, esta dinámica evalúa cómo se intensifica el nivel de exposición emergente del proceso de desarrollo.

El desarrollo construye en cierta medida la vulnerabilidad, producto de las oportunidades socio-económicas que ofrece el territorio, donde las formas de ordenamiento y ocupación del mismo pueden promover un alto nivel de exposición a amenazas existentes, no conocidas por las nuevas comunidades asentadas.

Las amenazas climáticas pueden ser modificadas por el cambio climático, la dinámica del desarrollo o la evolución de la naturaleza. Por tal motivo, la zonificación del riesgo debe considerar muchas variables estructurando una base de datos multicriterio que oriente la toma de decisiones y represente de la mejor forma posible los eventos que ocurren en el territorio.

2.6. Evaluación del riesgo

Es el conjunto de procedimiento y métodos para cuantificar o cualificar el nivel de vulnerabilidad en un espacio y tiempo donde convergen determinados tipos de amenazas. La probabilidad de

que suceda un tipo de amenazas puede identificarse a partir de su ocurrencia en el pasado o resultado de análisis científicos que permitan determinar la probabilidad de la ocurrencia, proyectando su intensidad y frecuencia.

Para la categorización del riesgo es necesario evaluar la vulnerabilidad y las amenazas en un espacio territorial y monitorear cómo se modifica en el tiempo.

2.7. Desastres

La Estrategia Internacional del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2009) en su glosario de términos describe los desastres como: "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".

Un desastre se entiende también como el "riesgo no manejado".

2.8. Mapa de riesgos y su uso

Un mapa de riesgos es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio o una expresión temática (geológica, geomorfológica, etc.) sobre una superficie bidimensional, generalmente plana. El riesgo se representa gráficamente en una unidad territorial de análisis que puede ser elaborado desde la percepción de la comunidad y/o desde la interpretación científica con información sistemática que es cuidadosamente ordenada y analizada.



Cultivos y viviendas precarias construidas en áreas altamente expuestas a deslizamiento en la Región Andina de Cochabamba.

El nuevo marco institucional del país debe considerar algunos aspectos importantes del desarrollo: los niveles de vulnerabilidad, amenazas y los factores que pueden acrecentar el impacto en los sistemas naturales y humanos. El mapa de riesgos es una consecuencia lógica de la correcta zonificación del riesgo.

2.9. Actores sociales

La reducción del riesgo de desastres involucra a múltiples actores: científicos del área social, científicos de las ciencias naturales e ingeniería, planificadores del uso de la tierra y ocupación del territorio, urbanistas gestores del desarrollo, compañías aseguradoras (fondos de transferencia del riesgo), autoridades políticas y, de manera preponderante, la población directa o potencialmente afectada. Las herramientas e instrumentos deben ser de importancia y conocimiento de todos los actores, quienes deben aplicarlos desde su ámbito de especialidad y desde

sus roles potenciales. (Zimmermann, et al., 2005).

2.10. Adaptación al cambio climático

Es el proceso de ajuste de los sistemas naturales o humanos al clima actual, la variabilidad climática o el clima esperado (escenarios climáticos) modificados por las emisiones de gases de efecto invernadero (Adecuado del IPCC, 2007).

También se define como las iniciativas y medidas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos contra el clima real o los cambios esperados y sus efectos. Existen varios tipos de adaptación: anticipatoria, reactiva, privada, pública, autónoma y planificada. Como ejemplos se tienen la construcción de defensivos en ríos, diques costeros, muros de contención, sistemas de drenajes de mayor capacidad, uso de variedades de cultivos más resistentes, entre otros (IPCC, 2013).

2.11. Escala espacial

El clima puede variar en una amplia gama de escalas espaciales, las mismas que pueden ser: locales (menos de 100.000 km²), regionales (100.000 a 10 millones de km²) y continentales (10 a 100 millones de km²). IPCC, 2001.

La zonificación del riesgo debe considerar estos niveles de escala puesto que la dinámica del desarrollo contribuye a la vulnerabilidad. En la escala local, ya se generan modificaciones del entorno ambiental y lógicamente afecta los medios de vida, sobre todo en el ámbito rural.

Existen diferentes dependencias de la condición del tiempo y del clima asociado al comportamiento aleatorio de la ocurrencia de eventos climáticos extremos; la naturaleza de las amenazas

climáticas tiene un alto grado de incertidumbre. Sin embargo, dependiendo de su evolución permiten localizarlas en el espacio territorial.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el uso de diversos recursos permiten comprender la configuración del espacio y ésta siempre dependerá de la ubicación del sitio que se pretende analizar.

Por otra parte, los fenómenos atmosféricos ocurren en diferentes escalas espacio-temporales desde escalas sinópticas con fluctuaciones en la circulación atmosférica, asociadas a los grandes sistemas de presión cercanas a los 5.000 km (la alta de Bolivia), hasta las meso escalares con fluctuaciones espaciales con longitudes de 200 km (Orlanski, 1975; Jansa 1990; Gutierrez, 2004). Ver Tabla 1.

Tabla 1. Escalas meteorológicas (adaptado por Gutiérrez et al, 2004, de Orlanski, 1975)

Nombre	Escala	Duración	Fenómenos atmosféricos
Macro a	15000 km	1 mes	Circulación general, ondas largas.
Macro b	5000 km	1 semana	Depresiones anticiclónicas
Macro g	500 km	2 días	Huracanes
Meso b	100 km	6 horas	Brisas, hondas de montañas, chorros de bajos niveles, complejos convectivos, isla térmica.
Meso g	5 km	1 hora	Tormentas, TAC ³ .
Meso-d	500 m	30 min	Cúmulos tornados, vientos catabáticos.
Micro b	50 m	5 min	Penachos estelares trombas, tolvánicas.
Micro-g	2 m	1seg	Ondas sonoras, turbulencia

Fuente: Adaptado de Orlanski por Gutiérrez et al, 1975.

³ TAC: Tormentas eléctricas de repentina aparición (OMM, 2014).

2.12. Escala temporal

Los fenómenos atmosféricos ocurren en un periodo determinado y su dimensiones pueden ser de escalas temporales diversas: estacionales, interanuales, decadales (diez años) o geológicas (hasta cientos de millones de años). IPCC, 2001.

El tiempo y el clima como factores determinantes de la producción agropecuaria, el comportamiento del grado de sensibilidad de los ecosistemas y su interpretación en un espacio territorial, podrían contribuir a entender el complejo de relaciones de la atmosfera, la superficie terrestre, la interacción con los océanos y las masas glaciares.

Los periodos recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para los estudios de clima son series de 30 años de observación. En tanto que para estudios del tiempo se pueden utilizar series de hasta diez años.

2.13. Cambio climático

Se define como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes de origen antrópico en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático-CMCC (1992), en su Artículo 1, define *cambio climático* como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que

altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables". La CMNUCC distingue entre *cambio climático* atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y *variabilidad climática* atribuida a causas naturales.

La zonificación del riesgo debe considerar estas definiciones a momento de analizar el clima futuro, identificar potenciales cambios en el carácter y magnitud de las amenazas asociadas al clima y elaborar un mapa de riesgos.

2.14. Variabilidad climática

Es la variación en el estado medio y otros datos estadísticos del clima (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de extremos, variación interanual, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa). IPCC, 2007.

2.15. Escenario climático

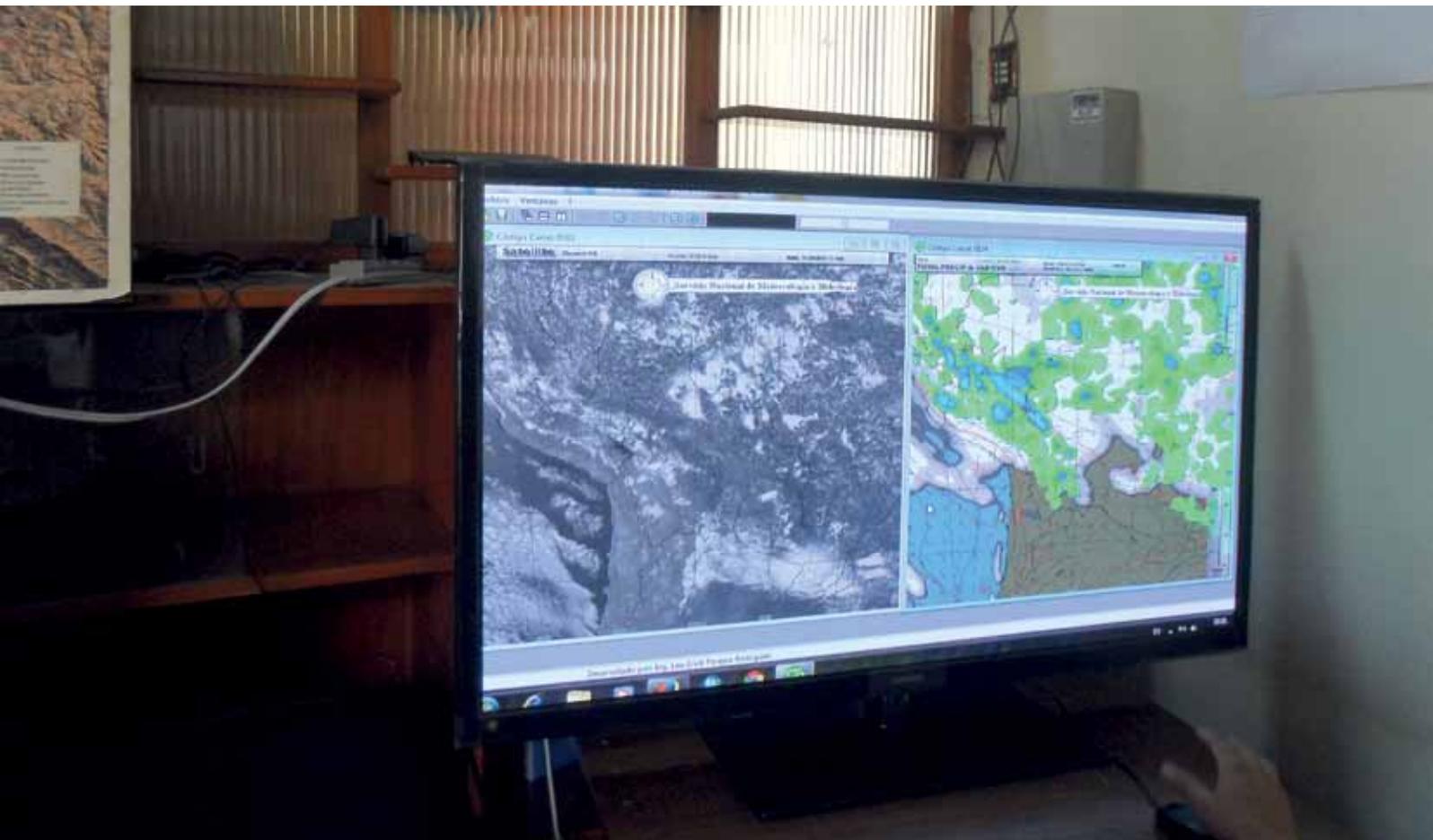
Es la representación plausible, a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antrópico y que sirve de insumo para las simulaciones de impacto. Las proyecciones climáticas sirven frecuentemente como materia prima para la construcción de escena-

rios climáticos, los mismos que requieren información adicional, por ejemplo, acerca del clima observado en un momento determinado. Un “escenario de cambio climático” es la diferencia entre un escenario climático observado histórico y el clima actual (IPCC, 2007).

Si se pretende generar instrumentos técnicos para la decisión política nacional es importante no dejar de lado esta construcción del clima futuro y la valoración anticipada de tendencias del impacto.



La manifestación de eventos extremos más frecuentes e intensos debidos al cambio climático.



3. Los sistemas de información geográfica como herramienta para la zonificación del riesgo

Para comprender mejor los que es un Sistema de Información Geográfica (SIG) se deben aclarar en primer lugar los siguientes términos:

- **Sistema.** Se refiere a la integración de la información en un soporte de operaciones para el manejo, análisis y toma de decisiones (Allard M. J., *et al*, 1994).
- **La información.** Puede mostrarse en forma de datos con la incorporación del conocimiento (forma de interpretarla) en un sistema de almacenamiento de información y presentarla en un sistema cartográfico integral (base de datos digital) de uso para la gestión de información con el propósito de la toma de decisiones acertadas que coadyuve a entender el riesgo de desastres en el plano espacial (territorio, ecosistema, sistema productivo, etc.).
- **Geográfico.** Estado de la información espacial, vale decir referenciado

en el espacio y presentado en forma de mapa.

Los mismos autores identifican cuatro funciones de los sistemas de información geográfica que son:

- Obtención y procesamiento de información.
- Manejo, almacenamiento y recuperación de información.
- Gestión y análisis.
- Generación de productos.

3.1. Obtención y procesamiento de la información

En la obtención y el procesamiento de la información se deben concentrar los mayores esfuerzos, porque de estas actividades depende la calidad del análisis. Se debe considerar toda la información



Estación agrometeorológica automática para la espacialización de las amenazas.

geográfica existente, cuidar mucho la resolución o escala de trabajo y usar una muestra representativa de la población, en caso de aplicarse encuestas, sondeos y otras herramientas de relevamiento de información.

Es importante tener como principal referencia la información oficial, especialmente sobre temas sensibles como los límites que pueden dar lugar a una mala interpretación o generar conflictos entre comunidades, municipios o departamento; del mismo modo, el levantamiento de la información de la percepción local debe ser sistemática, cruzando la misma en forma estratificada con los actores locales sin perder el horizonte multisectorial del abordaje de RRD y ACC.

3.2. Manejo, almacenamiento y recuperación de la información

3.2.1. Base de datos espacial

Es una colección de datos georeferenciados espacialmente que resulta de la modelación de la realidad. Los datos espaciales o geográficos presentan ciertas características que sirven para las diferentes aplicaciones en la gestión de los recursos naturales, sistemas epidemiológicos y planificación territorial. La combinación de estas aplicaciones debe involucrar a la gestión del riesgo de desastres y la ACC.

La información geográfica tiene tres componentes importantes: la posición geográfica, atributos y propiedades y el tiempo de observación (Allard, et al., 1994). Considerando que el riesgo no es estático, es más, con la presencia del cambio climático antrópico, se

constituye en un elemento de mayor dinámica.

a) Posición geográfica

La posición georeferenciada se refiere a la localización que puede ser:

- a) Absoluta. Identificación en un sistema de coordenadas, por ejemplo cartesianas (X,Y,Z) o geográfica global: latitud, longitud y altitud (filas y columnas) que describe un punto sobre una grilla, en un marco abstracto de referencia.
- b) Relativa: Es la ubicación con referencia a algunos objetos. Por ejemplo, la posición topológica, que es descrita a través de las relaciones con otros objetos adyacentes; por ejemplo intersecciones con o referentes direccionales como: "de", "bajo", "antes", "después", "a la izquierda", "a la derecha", o "próxima a la línea", "cerca" o "lejos", etc.

b) Atributos

Se trata de un tipo de información denominada "puntual" que a menudo no se representa de forma localizada en un plano de coordenadas y no está organizada con una localización permanente respecto a otros objetos o entidades invariables a los cambios de escala y proyección. Los atributos tienen un grado de incertidumbre, que puede ser considerado cuando se use la información en el análisis o modelación. Una unidad de uso del suelo u ocupación del territorio no es al 100% pura, incluso en pequeñas extensiones puede variar altamente su configuración. A menudo estas incertidumbres no son consideradas por los usuarios del SIG, sin embargo, es importante tomar en cuenta estas deficiencias.

Algunos atributos pueden ser considerados en las siguientes categorías descritas por Allard, et al (1994:15).

- **Nominal.** Valores que establecen identidad. Atributos descritos por el nombre sin un orden específico por ejemplo: tierras cultivadas, áreas urbanas, cuerpos de agua, superficie glaciar, matorrales o bosques. En este tipo de información cualitativa no es posible hacer operaciones matemáticas, sólo se deben agregar los totales.
- **Ordinal.** Este valor establece un orden inherente o ranking (primero, segundo, etc.) que incluye operaciones de la media o percentiles, pero no operaciones matemáticas.
- **Intervalo.** Atributo con una secuencia de intervalos iguales desde puntos determinados, con algún criterio particular o simplemente criterios con un punto cero arbitrario, cuando la división no tiene un sentido específico, por ejemplo establecer referencias de temperatura para clasificar el ganado en zonas frías de 12 a 5°C de temperatura, zonas templadas de 13 a 24°C y zonas calientes mayores a 25°C; estos intervalos pueden ser utilizados siempre considerando el objetivo de la zonificación que se pretende llevar adelante.
- **Tasa.** Atributo con algunas características del intervalo pero con el cero absoluto, o el inicio en un punto de referencia. Por ejemplo, la altura de precipitación para espacializar indicadores de inundación o intervalos de temperatura; este atributo permite realizar todas las operaciones matemáticas, mediciones geográficas o estadísticas como coeficientes

de variación, desvíos estándar, entre otros parámetros.

c) Tiempo

El tiempo es un componente crítico dentro de la información geográfica, el tiempo de observación puede inducir a percepciones equivocadas cuando las mediciones son tomadas en tiempos extremos y no se hacen comparables entre sí.

La información temporal puede ser descrita en términos de:

- **Duración.** Series de información existente en una base de datos común. Para la zonificación del riesgo es importante considerar estos intervalos que son también fuentes de incertidumbres en el análisis.
- **Resolución temporal.** Se refiere al nivel de discretización que las series de datos permiten y pueden agregar por unidad de tiempo, por ejemplo: análisis diario, análisis mensual de datos sobre precipitación, flujos de escorrentía superficial, características de la cobertura vegetal, etc.
- **Frecuencia temporal.** La frecuencia sobre el tiempo (relación) es importante para la valoración de una cuenca en términos de intensidad de precipitación, como elemento de evaluación en una cuenca para ver la descarga que puede dar lugar a una riada, por ejemplo la descarga de un río por hora, el caudal de un río, promedio diario de descarga, etc.

3.3. Gestión y análisis de la información

Procesada la información con las consideraciones anteriores, se procede a

la gestión y análisis de la información según el interés y los objetivos de uso. Las amenazas identificadas podrán ser espacializadas en base a la ocurrencia en anteriores gestiones y basadas en la información de los actores ocupantes del territorio.

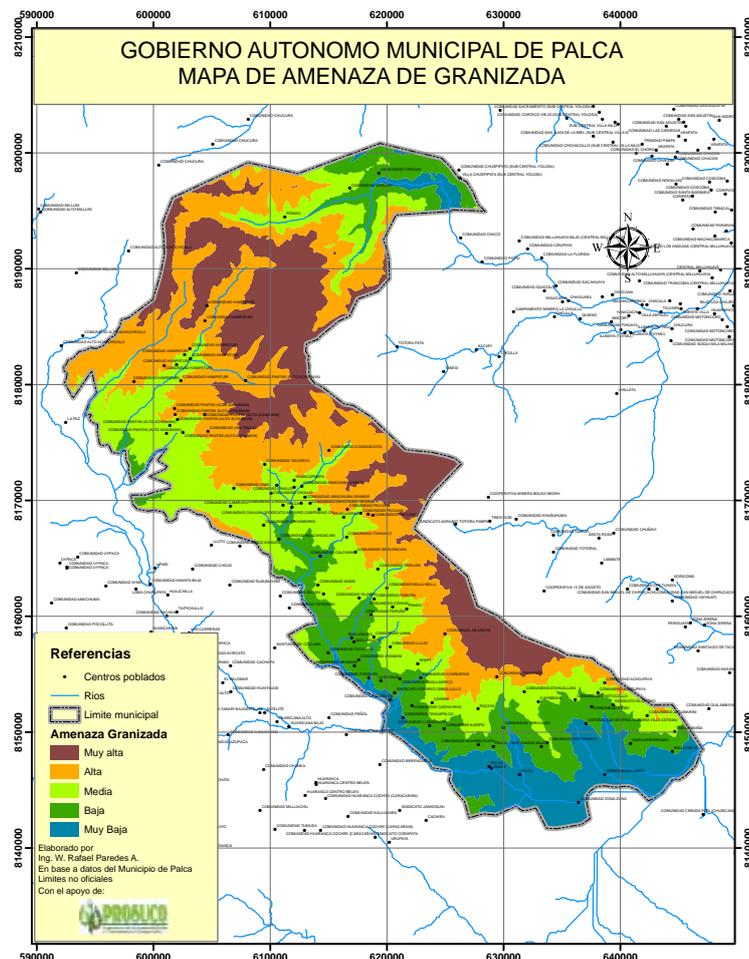
Las amenazas tienen su naturaleza, por lo que es importante identificar las variables que las constituyen (por ejemplo la inundación depende de la pendiente, precipitación, infiltración, etc.) y determinar si éstas pueden ser comparadas e integradas en la base de datos con la información geográfica contenida en los formatos Raster y vector (imagen satelital o de radar, y/o polígonos de usos del suelo, respectivamente); al mismo tiempo pueden ser

cruzadas, aplicando las funciones del software utilizando algebra de mapas, que son herramientas que dan una gran posibilidad de análisis, sin perder el norte de los objetivos del análisis.

De la información "puntual" es posible también extrapolar datos relevantes aplicando funciones de interpolación, siempre reflexionando sobre las condiciones que la realidad plantea: los sistemas de proyección y la escala.

3.4. Generación de productos

En la zonificación del riesgo se encuentra el análisis de vulnerabilidad, amenazas y riesgo. No es sólo un mapa que



Zonificación de la ocurrencia de granizada en el Municipio de Palca.

Fuente: Rafael Paredes, 2014.

se genera, sino una serie de ellos. En una visión global estratégica muchos autores generan un análisis multiamente que permite una aproximación general, útil para la priorización de regiones de intervención, sin embargo, no suele ser funcional para la implementación de estrategias de respuesta en el ámbito local ya que en esa situación es más importante el análisis por tipo de amenaza.

Los productos pueden ser presentados en un poster de mapas, acompañados de una memoria explicativa que describa de manera transparente los criterios de valoración del riesgo, además de los criterios para determinar las escalas; sin una memoria, el mapa corre el riesgo de ser sólo un instrumento decorativo. La experiencia ha mostrado que algunos responsables de unidades de gestión de riesgos municipales, utilizan los mapas de riesgos directamente en sus computadoras, donde sobreponen las infraestructuras a proyectarse para saber si las mismas correrán algún tipo de peligro. Por ello es importante considerar el SIG como una herramienta técnica para la toma de decisiones.

3.5. Uso de información de sensores remotos

El desarrollo tecnológico permite acceder a información espectral (reflectancia terrestre) generada por los satélites de observación de la tierra. Se tienen satélites comúnmente utilizados como Landsat 8; Landsat MSS y Thematic Mapper, SPOT y el IRS. Estas imágenes son aeroespaciales (fotografías aéreas e imágenes de satélite) las mismas que contienen información importante sobre la superficie terrestre y cerca de la misma (tropósfera) donde ocurre una serie de fenómenos que influyen sobre las fases del ciclo hidrológico.

Estas fuentes de información espacial son integradas en cálculos con otros tipos de información espacial.

Las imágenes satelitales son la representación visual de información capturada desde un satélite artificial. Según su resolución espacial (tamaño del pixel) se dividen en imágenes de alta resolución (< 2.5 m), de resolución media (< 30 m) y baja resolución (≥ 30 m). En el Anexo 1, se muestran las principales características de los satélites.



Instalación de una estación agrometeorológica telemétrica.

3.6. Escalas de trabajo y representación

La escala del mapa a usarse debe corresponder a un factor de enfoque del terreno que se desea precisar, que contenga información técnica, por una parte, a nivel del estudio y del trazado de campo, lo cual está determinado por un cierto nivel de análisis en función del espacio por cubrir y los detalles por alcanzar; por otra, la representación adecuada donde la escala se convierte en una condición de precisión, legibilidad, adecuada presentación y eficacia del mapa.⁴

3.7. Unidad mínima cartografiable

El principio del área mínima cartografiable permite lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso. Este principio indica que

a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados, de lo contrario dificultarían la distinción por parte del usuario cuando se lea en formato analógico (Salitchev 1979). Las sugerencias de área mínima deben ser consideradas como una guía y no como un valor absoluto.

a) Escala de trabajo

Se refiere a la relación existente entre las unidades del terreno (superficies, distancias, localización, etc.) y el nivel o detalle en la representación del mismo. No se debe confundir la escala de trabajo con la resolución de píxeles que se trabaja, en todo caso se debe hacer la analogía entre la superficie que cubre un píxel y su grado de error.

Las escalas recomendadas para la elaboración de mapas en las diferentes unidades territoriales de las entidades territoriales autónomas del Estado son las siguientes:



El nivel de disección determinará el nivel de escala de trabajo. La imagen muestra un alto nivel de disección que demandará mayor detalle en el análisis.

⁴ Asociación Cartográfica Internacional, 1966.

Tabla 2. Escalas recomendadas para diferentes espacios y ámbitos de aplicación

Descripción	Escala
Nacional	> 1: 1000000
Departamental	1:1000.000 – 100.000
Regional o de mancomunidades de municipios	1:500.000 – 250.000
Territorios indígenas originarios campesinos o municipal	1:50.000 - 100.000
Localidades o comunidades	< 1: 50.000

Fuente: Elaboración propia.

Un municipio, dependiendo de su superficie, puede cubrir de 6 a 20 hojas topográficas a escala 1:50.000 por ello se recomienda el manejo adecuado de las escalas para los niveles de análisis.

b) Escala de representación

La escala de representación corresponde a la simplificación o generalización de la información para ser representada en diferentes escalas, es decir que la información trabajada a escala 1:50.000 podría ser representada en escalas 1:250.000, para lo cual se recomienda la correcta administración del espacio disponible para el dibujo.

Se recomienda que la representación pueda estar administrada en diferentes tamaños: A0 (Tamaño Afiche) o tabloide (doble carta) como anexo en los documentos y, en función a ello, establecer sus respectivas escalas y elementos que serán destacados finalmente.

3.8. Sistemas de proyección, coordenadas y georeferenciación

El análisis de datos en un SIG integra información de diferentes fuentes. Los datos espaciales representados en un mapa ya sean en formatos vector o Raster, pueden ser combinados en capas si, únicamente, están referenciados en términos relativos (en relación a cada una de otras capas con la que se pretende integrar) o en términos absolutos (su localización sobre la superficie del planeta tierra).

La aproximación seleccionada, por ejemplo: el uso de un sistema de coordenadas común para registrar los diferentes datos de cada capa o uno de los datos de una capa con referencia relativa, puede provocar un problema en la gestión de la información geoespacial (Allard, *et al*, 1994), es así que a continuación se presentan algunos sistemas de coordenadas de uso común en Bolivia. La base de esta sección son los estándares existentes en el Instituto Geográfico Militar (IGM).

a) **Sistemas de coordenadas**

La ubicación de un punto en la superficie de la tierra está definida por sus coordenadas. Es posible usar los dos métodos siguientes.

■ **Coordenadas geográficas**

Cada ubicación tiene una longitud y latitud en grados sexagesimales. Las alturas se expresan en metros con respecto al Datum vertical más relevante.

■ **Coordenadas rectangulares**

Cada ubicación tiene un Norte y un Este (x,y), expresada en metros, así como las alturas se expresan en metros con respecto al Datum vertical más relevante.

b) **Datum**

■ **Datum horizontal**

Los DATUM empleados en el país están en relación al sistema WGS84, (World Geodetic System, 1984) y los correspondientes al DATUM PSAD-56. La cartografía oficial del país emplea ambos parámetros.

■ **Datum vertical**

Todos los datos de elevación deben registrarse con respecto a DATUM vertical Arica 1950-1952.

c) **Proyecciones**

■ **Proyección geográfica**

El Sistema de Coordenada Geográfica es una forma de datos muy conveniente para intercambiar datos espaciales y proveer mapas sin uniones. Los grados decimales no proveen un buen mecanismo para la generación de estadísticas cuando las unidades no son comunes, y las formas y medidas de los elementos gráficos no son correctas. Es preferible tener datos en la Cónica Conforme de Lambert o UTM, dependiendo del tamaño del área de estudio.

■ **Proyección Cónica Conforme de Lambert**

Esta proyección predefine parámetros específicos y es la mejor para mostrar todo el país sin uniones. Las estadísticas de esta proyección están en metros y metros cuadrados. Los errores introdu-

Tabla 3. Parámetros para la proyección Cónica del Lambert para Bolivia

Descripción	Parámetro
Meridiano central	64° 00' Oeste
Latitud origen	24° 00' Sur
1er Paralelo estándar	11° 30' Sur
2do Paralelo estándar	21° 30' Sur
Falso Este	1'000.000 m
Falso Norte	0 m

Fuente: Sistema Único Nacional de Información de la Tierra (SUNIT), 2007.

Tabla 4. Parámetros de las zonas de la coordenada Unidad Transversal de Mercator

Cuadrícula UTM	ZONA 19	ZONA 20	ZONA 21
Meridiano central	69° Oeste	63° Oeste	57° Oeste
Latitud de referencia	0° 00'00"	0° 00'00"	0° 00'00"
Factor de escala	0,9996	0,9996	0,9996
Falso Este	500.000 m.	500.000 m.	500.000 m.
Falso Norte	10'000.000 m	10'000.000 m	10'000.000 m

Fuente: Sistema Único Nacional de Información de la Tierra (SUNIT), 2007.

cidos en la superficie de esta proyección están distribuidos de manera desigual, con una variación de error promedio de superficie de 7.000 ha.

■ Proyección UTM

Esta proyección predefine parámetros específicos para el Transverse Mercator⁵. Este juego de proyecciones es el mejor para la recolección de los datos de campo, áreas de estudio locales o municipales y para la integración de datos de muchas fuentes. Las estadísticas de esta proyección están en metros y metros cuadrados. Los errores introducidos en la superficie de esta proyección están distribuidos en todas las partes de la zona, y son más aceptables que la Cónica Conforme de Lambert.

La proyección UTM es un caso de Transverse Mercator, que mantiene forma y dirección (ángulo), pero distorsiona la superficie y las distancias.

No se recomienda poner el número de la zona UTM (19, 20, 21) antes que el Norte (Y), como algunos mapas base. En Bolivia existen tres zonas que difieren fundamentalmente en el meridiano central.

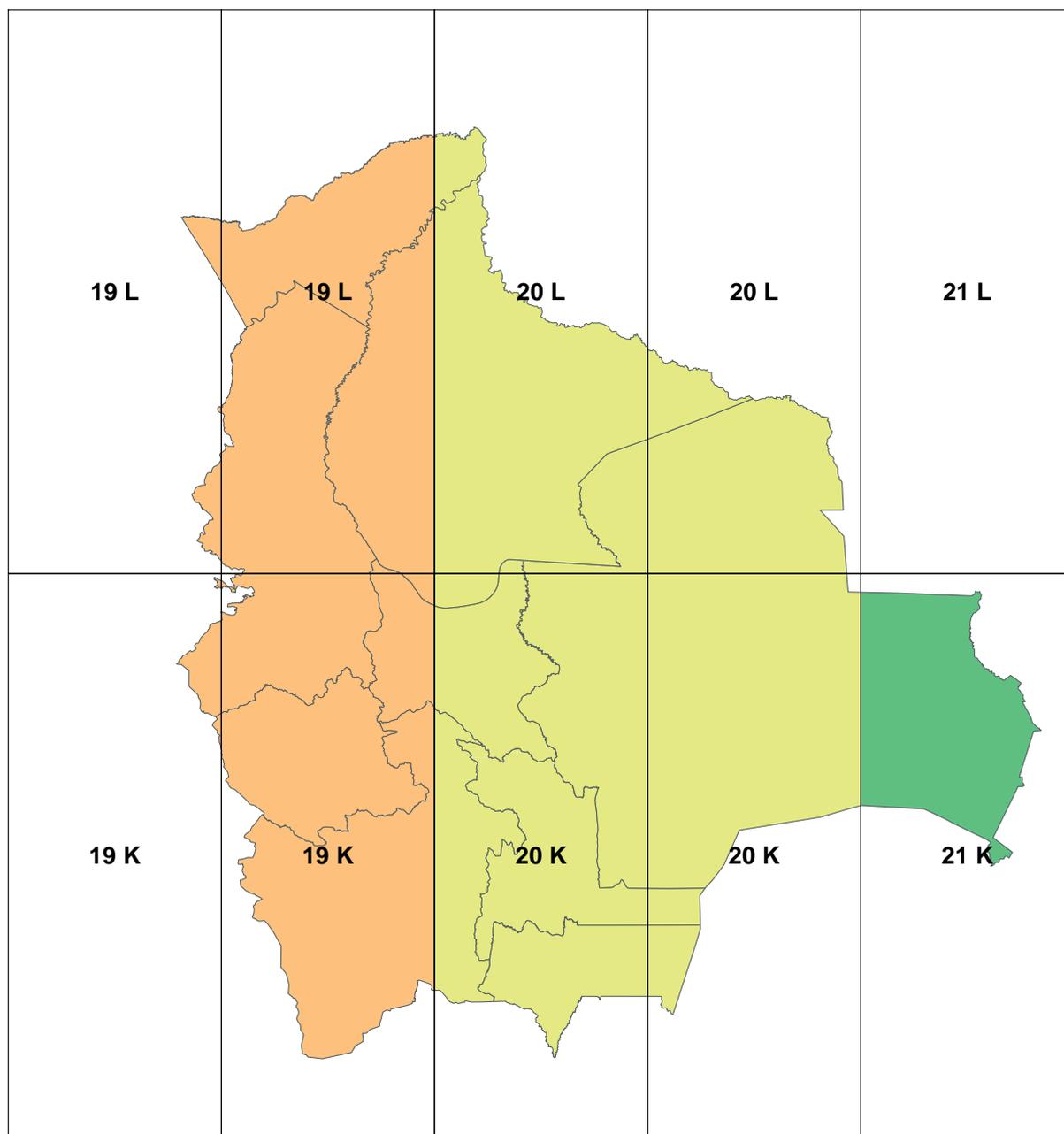
3.9. Parámetros de representación en los mapas

A momento de su representación final o impresión, los mapas deben considerar una serie de elementos y componentes técnicos como son:

- Título.
- Leyenda o referencias.
- Escalas (trabajo y representación).
- Croquis de ubicación.
- Parámetros geodésicos (proyección, Datum).
- Norte.
- Grilla de coordenadas.
- Mapa de la zona, municipio o mancomunidad de referencia (es lo que mayor superficie debe ocupar en el papel).
- Representación (generalización) del territorio con la información de referencia.
- Fuentes de información.
- Fichero donde se encuentra el archivo MXD.
- Otros elementos que ayuden a comprender de mejor manera el mapa.
- Autores.

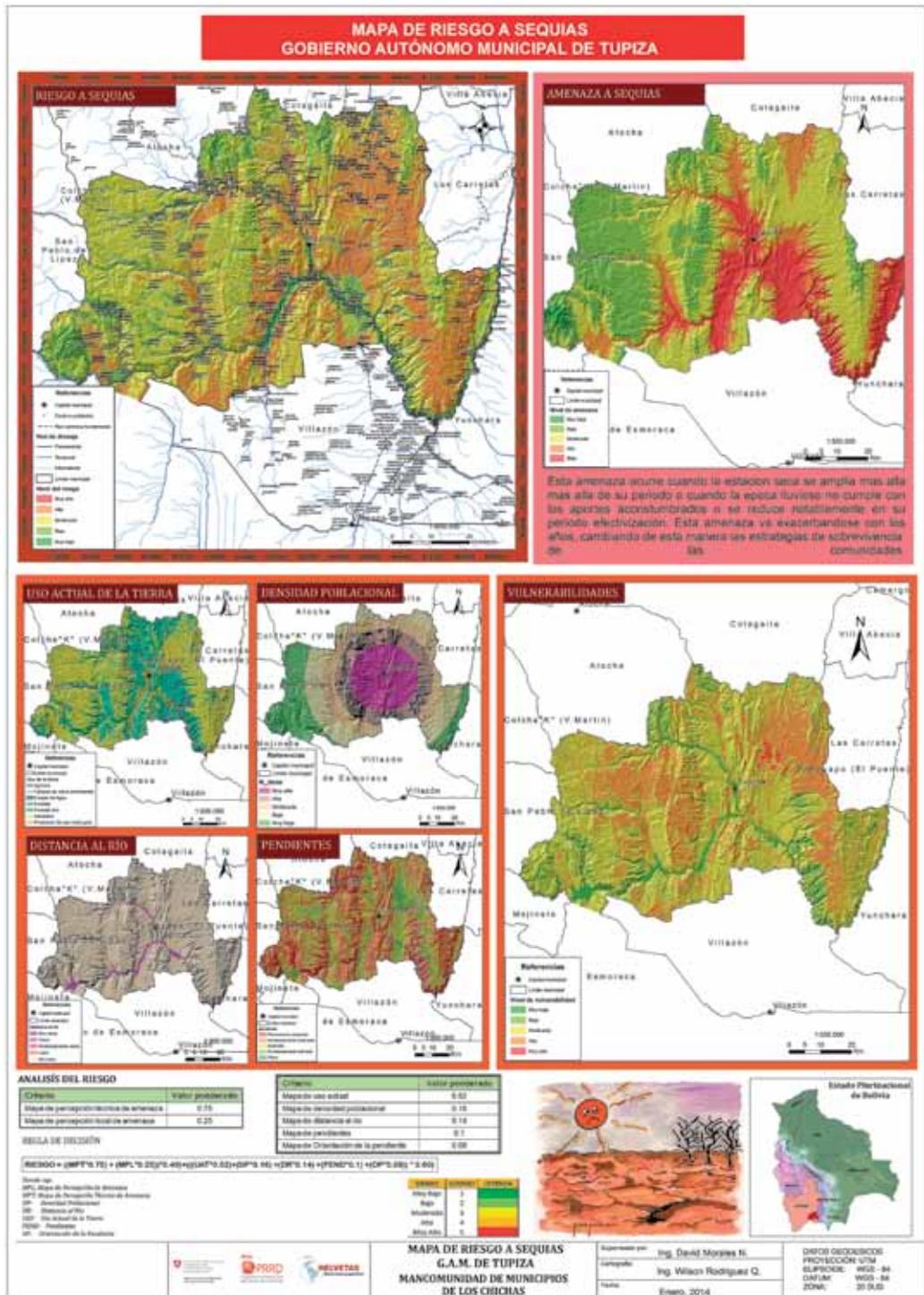
⁵ Sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano.

Figura 3. Zonas para la Unidad Transversal de Mercator. Fuente: Javier Arce, 2014



Fuente: Javier Arce, 2014.

Figura 4. Poster de los mapas de riesgo del Municipio de Tupiza de la Mancomunidad Chichas



Fuente: Mancomunidad Chichas, 2014.



4. Consideraciones para el análisis espacial del riesgo integrando el impacto del cambio climático

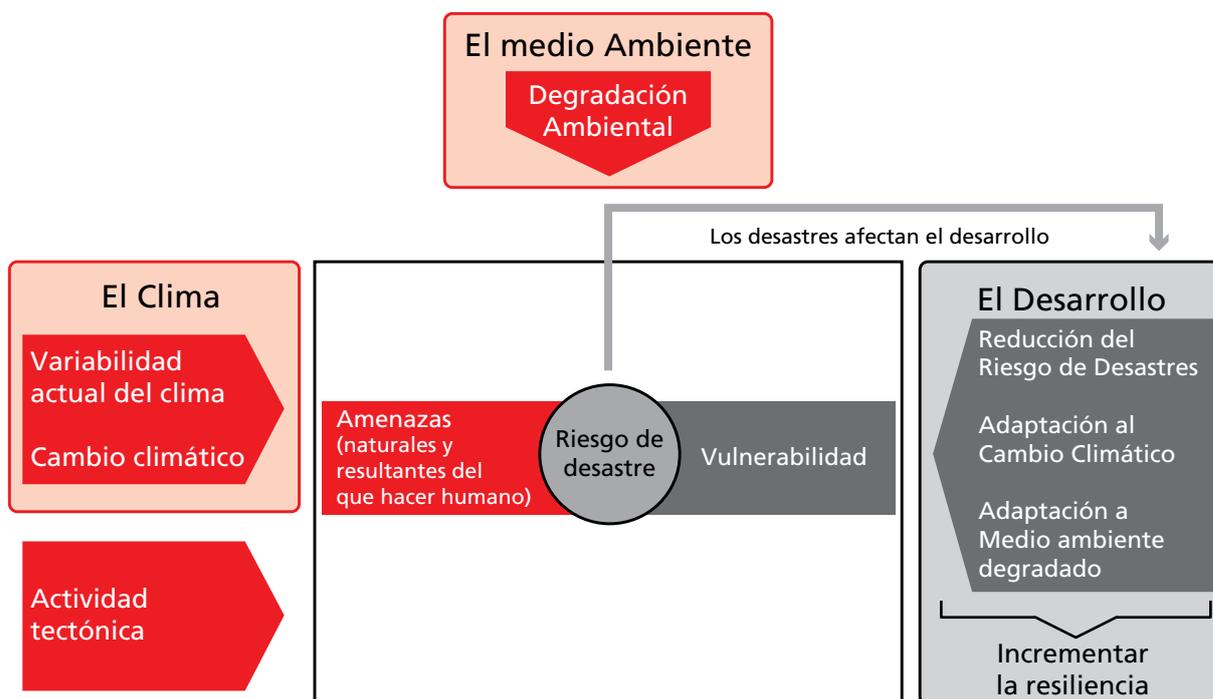
4.1. Integración de la reducción del riesgo de desastres y el cambio climático en la zonificación del riesgo

El cambio climático tendrá incidencia directa sobre la variabilidad del clima y por tanto sobre las amenazas, de la misma manera puede poner en evidencia un mayor nivel de vulnerabilidad en los sistemas de vida, por lo que se generará una relación directa con el incremento de los riesgos.

Un aporte importante a la gestión del riesgo es desarrollar mapas de riesgo que incorporen variables de cambio climático, para así apoyar a medidas de RRD que trasciendan a la ACC. Ver Figura 5 que integra ambos conceptos.

Todo esto apunta a que las acciones en los niveles locales y regionales, al analizar el riesgo y sus medidas de prevención, no deben olvidar las implicancias del cambio climático.

Figura 5. Integración de la RRD y ACC a ambientes degradados desde la planificación del desarrollo como medio para generar resiliencia. (CEDRIG - COSUDE, 2012; adaptado de IPCC, 2012)



Fuente: CEDRIG, 2012.



5. Orientaciones para la zonificación del riesgo

5.1. Árbol de decisiones

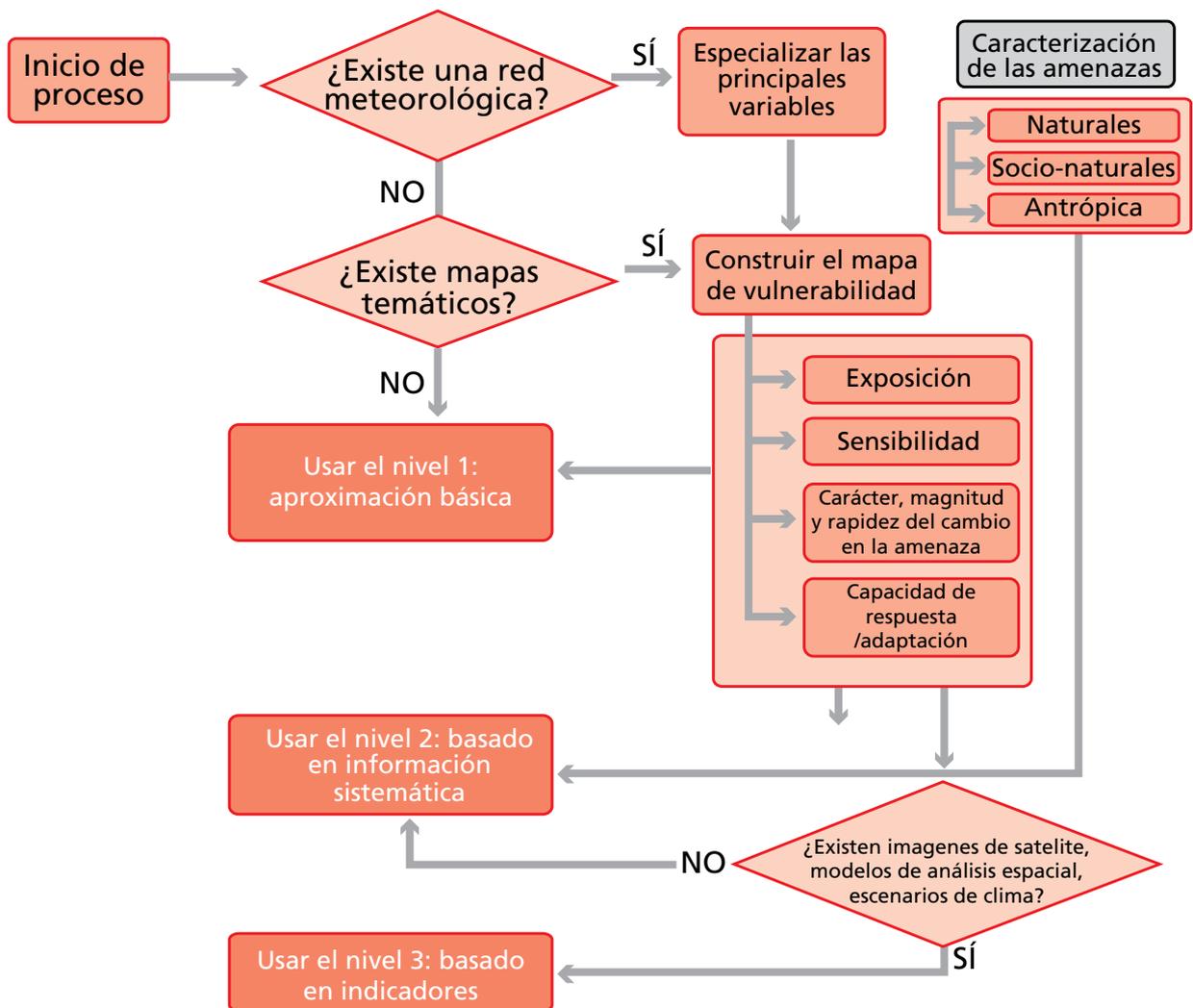
Es una herramienta que permite seleccionar el método o el nivel que se puede desarrollar para la elaboración de los mapas en base a la información disponible.

Como se aprecia en la figura 6 se han establecido tres niveles o tres alternativas posibles para la elaboración de mapas de riesgos: a) cuando no se cuenta

con información meteorológica; b) cuando se tiene información meteorológica e información temática de vulnerabilidad; y c) cuando se cuenta con información de imágenes satelitales, indicadores y escenarios climáticos.

Los capítulos siguientes explican paso a paso cada uno de los niveles.

Figura 6. Árbol de decisiones para la aplicación de las orientaciones



Fuente: Elaboración propia.



6. Nivel 1. Aproximación básica de la zonificación del riesgo

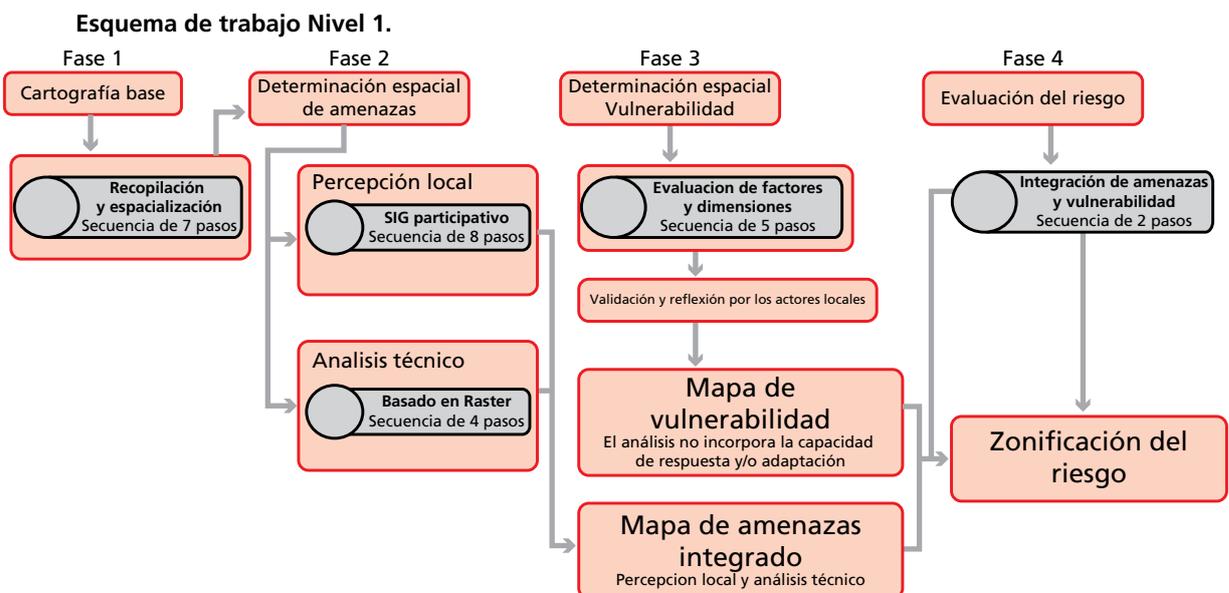
Este nivel recoge en parte la experiencia de la Mancomunidad de Municipios Región Andina de Cochabamba. El análisis espacial en esta categoría es muy rico en la sistematización del saber local y el análisis técnico cualitativo basado en la cartografía digital de base, por ejemplo mapas temáticos y el Modelo de Elevación Digital de Terreno (DEM) que permiten identificar regiones potenciales donde existe la alta probabilidad de ocurrencia de una o varias amenazas. Este proceso se describe a continuación mediante el esquema descrito en la figura 7. La valoración de la vulnerabilidad está basada fundamentalmente en dos factores que son: la exposición y sensibilidad, los otros factores de vulnerabilidad como:

a) El carácter, magnitud y rapidez del cambio en la amenaza.

b) La capacidad de respuesta y/o adaptación que es subjetivo.

El primero no es posible identificarlo porque está determinado por un comportamiento de las amenazas esperadas o resultado del estudio de comportamiento de las amenazas futuras. En la capacidad de respuesta, las variables generalmente están agregadas por municipio y puede abarcar a todo el territorio de éste como unidad mínima de análisis. Sin embargo, en la presentación del mapa de vulnerabilidad se puede identificar la red de acceso vial, asentamientos y la red de servicios de salud, elementos que permiten planificar acciones de evacuación o respuesta en cualquier situación de emergencia y agrega riqueza al producto de la zonificación de la vulnerabilidad.

Figura 7. Esquema de trabajo del nivel I: aproximación básica para la zonificación del riesgo



Fuente: Elaboración propia.

6.1. Fase I. Cartografía base

Paso 1. Recopilación de información

Se recopila la información temática que pueda contribuir a entender la vulnerabilidad y la probable ocurrencia de las amenazas, como una aproximación a la realidad en el área de análisis. Para tal propósito, se revisa las potenciales fuentes de información preferentemente oficiales, si la información no se encuentra disponible se recomienda realizar una metodología de levantamiento de información y valorar la ubicación de la misma, puesto que pueden contribuir a elevar el nivel de incertidumbre.

Para el análisis del riesgo de desastres es importante identificar las variables a evaluar para valorar las amenazas y la vulnerabilidad.

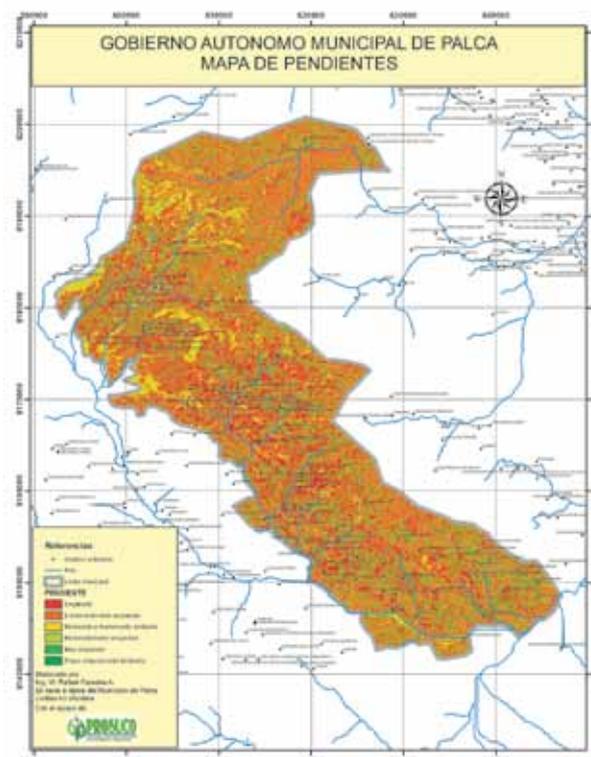
Las categorías de información requeridas son: cartografía digital, estadísticas y sistematización del conocimiento local (ancestral y actual).

Paso 2. Información cartográfica digital

Existe cartografía digital elaborada como mapas de zonificación agroecológica, mapas de uso actual de la tierra y el modelo de elevación digital de terreno disponible en línea. Luego se puede seleccionar la herramienta SIG para la zonificación. Se construye la base de datos identificando las variables.

Paso 3. Análisis de consistencia y su uso potencial

En este paso se debe evitar la información redundante, de mala calidad o de fuentes dudosas. También hay que revisar la base de datos y la consistencia metodológica.



Mapa de pendientes como insumo para la zonificación de riesgo.
Fuente: Rafael Paredes, 2014.

Paso 4. Selección de variables incluidas en el análisis

Este proceso está sujeto a la información existente. No se debe descartar la memoria histórica reportada a nivel local como referente de comparación con la identificación del riesgo potencial latente (vulnerabilidad y amenazas).

Paso 5. Espacialización de información estadística

Se recopila la información cuantitativa de fuentes oficiales. En el portal web del Instituto Nacional de Estadísticas se puede descargar información para el país, ya que se dispone de datos de población por municipio, incluso por comunidad. También se pueden utilizar indicadores de pobreza, necesidades básicas insatisfechas, acceso a servicios básicos, población, actividades económicas, entre otra información que pueda servir de base para la interpretación del riesgo.

Esta información se la sistematiza y almacena en una base de datos digital considerando siempre la referencia en el espacio (población, número de animales por especie, etc.). Si la información disponible es por comunidad se debe tomar como referente la unidad más pequeña en coordenadas, tomando en cuenta que para el país se usa por norma el Datum WGS84; en algunos casos también en la cartografía oficial se utilizó el Datum PSAT56. Se debe tener especial cuidado en no mezclar ambos sistemas.

Paso 6. Elaboración de la cartografía base para la evaluación del riesgo

La información digital existente debe almacenarse en una base de datos. El modelo de elevación digital de terreno

es una herramienta fundamental para determinar el nivel de exposición y la probabilidad donde suelen ocurrir las amenazas. El análisis del nivel 1 sólo aproxima la información cualitativa respecto a la probabilidad de una amenaza.

El mundo real puede ser visto de tres maneras: 1) como está actualmente 2) como es percibido por la gente y 3) como se muestra con los datos. Esta caracterización es la que se almacena, se modifica y se gestiona con la aplicación de programas y modelos de simulación. Típicamente un sistema humano donde converge la vulnerabilidad y la amenaza es más difícil representar.

Recuerde:

La información aeroespacial es aquella obtenida por los satélites, radares, transbordadores y fotografías aéreas. La información sistemática es obtenida de una red de observación instrumental instalada en el terreno, tales como: estaciones meteorológicas o agrometeorológicas, redes de observación hidrológica, niveles de ríos, monitores de la calidad del aire, etc. Esta fuente también incluye información estadística resultado de los censos, estadísticas agropecuarias, censo ganadero, entre otras fuentes y, finalmente, el conocimiento local sistematizado; con este propósito PROSUCO desarrolló las herramientas de observación de bioindicadores como el Pachagrama. Cada una de estas fuentes permite generar la identificación de las amenazas.

Paso 7. Sistematización de la información local

Se sistematiza la memoria colectiva de la comunidad a fin de identificar áreas potenciales del territorio donde ocurren eventos destructivos y conocer las estrategias de respuesta que los gobiernos municipales y las comunidades utilizan. Se recomienda estratificar a los actores informantes en grupos, considerando la distinción de género, por ejemplo:

Grupo 1. Técnicos (as) municipales

Los técnicos de los municipios conocen las amenazas existentes en su territorio, cuentan con ciertas capacidades para entender el uso de las herramientas que se emplean y además pueden apoyar en los procesos de levantamiento de la información base.

Grupo 2. Profesores (as)

El grupo integra educadoras y educadores que tienen un liderazgo especial en el entorno rural. Por la información que les brindan sus estudiantes, mantienen una relación con la comunidad,

conocen el territorio y se constituye en un potencial para generar información de las zonas de amenazas. Este grupo es también una fuente importante de información para el estudio de vulnerabilidad.

Grupo 3. Líderes y lideresas de la comunidad

A partir de sus organizaciones, la comunidad cuentan con información de la dinámica de los sistemas productivos y su problemática de información que es fundamental para el análisis de vulnerabilidad.



Interpretación visual de las imágenes de satélite.

Tomar en cuenta:

- a) La información para la interpretación visual es obtenida por sensores remotos, incluyendo fotografías aéreas, radares e imágenes espectrales.
- b) Campos de observación, determinación de características biológicas, observación social y económica.
- c) Sistematización de la memoria colectiva mediante el levantamiento del conocimiento local, como elemento vivo del proceso de ocurrencia de las amenazas.



El UGR de Tacopaya explica cómo aplicó la metodología.

6.2. Fase II. Determinación espacial de las amenazas

El proceso permite identificar las zonas donde ocurre la amenaza. Esto es posible realizar desde los siguientes enfoques:

a) Desde la percepción local

Se recupera la memoria de dónde ocurrieron los eventos en el pasado para identificar si los actores cuentan con algunos indicadores que permitan entender y comparar con el análisis técnico. Aquí se siguen los siguientes pasos:

Paso 1. Estratificación de actores en la comunidad o unidad territorial de análisis en grupos desagregados por género

En lo posible buscar grupos de personas que tengan afinidad y también grupos

etéreos diferenciados, esto con la finalidad de recuperar el conocimiento local histórico de las amenazas, relacionado con las áreas donde estos ocurrieron.

Paso 2. Se prepara el material de análisis

Se recomienda el uso de imágenes google Earth, imagen de satélite o fotografía aérea con la demarcación limítrofe de la unidad de análisis. Ésta puede ser el mapa de un municipio, comunidad o el distrito.

Paso 3. Identificación de información en el mapa

Se coloca sobre la imagen material transparente, puede ser papel cebolla o polietileno transparente. Para escribir sobre la imagen, se tiene que usar material indeleble por ejemplo marcadores delgados para dar mayor precisión a la observación local.

Paso 4. Discusión conjunta de identificación de puntos

En un proceso participativo, los actores deben identificar puntos conocidos sobre la imagen. Por ejemplo: la posición de sus comunidades, su vivienda y los referentes naturales como bosques, ríos, cerros, etc. Mejor si esto se lo hace en terreno y usando una imagen referenciada.

Paso 5. Identificación de amenazas

Del mismo modo se deben identificar las áreas de ocurrencia de las amenazas.

Paso 6. Identificación del nivel de amenazas

En las áreas de ocurrencia de amenazas, se procede a la valoración por niveles. Se recomienda no especular y categorizar en 3 niveles: bajo, medio y alto.

Paso 7. Discusión de resultados

Se presenta en plenaria el resultado y se reflexiona en conjunto tratando de evitar interpretaciones sesgadas.

Paso 8. Llevar la información a un sistema GIS

La percepción local será trasladada a una plataforma de sistema de información geográfica.

Para la realización de los 8 pasos es posible utilizar herramientas como:

i. El sondeo

Consiste en realizar una entrevista bastante fructífera, es preciso determinar cuándo y cómo aplicar las preguntas orientadoras. A lo largo de la misma, el investigador busca pistas sobre la distribución de las amenazas cruzando

las preguntas que permitan un abordaje real de la identificación de las amenazas, alienta al informante a describir como ocurrió el evento, que efectos tuvo y sobre qué medios de vida; y redundar constantemente para hacer más claras las respuestas del encuestado. Se debe elaborar una estructura de preguntas orientadoras que la persona facilitadora o encuestadora pueda utilizar mediante un dialogo informal.

Las entrevistas deben aplicarse en momentos clave del proceso, por ejemplo: *al inicio de la zonificación*, cuando se discutirá con los actores clave los alcances metodológicos de la zonificación; *cuando se tiene una base del análisis* técnico sistematizado de la información; *al final del proceso* para realizar ajustes a los productos. En todo momento las preguntas deben ser concretas y cerradas acorde a cada tipo de actor.

ii. Talleres participativos

Los talleres son espacios de sensibilización entre los miembros de una comunidad u organización social desagregando la percepción de hombres y mujeres. Durante los talleres participativos es donde se aplican los pasos del 1 al 8 para identificar la probabilidad de ocurrencia de una o muchas amenazas. Esta misma metodología se puede aplicar en la espacialización de la vulnerabilidad, identificando sobre una imagen los bienes o recurso de los medios de vida, potencialmente sensibles a ser afectados por la ocurrencia de una amenaza.

En estos talleres también se puede generar información sobre la capacidad de respuesta institucional ante la eventual emergencia. Puede ser mucho más rico si se trabaja con comunidades en el idioma nativo, eso garantiza más y

mejor información, y genera confianza entre los actores.

b) Desde el análisis técnico

Basado en la información recopilada, se realiza un análisis que trate de explicar las causas, la naturaleza de las amenazas y los factores que la condicionan. Se identifica en terreno las áreas potenciales para su ocurrencia, según la naturaleza de las amenazas estudiadas.

Muchas amenazas tienen como principal factor de ocurrencia probable la configuración fisiográfica. Por tanto, es importante partir del modelo de elevación digital de terreno.

Paso 1. Recopilación de la información geoespacial

Se recopila la información de fotografías aéreas, imágenes de satélite de las categorías identificadas en la Tabla 2 y se construye o adquiere el modelo de elevación digital DEM.

Pasos 2. Procesamiento de la información geoespacial

Se realiza la clasificación de áreas con potencial grado de afectación por una amenaza. Por ejemplo: las áreas de inundación se presentarán donde existan terrenos de baja pendiente, próximos a un río o lago. Otro ejemplo es la probabilidad de deslizamiento que está asociada a diversos factores: pendiente, estabilidad de taludes, presencia de fallas activas, acciones antrópicas de movimiento de tierras en la parte de influencia de la falla activa. Estas acciones se tienen que realizar conjuntamente los actores clave.

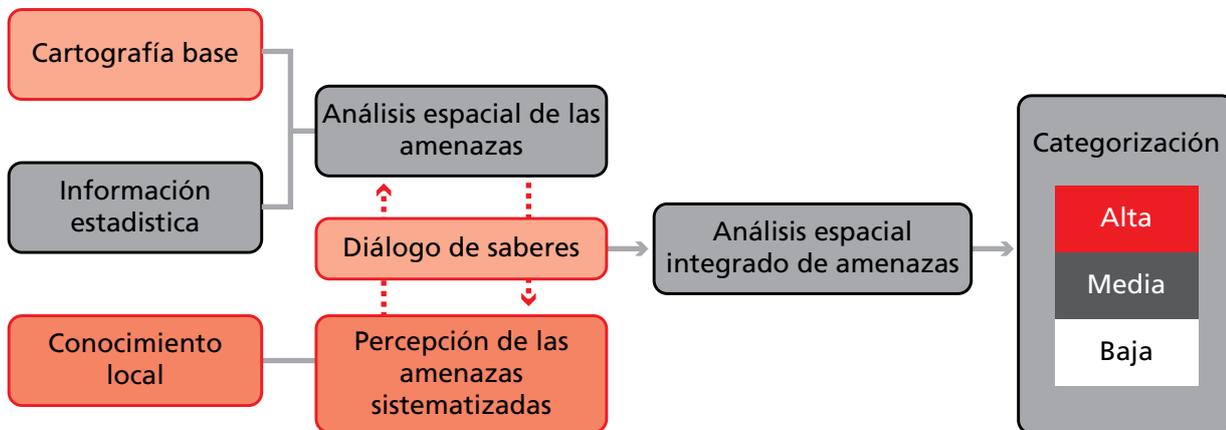
Paso 3. Reclasificación de las áreas potenciales de ocurrencia de amenazas

Clasificadas las características del terreno se identifica y reclasifica las áreas potenciales asignándoles valores de probabilidad de ocurrencia de las amenazas. Esta valoración es empírica.



Vista aérea de la agricultura en los valles del Sur. Foto: PRRD, 2014.

Figura 8. Proceso de evaluación de amenazas para el nivel 1: aproximación básica para la zonificación de la amenaza



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4. Análisis comparativo del resultado con la percepción local

La valoración basada sólo en información geoespacial puede dar lugar a interpretaciones con alto nivel de incertidumbre, por lo que es importante comparar con la percepción local. Por esta razón, se realiza la comparación entre ambos análisis.

6.3. Fase III. Análisis de vulnerabilidad

Ese proceso es más complejo aún, debido a que depende de factores y dimensiones que se deben integrar, que por cierto no son muy fáciles de cuantificar sino con una reflexión que permita aproximar los diferentes factores que hacen a la vulnerabilidad y que son:

- Exposición
- Sensibilidad
- Carácter, magnitud y rapidez del cambio en la amenaza.

- Capacidad de respuesta y/o adaptación.

Estos factores tratan de integrar la RRD y la ACC conceptualmente y en la práctica, por ejemplo: la exposición es un factor común para ambas disciplinas; en cambio la sensibilidad (también entendida como fragilidad desde la comunidad de riesgos), implica también los efectos benéficos de la variabilidad y el cambio climático que contribuyen a reducir la vulnerabilidad.

En este nivel 1 de las directrices se mantiene mucha flexibilidad. Sólo se consideran los dos primeros factores (exposición y sensibilidad), esto debido al nivel de información existente. Desde la percepción los actores pueden identificar actividades o recursos de los medios de vida sensibles a la presencia de las amenazas climáticas o no climáticas existentes. Por el grado de desagregación de la información, no se evalúa la capacidad de respuesta y/o adaptación al cambio climático, ya que en muchos casos no se tiene una integración de éstos en el algoritmo. De la misma manera no se incorpora

ni el carácter, ni la magnitud y rapidez de cambio en la amenaza.

Sin embargo, lo que si se debe integrar es la red vial con la red de servicios de salud al mapa de uso actual y potencial del territorio, lo que permite una buena lectura de la vulnerabilidad para este nivel.

La evaluación de la vulnerabilidad en el nivel 1 considera las dimensiones de vulnerabilidad, vale decir: física, económica, social y ambiental.

Paso 1. Construcción de la matriz de vulnerabilidad

La matriz de vulnerabilidad se construye con el equipo técnico encargado del proceso en interacción con los actores sociales. Consiste en una matriz de doble entrada donde el factor carácter, magnitud y la rapidez del cambio en las amenazas se valoran con "1", como una categoría baja. Esto se debe a que

los mapas no integran la lectura de este factor, ya que en este nivel no se cuenta con valoraciones del riesgo actual y el riesgo futuro, ni escenarios de cambio climático (ver Tabla 5).

Paso 2. Definición de variables por factores

Para la evaluación de los factores de vulnerabilidad se identifican algunas variables con información disponible como se presenta en la Tabla 6.

Paso 3. Valoración de la vulnerabilidad por factores y dimensiones

Cada factor de vulnerabilidad se valora considerando las variables, lo que no significa la utilización de todas, sino las que mejor representen o respondan a las características de ésta. Para evitar subjetividades se recomienda utilizar sólo tres niveles: (1) baja, (2) media, (3) alta.



Condiciones de habitabilidad de población pobre en la Región Andina de Cochabamba.

Tabla 5. Matriz de vulnerabilidad para el nivel 1

Factores	Dimensiones				Ponderación
	Física	Social	Económica	Ambiental	
Exposición					
Sensibilidad					
C,M&R del cambio					
Capacidad de respuesta y/o adaptación					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Variables recomendadas para la especialización de la vulnerabilidad

Factor	Variable	Fuentes potenciales de información
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes • Proximidad río/lago • Infiltración • Tipo de suelo • Cobertura y uso actual del suelo 	DEM Mapa hidrográfico Estudios de suelo en zonas de baja pendiente Clase textural estudio de campo Mapas temáticos
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Sup. Cultivos • Asentamientos. • Población • Cabezas de ganado • Infraestructura • Carreteras punto de intercepción 	PDM/ Estadísticas oficiales Censo Censo agropecuario /PDM Inventario PDM Levantamiento de campo
Carácter, magnitud y rapidez del cambio	$\Delta \text{ }^\circ\text{T}$ $\Delta \text{ pp}$ $\Delta \text{ Re (*)}$	En este nivel no aplica
Capacidad de adaptación y respuesta		No aplica variables, pero se visualiza la red de comunicación y la red de servicios de salud con el fin de planificar la evacuación y rescate.

(*) Cambio en la recurrencia.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 4. Identificar la vulnerabilidad total del punto de observación

Se llena la matriz de vulnerabilidad sumando los valores totales por factores. De estos valores se obtiene un promedio, obteniendo un resultado de vulnerabilidad con la siguiente relación.

$$P = \frac{\sum_i^n d}{n}$$

Dónde:

P: es la ponderación de los factores de la vulnerabilidad.

d_i: i-ésima dimensión de la vulnerabilidad.

n: número más alto de las dimensiones de la vulnerabilidad.

$$V = \frac{\sum_{j=1}^m P}{m}$$

Dónde:

V: Vulnerabilidad

P: Ponderación

m: Número de factores

En este caso particular la vulnerabilidad alcanza un valor de 2 considerando vulnerabilidad media.

Paso 5. Espacialización de la vulnerabilidad

Estos valores con los puntos de muestreo referenciados se interpolan en el mapa de límites administrativos, teniendo así la valoración espacializada de la vulnerabilidad.

6.4. Fase IV. Evaluación del riesgo

A partir de los análisis de amenazas y vulnerabilidad como factores del riesgo, se procede a integrar los análisis de amenaza y vulnerabilidad. Esto puede hacerse con un algebra de mapas teniendo como resultado el mapa de riesgo.

Paso 1. Integración de la evaluación del riesgo

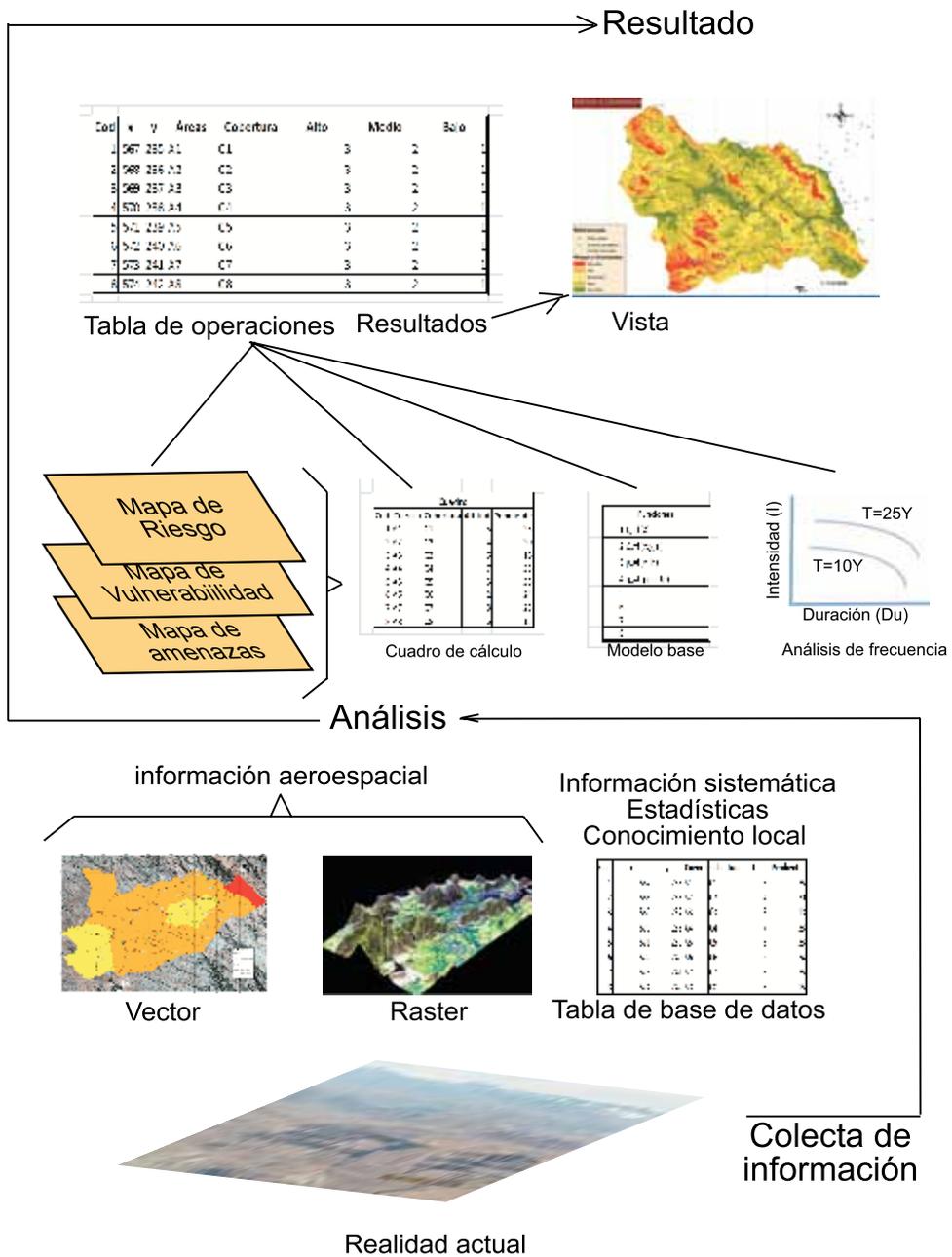
Los dos factores del riesgo especializados se abren en un entorno SIG y se integra con las herramientas de los sistemas de información geográfica.

Tabla 7. Matriz de vulnerabilidad a inundaciones

Factores (j)	Dimensiones (i)				Ponderación (.)
	Física	Social	Económica	Ambiental	
Exposición	3	2	2	3	2,5
Sensibilidad	2	3	3	2	2,5
C,M&R del cambio	1	1	1	1	1,0
Capacidad de respuesta y/o adaptación					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Integración de la amenaza y vulnerabilidad en un mapa de riesgo



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2. Construcción de la zonificación

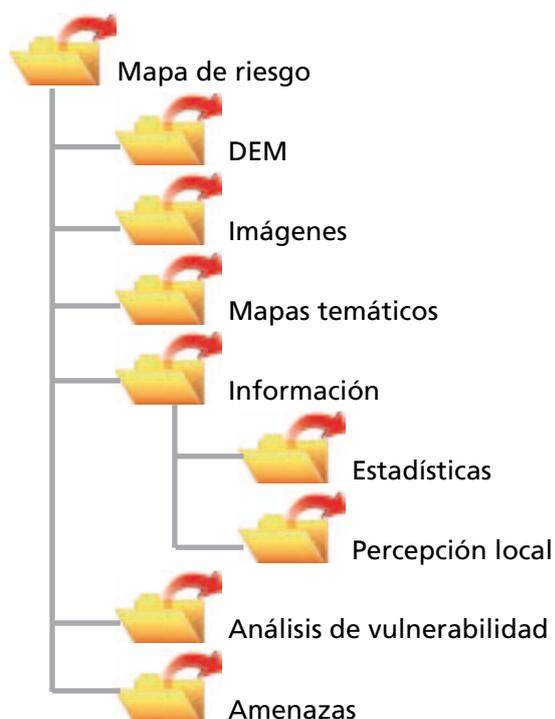
Los shapes de los análisis de vulnerabilidad y amenazas espacializadas se colocan en la estructura de un directorio para que los archivos de presentación del mapa puedan recuperarse con facilidad.

A partir de estos documentos digitales se puede diseñar el mapa de riesgos (ver

figura 16), luego elaborar el poster para la presentación y toma de decisiones como se muestra en la figura 17.

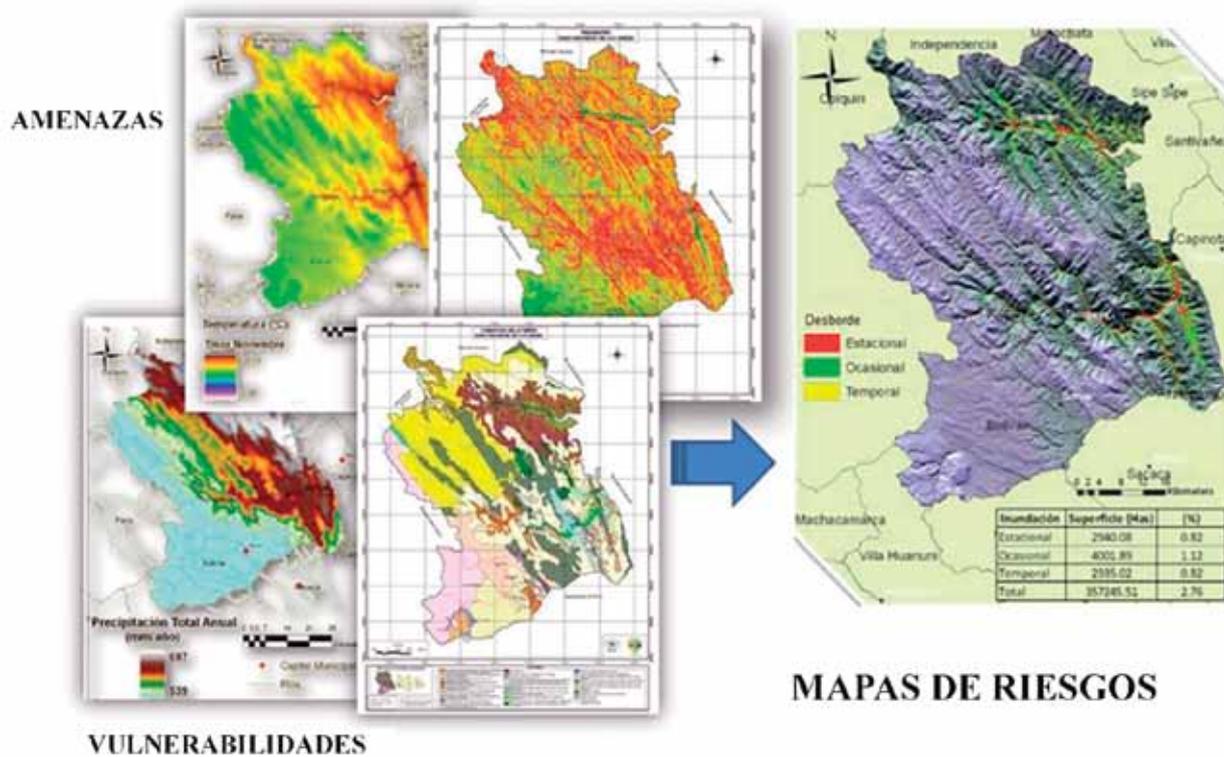
En esta fase también se puede aplicar la Ecuación General de Riesgo con las consideraciones realizadas. Ver documento metodológico desarrollado para el efecto por el PRRD en www.prrd.com.bo

Figura 10. Estructura del directorio de archivos para el almacenamiento de la información geoespacial



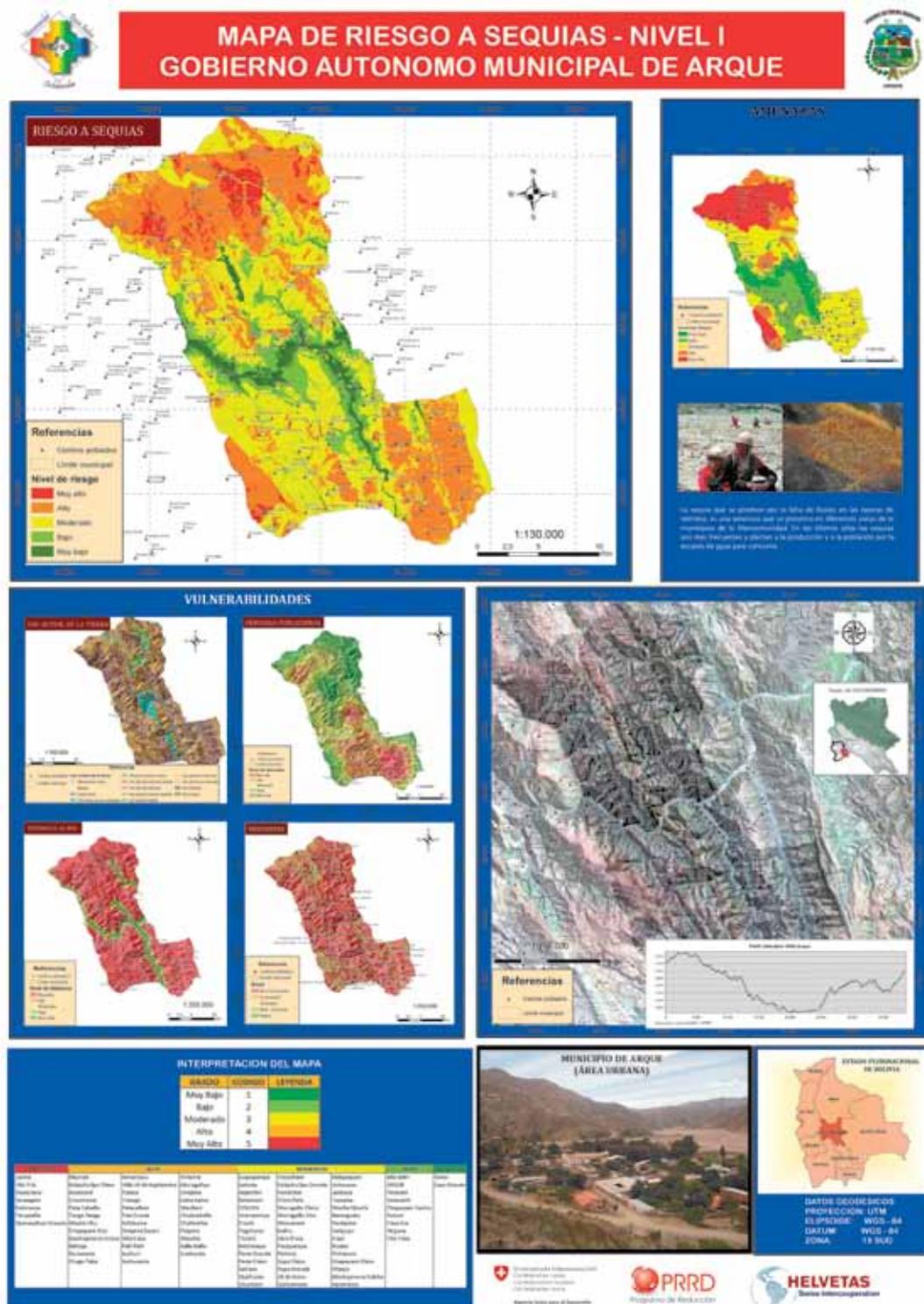
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Integración del análisis de vulnerabilidad y amenazas para obtener el mapa de riesgos



Fuente: Mancomunidad Región Andina de Cochabamba.

Figura 12. Poster modelo para la representación del nivel 1



Fuente: Mancomunidad Región Andina de Cochabamba, 2012.



7. Nivel 2. Análisis basado en información sistemática

En este segundo nivel, se parte de la hipótesis de que el conocimiento científico y el conocimiento local son complementarios tal como se recoge en la experiencia desarrollada por PROSUCO (2012), la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras (2011) y la Mancomunidad Norte Potosí (2013). Sin embargo, ambos conocimientos tienen diferentes campos de observación, por lo que más allá de sus similitudes, de lo que se trata es de que pueden complementarse. De esta manera, es importante encontrar la forma de establecer un diálogo de saberes, ya que ambos tipos de información generados y sistematizados se complementan en la medida en que estén interpretando un mismo fenómeno o sujeto de estudio.

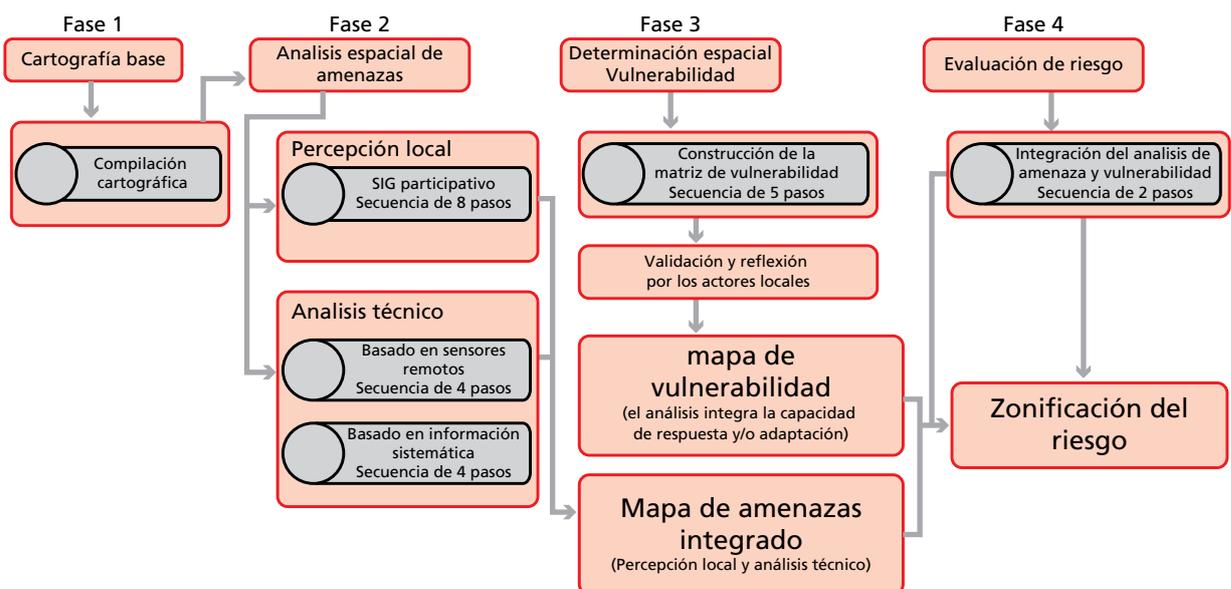
El conocimiento local presenta la información de forma cualitativa. Es válida en la medida que se observa y reflexiona por largos periodos y ha pasado por ajustes en un constante

proceso de ensayo error, lo que le da un carácter mucho más científico, pero no con validez universal; puesto que en cada campo de observación, existen variables que no son controladas, porque no se conoce su influencia o simplemente no se tiene forma de observar o controlar.

Por su parte, el conocimiento científico proporciona información cuantitativa a partir de observaciones espaciales y temporales que aportan con datos a mayor detalle. Por todo ello, no se puede descartar ninguna de las fuentes de información por su importancia y las relaciones de complementariedad que existe entre ambas.

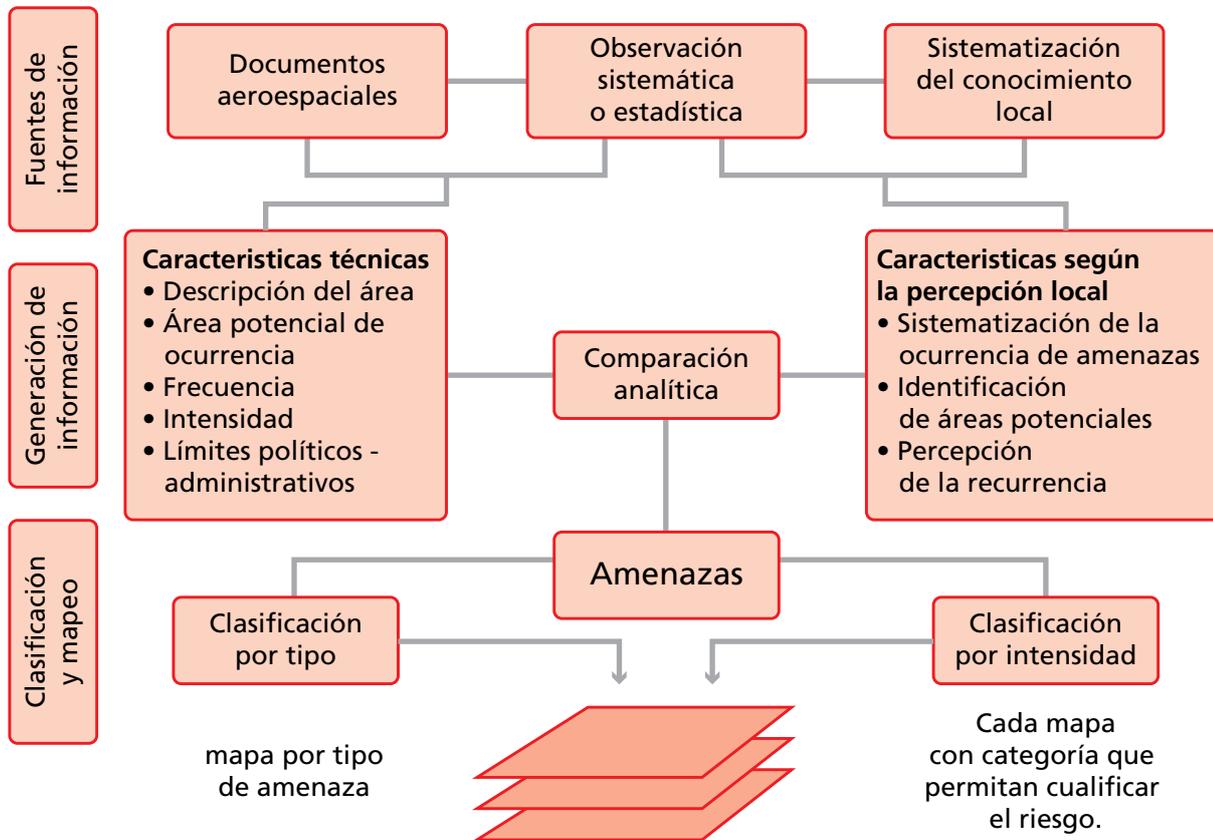
Este nivel integra un análisis de mayor profundidad de la amenaza, reduciendo la incertidumbre por los vacíos de información existente y se los desarrolla bajo el siguiente esquema de trabajo (ver figura 13).

Figura 13. Esquema de trabajo de la aplicación del nivel 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Construcción de mapas de amenazas con la integración de información sistemática



Fuente: Elaboración propia.

7.1. Fase I. Cartografía base

Paso 1. Compilación de la cartografía e información sistemática base para la evaluación del riesgo

a) Formato Raster

El modelo de elevación digital (DEM) sigue siendo una herramienta importante para el análisis del riesgo en este nivel, pues su procesamiento con herramienta SIG permite determinar la probabilidad de amenazas, como la vulnerabilidad existente en el territorio.

Se seleccionan imágenes de satélite de las categorías descritas en el anexo 1 para el análisis multitemporal, para ello existen muchas imágenes satelitales de

libre disponibilidad como las LANDSAT, MODIS, Spot o Ikonos.

También es posible obtener información tabular a través del radar TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) a la que se puede acceder mediante información obtenida desde el radar del satélite. Con esta herramienta también se puede obtener información sobre eventos extremos para grillas de las zonas de interés. La información se puede bajar del siguiente sitio web: http://trmm.gsfc.nasa.gov/data_dir/html.

b) Formato vector

En este formato un gran número de mapas temáticos pueden servir de base para la cartografía base del análisis, tanto de especialización de las ame-

nazas como para la valoración de la vulnerabilidad. Los siguientes mapas son necesarios:

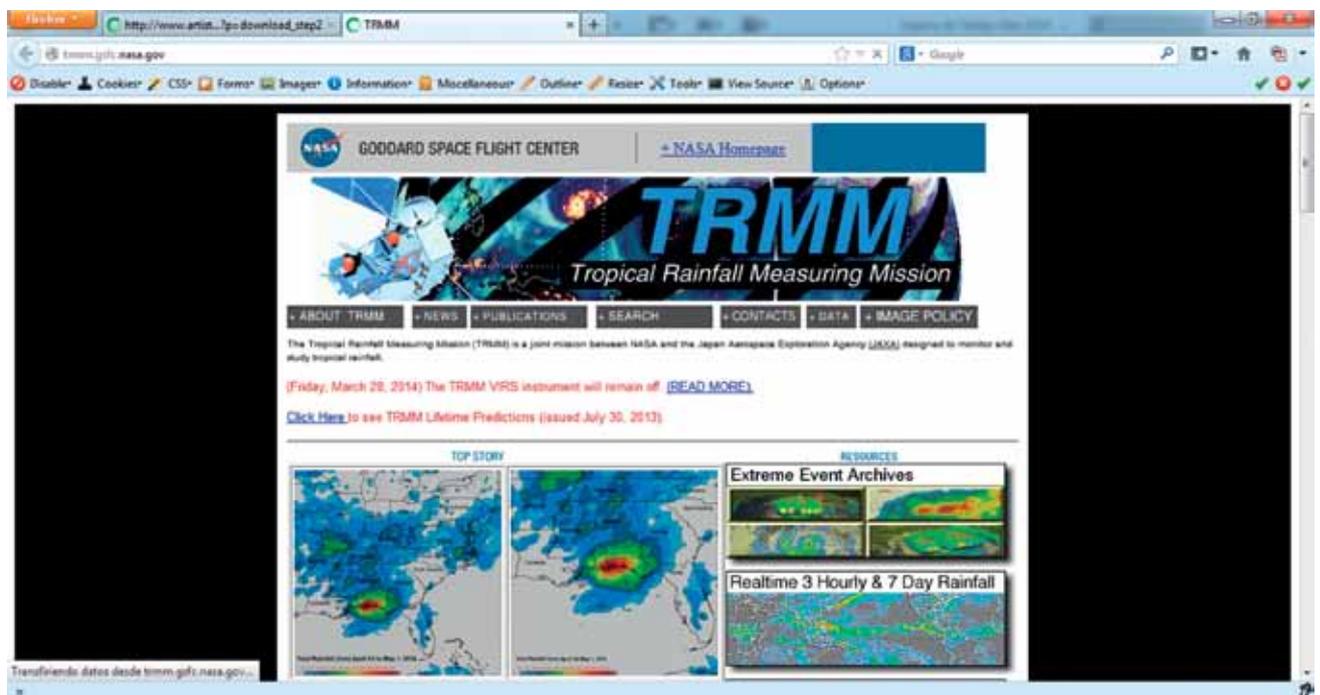
- Límites político - administrativos.
- Cobertura vegetal.
- Uso actual (ver Figura 23 y/o potencial del territorio).
- Mapa de estaciones meteorológicas.
- GeoBolivia: con mapas temáticos de diferente tipo. <http://geo.gob.bo/>
- Geosinager es otra fuente de imágenes que se los puede bajar del SISRADE. Con información digital

en: <http://geosinager.defensacivil.gob.bo/maps/search>

c) Información sistemática

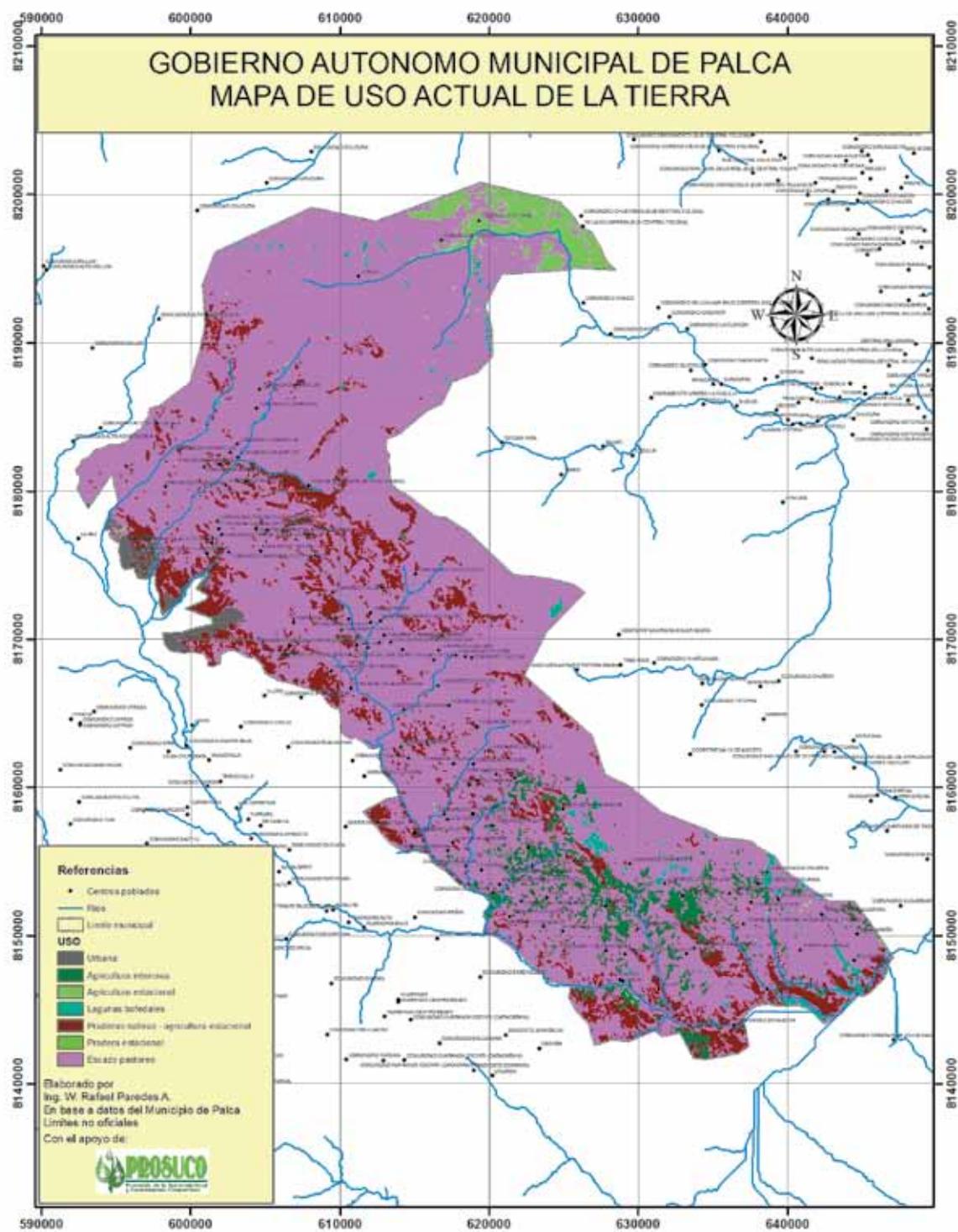
- Se cuenta con una base de datos de las estaciones meteorológicas y agrometeorológicas del SENAMHI.
- Información de las estaciones aeroportuarias de AASANA.
- Información del SINSAAAT.
- Worldclim una red mundial de estaciones meteorológicas con información disponible en: <http://www.worldclim.org/download>

Figura 15. Portal para obtener información de precipitaciones captadas por el Radar TRMM



Fuente: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>

Figura 16. Mapa de usos actual de la tierra



Fuente: Rafael Paredes PROSUCO, 2013.

- www.tutiempo.net es otra fuente de información sistemática para considerar con 38 estaciones y series diversas.

d) Información de bioindicadores

- Reportes de la red de información local (líderes y lideresas productivos, observadores locales, Yapuchiris).
- Otros levantamientos de bioindicadores.
- El Pachagrama⁶ se constituye en una herramienta útil para el levantamiento de una base de información local.

7.2. Fase II. Análisis espacial de las amenazas

Paso 1. Determinación de variables para el análisis de amenazas

En la identificación espacial de las amenazas debe considerarse las condiciones físicas de la atmósfera y sus relaciones con los otros componentes del sistema climático (criósfera, biósfera, hidrósfera y geósfera). Este nivel se aplica cuando se dispone de series de información climática y, dependiendo del tipo de amenaza que se pretende explicar, se definen las variables como se muestra en la Tabla 8.

De las variables seleccionadas, se recomienda usar las que mejor representen la amenaza, las que se pueda obtener de un punto georeferenciado como estaciones meteorológicas y se las lleva a una base de datos en formato Excel del cual se puede exportar a un software SIG. La información que no es posible referenciar se puede obtener

a través de la sistematización del conocimiento local.

Paso 2. Georeferenciar la información

Para cada una de las variables de la estación, se tienen puntos georeferenciados asegurando el tipo de coordenadas y el Datum con lo cual se realiza una interpolación. Por ejemplo, es común el uso de la interpolación para la precipitación mediante los polígonos de Thiessen y/o por el método de las isoyetas, las cuales pueden ser espaciadas regularmente. Como resultado de estas operaciones se tendrá isolíneas denominadas contornos, con las que se puede hacer algebra de mapas con un entorno SIG.

En algunos casos, algunas variables vienen como parte de la información digital en forma de mapas temáticos Raster. Se pueden solapar o sobreponer imágenes, siempre y cuando se encuentren en la misma proyección. Por ejemplo el mapa de uso actual de la tierra.

Paso 3. Análisis multitemporal de imágenes de satélite

Este análisis permite realizar una valoración de la evolución de los sistemas naturales y humanos, por ejemplo el cambio en la cobertura y uso actual de la tierra. En este nivel, se usa el análisis multitemporal para evaluar diferentes amenazas naturales como: sequías, inundaciones y cambio en la vegetación por incendios forestales. Para el análisis se requiere realizar cinco procesos importantes que son:

1. Compilación de la series de imágenes de satélites.
2. Georeferenciación.
3. Corrección radiométrica.
4. Corrección atmosférica.
5. Normalización radiométrica.

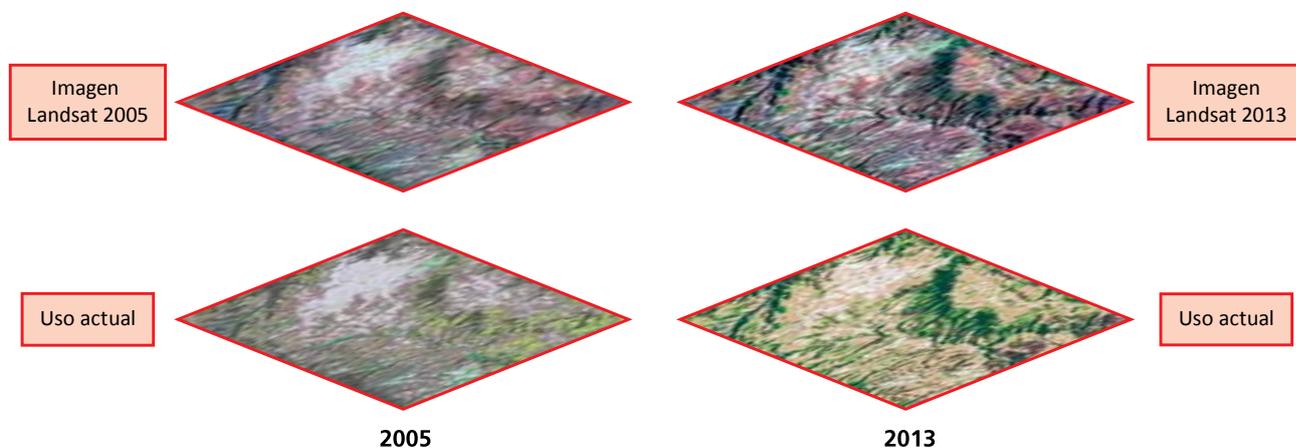
6. El Pachagrama desarrollado por PROSUCO en el marco del Programa de Reducción del Riesgo de Desastres (PRRD) de la Cooperación Suiza, es un instrumento innovador en el cual los Observadores Locales Agropecuarios (OLA o Yapuchiris) incluyen información del clima local, la observación de bioindicadores y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de interés. También permite registrar información sistemática.

Tabla 8. Variables definidas por tipo de amenaza

Amenazas	Variable	Unidades	Comentarios
Inundación	Pendiente	%	Determina las áreas con potencial de anegamiento.
	Proximidad a río u otra fuente de agua	m	Identifica áreas con alto nivel de exposición a la inundación.
	Precipitación	mm	Referente para la precipitación actual que puede ser insumo para el desarrollo de índices.
	Escorrentía	l/s	Variables asociadas a la cantidad de agua superficial en una cuenca.
	Nivel de agua en ríos, lagos	m	Variable importante para el monitoreo del área de una cuenca.
	Tipo de suelo	Nombre	Esta categorización puede proporcionar pistas de zonas anegadas.
Sequía	Precipitación	mm	Esta variable es útil para evaluar el exceso o el déficit de agua en una determinada región.
	Temperatura media	°C	Tiene una alta correlación con el déficit de agua, siendo importante cuando se evalúa la sequía agronómica o hidrológica.
	Temperatura máxima	°C	Está asociada a la presencia de déficit hídrico en la presencia de olas de calor.
	Días con lluvia	Días	Es importante para ver la estación en la que se presenta una sequía, donde se evalúa el daño potencial sobre un sistema humano.
	Humedad relativa	%	El déficit de humedad atmosférica acelera proceso de evaporación.
	Humedad del suelo	%	Variable importante para evaluar la sequía agronómica.
Deslizamiento	Pendiente	%	Está asociada con la vulnerabilidad de recursos de medios de vida potencialmente afectados.
	Cobertura vegetal	ha	Está asociada a la sujeción que pueda ejercer la vegetación.
Heladas	Intensidad de precipitación	mm/h	Precipitaciones pueden dar lugar al deslizamientos.
	Temperatura	°C	Es el principal indicador de descensos de temperatura y se considera la mínima.
	Pendiente	%	Los flujos de aire caliente en el proceso de inversión térmica tienen influencia en pendientes bajas. Por ejemplo: se detiene el aire frío en bajas pendientes.
	Vientos	Km/h	Tiene importancia en las heladas adventivas, es decir, en las corrientes de aire frío que provocan descensos de temperatura.
Granizada	Precipitación	mm	La precipitación está asociada a la ocurrencia.
	Días con granizos	Nro. de Días	Es la única variable que es totalmente cuantitativa.

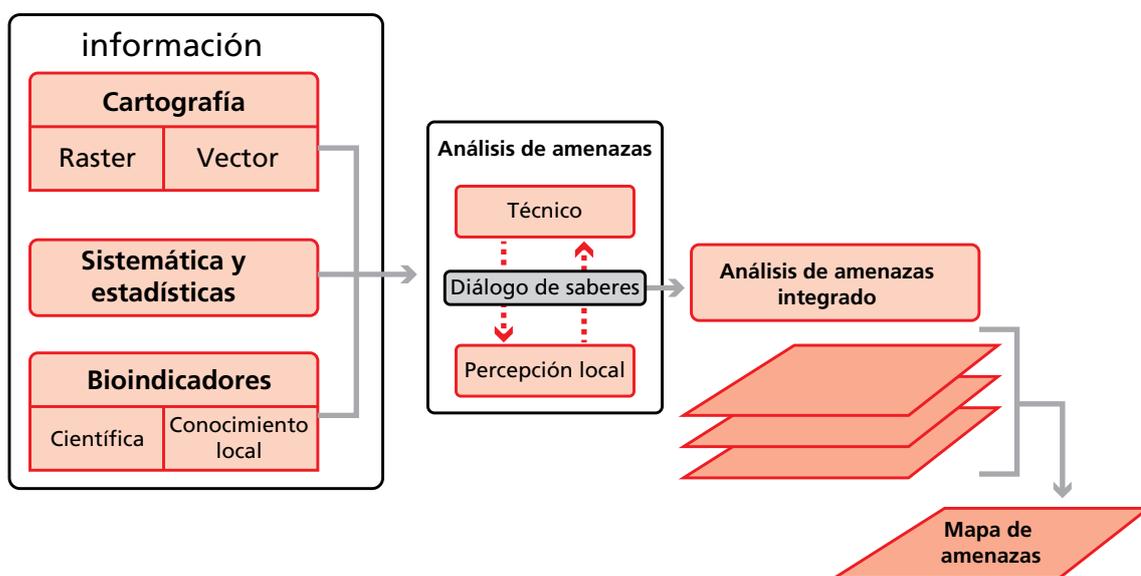
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Se solapan los mapas de uso actual de la tierra y la imagen satelital Landsat en dos periodos diferentes 2005 y 2013



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de satélite, 2005-2013.

Figura 18. Procedimiento de análisis de amenazas en el nivel 2



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento que se lo puede realizar con software especializado como el ENVI, ERDAS, ILWIS entre otros. Existen muchos tutoriales disponibles para el proceso.

Por ejemplo, el estrés hídrico puede evaluarse a partir de diferentes índices de vegetación relacionados con la reflectancia. Usando parámetros térmicos y biofísicos asociados al déficit hídrico se tiene por ejemplo el NDVI.

7.3. Fase III. Análisis espacial de la vulnerabilidad

7.3.1. Desde el análisis técnico

Para realizar el análisis es importante considerar los factores de vulnerabilidad, los mismos que deben ser cuantificables a partir de ciertos criterios más o menos estándar, y que se deben complementar con datos espaciales relevados para este fin.

Cómo ya se mencionó en el nivel 1, estos factores son: a) la exposición, b) la sensibilidad, c) el carácter, magnitud y rapidez del cambio de la amenaza y d) la capacidad de respuesta y/o adaptación.

7.3.1.1. Capacidad de adaptación y/o respuesta

Los factores y dimensiones de la vulnerabilidad por lo general dependen de muchas variables, lo que dificulta la claridad y transparencia metodológica. La matriz descrita en la Tabla 9 (nivel 1) es la misma aplicada en el nivel 2, con la diferencia que esta última analiza las variables de la capacidad de respuesta y/o adaptación al cambio climático. Un ejemplo de aplicación de la Tabla 9 para el nivel 2 se puede apreciar en la Tabla 11.

La capacidad de respuesta y adaptación está relacionada con las capacidades y habilidades humanas y sociales que pueden contribuir a reducir el riesgo de desastre. Este factor de vulnerabilidad tiene como elemento fundamental la gobernabilidad del riesgo, la institucionalidad, organización social y la articulación entre organizaciones, involucrando a los actores que interactúan en el territorio.

Las variables para determinar las capacidades de respuesta y/o adaptación al cambio climático (Tabla 10) tienen también relación con la educación, ingresos, indicadores de pobreza, institucionalidad, organización social y áreas de conservación ambiental. Es importante considerar, que no todas las variables tienen el mismo peso en la capacidad de respuesta y más aún en las que se refieren a la adaptación.

Para evaluar la capacidad de respuesta y/o adaptación es importante tomar en cuenta la gobernabilidad y las capacidades individuales medias en la unidad territorial de análisis. Estos criterios pueden medirse en función a las variables estudiadas.

La valoración de la capacidad de afronte, respuesta y/o adaptación en cada dimensión de la vulnerabilidad, sólo puede alcanzar como máximo el valor 3. Entonces en este análisis se puede considerar como referente en cada dimensión.

El número de variables para cada dimensión de la vulnerabilidad es distinto. Se asignan pesos a cada variable. Por ejemplo, considerando la dimensión física: si el gobierno municipal cuenta con un retén de emergencia, la variable es el retén, y la ponderación estará en función de una estructura organizativa, personal calificado y equipamiento para la emergencia. El valor máximo del retén con los criterios mencionados será 0,5. La red de observación sistemática no sólo considera el número de estaciones, sino las que funcionan y proveen información a la unidad territorial de análisis, por lo tanto el valor máximo de esta variable será 0,8. La infraestructura de prevención, dependiendo del tipo de amenaza, tendrá una ponderación de 0,5, esto en el instrumento de gobernabilidad.

En las capacidades individuales, la infraestructura de prevención tendrá un valor de ponderación de 0,7 y el valor de acceso a servicios tendrá una ponderación de 0,5.

La dimensión social consiste en la institucionalidad y la organización social. Las ponderaciones para la institucionalidad son: la Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) y sus herramientas tienen una ponderación de 0,3, la ubicación estratégica en el organigrama municipal (máximo 0,2), manual de funciones (0,5), instrumentos (0,5), Sistema de Alerta Temprana -SAT (0,3), participación (0,2). En lo organizacional: número de organizaciones (0,2); espacios de concertación (0,2); COE (0,5), SAT (0,2) y si cuenta con red de salud (0,1).

Se determina la media ponderada de las variables cuando se asigna un valor de ponderación en la matriz. Si la variable tiene una condición de funcionamiento óptimo, como por ejemplo tiene el retén de emergencia con personal especializado, se coloca el valor 0.5; si la condición no es óptima, se pondera la mitad del valor.

$$P_i = \sum_i^n x_i \quad 1$$

Dónde:

P: Ponderación.

X_i: j-esima variable de la i-esima dimensión.

n: Número de variables por dimensión.

Tabla 9. Variables para la evaluación de la capacidad de respuesta y/o adaptación

Criterios	Variables por dimensiones				
	Física	Social		Económica	Ambiental
		Institucional	Organizacional		
Gobernabilidad	Retén	UGR	Organizaciones sociales	Presupuesto	Áreas de conservación
	Nº estaciones (red de observación)	Ubicación de la UGR	Espacios de concertación		Recursos
		Manual de funciones	COE	Conservación ambiental	
Capacidades individuales	Infraestructura	SAT	Red social del SAT	Ingresos	
		Instrumentos	Red de salud		
	Acceso a servicios	Participación social	Agremiación	Crédito	
			Escolaridad	FTR	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Ejemplo de aplicación de la vulnerabilidad en el municipio de Arbieto

Criterios	Variables por dimensiones									
	Física		Social				Económica		Ambiental	
			Institucional		Organizacional					
Gobernabilidad	1 Reten	0,3	1 UGR	0,2	505	0,2	Presupuesto	0,1	Áreas de conservación	0
	3 Estaciones (Red de observación)	0,8	1 Ubicación de la UGR	0,1	2 EC	0,2	Recursos	0,1	Normativa de uso de áridos	0
			0 Manual de funciones	0,3	1 COE	0,5			Conservación ambiental	0
Capacidades individuales	Defensivo	0,3	1 SAT	0,3	Red social del SAT	0	Ingresos	0,1		
			1 Instrumentos	0,2	Red de salud	0,1				
	0 Infraestructura	0	1 Participación social	0,1	Formación	0,1	Crédito	0		
	1 Acceso a servicios	0,4			Agremiación	0,1	FTR	0		
		1,8		1,2	Escolaridad	0,1		0,3		0

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de cada dimensión se trasladan a la matriz de vulnerabilidad. Como se muestra en el ejemplo de la Tabla 10.

Seguidamente se cuantifica la vulnerabilidad en base a la siguiente ecuación:

Tomar nota:

Las escalas a considerar para cualificar la vulnerabilidad son:

- 3, vulnerabilidad alta
- 2, vulnerabilidad media
- 1, vulnerabilidad baja

La Tabla 11 muestra cómo se incorpora la vulnerabilidad, considerando las dimensiones y los factores.

7.3.2. Desde la percepción y el conocimiento local

Paso 1. Coordinación con autoridades municipales y organizacionales para establecer unidades territoriales de análisis de la información.

En este primer encuentro se muestra respeto por la comunidad. Elemento que tiene un arraigo cultural en diferentes contextos y es importante porque encausa un proceso participativo (reuniones, talleres, encuentros) con autoridades políticas, originarias y locales además de líderes y lideresas, para establecer el espacio territorial que debe ser descrito en los mapas; asimismo, se establecen las modalidades de organización y un cronograma de intervenciones para la recopilación de la información local, conformando una comisión de trabajo.

Tabla 11. Matriz de vulnerabilidad para el nivel 2 de las directrices para la zonificación del riesgo

Factores	Dimensiones				Ponderación
	Física	Social	Económica	Ambiental	
Exposición	2	2	1	1	MEDIA
Sensibilidad	1	2	2	3	MEDIA
Carácter, Magnitud y Rapidez del Cambio	2	3	3	3	ALTA
Capacidad de Respuesta y/o Adaptación	2	1	1	1	ALTA

Fuente: Elaboración propia.

Nota importante:

La matriz de vulnerabilidad se aplica a cada punto de poblado de referencia con las variables identificadas para el análisis. Georeferenciadas, si se las espacializa mediante la interpolación lineal. Los contornos generados categorizan los niveles de vulnerabilidad.

Paso 2. Concertación acerca de los criterios y la modalidad de selección de la comisión de trabajo participativo.

Se establecer criterios de análisis. Por un lado, los factores productivos que están expuestos al riesgo climático (agricultura, ganadería, silvicultura, o combinación de alguna de éstas), por otro, las amenazas que son más recurrentes en la zona y de mayor afectación. Sobre esta base, se facilitarán espacios de interacción para que productores, autoridades, representantes y otras personas puedan conformar la comisión de trabajo.

Paso 3. Realización del taller para la construcción de la cartografía de vulnerabilidad participativa.

Se debe formular una estrategia para coleccionar la información local. Con una

metodología participativa se sugiere coleccionar información sobre uso del suelo, amenazas climáticas prioritarias, vulnerabilidades importantes y espacializarlas en un mapa cartográfico base. Se sugiere además, incluir imágenes satelitales, pues son una herramienta que facilita la ubicación de los participantes del taller.

Con estos insumos se puede reflexionar, analizar y comparar diferentes criterios expuestos, logrando describir en forma integral las vulnerabilidades y el riesgo presente en las unidades de estudio.

La vulnerabilidad puede ser analizada mediante el ISG, siguiendo los siguientes pasos:

- Seleccionar e imprimir las imágenes de satélite de la zona de análisis. Las imágenes de Google Earth también pueden ser de gran utilidad para

- los usuarios de las herramientas de zonificación del riesgo de desastres.
- Usuarios expertos en Sistemas de Información Geográfica (SIG) con las diferentes herramientas, podrán bajar imágenes de satélite en las 7 ó en 3 bandas, las cuales deberán ser rectificadas con software especializado, o adquirir las mismas dependiendo del espacio territorial que se pretende analizar.
 - En las imágenes y mapas se sobrepone una capa de polietileno o papel cebolla sobre la cual se ha delimitado referencialmente, luego se identifican puntos de ubicación de manera participativa con líderes de la comunidad, reconociendo las formaciones y áreas potenciales a ser afectadas.
 - Ubicar infraestructuras potencialmente a ser afectadas por algún tipo de amenazas como son: unidades educativas, centros de salud, entidades públicas e iglesias; asimismo trazar rutas de acceso vulnerables e identificar potenciales puntos de interrupción de estas vías.
 - Identificar áreas de pastoreo, áreas de cultivos, potreros, corrales y abrevaderos del ganado, todos ubicados en el territorio para que después se represente en el mapa.
 - Ubicar los servicios básicos de los principales asentamientos humanos.
 - Representar la distribución de la población categorizada en hombres y mujeres.
 - Sistematizar esta información con su codificación en una planilla de base de datos.
 - En cada unidad georeferenciada de análisis, realizar una calificación del nivel de vulnerabilidad en base a la percepción de la propia comunidad.
- Los actores clave, después de una explicación de la metodológica, deben delimitar las principales zonas vulnerables de las comunidades e identificarlas espacialmente, así como dibujar los detalles de su comunidad como caminos o carreteras principales que atraviesan la comunidad, indicar hacia donde se dirigen las diferentes vías de



Fortalecimiento de capacidades en elaboración de mapas en las UGR municipales.

comunicación, ubicación de los ríos y demás fuentes de agua existentes, así como otros puntos de referencia como edificios públicos, unidades educativas, viviendas y acueductos.

Basado en la reflexión anterior, en consenso con los actores locales para lograr una buena aproximación al grado de vulnerabilidad ante potenciales amenazas (considerando la intensidad y frecuencia de los eventos extremos), se debe capitalizar el aprendizaje de buenas prácticas conocidas con anterioridad, identificarlas, y en perspectiva, reflexionar con la comunidad sobre cómo se podrían mejorar para ser implementadas por ellos mismos con los recursos y capacidades locales.

La percepción local permite establecer el manejo del espacio de una comunidad, identificar y ubicar gráficamente los recursos de los comunitarios y su descripción para mejorar las prácticas de manejo.

Paso 4. Comparación del análisis técnico y la percepción local

Se reflexiona a partir de ambas fuentes de información (datos técnicos y percepción local) estudiando interacciones y correlaciones con diferentes datos que se tienen dispuestos de otras fuentes de información. Para ello se recurre al análisis de la geoestadística, clasificaciones supervisadas, análisis fractal⁷, componentes principales, etc.

Paso 5. Presentación y validación del primer borrador de la cartografía de riesgos

Una vez integrado el análisis técnico y la percepción local se establece el dialogo de saberes, reflexionando los punto de encuentro y las complementariedades.

7.4. Fase IV. Zonificación del riesgo

Es posible tomar decisiones en base a los mapas de amenazas y vulnerabilidad. Del mismo modo, es importante también tener una mirada conjunta para entender de manera holística la relación de las variables utilizadas para determinar la amenaza y la vulnerabilidad. En este sentido, la interpretación de los mapas de amenaza y vulnerabilidad se mostrarán en el mapa del riesgo, mostrando las áreas donde se deben priorizar obras de prevención.

Paso 1. Integrar los análisis de amenaza y vulnerabilidad en un solo mapa

En este proceso, se aplica algebra de mapas integrando los análisis de vulnerabilidad y amenaza. Se recomienda mantener desagregado el análisis de riesgo por tipo de amenaza; de esta forma es posible tomar decisiones e implementar medidas de reducción de riesgo o adaptación al cambio climático basado en la categorización del riesgo de desastres.

Paso 2. Se debe reclasificar las áreas con una reflexión basada en criterios técnicos y reflexiones de la percepción local

Los resultados del análisis técnico y la percepción local sistematizada se comparan en una plataforma SIG. Siendo la percepción local recogida participativamente en formatos de imágenes referenciadas, es posible entender la consistencia de ambas, realizar ajuste en algunas variables para identificar la consistencia del análisis.

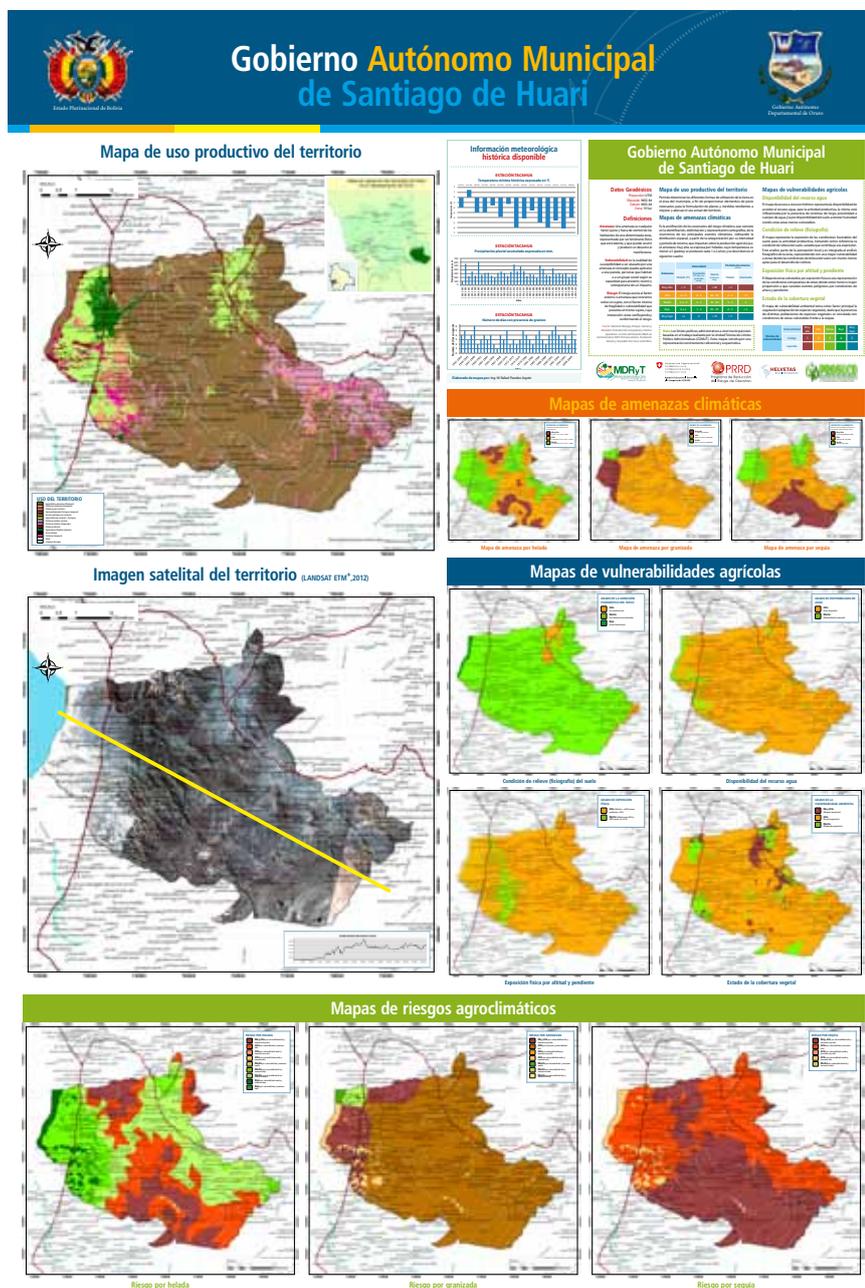
⁷ Fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975 y deriva del Latín *fractus*, que significa quebrado o fracturado (Benoît Mandelbrot, 1979. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*).

Paso 3. Preparar una memoria explicativa y el poster de presentación

Estos documentos deberían ser publicados de manera impresa. Adicionalmente, son importantes también presentaciones mediante banners y CD interactivos, entre otras formas.

Dicho material deberá ser transferido a los mismos actores clave (alcaldes, concejales, técnicos). El proceso participativo debe devolver a los actores el producto terminado.

Figura 19. Poster de presentación nivel 2



Fuente: Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras, PROSUCO, 2012.



8. Nivel 3. Análisis basado en indicadores complejos

La evaluación del riesgo en este nivel⁸ se basa en la interpretación de realidades complejas, haciendo uso de diversas herramientas de información mucho más profunda. Para tal propósito, se desarrolla una serie de indicadores, tanto para interpretar la probabilidad de ocurrencia de una amenaza (natural, socio-natural o antrópica), como para entender la vulnerabilidad y cómo evolucionan ambas en función de diversos factores entre ellos el cambio climático.

En este proceso, las directrices pretenden integrar prácticamente la RRD y la ACC. El análisis debe abordar la construcción espacial del riesgo actual con los indicadores desarrollados, haciendo uso de información, con series de por lo menos una década, y luego desarrollar el análisis del riesgo futuro construyendo la matriz de vulnerabilidad.

Con la incertidumbre que representan los escenarios del cambio climático, se puede determinar el riesgo futuro de manera espacial. Este desafío significa construir herramientas de análisis que permitan desarrollar una cartografía del riesgo en un espacio territorial común. Asimismo, permite hacer un análisis de riesgo urbano, considerando los asentamientos humanos en áreas de alta exposición a deslizamiento, riadas y otras amenazas.

Es importante resaltar que a pesar del desarrollo de herramientas técnicas de mayor precisión, no se descarta el uso de la información de la memoria colectiva de la comunidad, es más, se la integra en el análisis de la frecuencia e intensidad de las amenazas.

Se realizan también análisis más profundos de la ocurrencia de amenazas sobre poblaciones vulnerables y se recupera en el proceso los pasos de los niveles 1 y 2, sobre la colecta de datos, seguido

de un análisis estadístico y un proceso de sistematización de la percepción local (SIG participativo). Este nivel se caracteriza por tener información de alto nivel.

Sin embargo, el mayor aporte de este nivel de análisis se halla en la posibilidad de analizar amenazas y vulnerabilidad en dos tiempos: uno actual y otro en proyección al futuro.

Asimismo:

- Se determina la probabilidad de ocurrencia de las amenazas en condición actual, considerando un análisis multi-temporal de información sistemática (meteorológica, agrometeorológica e hidrológica), en base a indicadores como el Índice de Probabilidad de Ocurrencia de Amenazas (IPOA⁹).
- Se desarrollan Indicadores de Ocurrencia de amenazas.
- Se estimar la vulnerabilidad en base a diversos criterios, tomando en cuenta diferentes variables.

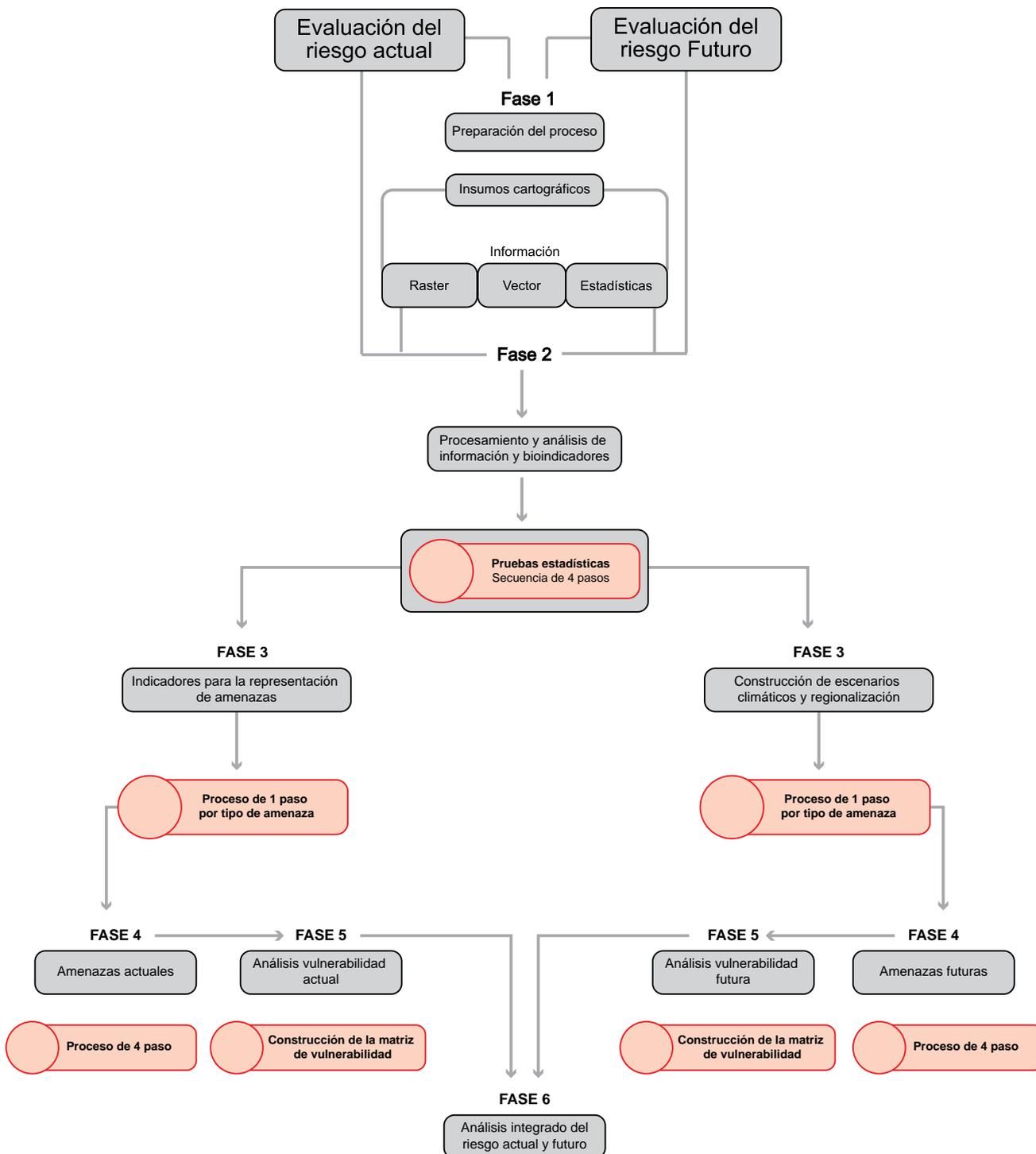
En el entendido de que la zonificación del riesgo es un proceso complejo de lectura de la realidad, se deben construir herramientas ricas de colecta de información sistemática y geográfica en series; en el país se tiene una mejora sustancial de los servicios de generación de información, y en perspectiva, también va mejorando el acceso a información geográfica, cada vez con mayor resolución. Por estas razones, se plantea un nivel 3 para la zonificación del riesgo.

Este nivel profundiza sobre *la naturaleza dinámica de la amenaza y la vulnerabilidad* con su propia evolución, producto del desarrollo que va generando

8 Los autores y editores de estas directrices consideran que este nivel es mucho más difícil de aplicar en municipios rurales, por lo que su aplicación puede estar en concordancia con municipios grandes que cuentan con recursos profesionales especializados.

9 IPOA: Estos índices permiten la espacialización de la amenaza. Esto es la localización sobre el mapa, no sólo de la ocurrencia de la amenaza, sino también de la severidad y la recurrencia (resolución temporal).

Figura 20. Proceso de análisis del nivel 3



Fuente: Elaboración propia.

oportunidades que el potencial del territorio brinda.

Para lograr este propósito, se deben establecer algunos criterios a manera de recomendaciones:

- El análisis considera los potenciales de las herramientas de los sistemas de información geográfica apoyados por su software SIG.
- La metodología de análisis sigue siendo integral, donde el proceso se considera plenamente válido (aunque no absoluto). El conocimiento local es también determinante por lo que la aplicación del mismo es y debe ser siempre participativo, apoyado en la gobernabilidad del riesgo en un espacio territorial.
- El SIG deberá ser aplicado por personas que conocen el territorio y tienen a su cargo la gestión del riesgo de la entidad que aplica la herramienta (la UGR por ejemplo).
- Se requiere mejorar las capacidades técnicas de las UGR, para que puedan realizar el monitoreo de las acciones e impactos de la Gestión del Riesgo en la población, y en última instancia en el espacio territorial.

8.1. EVALUACIÓN DEL RIESGO ACTUAL

8.1.1. Fase I. Preparación del proceso

Se debe cuidar la calidad de la información, tanto geográfica como sistemática, y también la generada en la sistematización del saber local. En este nivel se analizará el riesgo actual como elemento de línea base y se determi-

nará el riesgo futuro considerando el cambio climático, de manera tal que se pueda inferir hacia dónde va el impacto del cambio climático en su incidencia sobre las amenazas.

Paso 1. Preparación de la cartografía digital en formato vector y Raster

Desde hace aproximadamente tres décadas, se cuenta con información digital en formato vector con diferentes niveles de precisión y exactitud; asimismo, la tecnología de los últimos años ha mejorado sustancialmente, tanto en el acceso como en la calidad de información generada. Es decir que se elaboran mapas utilizando diferentes herramientas cartográficas de diferentes escalas que pueden ser de utilidad, incluso permitiría hacer análisis multi-temporal. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en revisar la metodología aplicada en cada caso, para realizar la estandarización de los resultados.

En este paso se debe considerar:

- El análisis multi-temporal se realiza con mapas temáticos de referencia, considerando la escala de elaboración y los criterios metodológicos y la conceptualización de las unidades de terreno similares.
- El mapa de Navarro Ferreira es un insumo fundamental en el proceso, el cual es un documento en una escala 1:250.000.
- En varios departamentos hay la zonificación agroecológica, con categoría de agro-ecosistemas como referencia. Se debe reflexionar sobre el contexto actual en el uso de estas herramientas.



Construyendo una metodología para la zonificación del riesgo.

- Existe información de la cartografía digital “oficial” de límites intermunicipales y departamentales. Sin embargo, se tienen conflictos latentes en la definición de límites. Siendo éste un tema bastante sensible, se debe tener cuidado al iniciar el análisis.
- El uso actual de la tierra también es un insumo importante para la valoración de la vulnerabilidad y sus factores.
- Utilizar información de la red de observación sistemática en formato digital.

Paso 2. Recopilación de la cartografía geoespacial

En este nivel se debe considerar:

- Información de los radares como la Plataforma TRMM con una serie de 15 años.
- Imagen de satélite de la unidad territorial de análisis, en formato Raster.

- El modelo de elevación digital (DEM) ASTER y otros existentes.

Paso 3. Procesamiento de la información geoespacial

- Procesamiento de las imágenes de satélite, especialmente rectificación, georeferenciación, etc.

Este análisis se realizará en base a las siguientes consideraciones:

a) Definición de áreas y particularidades del territorio

Este paso consiste en la definición del área donde se va a determinar el nivel de riesgo existente.

b) Georeferenciación de las imágenes

Las imágenes satelitales, al igual que las fotografías aéreas, no proporcionan información georeferenciada. Es natural que éstas presenten una serie de distorsiones debido a que son satélites en movimiento los que capturan

la imagen, similares a las de los fotogramas. Entonces, es necesario realizar correcciones para restaurar los puntos de la imagen en sus coordenadas reales.

Este proceso se basa en ecuaciones polinómicas, las mismas que permiten modificar flexiblemente las coordenadas de la imagen. La determinación de la flexibilidad del ajuste depende del orden del polinomio y de la transformación. También es frecuente la utilización de transformaciones lineales (polinomio de primer orden), cuadráticas (polinomio de segundo orden) y cúbico (polinomio de tercer orden). En la práctica se utilizan polinomios de primer orden.

c) Rectificación radiométrica

El territorio, visto desde el espacio, presenta una serie de interferencias en la captura de las imágenes de satélite que perturban la información que se pretende obtener. La señal viaja a través de la atmósfera afectando su calidad. Los factores que inciden en esto son: la iluminación del sol, los cambios estacionales, fallas identificadas en los sensores y el terreno que influye en la incidencia de la radiación. Todos éstos afectan los valores radiométricos, generando una distorsión reflejada en los píxeles; en estos casos, se debe realizar la corrección radiométrica, mediante un proceso automático utilizando software especializado como el ENVI, ERDAS o el Arc GIS. Mayores referencias sobre su aplicación están descritas en los tutoriales.

d) Corrección atmosférica

La interferencia de la atmósfera en la recepción de la información por los sensores del satélite, implica realizar algún tipo de corrección sobre su efecto en la señal capturada (en términos de

dispersión y absorción). El método para la corrección de la reflectancia en superficie, considerando el efecto de la dispersión molecular es el método *Rayleigh*, que llega al sensor como producto de la interacción de la radiación EM, con los componentes moleculares de la atmósfera. Este proceso implica determinar valores correspondientes a la radiancia *Rayleigh* para la fecha de la imagen y para cada una de las bandas especialmente en imágenes LANDSAT.

Estas correcciones deben realizarse en el software ERDAS si el trabajo se realiza con Arc GIS; o en ENVI si el trabajo se realiza en IDRISI y otros sistemas de información geográfica. Los procedimientos siguen los mismos principios; el equipo encargado se puede orientar en los tutoriales disponibles en la línea, por ejemplo: http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech_Docs/ERDAS_Field_Guide.sflb.ashx

- Inventario multitemporal de imágenes de satélite. Se tiene a disposición, imágenes gratuitas del satélite LANDSAT; también se pueden usar a bajo costo imágenes Ikonos o las Spot).

Paso 4. Análisis multi-temporal de imágenes de satélite

Las imágenes de satélite son una representación visual con una carga de información georeferenciada que permite valorar la evolución de los sistemas naturales y humanos. Su utilización en la gestión y conservación de los recursos naturales se da en el último tiempo con mayor intensidad, por ejemplo: en el monitoreo de incendios forestales, cambios en la cobertura vegetal y cambios en el uso de la tierra, así como el monitoreo de la generación a través del índice normalizado de vegetación NDVI.

8.1.2. Fase II. Procesamiento de la información estadística y bioindicadores

Paso 1. Recopilación de información

La información sistemática para la evaluación de amenazas y vulnerabilidad se la obtiene de fuentes oficiales como:

- SENAMHI
- AASANA
- Worldclim
- tutiempo.net
- Sensor TRMM
- SEMENA

Por otra parte, se tiene información para la colecta de otras variables para la evaluación de la vulnerabilidad con fuentes como:

- INE
- PDM
- Estadísticas agropecuarias
- Otras fuentes

Otra fuente de información importante es la que se puede recuperar del conocimiento local, estructurada en función a las necesidades y alcance de la evaluación.

- Los Yapuchiris y/u Observadores Locales Agropecuarios (OLA) y su Pachagrama.
- Líderes locales de otras regiones.

Paso 2. Análisis estadístico

Con los datos del paso 1, se establece una base de datos con información histórica en función a los objetivos de la herramienta que se desea generar. Se debe analizar comparativamente la información estadística en series de tiempo con pruebas no paramétricas, para lo cual se pueden utilizar Mc Kjendall, Kolmogorov – Smirnov que

se encuentran en software estadístico convencional.

Paso 3. Interpretación de resultados

Con los resultados se entenderá estadísticamente cómo evolucionan las diferentes variables climáticas (precipitación, temperatura) y las socio económicas (población, producción agropecuaria, ganadera, etc.).

Constituye una buena práctica realizar el análisis de consistencia de la información, revisar la metodología de obtención cuando se aplican diferentes fuentes de una misma variable y también ver la compatibilidad metodológica. Se recomienda siempre utilizar información oficial. También se recomienda cruzar la información con el saber local.

Paso 4. Espacialización de la información

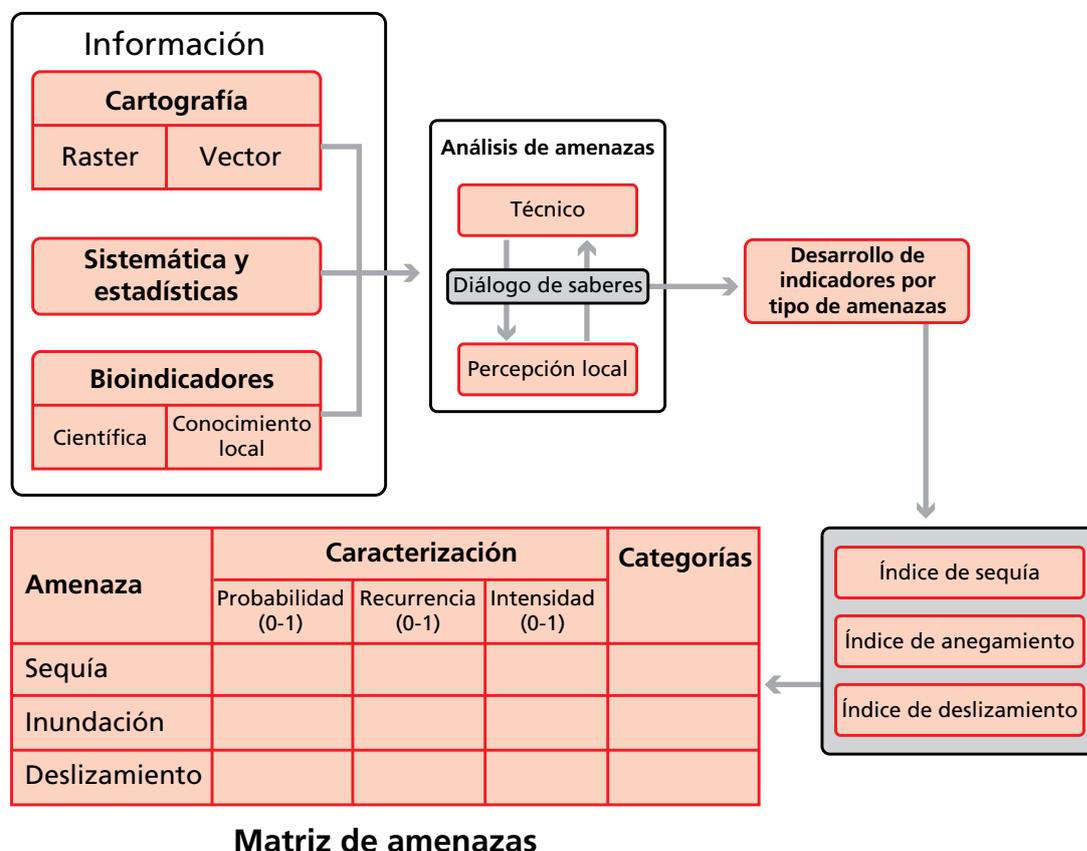
Toda la información deberá ser espacializada en mapas temáticos, los mismos que se constituirán en insumos para análisis de amenazas y vulnerabilidad.

8.1.3. Fase III. Indicadores para la representación espacial de amenazas

Es un desafío complejo desarrollar indicadores por tipo de amenaza. En este nivel se trata de dar el mayor y mejor uso a la información meteorológica existente en series largas. Este proceso se refleja en la Figura 27.

Se recomienda utilizar los siguientes modelos para el cálculo de los diferentes índices:

Figura 21. Determinación de la amenazas en función de indicadores



Fuente: Elaboración propia.

Índice de sequía

Es difícil establecer un concepto de sequía genérica, por lo cual deben considerarse los siguientes cuatro conceptos:

1. *Sequía meteorológica*. Precipitación observada inferior a la media de una serie histórica.
2. *Sequía hidrológica*. Reducción de caudales en ríos, bajos niveles de agua en represas, ríos, lagos y aguas subterráneas.
3. *Sequía agronómica*. Niveles de humedad en el suelo por debajo del requerimiento de las plantas.

4. *Sequía ambiental*. Una combinación de las anteriores categorías descritas. Los impactos socioeconómicos de los déficits de agua pueden ser exacerbados por el cambio en el uso de la tierra, cambio en la cobertura vegetal, competencias por los usos consuntivos y no consuntivos del agua.

Con las consideraciones conceptuales anteriores, es difícil determinar un solo índice para varios tipos de sequía. Sin embargo, como la sequía está en función de la precipitación, es importante analizar el carácter de ésta como variable. La precipitación es una variable de series binarias (ausencia/ocurrencia) considerando la correlación temporal y las estadísticas básicas de la estación local estudiada.

Simplificando la estimación, se considera la combinación de la probabilidad de precipitación por un factor de estacionalidad, haciendo referencia al periodo agrícola convencional. La espacialización de la amenaza en el área rural se define por:

$$I_s = \left[\frac{P_a}{P_n c} - 1 \right] \varepsilon_o$$

Dónde:

I_s : Índice de sequía

P_a : Precipitación del periodo lluvioso

P_n : Precipitación normal en el periodo lluvioso

ε_o : Factor de estacionalidad

$$\varepsilon_o = \left[\frac{n_{cp}}{n_t} \right]$$

Dónde:

ε_o : Factor de estacionalidad

n_{cp} : Número de días lluviosos

n_t : Número de días totales

Índice de anegamiento

Múltiples factores inciden en el anegamiento, entre ellos la precipitación acumulada en la parte alta de la cuenca, impermeabilidad de los horizontes superficiales y sub superficiales, y la ETR descrito por la siguiente relación:

$$I_A = \left[\frac{\sum PP_n - \sum I_i - \sum ETR_i}{T} \right] A_i$$

Dónde:

I_A : es el índice de anegamiento

A_i : Área de la unidad con pendiente < 2%

PP_n : precipitación del número estaciones influyentes en la cuenca

I_i : infiltración

ETR: evapotranspiración real

T: tiempo

Índice de deslizamiento

La probabilidad de deslizamiento depende de diversos factores, por lo que se recomienda realizar un análisis multi-criterio propuesto por Van Wasten (2008), considerando que cada criterio no siempre incide en la misma proporción. Ver la siguiente relación:

$$a_{ij} = \prod_{i=1}^h W_j^L$$

Dónde:

a_{ij} : Representación de áreas de deslizamiento como una alternativa i por el criterio j

$\prod_{i=1}^h W_j^L$: Es el producto del peso i al criterio h

L: Es el nivel

8.1.4. Fase IV. Análisis de amenazas actuales

Paso 1. Construcción de la cartografía base

Se deben seguir los mismos pasos del nivel 2, añadiendo más de una serie de imágenes.

Paso 2. Construcción de una base de datos con la información estadística y sistemática

La base de datos construida debe tener un referente espacial, vale decir las coordenadas geográficas y el Datum utilizado, el mismo que en el país es el WGS84. Esta información puede ser construida a partir de la que se tiene a nivel municipal, basada en la referencia de los puntos de poblado o capital de municipio.

Paso 3. Identificación de la amenazas en base a la información sistemática

A partir del análisis de consistencia de información, se realiza la identificación de umbrales que identifican condiciones de amenaza comparando años de por ejemplo, la ocurrencia de inundación a través de los índices correspondientes. Es importante identificar los años ENSO y los años de condición neutral. De manera complementaria, comparar estos datos de umbrales con el conocimiento local.

Con la información de los diferentes índices se construye la matriz de amenazas, especificando para cada una de ellas la probabilidad, recurrencia e intensidad.

Paso 4. Espacialización de las amenazas

Los puntos referenciados que han pasado por todo el análisis previo para cada tipo de amenaza son introducidos en la geodata base, la cual se espacializa

a través de procesos de interpolación polinomial.

8.1.5. FASE V. Análisis de vulnerabilidad actual

Los factores del análisis en este nivel son los mismos en los niveles anteriores, por lo que se recomienda utilizar el análisis de vulnerabilidad del nivel 2, tanto desde la perspectiva técnica, como desde la percepción local.

8.1.6. Fase VI. Análisis de riesgo actual

Paso 1. Integrar los análisis de amenaza y vulnerabilidad en un solo mapa

En este proceso se aplica álgebra de mapas, integrando los análisis de vulnerabilidad y amenaza. Se recomienda mantener desagregado el análisis de riesgo por tipo de amenaza; de esta forma es posible tomar decisiones e implementar medidas de reducción de riesgo o adaptación al cambio climático.



Deslizamiento en la carretera Cotapata - Santa Bárbara.

Paso 2. Se debe reclasificar las áreas con una reflexión basada en criterios técnicos y percepción local

Los resultados del análisis técnico y la percepción local sistematizada se comparan en una plataforma SIG. Siendo la percepción local recogida participativamente en formatos de imágenes referenciadas, es posible entender la consistencia de ambas y realizar ajustes en algunas variables.

Paso 3. Preparar una memoria explicativa y el poster de presentación

Estos documentos servirán a la gestión del desarrollo y deberán ser publicados en impresos. Adicionalmente, es importante otros medios como: la cartografía final por medio de presentaciones, que van desde banners, atlas, CD interactivos, etc.

Presentación de productos y transferencia de los mismos a actores clave (Alcaldes, Concejales, Técnicos, Autoridades, otros). En el proceso participativo se

debe devolver a los actores el producto terminado.

8.2. Análisis del riesgo futuro

En este nivel, el análisis se puede identificar a partir de series más largas de información. Se considera la recomendación de la OMM (2002), 30 años, porque se debe determinar también el carácter y magnitud de los cambios en las amenazas.

Los escenarios son insumos para analizar situaciones donde los resultados son inciertos. El objetivo de trabajar con escenarios no es pronosticar el desastre, ni mucho menos predecir el futuro, sino comprender mejor las incertidumbres y considerar alternativas para la toma de decisiones. En la investigación del cambio climático, los escenarios describen trayectorias plausibles de diferentes aspectos del futuro, que se construyen para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antrópico. Los escenarios represen-



Expansión de la mancha urbana de la ciudad de Sucre, condición que incrementa la vulnerabilidad.

tan muchas de las principales fuerzas impulsoras, incluyendo los procesos y los impactos (físicos, ecológicos y socioeconómicos) y sus posibles respuestas, las cuales son importantes para informar sobre el análisis del cambio climático (IPCC, 2013).

El valor agregado de aplicar la herramienta para la evaluación del riesgo futuro, basado en análisis de tendencia y los escenarios, es la gama de posibilidades de implementar una o varias medidas de adaptación o reducción del riesgo. Es muy importante contar con información histórica que permita validar los mismos, o realizar análisis comparativos entre clima actual y clima histórico.

8.2.1. Fase I. Preparación del proceso

El proceso tiene mayor riqueza en la medida en que se utilice información con una base metodológica consistente; asimismo es importante determinar cuál es el alcance de la herramienta que se pretende construir y qué uso se le pretende dar.

Paso 1. Insumos cartográficos

Los insumos cartográficos elaborados para el nivel 1 y nivel 2 son de utilidad para integrarlos en este nivel 3. Es decir son los mismos que aquellos establecidos para el análisis del riesgo actual, con la salvedad de analizar multi-temporalmente los escenarios climáticos en formato Raster.

Paso 2. Recopilación, construcción de escenarios de cambio climático y/o tendencias

Los escenarios climáticos regionales pueden tomarse de la página web: www.worldclim.org ; [http://precis.](http://precis.metoffice.com)

[metoffice.com](http://precis.metoffice.com); también es posible consultar la Segunda Comunicación Nacional de Bolivia ante la CMNUCC; estudios del PNUD, LIDEMA y del otrora PNCC. En la página www.prrd.com.bo, se encuentra también el estudio sobre "Eventos extremos a partir de escenarios climáticos: análisis en municipios rurales de Bolivia, zonas andinas y valles (PRRD 2014)".

Downscaling estadístico y dinámico

La tarea de reducir la escala de los resultados de los escenarios globales de cambio climático, es la clave para poder llevar a cabo de forma adecuada estudios de vulnerabilidad e impacto, asimismo identificar medidas de adaptación que tengan en cuenta la variabilidad regional del clima y la influencia de las características de las zonas de estudio. Las dos metodologías que se utilizan en este proceso de reducción de escala son:

- a) La regionalización dinámica, utilizando modelos del clima con una resolución mayor (hasta 25 km) acoplados con los modelos globales que proporcionan las condiciones de contorno para las simulaciones. El problema de esta técnica es que requiere de recursos computacionales muy elevados, con un costo comparativo muy alto. Adicionalmente, zonas con fisiografía muy accidentada no son claramente representadas, pues la grilla incluso reducida, podría ser mayor que sus variaciones.
- b) La regionalización estadística, que utiliza modelos empíricos para proyectar las condiciones climáticas futuras en localidades cuyas características climáticas presentes son conocidas (a través de observaciones). Esta es una técnica muy barata,

pero su punto débil es asumir que la validez de los modelos empíricos ajustados en el clima presente, se mantendrá en el clima futuro. (Extraído de Eventos extremos a partir de escenarios climáticos: Análisis en municipios rurales de Bolivia. - zonas andinas y valles. PRRD 2014).

8.2.2. Fase II. Indicadores para la representación espacial de amenazas futuras

Se utilizarán los mismos indicadores considerados en la evaluación del riesgo actual, cambiando la información meteorológica actual con la que proporcionan los escenarios climáticos, lo que permitirá obtener indicadores de amenazas futuras.

De la misma manera se sigue el mismo procedimiento para espacializar las amenazas en condiciones de cambio climático.

8.2.3. FASE III. Análisis de vulnerabilidad futura

Determinar un escenario de vulnerabilidad futuro, solamente será posible al estimar los niveles de vulnerabilidad que se tuvieron a partir de condiciones de eventos extremos históricos (ENSO por ejemplo), bajo condiciones de exposición y sensibilidad constantes.

Se infiere que el carácter, magnitud y rapidez del cambio en la amenaza provocará el incremento de la vulne-

rabilidad. La matriz de vulnerabilidad elaborada para estas nuevas condiciones será espacializada, en base a los mismos puntos trabajados en situación actual.

8.2.4. Fase IV. Análisis de riesgo futuro

De la misma manera, se compone metodológicamente el riesgo futuro a partir de la información de la amenaza y la vulnerabilidad futuras.

Paso 1. Integrar los análisis de amenaza y vulnerabilidad en un solo mapa

En este proceso se aplica algebra de mapas, integrando los análisis de vulnerabilidad y amenazas futuras. Se recomienda mantener desagregado el análisis de riesgo por tipo de amenaza; de esta forma es posible tomar decisiones e implementar medidas de reducción de riesgo o adaptación al cambio climático basado en la categorización del riesgo de desastres.

Paso 2. Preparar una memoria explicativa y el poster de presentación de un escenario de riesgo futuro

Estos documentos servirán para su utilización en la gestión del desarrollo y para planificar medidas de reducción del riesgo de desastres en condiciones de cambio climático, que para este caso se denominarían medidas de adaptación.



9. Bibliografía

- Allard M. J., *Meijerink hans AM; de Brouwer C. M.; Mannaerts; Valenzuela C.*, 1994. Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology. Published with the support of: The International for Aerospace Science and Earth Sciences (ITC) The Netherlands. UNESCO. Division water Sciences, France. Ministry of Education and Science. The Netherlands.
- Aparicio M.; Sandoval O.; Aparicio J.; Olmos C. Ocampo M.; Molina C.; Trujillo F.; Pasten M.; Jimenez A. 2012. Determinación participativa de la vulnerabilidad sanitaria por eventos extremos, agua y saneamiento, por efecto del cambio y la variabilidad climática en ciudades ubicadas en ecosistemas de montaña. OPS/OMS; GAMLP; MHN. La Paz, Bolivia.
- Cámara de la Construcción. CADECO. Gobierno recibe plan de vivienda para afectados para la Inter American Institute for global research (IAI); La red 2006; Desinventar. 2006. Proyecto de gestión de riesgo ENSO en América Latina Web site: <http://www.cambio-global.org/enso/enos/enos.html>
- Centro Internacional de Investigación del Fenómeno de "El Niño" 2010. Caso de estudio. Definición del riesgo. http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=588%3Aa-proximacion-para-el-calculo-de-riesgo&catid=84%3Adefinicion-de-riesgo&Itemid=111&lang=es
- Fernand Joly 1988. Manual de Cartografía, Universidad de París.
- González José Luis Vicente – Behm Virginia Chang (2008). Consulta, edición y análisis espacial con Arcgis 9.2. Tomo I: teoría. Junta de Castilla y León.
- Gutierrez J. M.; Cano R.; Cofiño A.; Sordo C. 2004. Redes probabilísticas y neuronales en las ciencias atmosféricas. UNICAN. Ministerio del ambiente. Dirección General de Instituto Nacional de Meteorología. Pp 263.
- IPCC, 2014. SCENARIO PROCESS FOR AR5 http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/scenario_background.html
- IPCC, 2013. Cambio climático 2013. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parry, M; Canziani O, Palutikof J, Van Der Linden P. Hanson Clair. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp. Web site: <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parry, M; Canziani O, Palutikof J, Van Der Linden P. Hanson Clair. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- MARDONES, María y VIDAL, Claudia. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. EURE (Santiago) [online]. 2001, vol.27, n.81 [citado 2012-06-23], pp. 97-122. Disponible en web site: <http://www.scielo.cl/scielo>

- php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612001008100006&lng=es&nrm=iso. ISSN 0250-7161. doi: 10.4067/S0250-1612001008100006.
- Moré G; Pons X; Cristóbal J; González O.; Pesquer L. 2012. Corrección radiométrica automática de imágenes Landsat TM mediante áreas pseudo invariantes In. Revista de teledetección asociación española de teledetección. Pp. 37- 76.
- Salitchev, K. (1979). Cartografía. Editorial Científico Técnica. Primera edición. Ciudad de La Habana - Cuba. SP.
- Sistema Único Nacional de Información de la Tierra (SUNIT), 2007.
- Pabón D. y Beisiegel Thorsten. 2010. Pronóstico de granizadas mediante modelos numéricos regionales en la zona Andina: El caso de la tormenta del 3 de noviembre de 2007 sobre Bogotá D.C. Artículo del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia y Geoentrópica Ltda., Bogotá, Colombia. 10 pp.
- PREDECAN. 2009. Aproximación de la gestión del riesgo en La Paz a través de un estudio de resiliencia en 5 barrios de la ciudad.
- Ponce Sanjinés, C, De Mesa J Gisbert y T. de Mesa. 2007. Historia de Bolivia. UNISDR, 2009. Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Publicado por la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. Ginebra Suiza, 2009.
- United Nation University (2005). Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies Second Edition. Edited by Jörn Birkmann. Tokyo, Japan. 400 pp
- USAID, CAF, 1998. Drought, food insecurity and marginalization: A long term perspective on humanitarian response in web site:
- De la Peña, Ildefonso. 1987. Manual de uso y manejo del agua de riego. Patronato para la producción y extensión agrícola y ganadera. Cd. Obregón, Sonora, México. 186 pp.
- Claudia A. Rodrigo L.; Víctor H. Yapu F, 2014. Visión de primera línea. Soluciones Prácticas, Cooperación Suiza, La Paz-Bolivia. 79 pp.
- Flores, E.Z. 1978. Hidrología Superficial. Ed. Universitaria Sonora, México. 183 p.
- Zimmermann M; Pozzi A y Stoessel F. 2005. Vademecum hazard maps and related instruments the Swiss System and its Application abroad capitalisation of experience. Bern (Switzerland) 34 pp.



Anexos

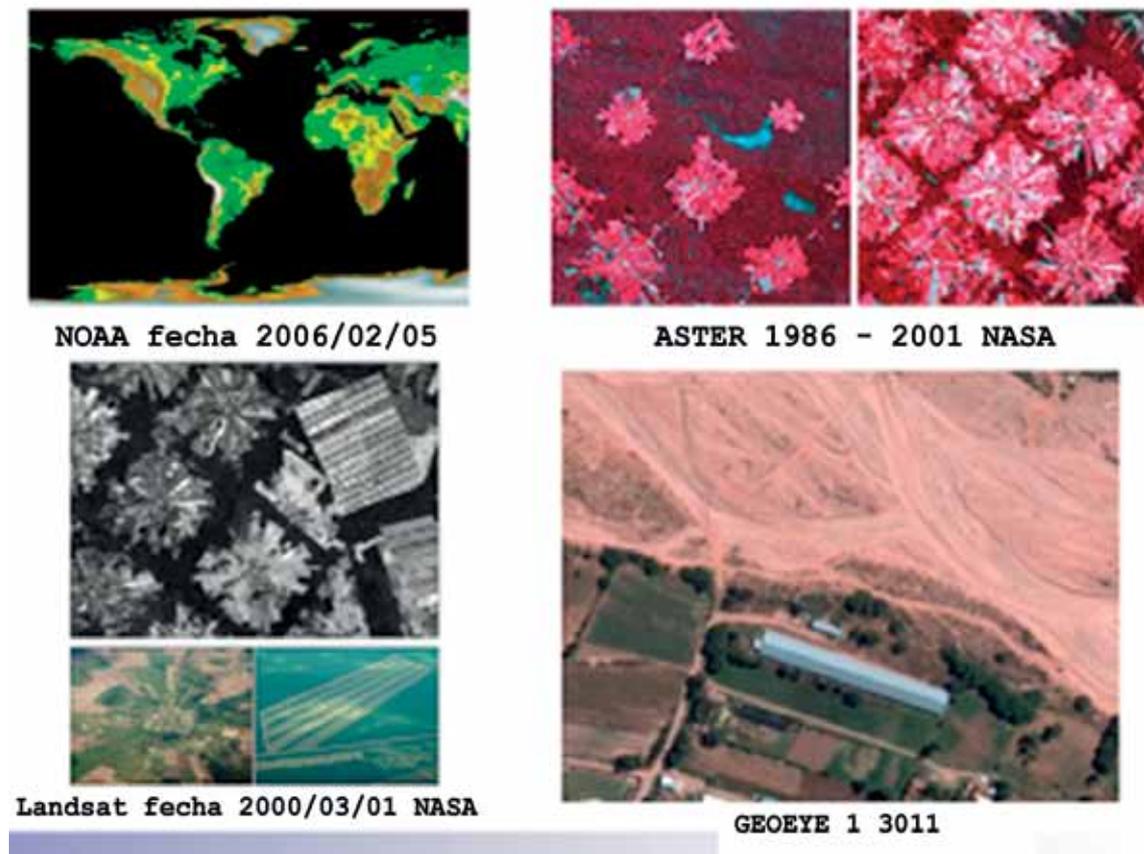
Anexo 1

Tabla 1. Principales características de los sistemas más comunes de imágenes de satélite

Satélite	Frecuencia de paso (días)	Resolución espectral (μm)	Resolución en el suelo (m)
Landsat 1-3 MSS (Bandas de la 4 a la 7)	18	4: 0.5-0.6 5: 0.6-0.7 6: 0.7-0.8 7: 0.8-1.1	79
Landsat 4-5 MSS (Bandas de la 1 a la 4)	16	1: 0.5-0.6 2: 0.6-0.7 3: 0.7-0.8 4: 0.8-1.1	82
Landsat 1-3 MSS (Bandas de la 1 a la 7)	16 días	1: 0.45-0.52 2: 0.52-0.60 3: 0.63-0.69 4: 0.76-0.90 5: 1.55-1.1 6: 10.4-12.5	30 120
Spot 1 y 2	Nadir 26 días; off nadir 1,2 y 5 días dependiendo de la latitud	1: 0.50-0.59 2: 0.79-0.89 3: 0.79-0.89 Pan: 0.51—0.73	20 10
METEOSAT (Bandas visible, Wv, Infra Rojo lejano)	Geoestacionario	Vis: 0.4-1.1 Wv: 0.5-0.8 IRL: 5.7-7.1 (Si 2 escaner son usados)	± 5000 a 10000
NOAA-AVHRR 6-8 y 10 (Bandas de 1 a 5)	12 horas	1: 0.58-0.68 2: 0.72-1.10 3: 3.55-3.93 4: 10.5-11.5 5: Repite el canal 4	1100 at nadir 2400-6900 a 55.4" Scan angle
NOAA-AVHRR 7 y 9 (Bandas de 1 a 5)	12 horas	1: 0.58-0.681 2: 0.72-1.10 3: 3.55-3.93 4: 10.5-11.5 5: 11.5-12.5	1100 at nadir 2400-6900 a 55.4" Angulo de escaneo
IRS (Bandas de 1 a 4)	22 días	1: 0.45-0.52 2: 0.52-0.59 3: 0.62-0.68 4: 0.77-0.86	36.25 o 72.50

Fuente: Allard, *et al.*, 1994.

Imágenes satelitales de baja, mediana y alta resolución



Fuente: Ovando C., C. K. 2011 en base a imágenes procedentes de NASA (2000, 2001, 2006) y Google Earth (2011).

Las imágenes satelitales de más fácil acceso son las Landsat que son posibles de acceder gratuitamente de los siguientes links:

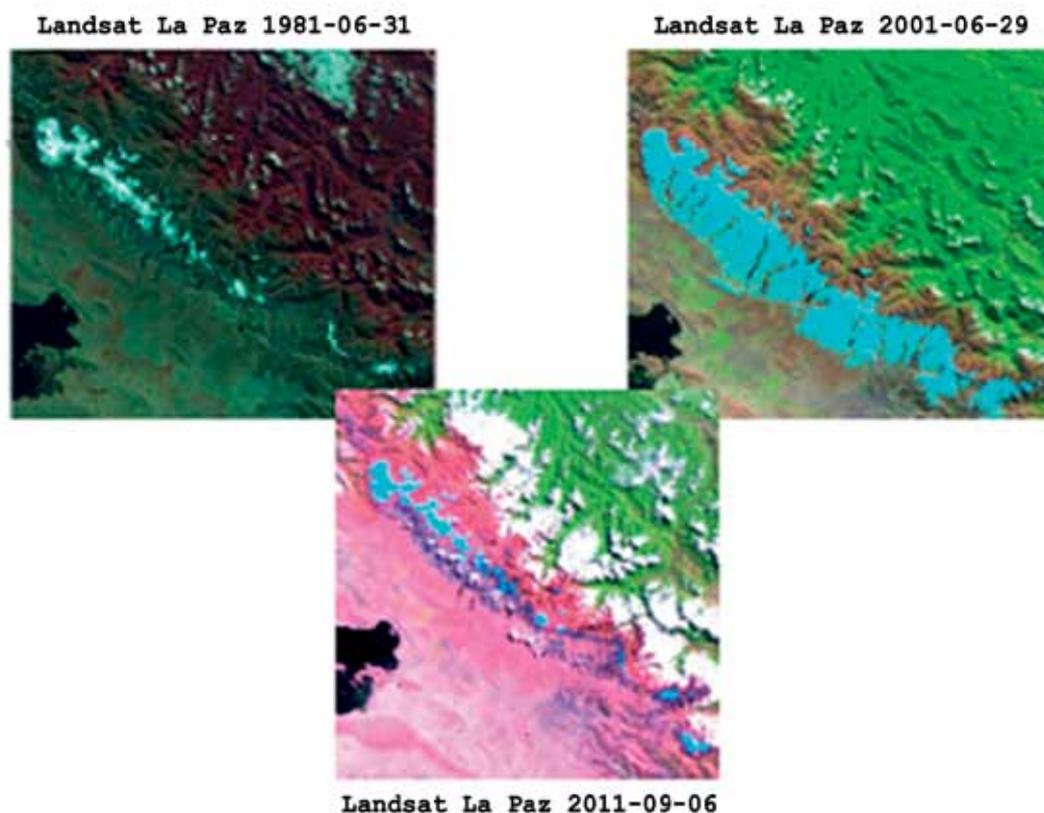
<http://teledeteccionsigcartografia.wordpress.com/2013/01/06/como-descargar-una-imagen-satelital-landsat-de-esdi/>
<http://acolita.com/descargar-imagenes-satelitales-landsat-glcf/>
http://www.youtube.com/watch?v=_8_ShFdqCgU
<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

Imágenes Landsat

Las imágenes satelitales más utilizadas son las **Landsat**, debido a que en la actualidad son de libre disponibilidad en los servidores oficiales. Las mismas

existen en mediana resolución (pixel \leq 30 m) y en baja resolución (pixel $>$ 30 m), según las bandas que se utilicen. La ventaja es que se dispone de series de imágenes desde la década de los 70, por lo que es posible realizar **análisis temporales** con imágenes de distintas fechas y para una determinada zona en función a la disponibilidad de escenas. Es importante considerar el periodo de las imágenes que se disponen, ya que las características de la cobertura de la zona varían significativamente si se usa la imagen en una época de estiaje o en una época de lluvias; en estos casos, se mostrarán características diferentes en la cobertura que se deben a la estacionalidad como se muestra en la siguiente figura, por ejemplo para identificar áreas de inundaciones.

Ejemplos de imágenes satelitales Landsat 1981, 2001, 2011 en diferentes épocas del año



Fuente: Ovando C, C.K. 2011 en base a imágenes procedentes de INPE.

Existen cuatro tipos de imágenes Landsat en función a la misión correspondiente, por tanto los sensores disponibles en el satélite de referencia varían en número de bandas y resolución espacial:

Landsat Multispectral Scanner (MSS). Son imágenes de las primeras misiones que tienen 79 x 57 m de resolución (actualmente re-muestreadas a 60 m). Las escenas tienen una cobertura de 170 km Norte – Sur y 185 km Este – Oeste. Las denominaciones en número

Tabla 2: Características de las bandas Landsat MSS

Landsat 1-3	Landsat 4-5	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 4	Banda 1	0.5-0.6	60
Banda 5	Banda 2	0.6-0.7	60
Banda 6	Banda 3	0.7-0.8	60
Banda 7	Banda 4	0.8-1.1	60

Fuente: Elaborado en base a USGS, 2012.¹⁰

¹⁰ http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php

de cada banda han variado de acuerdo a la misión a la que corresponden como se muestra en la Tabla 3.

Landsat Thematic Mapper (TM). Cuentan con 7 bandas y una resolución espacial de 30 metros (Bandas 1 a 5, 7) y la Banda 6 tiene una resolución de 120 metros que esta re-muestreada a 30 m (el re-muestreado varía según la fecha de la imagen, aquellas tomadas antes de 25 de febrero de 2010 son de 60 m). El tamaño de escena es de 170 km Norte – Sur y 183 km Este – Oeste. Como se presenta en la Tabla 3.

Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Son imágenes que tienen 8 bandas espectrales con una resolución especial de 30 metros para las bandas 1 a la 7 y la resolución de la banda pancromática es de 15 m. El tamaño aproximado de las escenas es de 170 km Norte – Sur por 183 km Este – Oeste. La banda termal (6) está re-muestreada a 30 metros después del 25 de febrero 2010.

Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Está planificado que desde el 11 de febrero de 2013, los datos que recabará el instrumento OLI (Operational Land Imager), contarán con una Banda 1 “ultra-blue” que servirán para estudios de aerosol y también costeros, y la Banda 9 que será útil para detección de nubes (grises). También está planificado que incluya dos bandas termales, cuya dimensión será comparable a las existentes.

Para bajar las imágenes hay varios servidores y servicios en internet de los que se puede bajar las escenas.

Para ello, es necesario definir previamente el área de estudio para ver la escena o escenas que se utilizarán, y tener definido un intervalo de tiempo de referencia para seleccionar las imágenes de fechas específicas del mapeo. La Tabla 3 muestra la cobertura de escenas de Landsat de Bolivia.

Tabla 3. Características de las bandas Landsat TM

Landsat 1-3	Landsat 4-5	Longitud de onda (micrómetros)
Banda 1	0.45-0.52	30
Banda 2	0.52-0.60	30
Banda 3	0.63-0.69	30
Banda 4	0.76-0.90	30
Banda 5	1.55-1.75	30
Banda 6	10.40-12.50	120* (30)
Banda 7	2.08-2.35	30

Fuente: Elaborado en base a USGS, 2012.

Tabla 4. Características de las bandas Landsat ETM+

Landsat 7	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Band 1	0.45-0.52	30
Band 2	0.52-0.60	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.77-0.90	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.40-12.50	60 * (30)
Band 7	2.09-2.35	30
Band 8	.52-.90	15

Fuente: Elaborado en base a USGS, 2012.

Tabla 5. Características de las bandas Landsat LDCM

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Band 1 - Coastal aerosol	0.433 - 0.453	30
Band 2 - Blue	0.450 - 0.515	30
Band 3 - Green	0.525 - 0.600	30
Band 4 - Red	0.630 - 0.680	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.845 - 0.885	30
Band 6 - SWIR 1	1.560 - 1.660	30
Band 7 - SWIR 2	2.100 - 2.300	30
Band 8 - Panchromatic	0.500 - 0.680	15
Band 9 - Cirrus	1.360 - 1.390	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIR) 1	10.3 - 11.3	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIR) 2	11.5 - 12.5	100

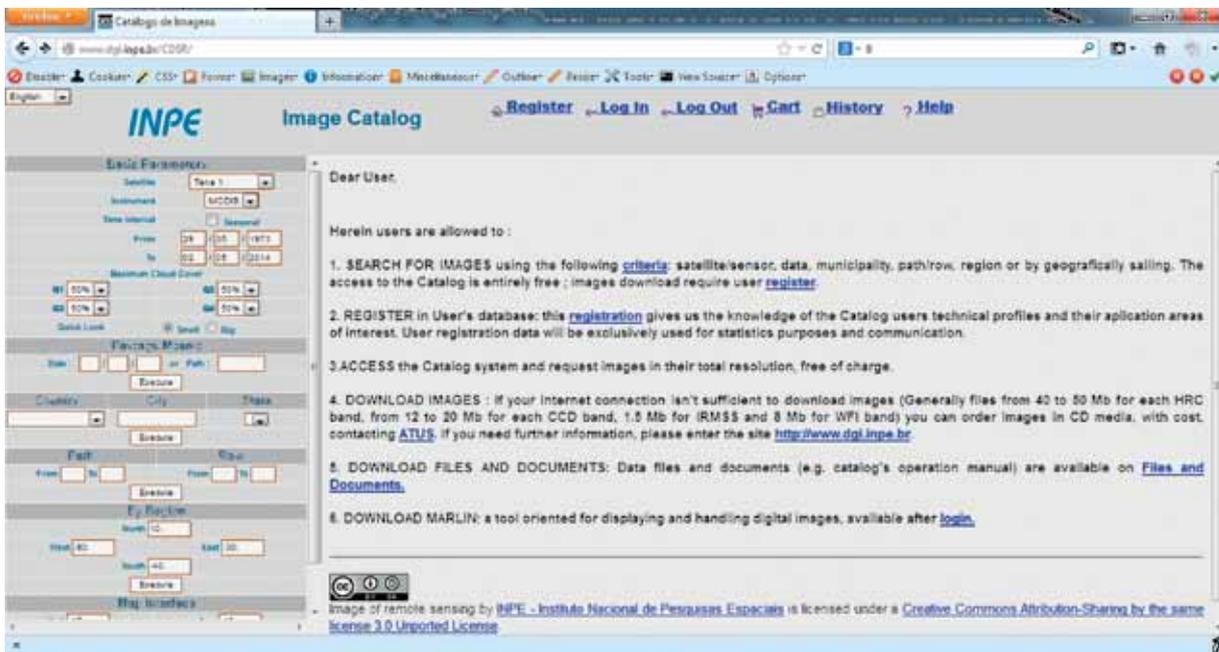
Fuente: Elaborado en base a USGS, 2012.

Portal de la Global Land Cover Facility (proveedor de datos)



Fuente: GLCF, 2012.¹¹

Catálogo de imágenes INPE (proveedor de datos)

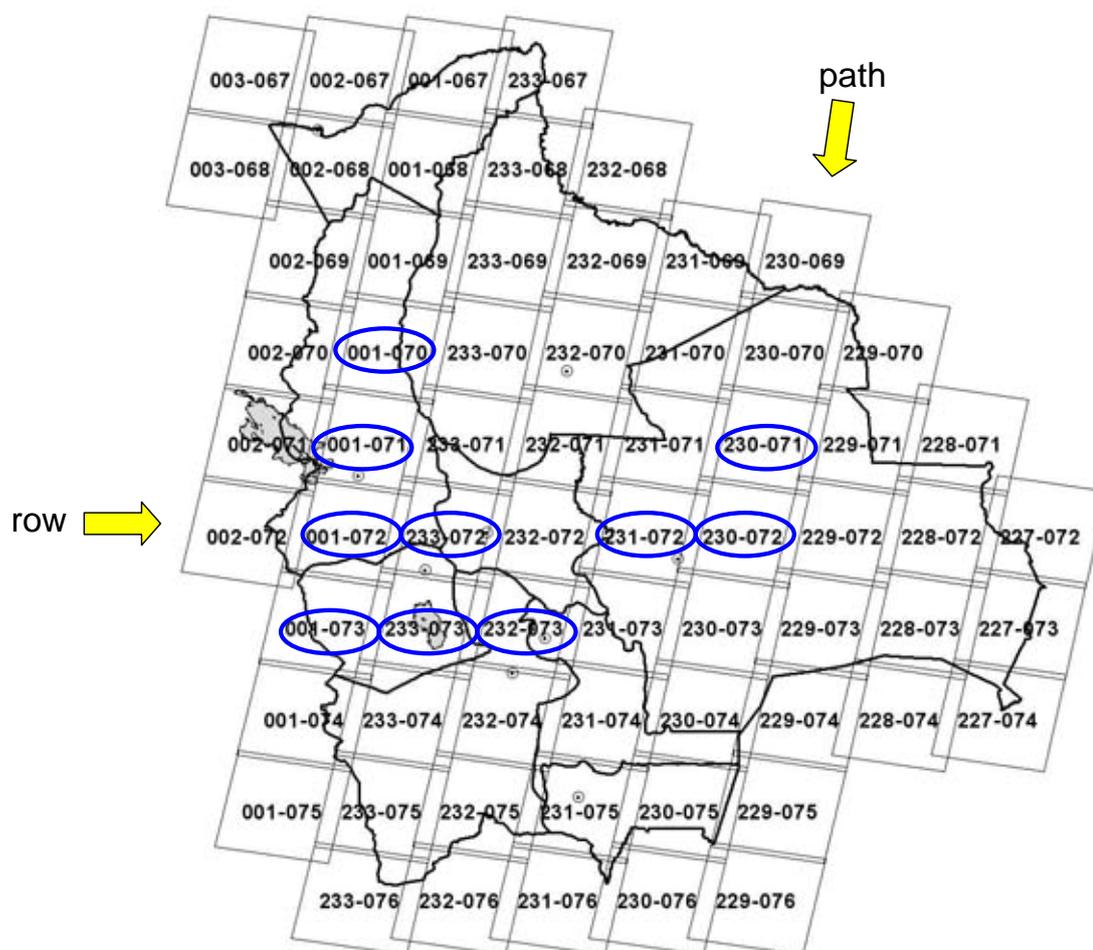


Fuente: INPE, 2012.¹²

11 <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

12 <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

Índice de imágenes satelitales Landsat para Bolivia



Fuente: http://www.epsem.upc.edu/~jorge/Bolivia/path-row_BOLIVIA.pdf

IMÁGENES ALOS

Son imágenes disponibles a un costo accesible y es posible adquirirlas de <http://www.engesat.com.br>. Proporcionan una visión municipal y local más precisa del contexto territorial para hacer una estimación de la ocurrencia de las amenazas y el nivel de vulnerabilidad. Al estar en escala de grises, estas imágenes no permiten ver el detalle de la cobertura y uso de la tierra.

GOOGLE EARTH

Las imágenes del Google Earth suelen ser el resultado de un mosaico de varias

fuentes (Landsat, Spot, Alos, Ikonos) y de distintas fechas, por lo que su cobertura para una fecha específica puede ser parcial para el área. Esta fuente suele ser la de más fácil disponibilidad, el dilema suele estar en que en muchas ocasiones es información fragmentaria donde se mezclan satélites, fechas y otros, diluyendo en algunos casos la precisión o la utilidad. Las escenas extractadas de esta fuente pueden ser utilizadas para compararlas con la percepción local de amenazas y vulnerabilidades, referenciando las mismas.

