Ecuación general del riesgo: Una experiencia para construir mapas de riesgos

Programa de Reducción del Riesgo de Desastre (PRDD)

Ecuación general del riesgo: Una experiencia para construir mapas de riesgos

Director Ejecutivo MMRAC
Juan Carlos Terrazas Terrazas

Coordinador del Proyecto:
H. David Morales Nuñez

Contraparte CISTEL – UMSS
Cristina Karen Ovando Crespo

Responsable del Paquete tecnológico
Wilson Rodríguez Quispe

Elaborado por:
H. David Morales Nuñez
Cristina Karen Ovando Crespo
Wilson Rodríguez Quispe

Revisado por
Oscar Paz - PRRD
Ivar Arana - PRRD

Índice de Contenido

ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO: 1
UNA EXPERIENCIA PARA CONSTRUIR MAPAS DE RIESGOS 1
Índice de Contenido 2
Programa de Reducción del Riesgo de Desastre (PRDD) 2
Lista de Cuadros 6
Lista de Figuras 7
Lista de Anexos 8
Abreviaturas y acrónimos 9
Presentación 10
Leyenda de Iconos, símbolos y esquemas 11
ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO: UNA EXPERIENCIA PARA CONSTRUIR MAPAS DE RIESGOS 12
1. INTRODUCCIÓN 12
1.1. ENFOQUE 13
1.2. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA 13
1.3. MÉTODO 14
1.4. ASPECTOS CONCEPTUALES 17
1.4.1. REDUCCIÓN DE RIESGOS COMO ENFOQUE 17
1.4.1.1. EL TERRITORIO: 17
1.4.1.2. GESTIÓN DEL RIESGO Y SEGURIDAD TERRITORIAL 17
1.4.1.3. LA GESTIÓN DEL RIESGO: UNA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE 17
1.4.2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA O ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 18
2. FASE I: ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN 18
2.1. ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN 18
2.2. BASE PARA MAPEO 19
2.2.1. ESPACIALIZACIÓN DE LAS AMENAZAS 20
2.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 21
2.2.3. OPERATIVIZACIÓN 22
IMÁGENES LANDSAT 23
IMÁGENES ALOS 27
GOOGLE EARTH 28

3. FASE II: GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS MAPAS DE PERCEPCIÓN LOCAL DEL RIESGO 29
NIVEL 1. TÉCNICOS MUNICIPALES 29
NIVEL 2. POBLACIÓN – PROFESORES 29
3.1. MAPAS DE PERCEPCIÓN DE LOCAL DE AMENAZA (MPL) 32
RIADAS 34
GRANIZADAS 34
HELADA 34
SEQUÍA 35
3.2. MAPAS DE PERCEPCIÓN DE LOCAL DE VULNERABILIDADES 35
3.2.1. VULNERABILIDAD A LAS RIADAS 35
DENSIDAD POBLACIONAL. 36
MAPA DE DISTANCIA AL RÍO. 36
MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. 37
3.2.2. VULNERABILIDAD A LA GRANIZADA 38
MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. 38
MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL. 38
MAPA DE PENDIENTES. 39
MAPA DE ALTITUD (ELEVACIONES) 39
3.2.3. VULNERABILIDAD A LA HELADA 39
MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. 39
MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL 40
MAPA DE PENDIENTES. 41
MAPA DE ORIENTACIÓN DE PENDIENTES. 41
3.2.4. VULNERABILIDAD A LA SEQUIA 41
MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. 42
MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL. 42
MAPA DE DISTANCIA AL RIO. 43
MAPA DE PENDIENTES. 43
MAPA DE ORIENTACIÓN DE LA PENDIENTE. 43
4. FASE III: MODELACIÓN ESPACIAL DE RIESGOS Y VALIDACIÓN DE LOS MAPAS FINALES 45
4.1. ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO: 46
4.2. MENÚ DE ELABORACIÓN DE INSUMOS BASE SEGÚN RIESGO 48
4.2.1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE APLICACIÓN DE DESARROLLO Y APLICACIÓN 48
4.3. ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE PRODUCTOS 50
4.3.1. ANÁLISIS DE DEL RIESGO A INUNDACIONES 50

4.3.1.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS 50
4.3.1.2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD. 52
4.3.1.3. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS. 57
4.3.1.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO 58
4.3.2. ANÁLISIS DE DEL RIESGO A GRANIZADAS 62
4.3.2.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS 62
4.3.2.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 62
4.3.2.3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS. 67
4.3.2.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO 68
4.3.3. MAPAS DE RIESGO A HELADAS. 70
4.3.3.1. ANÁLISIS DE AMENAZA. 70
4.3.3.2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD. 72
4.3.3.3. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS. 79
4.3.3.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO 80
4.3.4. MAPAS DE RIESGO A SEQUÍAS. 82
4.3.4.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS 82
4.3.4.2. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD. 83
4.3.4.3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS. 90
4.3.4.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO 90
4.4. VALIDACIÓN DE MAPAS DE RIESGO. 93
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 96
6. BIBLIOGRAFÍA 96
Introducción ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Glosario 3

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Características espaciales de las imágenes satelitales 23
Cuadro 2. Características de las bandas Landsat MSS 24
Cuadro 3. Características de las bandas Landsat TM 24
Cuadro 4. Características de las bandas Landsat ETM+ 24
Cuadro 5. Características de las bandas Landsat LDCM 25
Cuadro 6. Estandarización de las alternativas del criterio MPL de amenazas 34
Cuadro 7.: Estandarización del criterio densidad poblacional 36
Cuadro 8.: Estandarización del criterio distancia al rio 36
Cuadro 9.: Estandarización del criterio uso actual de la tierra 37
Cuadro 10.: Estandarización de la alternativas del uso de la tierra 38
Cuadro 11 Estandarización de las alternativas del criterio densidad 38
Cuadro 12 Estandarización de las pendientes 39
Cuadro 13 Estandarización del criterio de elevaciones 39
Cuadro 14 Estandarización del criterio uso actual de la tierra. 40
Cuadro 15 Estandarización de criterio densidad poblacional. 40
Cuadro 16 Estandarización del criterio pendientes. 41
Cuadro 17. Estandarización del criterio Orientación. 41
Cuadro 18 Estandarización de la alternativas del uso de la tierra 42
Cuadro 19 Estandarización de las alternativas del criterio densidad 42
Cuadro 20. Vulnerabilidad de ubicación respecto al rio 43
Cuadro 21 Estandarización de las pendientes 43
Cuadro 22 Estandarización del criterio orientación de la pendiente 44
Cuadro 23. Menú de insumos requeridos para la elaboración de mapa de riesgo 49

Lista de Figuras

Figura 1. Ejemplos de imágenes satelitales Landsat 1981, 2001, 2011 23
Figura 2. Global Land Cover Facility (proveedor de datos) 26
Figura 3. Catálogo de imágenes INPE (proveedor de datos) 26
Figura 4. Índice de imágenes satelitales Landsat para Bolivia 27
Figura 5 Proceso de elaboración de los mapas de percepción local de amenaza. 30
Figura 6 Actores locales zonificando sus amenazas. 30
Figura 7 Mapas de percepción local de amenaza obtenidos 31
Figura 8 Socialización a técnicos de la Mancomunidad el método de elaboración de mapas de PLR 31
Figura 9. Imagen satelital en composición normal de bandas. 32
Figura 10. Imagen satelital en composición de anáglifos (3D) 32
Figura 11. autoridades municipales identificando las zonas con amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya 33
Figura 12. Población identificando las zonas con amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya. 33
Figura 13. Mapa de percepción local de amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya 33
Figura 16. Modelo digital de elevaciones, municipio de Sicaya. 50
Figura 17. Pestaña de la extensión Spatial Analyst. 50
Figura 18.: Venta emergente Slope (pendiente). 51
Figura 19. Mapa de pendientes del municipio de Sicaya (resultado). 51
Figura 20.Ubicación de la herramienta Reclassify (reclasificar) en el Spatial Analyst (Analista Espacial). 51
Figura 21. Ventana emergente para reclasificar. 51

Lista de Anexos

Anexo 1. Glosario 2
Anexo 2. Diapositivas de Ruta Crítica 21

Abreviaturas y acrónimos

ACC:	Adaptación al Cambio Climático
CISTEL:	Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección
COSUDE:	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
ERTS:	Earth Resources Technology Satellite (Satélite Tecnológico de Recursos Terrestres)
FCAPFyV:	Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria
GPS:	Sistema Posicionamiento Global (Global Positioning System)
MMRAC:	Mancomunidad de Municipios de la Región Andina de Cochabamba
NASA:	National Aeronautics and Space Administration (Acrónimo en Inglés de Agencia Nacional de Aeronáutica y Administración Espacial de Estados Unidos)
PRRD:	Programa de Reducción del Riesgo de Desastres
PMOT:	Plan Municipal de Ordenamiento Territorial
PDM:	Plan de Desarrollo Municipal
POA:	Plan Operativo Anual
RRD:	Reducción de Riesgos y Desastres
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
UMSS:	Universidad Mayor de San Simón

Presentación

La "*Ecuación general del riesgo: Una experiencia para construir mapas de riesgos"* es una propuesta metodológica que describe de manera general el procedimiento de elaboración de mapas de riesgo para la toma de decisiones y el análisis espacial para RRD y ACC, en lugares con escasa o ninguna información primaria, acudiendo a información secundaria, vivencias de los pobladores, bioindicadores y análisis contextual. El documento está estructurado en las siguientes partes:

- ✓ **Introducción.** En esta sección se incluyen de forma sucinta conceptos clave y un esquema o ruta crítica de la aplicación del método. El método tiene tres fases:

- ✓ **1. Desarrollo de la estrategia metodológica. Se refiere a la organización y preparación del material y del proceso,** donde se explican los aspectos más importantes a tomar en cuenta al iniciar el trabajo para la aplicación del método.

- ✓ **2. Generación y validación de los mapas de percepción local del riesgo.** Presenta la elaboración participativa de mapas de percepción local del riesgo desde la experiencia, vivencia y percepción de los actores de la zona en la que se va a aplicar el mapeo de riesgos.

- ✓ **3. Modelación espacial de riesgos y validación de los mapas finales**. Se expone el proceso de modelación en el que se combina la información y datos procedentes de la generación y validación de los mapas de percepción local del riesgo y los datos e información procedentes de la modelación y validación del análisis espacial multicriterio (mapeo técnico formal de riesgos). Esta fusión de datos e información (a través de una sumatoria ponderada de mapas en un ambiente SIG) permite la generación y posterior validación de los mapas finales de riesgos.

Leyenda de íconos, símbolos y esquemas

Para presentar de forma didáctica el contenido de la guía se utilizaron iconos, símbolos y esquemas:

Concepto o definición

Fórmulas, funciones o relaciones

Ejemplos y consejos útiles de aplicación

Esquema de procedimiento SIG

Árbol de criterios (Modelo SIG)

ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO: UNA EXPERIENCIA PARA CONSTRUIR MAPAS DE RIESGOS

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto "Generación de Acciones para la Reducción del Riesgo y la Adaptación al Cambio Climático en la Mancomunidad de la Región Andina" forma parte del Programa de Reducción de Riesgos de Desastres (PRRD) de la Cooperación Suiza, implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation y ejecutado localmente por la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba (MMRAC).

Las intervenciones ejecutadas desde 2011 por las MMRAC estuvieron orientadas a:

- ✓ La generación y aplicación de mecanismos e instrumentos de Reducción de Riesgos de Desastres (RRD) y la Adaptación al Cambio Climático (ACC) para mejorar la resilencia de los actores involucrados y la población en general ante la ocurrencia de eventos destructivos capaces de convertirse en desastres.

- ✓ La capacitación y empoderamiento de los actores regionales y locales para lograr gobernabilidad a través de la inserción del Programa de RRD y ACC en los Planes de Desarrollo Municipales y Supramunicipales, considerando la sensibilización, capacitación y utilización de instrumentos.

- ✓ La incorporación de instrumentos de planificación territorial y planificación del desarrollo (PMOT, PDM y POA) a partir de la zonificación del riesgo de desastres representado cartográficamente en mapas de riesgos, con la información (bases de datos geográficas y temáticas) de utilidad en la gestión municipal.

- ✓ La incorporación del enfoque holístico, de complementariedad con el conocimiento local para la generación de capacidades en espacios de reflexión participativa, desde la experiencia práctica cotidiana y los contextos específicos, en un proceso de "aprender haciendo" respondiendo a la realidad nacional del Estado Plurinacional de Bolivia.

- ✓ El desarrollo de actividades orientadas a fortalecer las capacidades de las autoridades, organizaciones sociales y técnicos de los municipios en las temáticas de RRD y ACC, incluyendo el mapeo de riesgos, amenazas y vulnerabilidades desde la perspectiva y percepción social, la utilización de SIG y GPS.

El proyecto avanzó en el fortalecimiento de la gobernabilidad del riesgo de desastres. Sin embargo, el proceso a nivel del PRRD, demandó iniciativas complementarias en las áreas de la investigación y formación de capacidades y gestión de conocimiento. De esta manera, la Mancomunidad de Municipios de la Región Andina de Bolivia presentó junto con CISTEL – UMSS (Centro de Investigaciones y Servicios en Teledetección – Universidad Mayor de San Simón) la propuesta "*Ecuación general del riesgo: Guía Metodológica y plataforma de soporte para la toma de decisiones y análisis espacial para RRD y ACC*", la cual después de haber superado el proceso de selección fue aprobada para su ejecución.

Los mapas de riesgos generados son de utilidad para la toma de decisiones a nivel de las autoridades municipales, técnicos e investigadores en acciones de fortalecimiento de la reducción de riesgos y adaptación al cambio climático incorporada al desarrollo.

Cabe resaltar que para la elaboración de mapas de riesgos, el PRRD identificó tres niveles de análisis, en función a la información disponible en las zonas:

- ✓ **1er nivel:** La información se basa principalmente en la percepción local. En este caso no existen en la zona estaciones meteorológicas, algunas veces debido a la complejidad de la formación fisiográfica.

- ✓ **2do nivel**: Hay estaciones meteorológicas cuya información se complementa con la percepción local.

- ✓ **3er nivel:** Se aplican procedimientos y técnicas de modelación que requieren información de mejor calidad y datos completos con más detalle. Generalmente se recomienda la elaboración de mapas a escalas locales (comunidad, predio) con metodologías como las que se proponen en este documento.

1.1. ENFOQUE

El presente trabajo se basa en dos enfoques:

- ✓ El enfoque de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático con énfasis en prevención antes que en la atención de la emergencia, la reconstrucción y rehabilitación.

- ✓ La construcción participativa e integral de los mapas de riesgos, como un proceso de sistematización de la percepción local del riesgo, para entender lo factores y dimensiones, tanto de la vulnerabilidad como del comportamiento de las amenazas.

En este sentido, se propone incorporar la percepción local y regional en talleres y trabajo de campo para el levantamiento de datos y la validación de resultados. En estos espacios, cada participante aporta desde su experiencia personal y contexto específico, esto es desde la realidad específica de cada mancomunidad, municipio o región. Se busca básicamente la compilación de información, el análisis de la calidad de insumos, la actualización de datos y su sistematización.

1.2. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA

Se siguieron los siguientes pasos en el proceso de elaboración de la presente guía:

- ✓ Compilación, revisión y sistematización de información secundaria acerca de métodos y técnicas sobre elaboración de mapas de riesgos, amenazas y vulnerabilidades a nivel nacional e internacional.

- ✓ Reflexión sobre los resultados de la zonificación del riesgo de desastres e impactos del cambio climático a partir de la experiencia de las anteriores fases del PRRD, basada en la percepción local y elaboración de modelos técnicos en el marco del PRRD de la Mancomunidad de Municipios de la Región Andina de Cochabamba.

- ✓ Sistematización de la primera propuesta: el método, sus fases y pasos en una presentación de la ruta crítica de la elaboración de mapas de riesgos en base a la ecuación general del riesgo (ver anexos).

- ✓ Elaboración de la primera propuesta del documento de la guía metodológica que incluye una separata con glosario de consulta (Ver anexos),

1.3. MÉTODO

La generación de los mapas de riesgos, parten del enunciado: "*La representación real de los problemas conducen a la solución real de éstos*". Por ello, se empleó los "Mapas locales de percepción de riesgos", utilizando herramientas SIG, en un proceso participativo con los actores locales.

El objetivo de definir las fases y ruta crítica de la elaboración de mapas de riesgos en base a la ecuación general del riesgo es:

- ✓ Identificar pasos y momentos clave en la aplicación del método.
- ✓ Posibilitar ajustes de los tiempos y secuencia, en función al caso de la unidad territorial de análisis (municipio, departamento, comunidad, etc.)

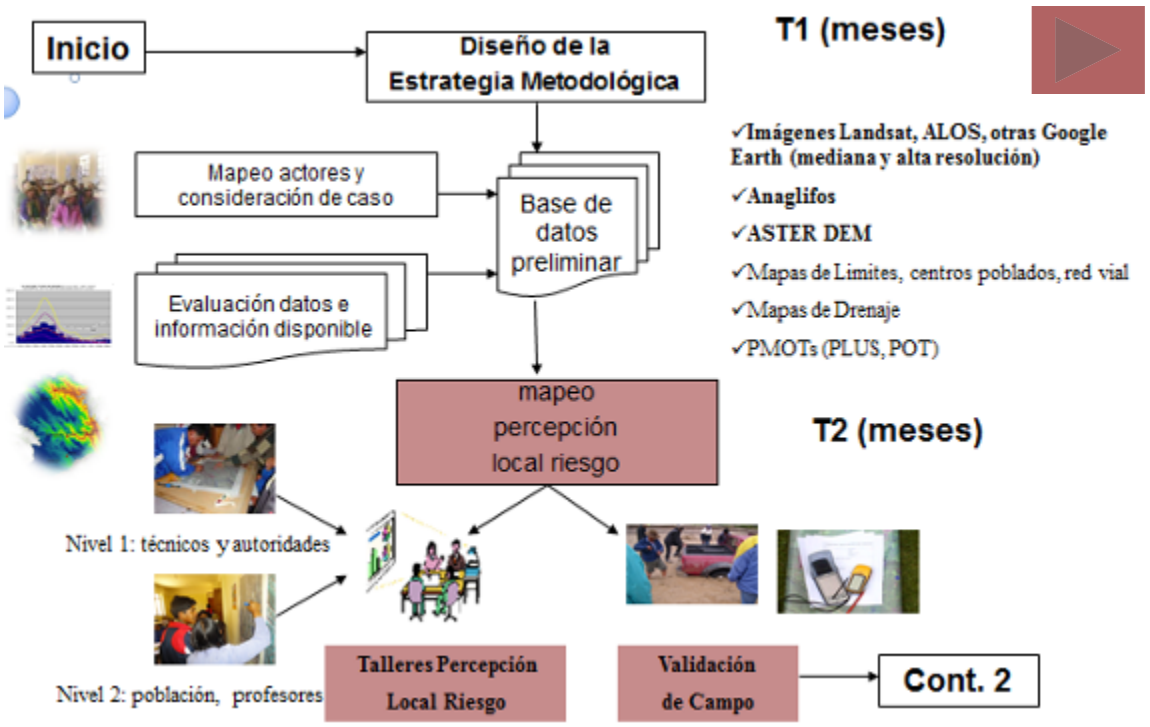
Antes de desarrollar cada paso, se incluye esquemáticamente un resumen del proceso, para la elaboración de mapas de riesgos (ver esquema 1 y 2):

- ✓ **Fase I: Desarrollo de la Estrategia Metodológica y preparación de material base:** Engloba la organización y preparación del material base" y del proceso, donde se explican los aspectos más importantes a tomar en cuenta al iniciar el trabajo para la aplicación del método. La preparación del material se define en función a los objetivos del mapa y las características del territorio para definir la "*escala"* de trabajo.

- ✓ **Fase II: Generación y validación de los mapas de percepción local del riesgo:** Hay un proceso participativo de elaboración de los mapas de percepción local de riesgo, en el que se toma en cuenta la experiencia, vivencia y percepción de los actores de la zona utilizando el material base preparado para el efecto (imágenes satelitales impresas, guías de trabajo, etc.)

- ✓ **Fase III: Modelación espacial de riesgos y validación de los mapas finales**: Explica el proceso de simulación en el que se combina la información y datos procedentes de la elaboración y validación de los mapas de percepción local del riesgo con los datos e información procedentes de la modelación y validación del análisis espacial multicriterio (mapeo técnico formal de riesgos). La información de ambas fuentes se contrasta a través de una sumatoria ponderada de mapas en un entorno SIG.

Figura 1. Representación esquemática de las Fases del Método



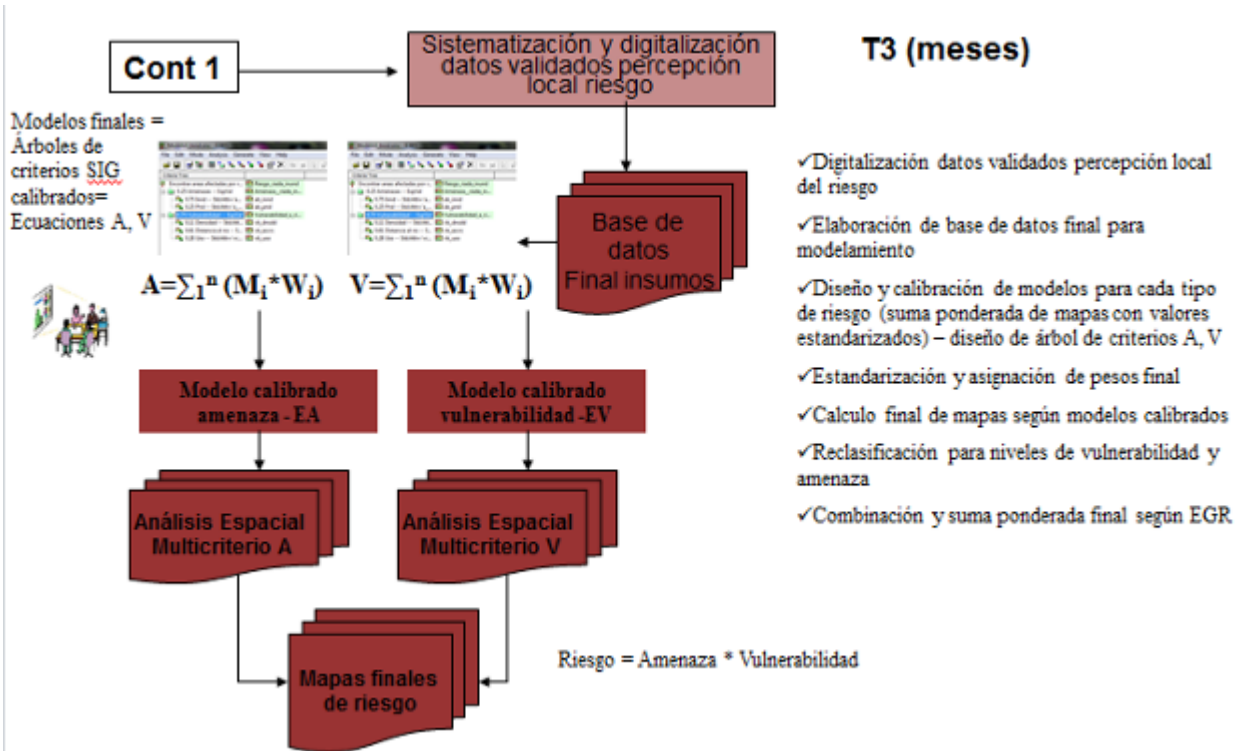


Figura 2. Representación esquemática de la ruta crítica

1.4. ASPECTOS CONCEPTUALES

1.4.1. REDUCCIÓN DE RIESGOS COMO ENFOQUE

La reducción del riesgo de desastres y la representación espacial de las amenazas y vulnerabilidades constituye un paso fundamental para zonificar el riesgo. La reducción del riesgo puede orientarse a evitar la presencia de una amenaza en una unidad territorial de análisis o reducir la vulnerabilidad; en ambos casos podrían ser identificadas obras civiles de protección (medidas infraestructurales) o medidas de articulación institucional, (mediada no infraestructurales). COSUDE, 2008; PREDECAN 2009.

Sin embargo, los últimos años se ha reflexionado sobre las situaciones de desastre en la que inciden factores de carácter político, social, cultural y económico. El reconocimiento de esta complejidad ha generado una nueva visión, centrada en la posibilidad de actuar frente a las condiciones que provocan el riesgo y no frente al desastre como algo inevitable (PREDECAN 2009).

1.4.1.1. EL TERRITORIO:

"El riesgo se manifiesta en territorios concretos y es sufrido por individuos, familias, colectividades humanas, sistemas productivos o infraestructuras que se encuentran ubicadas en sitios determinados" (Allan Lavell 2000, 2001, Maskrey, 1998). En este sentido, es prioritario asumir, como punto de partida para el proceso de capacitación, el reconocimiento de las necesidades del contexto para caracterizar y develar las manifestaciones del riesgo en su entorno más inmediato, para comprenderlo y posteriormente intervenir en acciones de desarrollo para evitarlo (Rojas Meléndez 2011).

Es en este sentido que el territorio se debe entender como fuente de conocimiento y escenario de aprendizaje, en el que la realidad no se presenta atomizada sino integrada (Rojas Meléndez 2011).

1.4.1.2. GESTIÓN DEL RIESGO Y SEGURIDAD TERRITORIAL

La seguridad territorial podría describirse como "la capacidad de un territorio para ofrecerle a sus habitantes determinadas condiciones de 'estabilidad', que impidan que amenazas de distinto origen (naturales, socio naturales, antrópicas) procedentes del propio territorio o del exterior, puedan convertirse en desastres". Los factores determinantes de la seguridad territorial, incluyen la seguridad y la soberanía alimentaria, la seguridad ecológica, social, económica y la jurídica institucional (Wilchex-Chaux 2006).

1.4.1.3. LA GESTIÓN DEL RIESGO: UNA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

La Gestión del Riesgo incluye entre sus principales objetivos la prevención de los desastres y la respuesta a sus efectos, pero no se limita a eso. Podríamos decir que es, más bien, una manera de entender, de ejecutar y de evaluar el desarrollo. Es una herramienta para avanzar hacia eso que se denomina "desarrollo sustentable".

Las definiciones de Gestión del Riesgo varían de un enfoque a otro y de una institución a otra, pero, en general, en todas aparecen los siguientes elementos comunes que debemos rescatar:

- ✓ Proceso social (involucra múltiples actores) y complejo (se desarrolla en el tiempo y exige la interacción permanente de múltiples acciones).

- ✓ Apunta a reducir riesgos existentes (vulnerabilidad y amenazas; adaptarse a factores de riesgo cambiante; y prevenir el continuo crecimiento de los riesgos sin hacer daño. (COSUDE, 2007).

- ✓ Su objetivo no se limita, pero tampoco excluye la preparación para responder a las emergencias y desastres, de manera adecuada y oportuna, sino que se extiende a controlar, en lo posible, los factores de riesgo (amenazas, vulnerabilidades), para evitar que se vuelvan desastres.

- ✓ Debe estar estrechamente ligada con los procesos tendientes a lograr un desarrollo humano, económico, ambiental y territorial sustentable (Rojas Meléndez 2011).

1.4.2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA O ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN

La guía plantea una estrategia metodológica o estrategia de intervención para comenzar el trabajo ya que el proceso de análisis y elaboración de mapas de riesgos en una zona, comunidad, municipio o región puede diferir en función a sus características específicas: realidad geográfica, dinámica y características de su población y su base institucional y organizativa.

Una ***estrategia metodológica o una estrategia de intervención para el mapeo de riesgos*** es un sistema de acciones o conjunto de actividades diseñadas organizadas y planificadas de forma sistemática con la finalidad de posibilitar un proceso participativo, dinámico, eficiente y eficaz para mapas de riesgos que sirvan como herramientas para la RRD y ACC.

2. FASE I: ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN

2.1. ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN

Objetivos de la estrategia:

- ✓ Lograr el involucramiento de los actores locales a través de la implementación de mecanismos de intervención acordes a la zona.
- ✓ Identificar y analizar las condiciones de trabajo en la zona mediante el análisis sucinto del contexto y la coyuntura, así como un mapeo de actores sociales e institucionales.
- ✓ Proponer mecanismos de intervención acordes a la zona en base a los resultados del análisis de las condiciones de trabajo en la zona.
- ✓ Proponer un plan de trabajo de socialización durante el proceso de formulación que permitan obtener insumos para la retroalimentación.

- ✓ Afianzar y preparar las bases para su aprobación y apropiación, y la generación de políticas públicas sobre la herramienta.

Por lo tanto, el **análisis de contexto y coyuntura** debe identificar las características actuales del "escenario" en el que se desarrollaran las actividades, por lo que es importante que antes de comenzar el trabajo se conozca:

- ✓ ¿Qué actividades se desarrollaron y cómo?, ¿cuánto se ha avanzado y que relacionamiento existe entre las instituciones, organizaciones sociales y los gobiernos municipales? Además se debe dar seguimiento a los compromisos pendientes a lo largo del proceso, atendiendo requerimientos tales como comunicaciones de avance, estado del proyecto, coordinación de actividades a realizarse y entrega de estudios realizados, entre otros.
- ✓ La estructura institucional y su relación con la organización social existente en el territorio u "escenario" municipal en el que se desarrollarán las actividades. Ver si existe estabilidad organizacional e institucional, e identificar qué eventos de la coyuntura durante el periodo de trabajo pueden afectar al desarrollo de las diferentes actividades.
- ✓ Las condiciones de trabajo de la zona como las climáticas; accesibilidad por vía aérea, terrestre y fluvial, canales de comunicación existentes y su nivel de eficiencia (radio, telefonía, fax, internet y otros); otros servicios existentes; condiciones generales para previsión de logística como alojamiento, alimentación, compra de combustible, etc.

El **mapeo de actores**

Sirve para una identificación de personas, organizaciones o instituciones claves como:

- ✓ Instituciones y autoridades estatales (nacionales, departamentales y municipales).
- ✓ Organizaciones sociales y sus representantes (comunales, gremiales, etc.).
- ✓ Instituciones y organizaciones no gubernamentales.

2.2. BASE PARA MAPEO

Como bien señala Mazurek (2006), el espacio y el territorio son instrumentos metodológicos de investigación social. Para ello, se debe trabajar mapas temáticos en los que se definan primero el nivel de detalle del estudio y, por tanto, la ***ESCALA***[1] de trabajo debido a las siguientes consideraciones:

- ✓ La escala de trazado no es *correctiva* para la visualización, puesto que si bien es habilidad del software el poder ampliar y de esta manera mejorar el nivel de detalle de lo que se observa, no por ello significa que el mapa mejora su calidad temática.

[1] La ESCALA se define como la relación matemática existente entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano o un mapa. Nominalmente se divide en ESCALA DE TRAZADO (O DE DIBUJO), que es el trazado analógico sobre una hoja de papel de tamaño definido y ESCALA DE VISUALIZACIÓN, que es el trazado digital que se observa en la pantalla de un equipo computacional.

- ✓ La escala de trazado sólo permite un incremento o decremento de su valoración en 50%, es decir que si el mapa fue trazado en una escala de 1:50.000, el máximo incremento sería de 1:25.000. Esto es especialmente crítico debido a que existe una tendencia a usar indiscriminadamente los mapas digitales, empleándose mapas trazados a escala 1:1.000.000 para analizar áreas de tan solo 100 a 200 km^2.

Es necesario también considerar el ámbito de estudio y el objetivo del mapa a desarrollar, el mismo que puede ser regional o local. Las necesidades requeridas para llevar adelante el proceso se resumirán en lo siguiente:

- ✓ La planificación será necesariamente territorial en un espacio físico definido.

- ✓ Se considera absolutamente necesaria la participación de la población en el proceso de identificación de las amenazas y vulnerabilidades.

- ✓ La unidad de análisis deberá ser propuesto en un ámbito local y/o regional en función al tipo, carácter y magnitud de la amenaza identificada.

Para esto se plantea que:

- ✓ El espacio físico definido será el ámbito municipal en el cual deberán identificarse los riesgos más importantes.

- ✓ El ámbito municipal es un buen punto de partida para definir acciones, pero no es una buena unidad territorial de estudio, ya que es muy general. Por lo tanto, es preciso subdividirla en unidades más pequeñas.

- ✓ La elaboración de mapas será participativa, esto debido a que la población será la que permita identificar sus propias vulnerabilidades y espacializar sus amenazas.

El siguiente paso es definir la escala o nivel de detalle requerido según se trate de la espacialización de amenazas o de vulnerabilidades:

2.2.1. ESPACIALIZACIÓN DE LAS AMENAZAS

1ra. Condición: Identificar los tipos de amenazas, clasificándolas dentro de las siguientes categorías:

- ✓ De ocurrencia local: Inundaciones/riadas.
- ✓ De ocurrencia regional: Heladas, granizadas y sequías.

2da. Condición: Identificar la fuente de información:

- ✓ Percepción local: Cuando las comunidades y/o técnicos municipales pueden determinar las áreas de ocurrencia de la amenazas.
- ✓ Percepción técnica: Mediante el uso de procesos técnico/tecnológicos se puede determinar las áreas de ocurrencia de la amenaza.

2.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

1ra. Condición: Debe ser posible identificar la Unidad Temática Mínima Espacial de análisis (UTME[2]):

- ✓ Puede ser espacialmente: (con/UTME definido).
  - Punto: La comunidad determinara en cierto grado la distribución de los asentamientos humanos.
  - Polylínea - segmento: Ríos, vías, curvas de nivel, etc.
  - Polígono: Límite administrativo (comunidad, municipio, mancomunidad, etc.).

- ✓ Puede ser temáticamente: (sin/ UTME definido).
  - Combinación de mapas (Identificar zonas mediante Álgebra de mapas), por ejemplo:

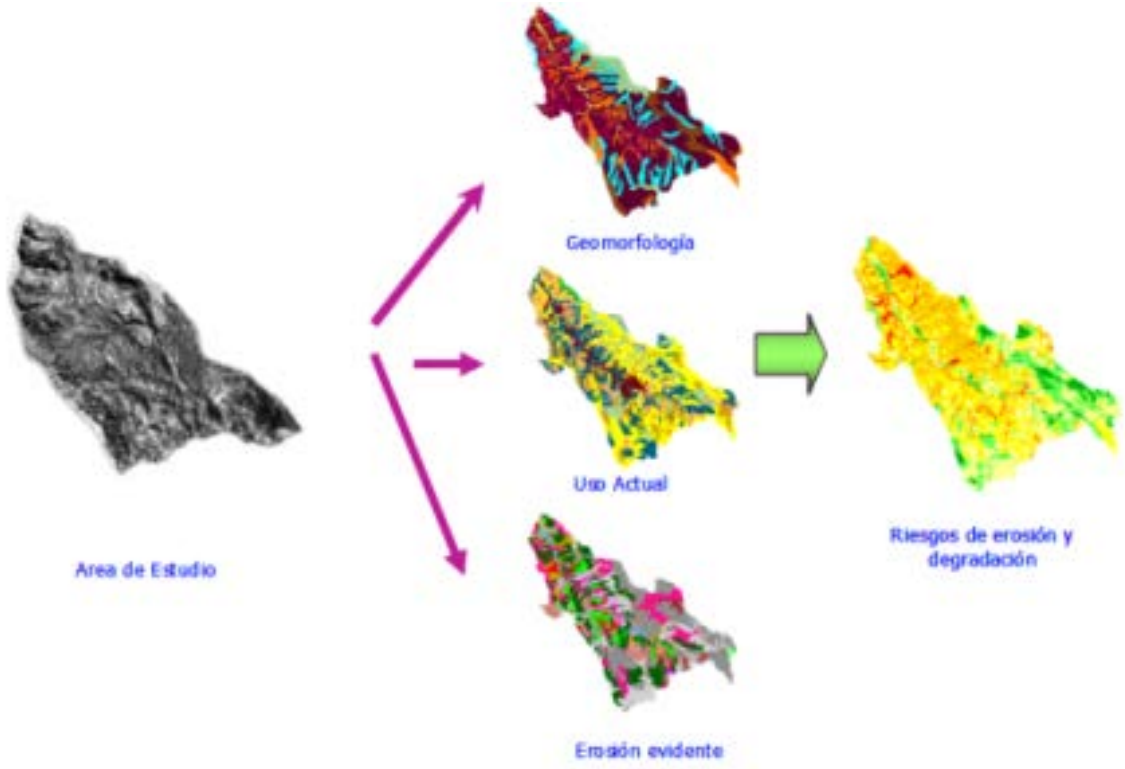


Figura 3. Representación del proceso de identificación de áreas vulnerables en base al Álgebra de mapas.

2° Condición: Se debe definir la dimensión espacial de la Unidad de Análisis:

- ✓ En caso de usar UTME (definidas)
  - Unidades a nivel local: Las escalas no deberían sobrepasar 1:5000. Requiere imágenes de alta resolución (ikonos) – La UTME es la propiedad familiar y/o el solar campesino. Área máxima de estudio: 5 km^2.

[2] UTME (Unidad Temática Mínima Espacial). Es la unidad básica de espacialización o punto de partida de todos los procesos, define la escala de los análisis y gobierna los procesos de colecta de datos.

- Unidades a nivel comunal: Las escalas no deberían sobrepasar 1:25.000. Requiere imágenes de resolución media (Alos) – La UTME es la comunidad o subcentral. Área máxima de estudio: 25 km^2.
- Unidades regionales: Las escalas no deberían sobrepasar 1:50.000. Requiere imágenes de resolución media (Landsat, Alos). Área máxima de estudio: >25 km^2.

✓ En caso de usar UTME (no definido)

- Unidades locales: Las escalas no deberían sobrepasar 1:25.000. Requiere imágenes de mediana resolución (Alos). Adicionalmente deben interpretarse mapas temáticos clave: uso tierra/cobertura vegetal, comunidades y/o centros poblados (puntos y/o polígonos).
- Unidades regionales: Las escalas no deberían sobrepasar 1:50.000. Requiere de imágenes de mediana resolución (Landsat, Alos). Adicionalmente deben interpretarse mapas temáticos clave: uso tierra/cobertura vegetal, cuencas, municipios (polígono).

3ra Condición: Clasificar y/o definir "los factores y variables descriptoras[3]" en función al UTME.

Se seleccionan los factores y las variables descriptoras para posibilitar la modelación y mapeo de cada vulnerabilidad. Para evitar el sesgo hacia ciertos factores o variables que incidan en el resultado del mapeo, en lo posible, los factores y variables seleccionados deben ser independientes. Además, para posibilitar su combinación en una suma ponderada, las variables deben ser:

✓ **Normalizadas.** Como las variables tienen diferentes unidades, para posibilitar su combinación es necesario estandarizar sus valores. En este caso, asignándoles un valor entre 0 y 1, que se define de una manera única. Por ejemplo, mediante una función en el caso de variables de valores continuos y/o según la importancia de cada clase de las unidades del mapa en el caso de las variables cualitativas.

✓ **Ponderadas.** Cada variable del modelo "aporta" a la matriz del análisis en función a su importancia (asignada según el riesgo analizado). Por lo que el conjunto de factores y variables reciben un valor de ponderación entre 0 y 1, que combinados conforman el 100% del valor de cada UTME.

2.2.3. OPERACIÓN

Definido lo anterior, se precisa plasmar las unidades en unidades mapeadas. Uno de los insumos primordiales son las imágenes satelitales, que se emplean por ejemplo según la siguiente categorización:

3 Variable descriptora: También denominada "atributo", permite cualificar o cuantificar el elemento espacial (punto, línea o polígono) graficado. Esta descripción debe ser única y lo más concisa posible.

Cuadro 1. Características espaciales de las imágenes satelitales

Satélite	Característica	Limitación	Origen	Uso	Característica
Landsat	30 m	Esc. 1:25000	Gratuito	Definición de unidades de análisis regionales	Georeferenciado
Alos	2,5 m	Esc. 1:5000	Pago	Definición de unidades regionales y/o locales	Georeferenciado

IMÁGENES LANDSAT

Son las imágenes satelitales más utilizadas de mediana resolución (pixel <= 30 m), que se pueden obtener gratis de servidores de datos de baja resolución (pixel mayor a 30 m) según las bandas que se utilicen. La ventaja es que en la mayoría de los casos se puede contar con imágenes desde la década de los años 70, por lo que es posible realizar además del análisis temático espacial un **análisis temporal** de una determinada zona de estudio en función a la disponibilidad de escenas – imágenes para distintas fechas.

Hay que tomar en cuenta que las características de la cobertura de una zona varían significativamente si la imagen se tomó en época de estiaje o seca o en época de lluvias (por ejemplo para identificar áreas de inundaciones).

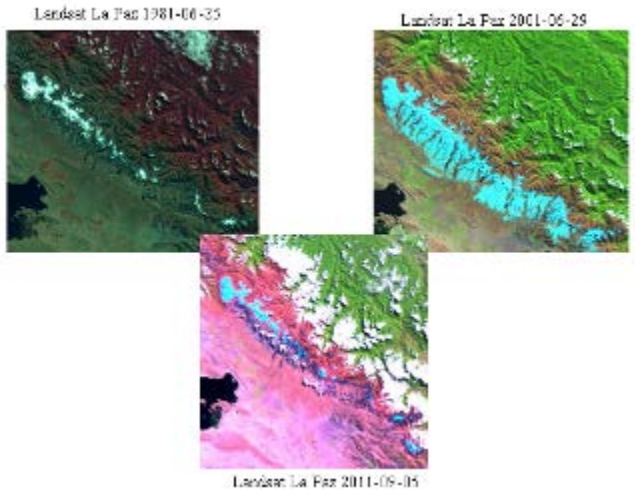


Figura 4. Ejemplos de imágenes satelitales Landsat 1981, 2001, 2011
Fuente: Ovando C, C.K. 2011 en base a imágenes procedentes de INPE

Hay cuatro tipos de imágenes Landsat en función a la misión correspondiente y, por tanto, a los sensores disponibles en el satélite de referencia que 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 de cada banda han variado de acuerdo a la misión a la que corresponden:

Cuadro 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[4]

Landsat Thematic Mapper (TM). Estas imágenes cuentan con 7 bandas con una resolución espacial de 30 m (Bandas 1 a la 7) y la Banda 6 tiene una resolución de 120 m que está remuestreada a 30 m (el remuestreado 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.

Cuadro 3. Características de las bandas Landsat TM

Landsat 4-5	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución en metros (m)
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

Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Son imágenes que tienen 8 bandas espectrales con una resolución especial de 30 m 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 remuestreada a 30 m, después del 25 de febrero 2010.

Cuadro 4. Características de las bandas Landsat ETM+

Landsat 7	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución en metros (m)
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

[4] http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php

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

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), contara con una banda 1 "ultra-blue" que servirá para estudios de aerosol y también costeros, y la banda 9 será útil para detección de nubes (grises). También está planificado que incluya dos bandas termales, cuya dimensión será comparable a las existentes.

Cuadro 5. Características de las bandas Landsat LDCM

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución en metros (m)
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

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

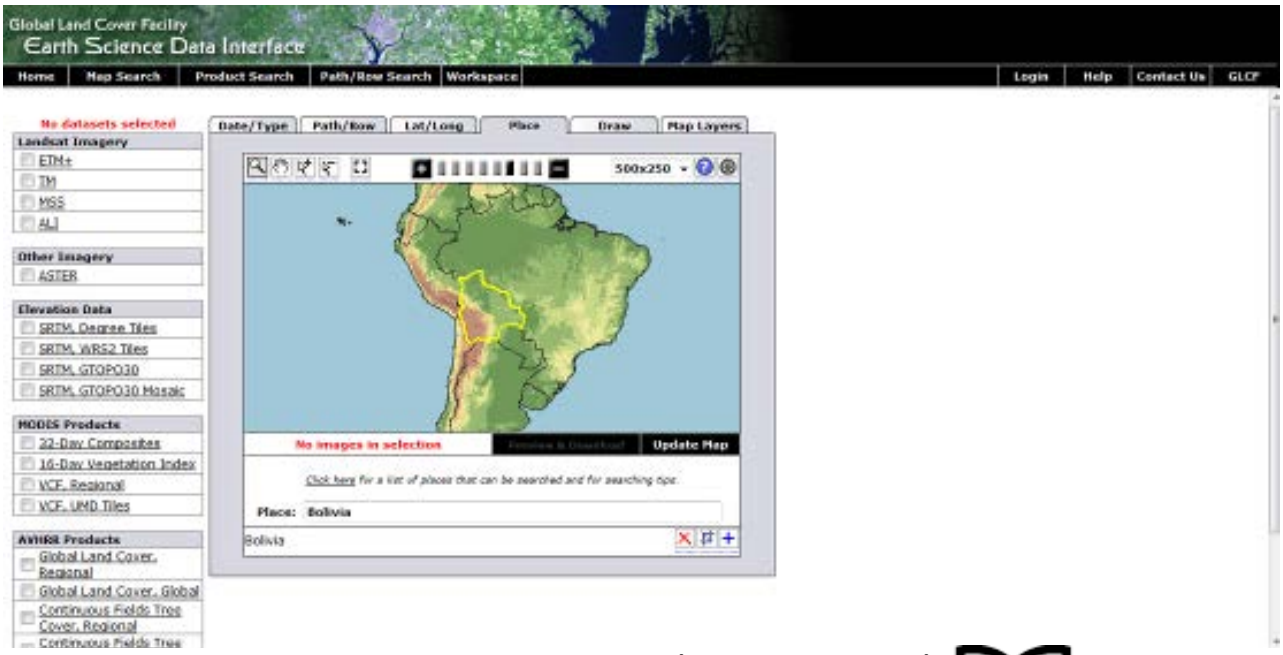


Figura 5. Global Land Cover Facility (proveedor de datos)
Fuente: GLCF 2012[5]

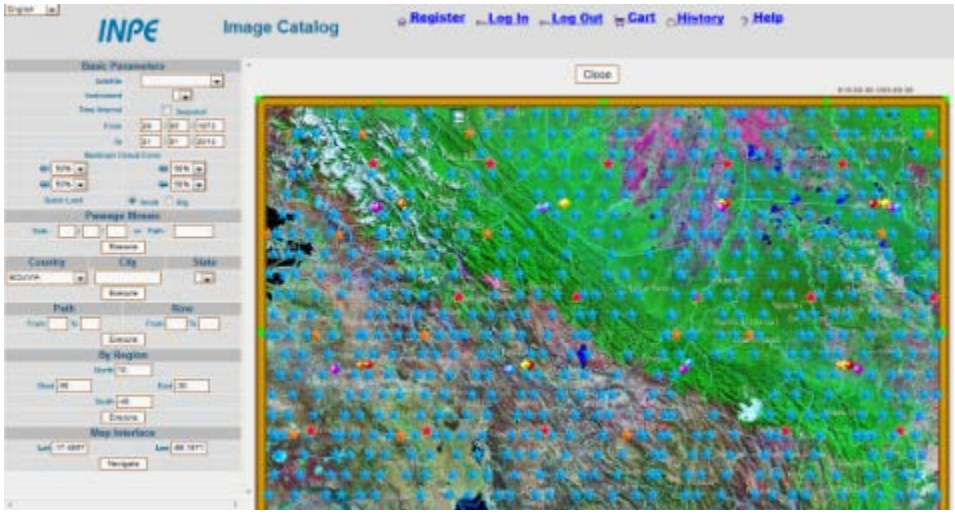


Figura 1. Catálogo de imágenes INPE (proveedor de datos)
Fuente: INPE 2012

Es necesario definir previamente el área de estudio para ver la escena o escenas que se utilizaran y tener un periodo de tiempo de referencia para seleccionar las imágenes de fechas específicas que se utilizaran para el mapeo. La siguiente figura muestra la cobertura de escenas de Landsat de Bolivia.

[5] http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp

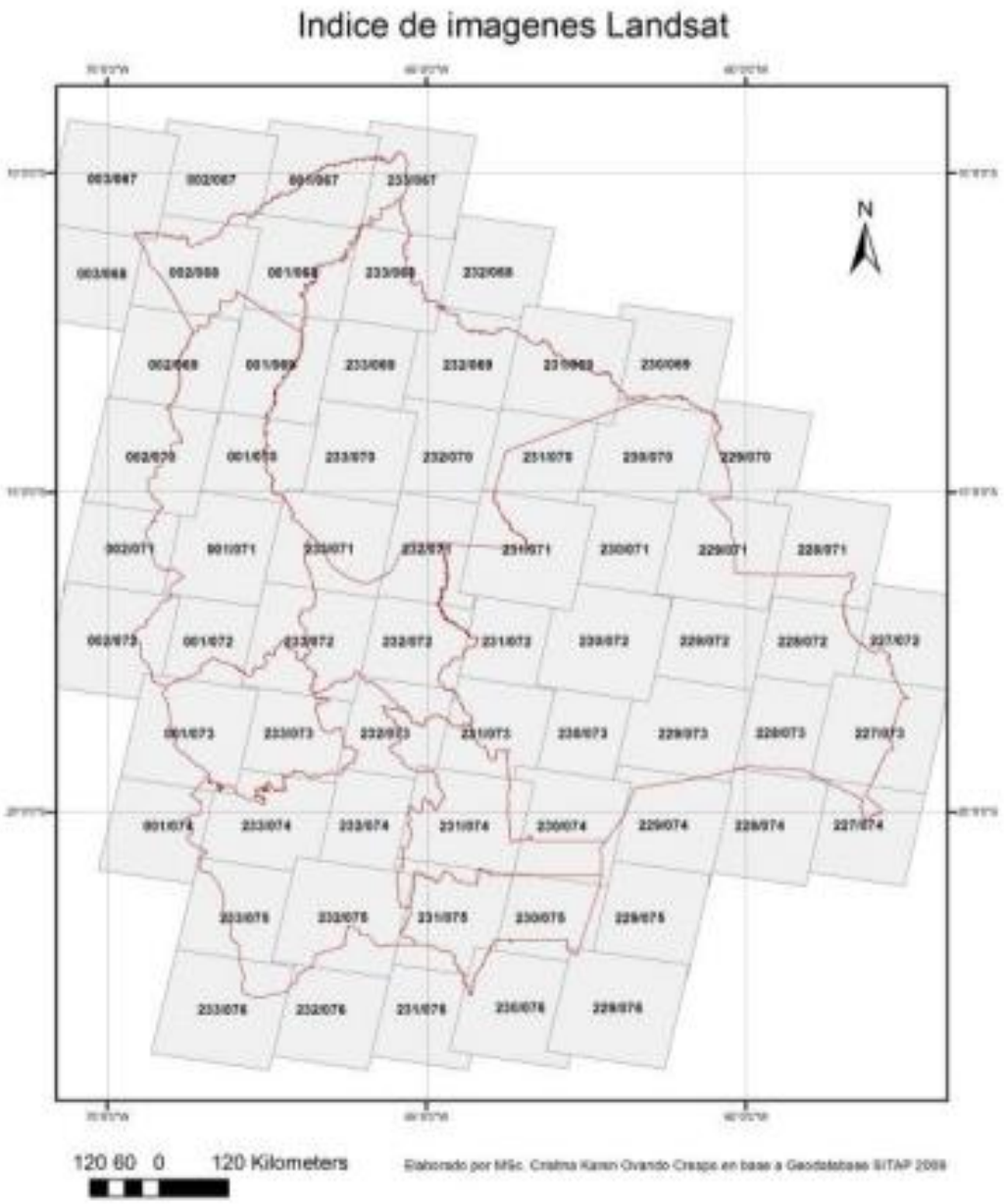


Figura 6. Índice de imágenes satelitales Landsat para Bolivia
Fuente: Ovando 2012 elaborado en base a Geodatabase SITAP 2009

IMÁGENES ALOS

El costo de estas imágenes es razonable y es posible adquiridas de www.engesat.com.br. Permite tener una visión más precisa de las amenazas y vulnerabilidades a nivel municipal y local. Su mayor desventaja es que al ser una imagen en escala de grises, se pierde el detalle de la cobertura y uso de la tierra.

GOOGLE EARTH

Es de fácil acceso, sin embargo al tratarse de una compilación de imágenes de varias fuentes (Landsat, Spot, Alos, Ikonos) y de distintas fechas, su cobertura temporal puede ser parcial para un área específica.

Por lo tanto, la preparación del material de campo depende del medio en el que será representada la información. En esta etapa se deben obtener mapas base que sirvan para el trabajo de percepción local.

Algunos consejos útiles:

- ✓ Para facilitar el transporte, las imágenes satelitales deberán ser impresas en papel a escala A1; su mayor limitación se halla en las escalas representadas que no permiten identificar los detalles en terreno.

- ✓ Se precisará de "Papel Cebolla" que es posible obtener al tamaño A1, es transparente y muy resistente para transportar y realizar borrones. Es preferible al plástico transparente porque es posible delinear unidades más pequeñas de una manera más fina.

- ✓ Se requieren marcadores de acetato, cuya punta permite delinear unidades de una manera más exacta.

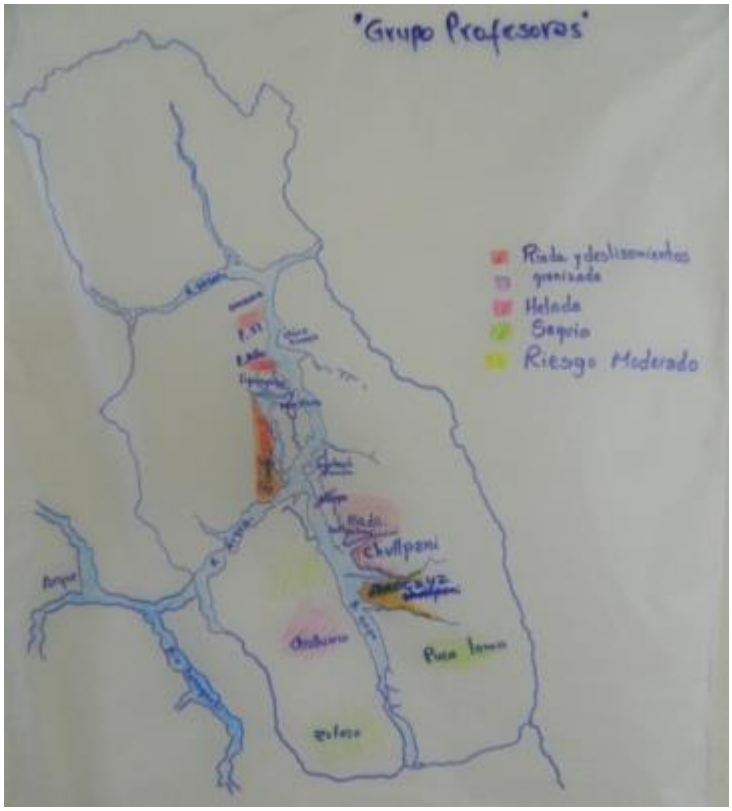


Figura 7. Identificación de amenazas en papel cebolla.

3. FASE II: GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS MAPAS DE PERCEPCIÓN LOCAL DEL RIESGO

Se basa en un proceso participativo, en el cual la población identifica en los mapas de Percepción Local de Riesgos (PLR) la ubicación espacial de las amenazas y vulnerabilidades. Es la información base para el análisis de los riesgos.

Como ya se mencionó, la elaboración de estos mapas requiere de material georreferenciado. Luego el análisis en los talleres es multisectorial y multinivel: va de la escala de la mancomunidad a la municipal y comunal. En un primer nivel se trabaja con los técnicos municipales y en un segundo nivel con la población, representantes comunales, profesores, etc.

NIVEL 1. TÉCNICOS MUNICIPALES

Los técnicos que trabajan en los municipios conocen las amenazas a las que está expuesto su territorio y sus vulnerabilidades. Pueden familiarizarse rápidamente con las herramientas que se emplean y brindar un importante apoyó en el proceso de levantamiento de la información básica. Los pasos que se siguen para lograr su aporte son:

1. Se reúne a técnicos municipales, quienes después de una charla técnica acerca de los pasos a seguir, proceden a demarcar las zonas en las que según su percepción están expuestos a determinadas amenazas. Consejo útil: usar imagen satelital y papel cebolla.

2. Los mapas son "digitalizados" e incorporados al SIG, tratando de reflejar en lo posible la percepción de los técnicos sobre los niveles de amenaza.

3. Una vez terminado el trabajo, los técnicos revisan una vez más el mapa para estar seguros que representa la realidad del municipio. En caso de que hayan dudas en zonas concretas, se puede realizar un trabajo de campo.

NIVEL 2. POBLACIÓN – PROFESORES

La población es la que sufre los efectos de los eventos, por lo tanto, conoce sus vulnerabilidades y pueden dar información precisa sobre la zonificación de las amenazas. Con este nivel se trabaja de la siguiente manera:

1. Se reúne a la población en un evento al cual deben ir previamente sensibilizados en el tema de riesgos. Consejo útil: Usar imagen satelital y papel cebolla.

2. Los mapas son digitalizados e incorporados al SIG, tratando de reflejar las apreciaciones de la población.

3. El producto resultante debe ser devuelto para su validación, esto es que el mapa digitalizado debe ser una vez más revisado por los pobladores para asegurar su veracidad.

4. Los productos de ambos procesos deben ser contrastados y validados, debiéndose confrontar las áreas que no se correlacionan y establecer los motivos.

5. El proceso final es un recorrido de campo en zonas donde existan dudas, que permita un último nivel de ajuste para evitar incongruencias entre los dos tipos de mapas de percepción local y el de modelación técnico formal.

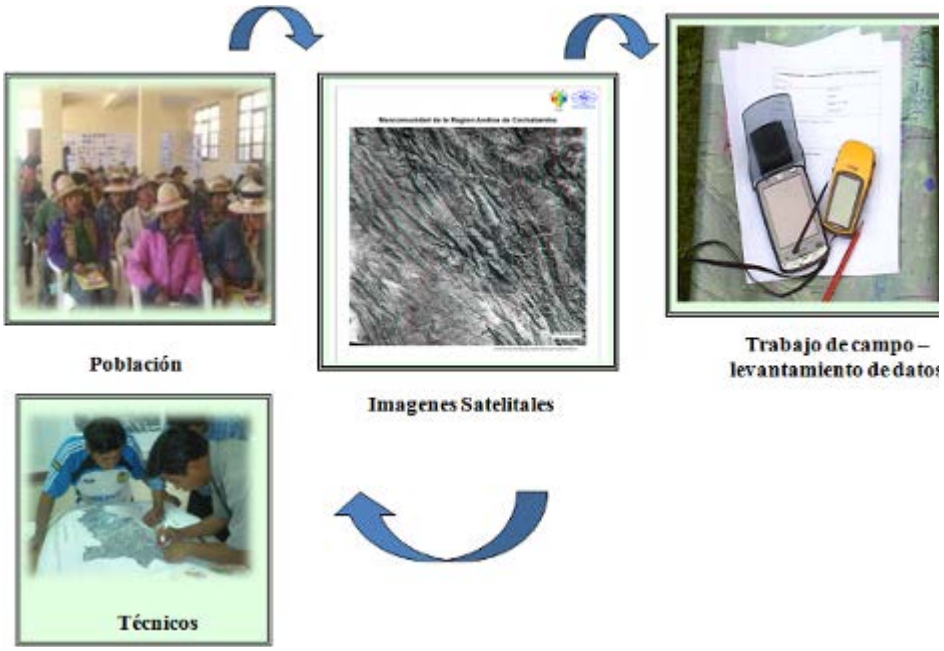
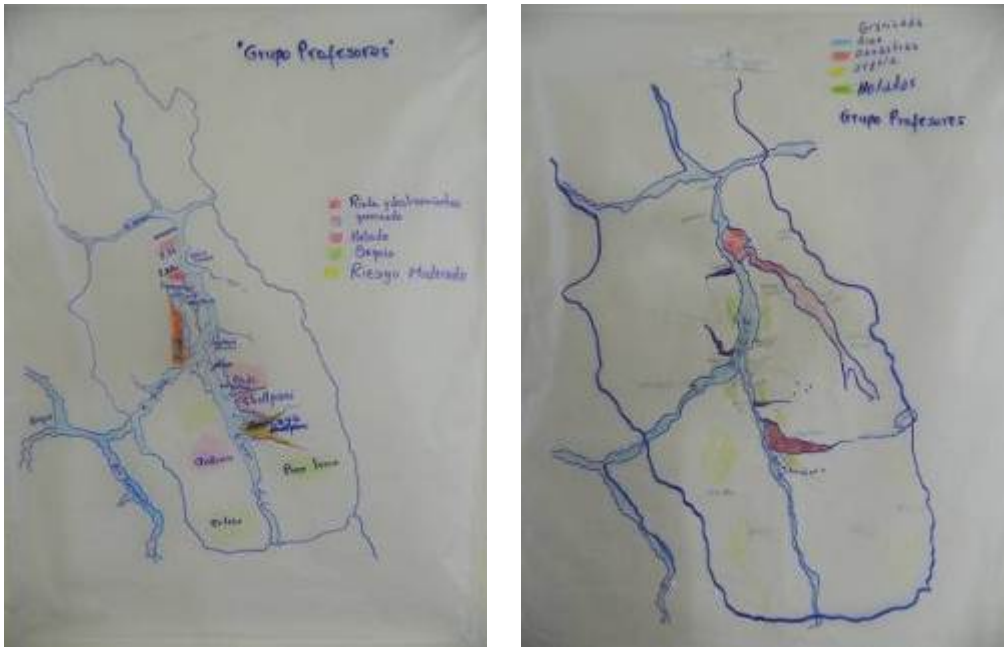


Figura 8 Proceso de elaboración de los mapas de percepción local de amenaza.

Figura 9 Actores locales zonificando sus amenazas.



.

Figura 10 Mapas de percepción local de amenaza

Figura 11 Socialización a técnicos de la Mancomunidad el método de elaboración de mapas de PLR

3.1. MAPAS DE PERCEPCIÓN DE LOCAL DE AMENAZA (MPL)

La percepción local es la base de este proceso y requiere ser estructurada en función al análisis del modelo y finalmente expresarla espacialmente.

La información se recoge en talleres con los actores locales (autoridades, técnicos y población en general), quienes manifiestan como se ven afectados por las amenazas, hacen una lista de éstas (riadas, sequías, heladas granizadas) y explican sus efectos (pérdidas económicas de infraestructura y de producción, inseguridad alimentaria, desestructuración social y cultural, etc.).

Los actores locales identifican y zonifican las amenazas, además de determinar la frecuencia e intensidad de las mismas, en tres categorías: alta, moderada y baja[6]. Los participantes trazan sobre el material georeferenciado, las áreas donde se presentan las amenazas con marcadores de diferente color. Usan una imagen en composición común (2D) y otra en composición anáglifo (3D), para que puedan interpretar las característica de su territorio con facilidad.

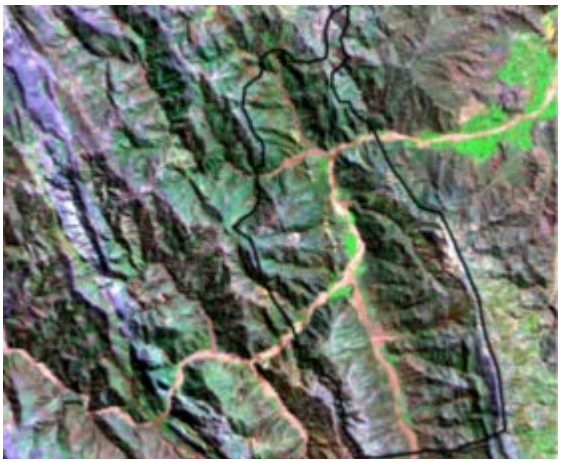


Figura 12. Imagen satelital en composición normal de bandas.

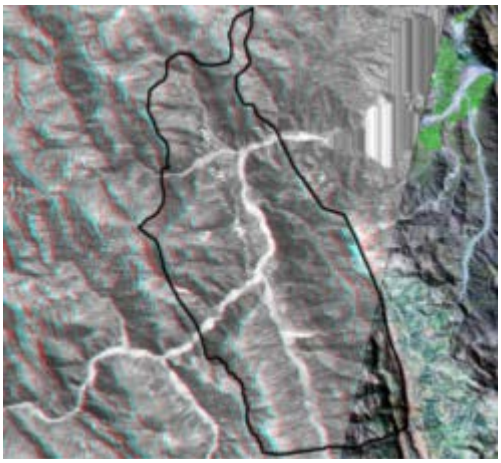


Figura 132. Imagen satelital en composición anáglifos (3D).

Los talleres se realizan en tres instancias y como se señaló en dos para contar con información mucho más real y desde diferentes perspectivas.

[6] Estos 3 niveles se consideran adecuados para este tipo de colecta de datos ya que disminuye los niveles de subjetividad de las apreciaciones de los actores locales en ambos niveles y en las diferentes escalas consideradas.

Figura 143. Autoridades municipales identificando las zonas con amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya.

Figura 154. Población identificando las zonas con amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya.

Posteriormente, ya en gabinete, se procede a sistematizar y digitalizar la información primaria recopilada en un ambiente SIG, considerando los niveles de amenaza identificados por los actores locales. El resultado de este proceso, a manera de ejemplo, se ilustra en la siguiente figura.

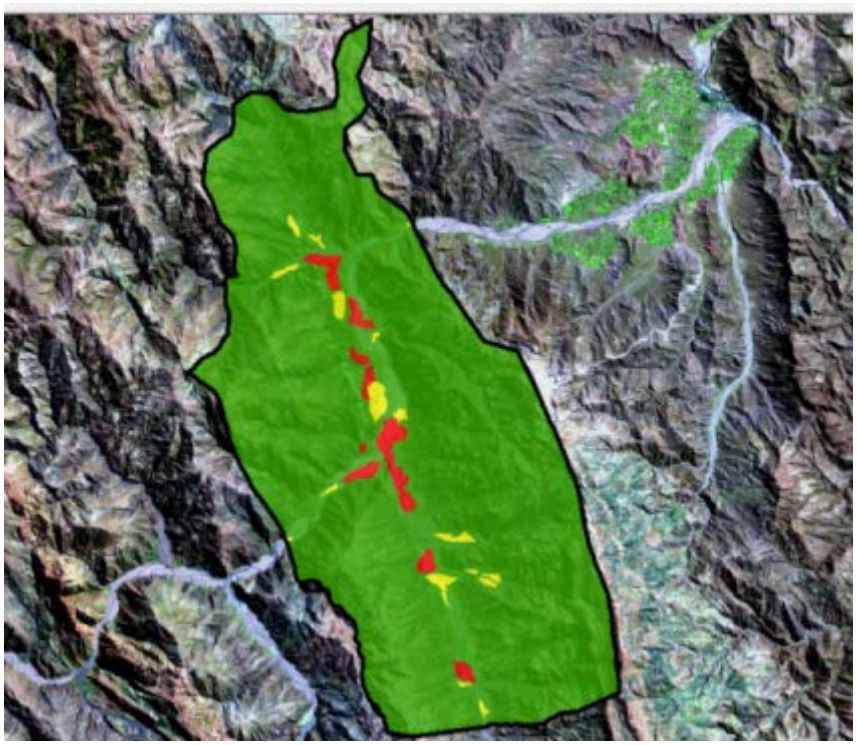


Figura 165. Mapa de percepción local de amenaza a inundaciones, municipio de Sicaya.

Después de la digitalización, a partir de la percepción de los actores locales se asigna un valor al nivel de amenaza (0 a 1): Baja, moderada o alta. Ver el cuadro a continuación:

Cuadro 6. Estandarización de las alternativas del criterio MPL de amenazas

Nivel de amenaza	Valor estandarizado[7]
Alta	1
Moderada	0.67
Baja	0.33

Nota importante: se aplica a todos los valores estandarizados y pesos asignados: Para ver detalles acerca de la obtención del valor estandarizado ver fórmulas y tablas en anexos.

A continuación se analizarán las particularidades de las amenazas climáticas:

RIADAS

Se presenta en la época de lluvias y en lugares (cuencas) con poca capacidad de retención. Normalmente el agua arrastra material (arcillas y limos) y direcciona el flujo de los caudales, provocando inundaciones de zonas pobladas y productivas.

GRANIZADAS

Se produce cuando la lluvia se cruza con masas de aire frío haciendo que se formen nódulos de hielo que caen a la tierra. Este fenómeno que puede ser bastante común en áreas de alta montaña con gran pendiente, afecta notoriamente la producción agrícola. Suele ser localizado, pero puede variar su frecuencia e intensidad.

La población local dejar sus parcelas libres de cultivos en las épocas en las que generalmente se presentan desastres. La intensidad la califica en función al daño causado.

HELADA

Consiste en un descenso de la temperatura ambiente que hace que el agua o el vapor se congelen depositándose en forma de hielo en las superficies. Existen tres tipos de heladas: por radiación, advección y por evaporación[8].

En este documento se analiza por advección, que es cuando masas de aire frío provocan descensos repentinos de temperatura (<0°C). Si ocurren en fases críticas del cultivo, podría congelar el protoplasto de los tejidos vegetales y matar las plantas.

[7] Se estima a partir del modelo del Valor Esperado, que es parte componente de la Teoría de la Decisión, análisis que permite a los decisores definir marcos de acción. Ver Anexo 1.

[8] Castillo, Elias y Francesc Castellvi. Agrometeorología.

Esta amenaza se presenta normalmente en momentos y lugares específicos[9]: Sin embargo, en los últimos años se ha desplazado fuera de las ventanas temporales conocidas y alcanzó mayor severidad. Se necesita contar con bioindicadores a fin de predecir su ocurrencia, aunque no es posible predecir su severidad si no se cuenta con un sistema de observación y alerta temprana.

SEQUÍA

La sequía es una de las amenazas más devastadoras que paraliza la producción de alimentos, agota los pastizales, perturba los mercados y, en los casos más extremos, causa la muerte de personas y animales. La ocurrencia de sequías puede aumentar la migración de las zonas rurales a las urbanas, lo que afecta también en la producción de alimentos.

En el pasado, esta amenaza no era siempre tan catastrófica y solía formar parte del sistema climático ordinario. Sin embargo, su mayor frecuencia y el carácter más errático de las precipitaciones, junto con la vulnerabilidad económica, social y ambiental subyacente, han hecho que las sequías tengan un impacto cada vez más destructivo.

3.2. MAPAS DE PERCEPCIÓN LOCAL DE VULNERABILIDADES

La vulnerabilidad debe ser expresada espacialmente para integrarla con la amenaza y así expresar espacialmente el riesgo. La vulnerabilidad no suele ser tan visible, por ello se precisa recoger información secundaria que permita espacializarla, categorizando la intensidad. Finalmente, cabe resaltar que una sola variable no aporta a entender la vulnerabilidad, de ahí que la parametrización es específica para cada amenaza.

3.2.1. VULNERABILIDAD A LAS RIADAS

Esta vulnerabilidad es espacializada en función a observaciones e interpretaciones directas de imágenes satelitales, precisándose de los pobladores, de fuentes secundarias y/o trabajo de campo una correcta zonificación e identificación de la densidad poblacional, y sobre todo del USO ACTUAL de la tierra, que es lo que se considera de mayor vulnerabilidad debido a que afecta a los medios de vida e inversiones mayores de la población. Por ejemplo, en el caso en el que una comunidad o un conjunto de familias han perdido sus inversiones productivas la población simplemente abandona la zona dejando sus casas u otros bienes, dando inicio al proceso de expulsión temporal y/o definitiva según el caso y severidad del evento generador. Algunos usos de la tierra son más vulnerables a las riadas, por ejemplo un ganadero puede evacuar a sus llamas a buen recaudo pero un agricultor no puede trasladar fácilmente sus cultivos ante un evento. Por ello de acuerdo a estas consideraciones las variables empleadas en este análisis son:

- ✓ Densidad poblacional
- ✓ Distancia al rio
- ✓ Uso de la tierra

[9] Las heladas de advección, pueden suceder a cualquier hora del día, no necesariamente por la noche, que es cuando hay menor temperatura atmosférica. Por su característica propia, los métodos de protección de heladas resultan ineficaces.

DENSIDAD POBLACIONAL.

Esta variable se la analiza en función a la presencia y/o concentración de población presente en cada uno de los centros poblados del área de estudio. Este análisis es puramente espacial y depende del software, los datos de población, las zonas identificadas y validadas mediante el procesamiento de los datos de variables correlacionadas a la densidad poblacional (se debe verificar por ejemplo con el uso de la tierra) y la imagen satelital de buena resolución para poder expresarlos espacialmente. El mapa resultante es reclasificado en cinco niveles como una forma de estandarizar todos los criterios a una misma base de análisis.

La estandarización de las alternativas de este criterio, fueron realizadas considerando que a mayor cantidad de personas por unidad de superficie, mayor nivel de vulnerabilidad; mientras que las zonas menos pobladas representan zonas menos vulnerables, la estandarización fue realizada como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 7. Estandarización del criterio densidad poblacional

Densidad	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

Es posible discutir que el criterio podría ser inverso en el caso de que exista un mecanismo y organización de alerta temprana, esto es, que al existir una mayor cantidad de población, les sería posible una mejor reacción. Sin embargo, la lógica está más bien dada en la posibilidad de que al ser un evento repentino no da tiempo a las personas a reaccionar y más bien al estar concentradas, más pobladores podrían ser afectados.

MAPA DE DISTANCIA AL RÍO.

La segunda variable en ser analizada es la distancia al río. Este criterio fue elaborado en función a una lógica simple, esto es que mientras más cerca se encuentre al río más vulnerable es. Sin embargo, depende de la morfología del cauce y del área que la circunscribe, para lograr esto se analiza la pendiente, en la idea de que pendientes planas y adyacentes al rio, será de fácil acceso para el caudal excedentario durante un evento de riada y probablemente serán inundados.

La estandarización de este criterio, fue realizada considerando que áreas más próximas al río y de pendientes planas a nivel del rio, son mayormente vulnerables a ser inundadas, a diferencia de las áreas que se ubican a mayor distancia y pendientes superiores al 20%, los cuales son menos vulnerables. La estandarización fue realizada como se aprecia en cuadro siguiente:

Cuadro 8.: Estandarización del criterio distancia al rio

Vulnerabilidad en función a su cercanía al rio	Valor estandarizado

Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Este criterio considerado como clave para el éxito del mapeo de este riesgo, por lo tanto este debe contener información real y actualizada respecto a las diferentes actividades que se desarrollan en el territorio.

Este mapa puede ser generado o recopilado dependiendo del nivel de detalle que se desea lograr, si se dispone de imágenes satelitales de buena calidad espacial y temporal, esta variable puede ser generada a un buen nivel de detalle.

Los mapas del uso actual de la tierra se generan mediante interpretación visual sobre la imagen satelital y posteriormente debe ser validado en campo, esto para disponer de un mapa actualizado y con un buen detalle, de manera que se puedan identificar las zonas de riesgo en su real dimensión.

La estandarización de las alternativas de este criterio fue considerando que las zonas más vulnerables son las áreas con intensa actividad antrópicas (Áreas pobladas, Agricultura intensiva), cuyo impacto sería de consideración sin ocurriera un evento de riada, mientras que en las áreas menos vulnerables la inundación no presentaría mayores problemas, la estandarización fue realizada con se ilustra en el cuadro siguiente:

Cuadro 9.: Estandarización del criterio uso actual de la tierra

*Uso	Valor estandarización
Áreas pobladas	1
Uso agrícola intensivo	0.56
Uso agrícola extensivo limitado	0.34
Uso forestal múltiple	0.2
Uso minería de extracción	0.1
Uso ganadería extensiva	0.2
Lecho del rio – sin uso	0

* En el caso del análisis de esta amenaza se suele interpretar el uso en el área que se circunscribe al o los cauces que son motivos de los análisis.

3.2.2. VULNERABILIDAD A LA GRANIZADA

Esta vulnerabilidad que afecta a la seguridad alimentaria y esta correlacionada al uso actual de la tierra, la densidad poblacional, las pendientes y la altitud. Debido a esto es más fácilmente reconocible y ubicable por la población quienes pueden zonificarla e incluso cualificar la severidad.

MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Este criterio como se mencionó representa uno de los insumos de mayor importancia, debido a que será donde se manifieste el riesgo al evento de las granizadas.

Se genera como en el anterior caso, las alternativas fueron estandarizadas como se muestra en el cuadro siguiente, dando una prerrogativa a las zonas más vulnerables a los eventos de granizada.

Cuadro 10.: Estandarización de la alternativas del uso de la tierra

Uso Actual de la tierra	Valor estándar
Afloramiento rocoso – sin uso	0
Área poblada	0.25
Bofedal – sin uso ganadero extensivo	0.15
Lecho del río – sin uso	0
Plantación forestal exótica	0.4
Uso Agrícola extensivo limitado	0.7
Uso agrícola intensivo	1
Uso agrícola intensivo limitado	0.8
Uso forestal múltiple	0.3
Uso ganadero extensivo – zonas de pastizales	0.5
Uso ganadero extensivo (Afloramiento rocoso)	0.2

MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL.

Este criterio fue generado en base al mapa de poblaciones aunado a la cantidad de pobladores. Las alternativas fueron estandarizados en base de la cantidad de personas que se encuentran en un determinado espacio geográfico, se consideró que a mayor cantidad de habitantes por unidad de superficie, mayor la vulnerabilidad de esta zona, los valores estándar se ilustran en el siguiente cuadro:

Cuadro 11 Estandarización de las alternativas del criterio densidad

Densidad poblacional	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0

MAPA DE PENDIENTES.

Este criterio fue analizado en función a que se considera que las áreas con pendiente planas son más vulnerables respecto a las zonas cuyos pendientes son fuertemente empinadas, estas últimas debido a la dificultad de ingreso a las actividades humanas, por lo tanto un evento de granizadas no tiene mayores repercusiones.

Cuadro 12 Estandarización de las pendientes

Pendiente (%)	Clase	Valor estandarizado
0 – 10	Plano	1
10 a 20	Mod. inclinado	0.56
20 a 30	Inclinado	0.34
30 a 45	Mod. Empinado	0.2
más de 45	Fuert. Empinado	0.09

MAPA DE ALTITUD (ELEVACIONES)

Para la estandarización se consideró que las zonas más elevadas, presentan mayor nivel de vulnerabilidad, con respecto a la zona que se encuentran en zonas más bajas, por lo tanto fueron asignados con valores más altos, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. Estandarización del criterio de elevaciones

Nivel de elevación	Valor estandarizado
Muy alto	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2

Como se puede apreciar la zona no presenta áreas de muy baja vulnerabilidad debido a que la zona andina se encuentra constantemente expuesta a granizadas, por estar ubicada en elevaciones que varían entre los 2900 y 4800 msnm.

3.2.3. VULNERABILIDAD A LA HELADA

Esta vulnerabilidad es algo más compleja de representar espacialmente, ya que si bien los pobladores pueden localizarlos y zonificarlos, esta información es de utilidad limitada, ya que no representa adecuadamente el potencial de vulnerabilidad. Para solventar esto, se debe recurrir a indicadores secundarios que permitan precisar las áreas más vulnerables, para este análisis empleamos: el uso actual de la tierra, la densidad poblacional, las pendientes y la orientación de la pendiente.

MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Este criterio basa su importancia en que esta amenaza afecta a la población en su seguridad alimentaria, debilitándola y haciéndola más vulnerable a otras amenazas que no llegarían a producir mucho daño si la población no estuviera debilitada. Esta información puede ser generada

de forma directa sobre imágenes satelitales y posteriormente validada in situ. Sin embargo también pueden ser adquiridas de fuentes secundarias, pero debido a que en el análisis de esta amenaza en particular es el uso lo que se precisa, debe tratarse con el mayor cuidado y detalle posible.

Por ello, la estandarización de las alternativas de este criterio, fue realizado priorizando el caso de las zonas con uso agrícola intensivo e extensivo, frente a otras zonas donde las heladas no ocasionarían mayores impactos, como en zonas sin uso según a su cobertura: en el lecho de los ríos, afloraciones rocosas, etc., esta parametrización fue:

Cuadro 14 Estandarización del criterio uso actual de la tierra.

Uso	Valor estandarizado
Área Urbana Rural	0.15
Lecho de río	0.07
Otras áreas de uso restringido	0.25
Uso agrícola extensivo	0.59
Uso agrícola intensivo	1
Uso ganadero intensivo	0.39

Como se puede ver en el cuadro anterior, las clases de uso actual de la tierra, son valoradas según las actividades económicas de las áreas de análisis, siendo las zonas con actividad agrícola intensiva la que están con los mayores valores, como es lógico pensar, en caso de presentarse un evento de helada de alta intensidad, los cultivos sufrirían impactos considerables debido al evento y como consecuencia reducirían los rendimientos de los cultivo, lo cual generaría bajos ingresos para los propietarios y la población en general. Al final se produce una cadena de problemas sociales (mayor pobreza, migración, familias desintegradas, etc.).

MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL

Como se mencionó este dato es generado en base a cantidad de habitantes que tiene cada comunidad o centro poblado que se encuentra en el área de análisis. La estandarización de las alternativas con valores cuantitativos se la realiza en la consideración que donde los valores sean más altos corresponden las zonas más densamente pobladas, considerando, que en caso de ocurrir un evento de heladas, los impactos en esta zona serian de consideración; mientras que los valores bajos corresponden a las zonas de baja densidad poblacional en el cual hay poca presencia de personal y el impacto del evento no tendría mayor impacto.

Cuadro 15 Estandarización de criterio densidad poblacional.

Nivel de densidad	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

MAPA DE PENDIENTES.

La variable es definida en función a los siguientes cinco niveles: de pendientes (Plana, Moderadamente inclinada, Inclinada, Empinada y Muy empinada), posteriormente estas alternativas son estandarizados con valores numéricos que varían de cero a uno, donde los valores altos corresponde a zonas con pendientes de cero por ciento, considerando que estas zonas son más vulnerables a las heladas en consecuencia el impacto sería de consideración, porque las condiciones de relieve de estas zonas favorecen las actividades socioeconómicas; mientras que los valores bajos corresponden a los zonas cuyas pendientes varían de empinada y muy empinada, debido a las condiciones de relieve se encuentran poca actividad antrópica, por lo tanto la helada no causaría mayores impactos.

Cuadro 16 Estandarización del criterio pendientes.

Pendiente	Valor estandarizado
Plana	1
Mod. inclinada	0.56
Inclinada	0.34
Empinada	0.2
Muy Empinada	0.09

MAPA DE ORIENTACIÓN DE PENDIENTES.

Esta variable es generada a partir de información secundaria y basada en un supuesto, el análisis se basa en la idea de que al producirse un evento, el mismo generalmente se sucede en horas de la noche o por la mañana muy temprano, junto a ello el relieve montañoso impide que la luz del sol llegue rápidamente a las parcelas afectadas, que podrían disminuir su afectación si pudieran calentarse más rápidamente, por ello se clasifica el área, según la dirección de la pendiente (Norte, Este, Sud, Oeste y llana), estas categorías son estandarizadas con valores numéricos que varían de cero a uno, donde los valores altos corresponden a las zonas que podrían contar con más iluminación solar en el momento más oportuno.

Cuadro 17. Estandarización del criterio Orientación.

Dirección de la pendiente	Valor estandarizado
Llano	1
Norte	0.34
Este	0.09
Sud	0.56
Oeste	1
Norte	0.34

3.2.4. VULNERABILIDAD A LA SEQUIA

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un período de tiempo es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia de agua es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas. Cada vez con mayor frecuencia se

presentan en el mundo y es considerado uno de los fenómenos naturales que más daños causan en lo que se refiere al aspecto económico ya que grandes hectáreas de cultivos se pierden por las sequías y numerosas cabezas de ganado mueren durante las mismas.

Para elaborar el mapa de vulnerabilidades se consideraron los siguientes criterios: Uso actual de la tierra, Densidad poblacional, Distancia al curso los ríos, Pendientes, y Orientación de la pendiente.

MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Este criterio representa uno de los insumos de mayor importancia, debido a que será donde se manifieste el riesgo.

Las alternativas fueron estandarizadas como se muestra en el cuadro, como se puede apreciar, las alternativas con más alto valor corresponden a las zonas más vulnerables a los eventos de sequía.

Cuadro 18 Estandarización de la alternativas del uso de la tierra

Uso Actual de la tierra	Valor estandarizado
Afloramiento rocoso sin uso	0
Área poblada	0.65
Área urbana	0.65
Bofedal sin uso	0.55
Lecho del río sin uso	0
Plantación forestal exótica	0.4
Uso Agrícola extensivo limitado	0.8
Uso agrícola intensivo	1
Uso agrícola intensivo limitado	0.9
Uso forestal múltiple	0.3
Uso ganadero extensivo	0.5
Uso ganadero extensivo (Afloramiento rocoso)	0.2

MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL.

Este criterio fue generado en base al mapa de poblaciones representadas por puntos, cuya tabla de atributos contiene la información poblacional que habitan en cada uno de las áreas pobladas.

Las alternativas fueron estandarizados en base de la cantidad de personas que se encuentran en un determinado espacio geográfico, se consideró que a mayor cantidad de habitantes por unidad de superficie, mayor la vulnerabilidad de esta zona, los valores estándar se ilustran en el siguiente cuadro:

Cuadro 19 Estandarización de las alternativas del criterio densidad

Densidad poblacional	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56

Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0

MAPA DE DISTANCIA AL RIO.

Este criterio se analizó con la idea de que la población se apoyará en riego complementario para su producción, por lo que mientras más lejos deben recorrer para poder disponer de estos caudales, considerando que las áreas ubicadas más cerca al curso del rio tienen menos nivel de vulnerabilidad en eventos de sequía, y por otro lado, las zonas más alejadas al curso de los ríos, son más vulnerable a los eventos de sequias.

Cuadro 20. Vulnerabilidad de ubicación respecto al rio

Distancia	Valor estandarizado
Muy lejos	1
Lejos	0.56
Mod. lejos	0.34
Cerca	0.2
Muy cerca	0.09

MAPA DE PENDIENTES.

El criterio fue generado en base a una información referente a alturas, el resultado del proceso es un mapa con valores continuos, los cuales como los anteriores casos deben ser clasificados en cinco clases de niveles de vulnerabilidad: “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”.

La estandarización fue realizada considerando que las áreas con pendiente planas son menos vulnerables respecto a las zonas cuyos pendientes son fuertemente empinadas, donde por acción de la gravedad estos suelos pierden con mayor facilidad el agua disponible en los suelos.

Cuadro 21 Estandarización de las pendientes

Pendiente (%)	Clase	Valor estandarizado
0 – 10	Plano	0.09
10 a 20	Mod. inclinado	0.2
20 a 30	Inclinado	0.34
30 a 45	Mod. empinado	0.56
más de 45	Fuert. Empinado	1

MAPA DE ORIENTACIÓN DE LA PENDIENTE.

Otro criterio que fue considerado en el mapa de orientación de la pendiente, el resultado del análisis es un mapa con valores continuos que representan la dirección que tienen cada una de las laderas. Este mapa fue reclasificado en cinco clases de orientación: Norte, Este, Oeste, Sud y plano o sin orientación.

La estandarización de las alternativas de este criterio fue realizado considerando que los zonas expuestas al este por mayor exposición al sol son más vulnerables a las sequias que las zonas con laderas orientadas hacia el sud.

Cuadro 22 Estandarización del criterio orientación de la pendiente.

Orientación	Valor estandarizado
Plano	0.25
Norte	0.56
Este	1
Sud	0.15
Oeste	0.35
Norte	0.56

4. FASE III: MODELACIÓN ESPACIAL DE RIESGOS Y VALIDACIÓN DE LOS MAPAS FINALES

La siguiente parte del proceso es la generación de los mapas de RIESGOS, que es el resultado de CONFRONTAR las AMENAZAS con las VULNERABILIDADES.

- ✓ 1° Condición: Definición de la dimensión temática de la Ecuación General del Riesgo (EGR)
  La EGR analiza por ejemplo los siguientes riesgos:
  - Riesgo a Riadas (Inundaciones)
  - Riesgo a granizadas
  - Riesgo a heladas
  - Riesgo a sequías

- ✓ 2° Condición: Definición de la valoración ponderada de la EGR
  La EGR define el aporte y la importancia de las variables descriptoras:
  - Las amenazas tienen como máximo 3 componentes de los cuales el tema principal tendrá el mayor valor de estandarización y peso de aporte al modelo según el tipo de riesgo.
  - Las vulnerabilidades no tienen límites de componentes aunque se sugiere no pasar de 5 componentes en lo posible independientes
  - Componentes clave: Uso Tierra/cobertura vegetal; Densidad poblacional
  - Ponderación: Cada componente se valora en función a su importancia que puede variar según el tipo de riesgo.

Para poder realizar la tarea es preciso haber ya generado una información cartográfica base, además de recopilar información secundaria que apoye en el proceso de descripción del área de estudio. Como material base para realizar esta acción se sugiere disponer del siguiente material e información:

- ✓ Imagen satelital Landsat y Alos
- ✓ Límites Municipales y/o distritos
- ✓ Poblados y/o Capitales
- ✓ Red Vial
- ✓ Red de Drenaje.
- ✓ DEM

Aquí comenzamos a describir como se elaboran los insumos y como aplicando la EGR para cada tipo de riesgo se generan los mapas de riesgo:

4.1. ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO:

Si:

Considerando que los mapas de amenaza y vulnerabilidad son sumas ponderadas de los factores que los representan entre ellos la percepción local, cuando se haya relevado, en función de los criterios de cada modelo (árbol de criterios para cada riesgo) se tiene la siguiente EGR:

A=

0 0.375
0.75 0.375

0 0.25
0.25 0.1875

Sin Riesgo	Riesgo Moderado
Alto Riesgo	Riesgo Bajo

4.2. MENÚ DE ELABORACIÓN DE INSUMOS BASE SEGÚN RIESGO

4.2.1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE DESARROLLO Y APLICACIÓN

La Ecuación General del Riesgo es una metodología que precisa de información secundaria y conocer adecuadamente el territorio que se va analizar, a continuación se lista los requerimientos y condiciones:

REQUERIMIENTOS

Equipos:

- Equipo Computacional de buena capacidad de almacenamiento y proceso
- GPS's
- Unidad externa de almacenamiento de datos con gran capacidad

Información Secundaria Básica;

- Modelo Digital de Elevación del Terreno (DEM)[10]
- Mapa base del área de estudio, con la ubicación de Comunidades, Drenajes (Ríos y quebradas), límites municipales, ubicación de fuentes de agua, red vial.
- Imagen satelital del área de estudio, de baja resolución para un análisis mancomunal o municipal, de media resolución para análisis municipal o comunal y de alta resolución para análisis local.

CONDICIONES

- El área que se desea analizar no tiene acceso o acceso limitado a información primaria (Estaciones climatológicas).

- El estudio necesariamente debe poder incorporar vivencias y experiencias locales de una manera adecuada.

- Colectar y procesar los datos de una manera sistémica y empleando una metodología estricta, esto es especialmente importante, ya que al ser la EGR una metodología empírica debe evitarse en lo posible sesgos y opiniones que no puedan ser sustentadas en alguna información.

[10] La fuente de acceso a esta información seria el IGM de manera local y los ASTER DEM o Landsat DEM que pueden ser obtenidas del internet, en direcciones ya informadas en el capítulo 1 de este documento.

- Recursos humanos suficientes y preparados en el uso de herramientas tecnológicas SIG, esto es preciso puesto que toda la información colectada y procesada debe ser finalmente modelada para lograr el resultado.

Gracias a esto, para cada tipo de riesgo, se tomaran en cuenta factores clave que desde la modelación técnica son importantes para representar la vulnerabilidad a esa amenaza específica, cabe resaltar que es posible usar un mismo tipo de dato en el análisis, sin embargo su participación es estandarizada y ponderada para cada tipo de riesgo se específica y haciéndola muy diferente en su aporte para representar espacialmente cada riesgo.

La ventaja es que se ha reducido la información requerida para la elaboración de los mapas de riesgo y el tiempo requerido para obtenerlos ya que una vez preparados los insumos solo se debe aplicar la EGR para cada riesgo con su estandarización y asignación de pesos especifico (en este documento las ponderaciones sugeridas, ya se hallan estandarizadas para su uso).

Sin embargo, los valores de estandarización y ponderación de cada EGR debe ser calibrada y validada para cada caso específico, de esta forma se asegurara que el mapa de riesgos represente la realidad de cada municipio, mancomunidad o zona de estudio seleccionada.

Cuadro 23. Menú de insumos requeridos para la elaboración de mapa de riesgo

Riesgo (R)		Amenaza (A)	Vulnerabilidad (V=				
Mapa de riesgo/Insumos	Mapa de Percepción local	Mapa técnico amenazas	Mapa de Pendientes	Mapa de Densidad poblacional	Mapa de Distancia a los ríos	Mapa de Uso actual de la tierra	Mapa de Orientación de la pendiente
Riadas, Inundaciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Sequia	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Heladas	✓		✓	✓		✓	✓
Granizadas	✓		✓	✓	✓	✓	✓

Para la elaboración de mapas de percepción local ver secciones anteriores.

Cada nivel de riesgo de la percepción local tendrá un aporte específico:

Cuadro 24: Estandarización percepción local
Granizadas Tacopaya

Nivel	Valor estandarizado
Muy Alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34

Baja	0.20
Muy baja	0.09

4.3. ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE PRODUCTOS

Con el cumplimiento de las condiciones se puede proceder a realizar el análisis, las secciones que se suceden, presentan las formas y maneras de ser aplicadas en el software ArcGIS, presentándose paso a paso la manera de la obtención de los resultados. A continuación se presentan los casos de análisis para cada Riesgo que la EGR considera.

4.3.1. ANÁLISIS DE DEL RIESGO A INUNDACIONES

4.3.1.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS

Mapa de pendientes.

Esta herramienta determina en gran medida el nivel de exposición, el mismos se elaboró en base al mosaico en formato raster de ASTER DEM (Modelo Digital de Elevación), que representa variación de altitud de un determinado lugar en cada pixel de su estructura, tiene una resolución espacial de 30 metros. Esta información puede ser descargada del internet, siempre considerando la calidad. Sin embargo, esta información también se genera a partir de las curvas de nivel del IGM, aunque requiere de más tiempo y esfuerzos.

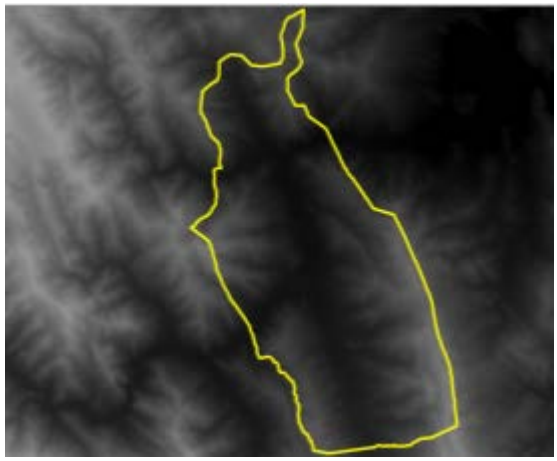


Figura 6. Modelo digital de elevaciones, municipio de Sicaya.

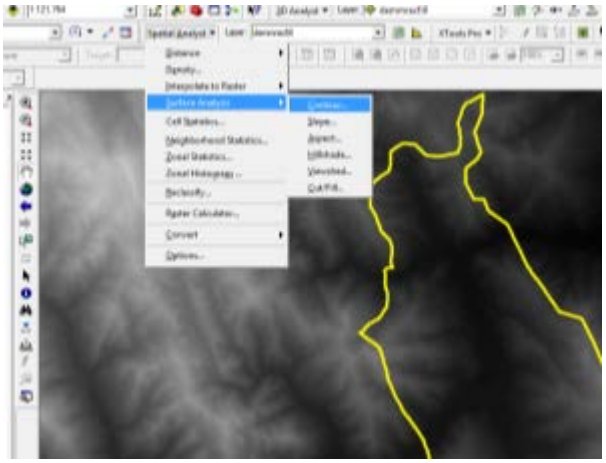


Figura 7. Pestaña de la extensión Spatial Analyst.

El proceso fue realizado en el programa ArcGis 9.3, con la ayuda de extensión Spatial Analyst/Surface Analysis/Slope, como se muestra en la Figura 8.

En la ventana emergente se introducen los parámetros requeridos para que el programa ejecute la operación. Como se ilustra en la Figura 9, cuyo resultado es un mapa de pendientes con valores continuos.

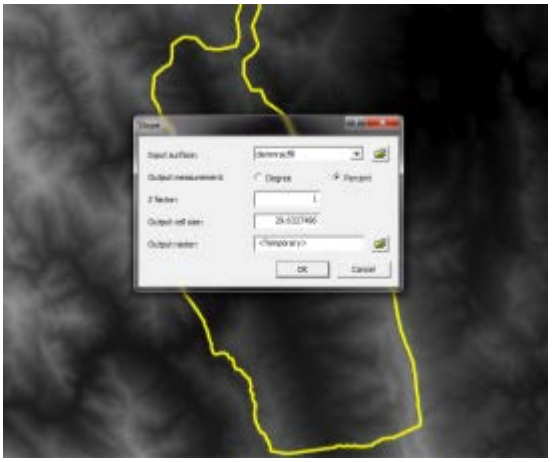


Figura 9.: Venta emergente Slope (pendiente).

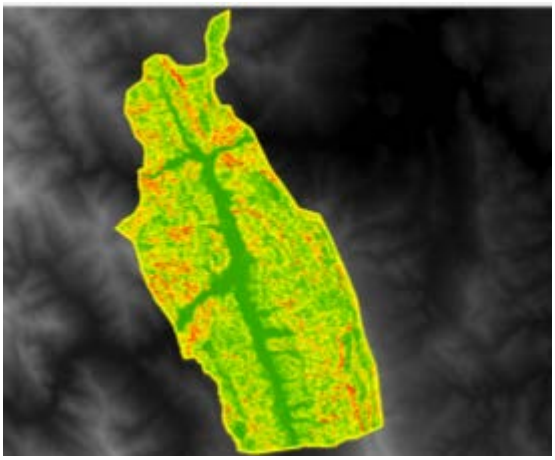


Figura 10. Mapa de pendientes del municipio de Sicaya (resultado).

El resultado del análisis es un mapa con valores continuos cuya estructura contiene las pendientes del terreno. El mapa obtenido debe ser reclasificado en 5 clases (0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30%, 30 a 45% y más de 45% de pendiente). Esta operación es realizada utilizando la extensión Spatial Analyts/Reclassify, como se ilustra en las siguientes Figuras 11 y 12.

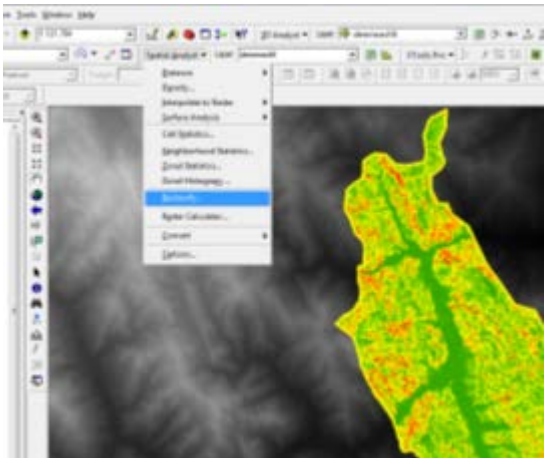


Figura 11.Ubicación de la herramienta Reclassify (reclasificar) en el Spatial Analyst (Analista Espacial).

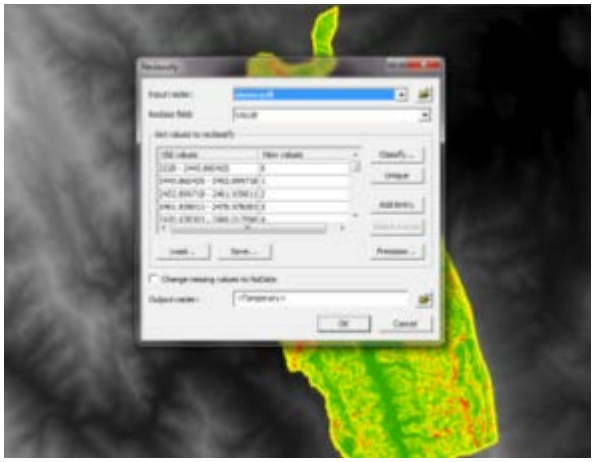


Figura 12. Ventana emergente para reclasificar.

El resultado de este proceso, es el mapa de pendientes reclasificado (Figura 13) en cinco niveles Plana, Moderadamente inclinada, Inclinada, Moderadamente empinada, Fuertemente empinada. La estandarización de este criterio fue realizada considerando que las zonas más planas, son más probables a ser inundadas durante un evento de riada, por lo tanto se les asignaron valores más altos, el contrario las áreas con pendientes empinadas desalojaran rápidamente las aguas y son menos probables a inundarse.

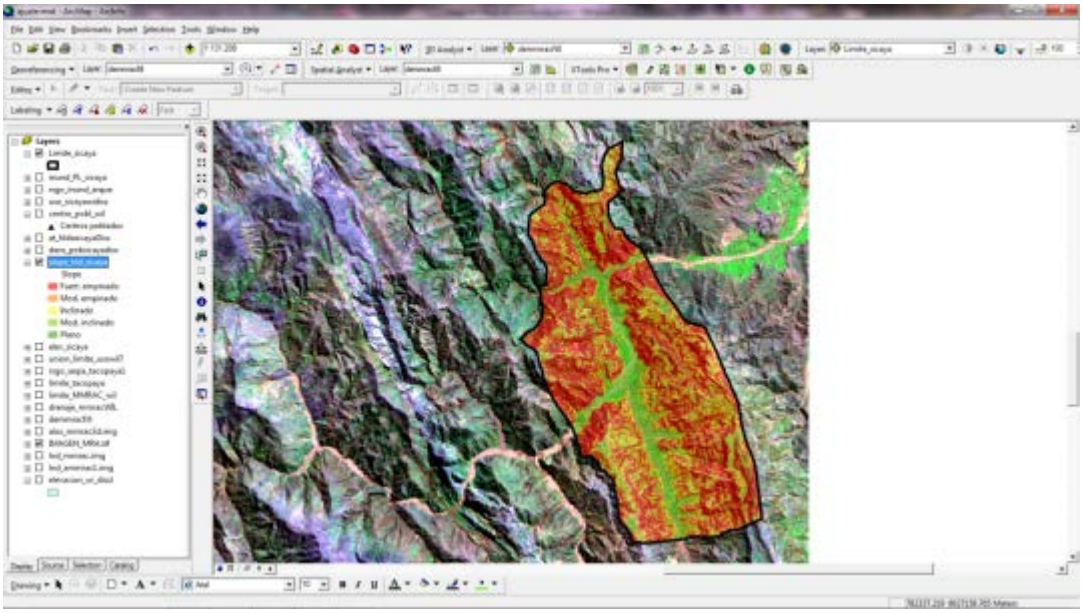


Figura 13. Mapa resultante Amenaza.

4.3.1.2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD.

Densidad poblacional.

Un criterio muy importante para que se manifieste el riesgo es la presencia de las poblaciones, en este sentido, este criterio es realizado en base la cantidad de población presente en cada una de los centros poblados del municipio. El proceso puede ser realizado en el programa ArcGis, utilizando la extensión Spatial Analyst/Density. Como se ilustra en las figuras 14 y 15:

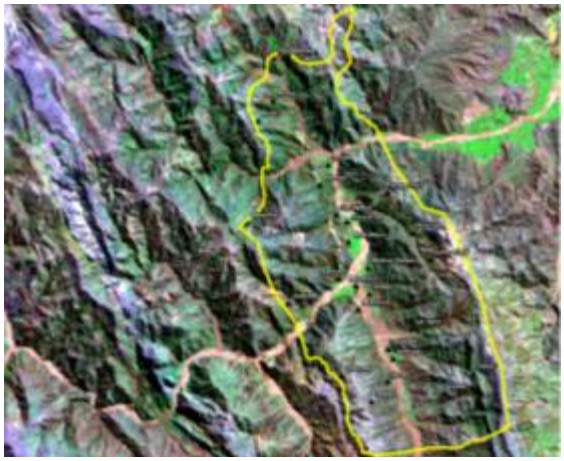


Figura 14: Mapa de centros poblados, municipio de Sicaya.

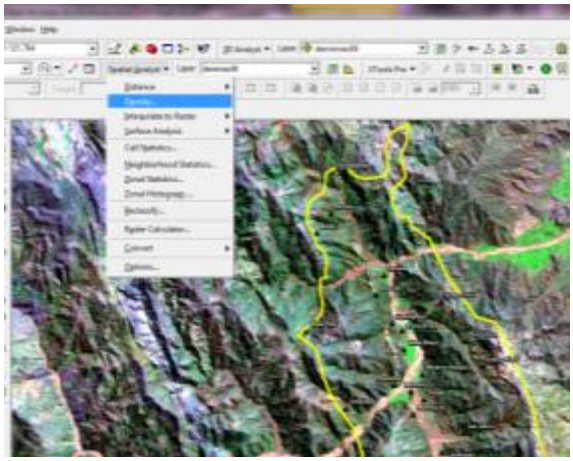


Figura 15: Pestaña desplegable de la extensión Spatial Analyst.

En ell cuadro emergente Density se deben asignar los parámetros requeridos (elección del mapa base, la columna con habitantes, etc.), para que el programa pueda ejecutar el análisis, el resultado del análisis es un mapa de densidades con valores continuos como se muestra en la Figura 16. Este mapa es reclasificado en cinco niveles como todos los criterios

a manera de estandarizar los mapas. El proceso como ya fue explicado fue realizado con el Reclassify del Spatial Analyst ver Figura 17.

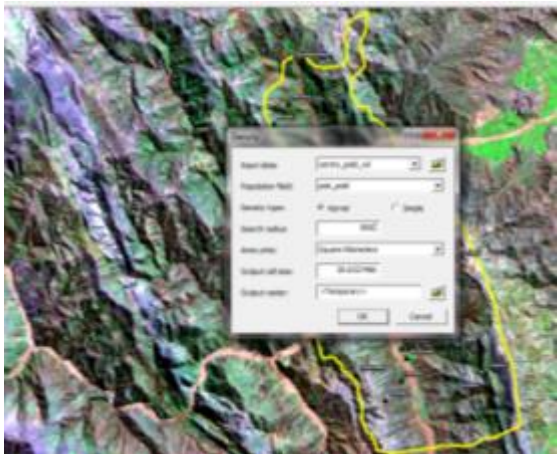


Figura 16: Ventana emergente del Density.

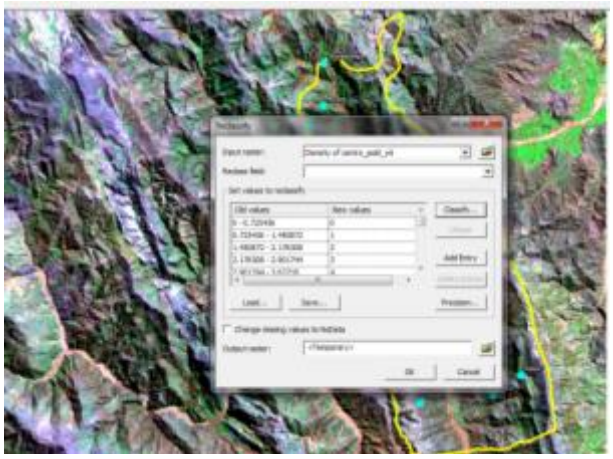


Figura 17: Ventana desplegable del Reclassify.

Como se muestra en la Figura 18, el análisis permite disponer con un mapa clasificado en cinco niveles de vulnerabilidad (Muy alta, Alta, Moderada, baja y Muy Baja), en función a la cantidad de personas que habitan en cada una de las zonas.

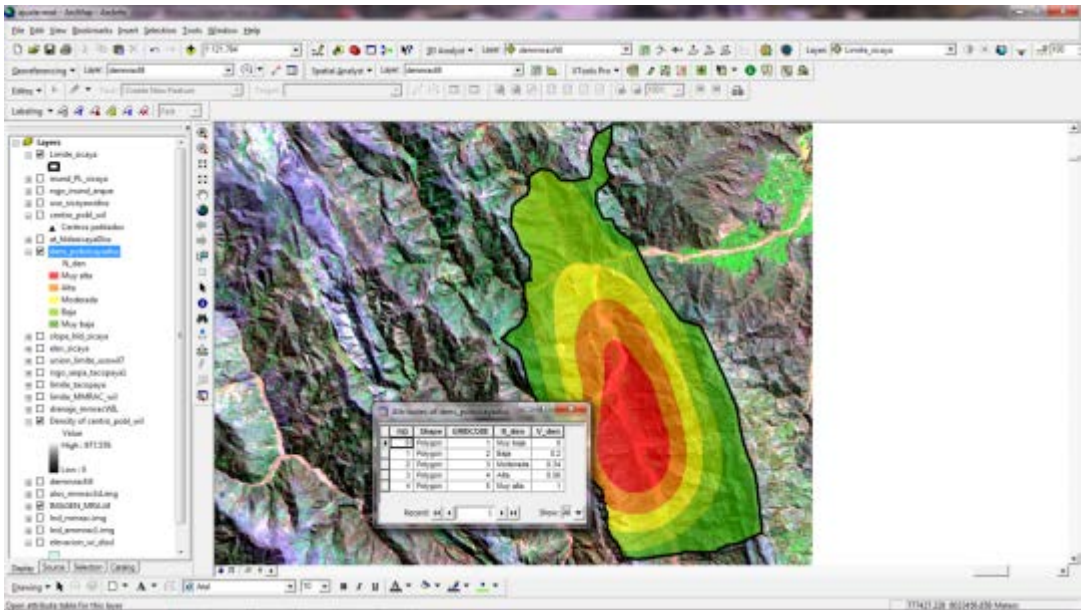


Figura 18: Mapa de densidad poblacional, municipio de Sicaya.

La estandarización de las alternativas de este criterio, fueron realizadas considerando que a mayor cantidad de personas por unidad de superficie, mayor nivel de vulnerabilidad; mientras que las zonas menos pobladas representan zonas menos vulnerables, la estandarización fue realizada como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 25: Estandarización del criterio densidad poblacional

Densidad	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

Mapa de distancia al rio.

Otro criterio importante en el análisis del riesgo de inundación, está representado por la distancia al rio. Este criterio fue elaborado en base a dos mapas base, el mapa de red de drenaje, que fue elaborado por interpretación visual sobre la imagen satelital y el mapa de pendientes cuyo proceso ya fue explicado.

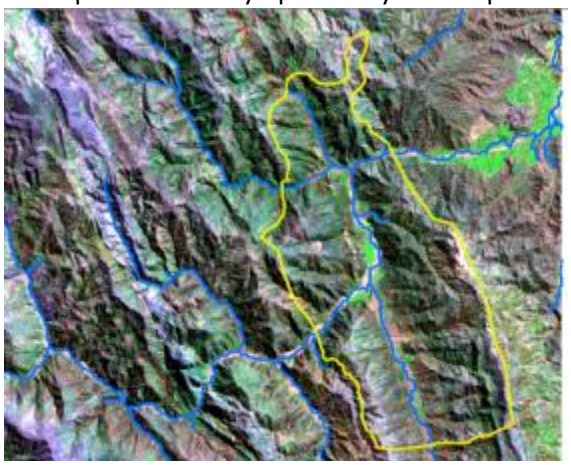


Figura 19: Mapa de ríos, municipio de Sicaya.

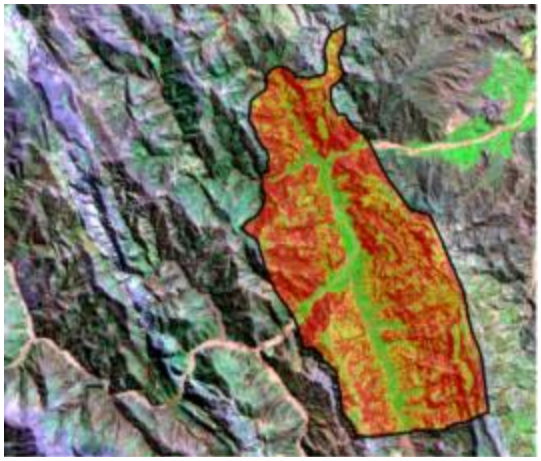


Figura 20: Mapa de pendientes, municipio de Sicaya.

La distancia a los ríos, puede ser determinado con el programa ArcGis en su extensión SpatialAnalyst/Distance/CostWeighted, en el cuadro emergente se asignan los parámetros necesarios para que el programa ejecute el análisis (Distance, Cost Raster) como se ilustra en las figuras 21 y 22:

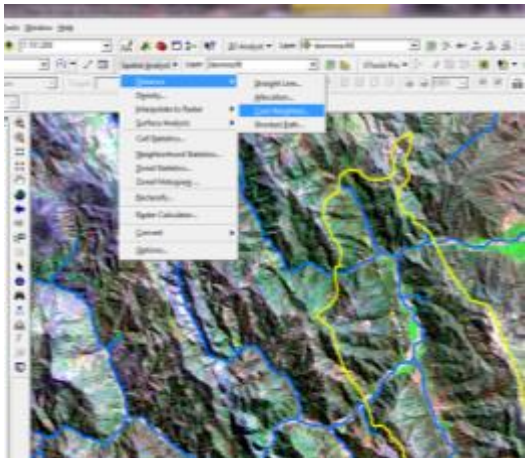


Figura 21: ubicación del CostWeighted del Spatial Analyst.

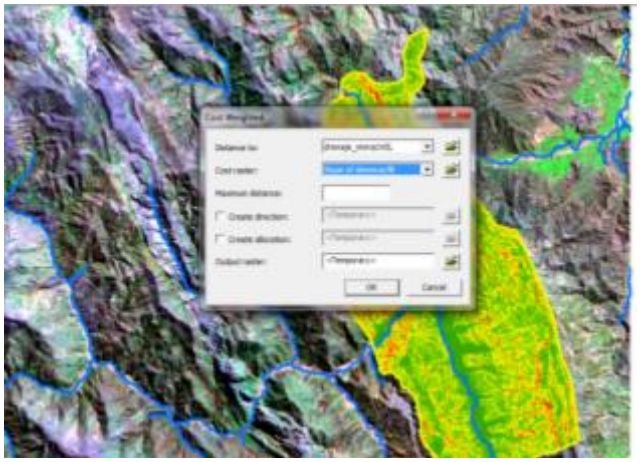


Figura 22: Ventana desplegable del CostWeighted.

El resultado del análisis es un mapa de distancia respecto al rio, pero en función a la pendiente, lo que significa que pendientes planas y adyacentes al rio, será de fácil acceso para el agua durante un evento de riada y con alta probabilidad de inundación.

A manera de estandarizar, el mapa es Reclasificado con el Spatial Analyst/Reclassify/, en cuyo cuadro emergente se establecen los parámetros requeridos como se ilustra en las figuras 23 y 24:

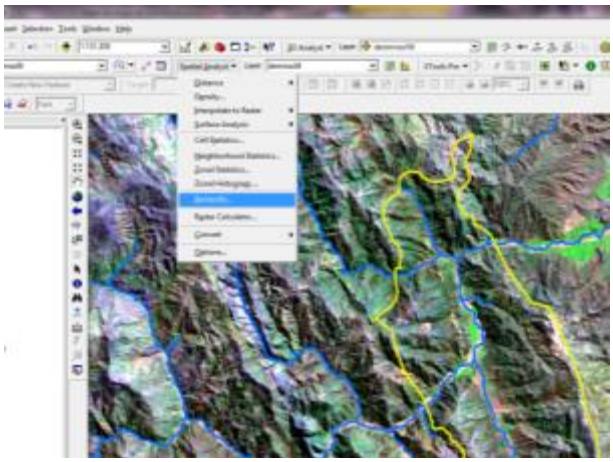


Figura 23: Ubicación del Raclassify del SpatialAnalyst.

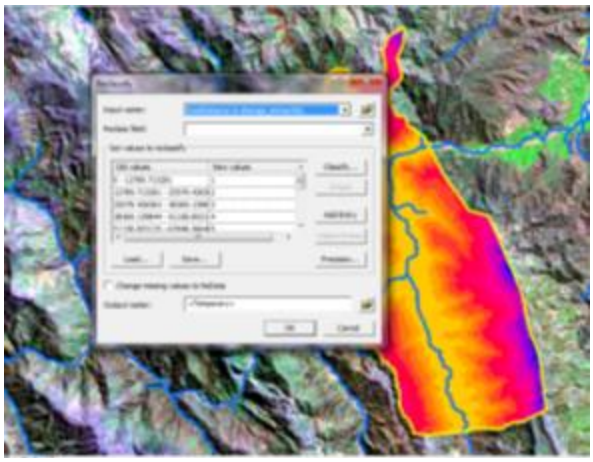


Figura 24: Ventana emergente del Reclassify.

El análisis proporciona como resultado, el mapa de distancias, considerando también las pendientes adyacentes al curso del río, lo que permite identificar las zonas con mayor accesibilidad para el agua.

El mapa es clasificado en cinco niveles de Vulnerabilidad (Muy alta, Alta, Moderada, Baja y Muy Baja), en función de la distancia con respecto al río (más cerca del río, más vulnerable) como se ilustra en la Figura 25.

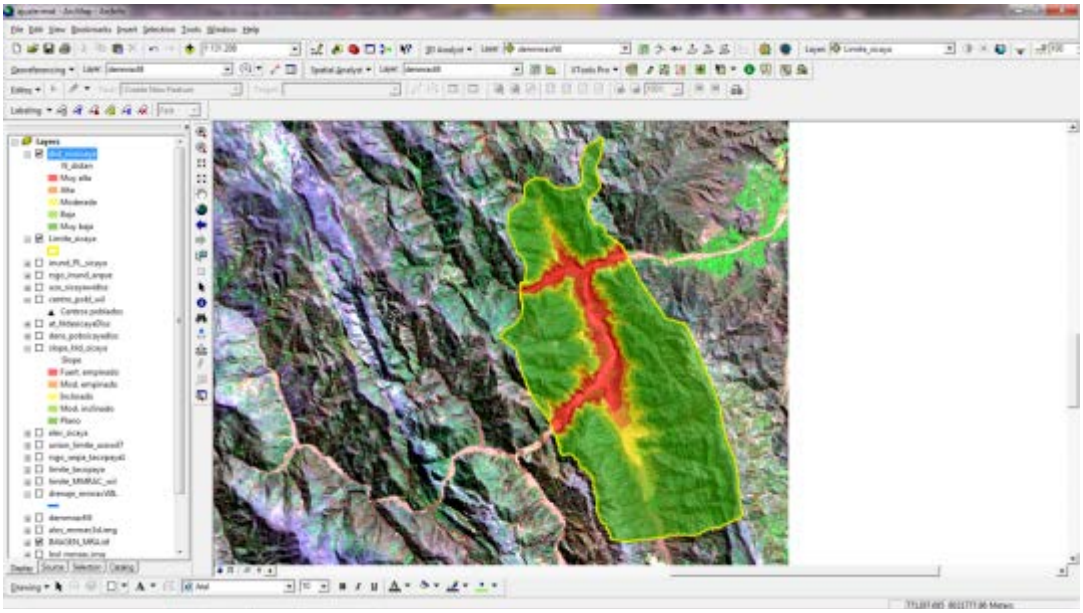


Figura 25: Mapa de Distancias al rio en función a pendientes, municipio de Sicaya.

Este criterio se estandarizó considerando las áreas más próximas al río y de pendientes planas a nivel del río, están mayormente expuestas, lo que determina su mayor vulnerabilidad a la ocurrencia de inundaciones, a diferencia de las áreas que se ubican a mayor distancia y pendientes superiores al 20%, los cuales son menos vulnerables. La estandarización fue realizada como se aprecia en Cuadro:

Cuadro 26: Estandarización del criterio distancia al río

Distancia al rio	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

Mapa de uso actual de la tierra.

De este criterio depende el éxito de la zonificación del riesgos. Por lo tanto, se debe recolectar la información actualizada con la mayor precisión posible para representar la realidad de la mejor manera, relacionando la misma a las diferentes actividades que se desarrollan en el territorio.

Este mapa puede ser recopilado de diferentes fuentes. Es posible también desarrollarlo a partir de imágenes satelitales de buena calidad espacial y temporal, y dependiendo del tiempo disponible y la disponibilidad de información actualizada y al detalle que responda a los objetivos del análisis.

Para el presente caso el mapa de uso actual de la tierra fue realizado mediante interpretación visual sobre la imagen satelital Alos y posteriormente validado en campo, esto permitió disponer de un mapa actualizado y con un buen detalle, de manera que se puedan identificar las zonas de riesgo en su real expresión.

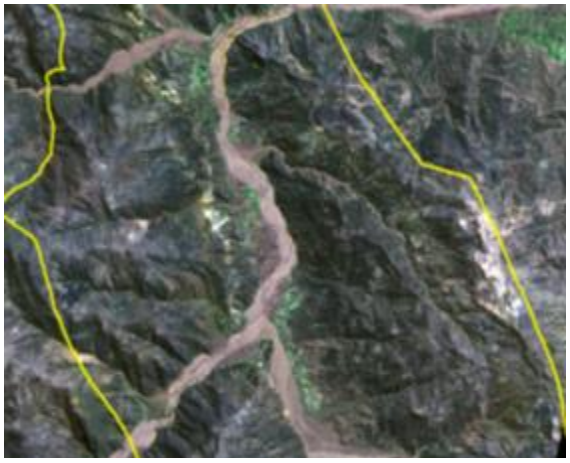


Figura 26: imagen satelital ALOS de 10 metros de resolución.

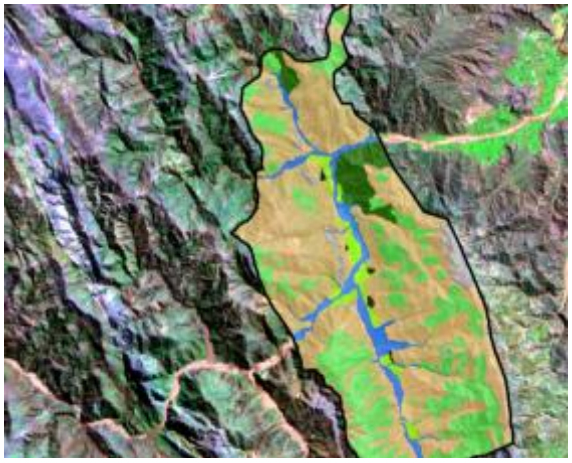


Figura 27: Mapa de uso actual de la tierra, municipio de Sicaya.

La estandarización de las alternativas de este criterio fue considerando que las zonas más vulnerables son las áreas con intensa actividad antrópicas (Áreas pobladas, Agricultura intensiva), cuyo impacto sería de consideración sin ocurriera un evento de inundación, mientras que en las áreas menos vulnerables la inundación no presentaría mayores problemas, la estandarización fue realizada con se ilustra en el cuadro siguiente:

Cuadro 27: Estandarización del criterio uso actual de la tierra

Uso	**Valor estandarización**
Áreas pobladas	1
Uso agrícola intensivo	0.56
Uso agrícola extensivo limitado	0.34
Uso forestal múltiple	0.2
Uso minería de extracción	1
Uso ganadera extensiva	0.2
Lecho del rio	0

4.3.1.3. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS.

La ponderación de los criterios fue realizado de acuerdo a la importancia del criterio y la relevancia con respecto al objetivo planteado; los valores de ponderación son valores numéricos que varían de valores mayores a cero y uno, como se muestra en los siguiente cuadros.

Cuadro 28: Ponderación de los criterio de amenaza

Criterio de Amenaza	Valor ponderado
Mapa de percepción local de amenaza	0.75
Mapa de percepción técnica de amenaza	0.25

Cuadro 29: Ponderación de los criterios de vulnerabilidad

Criterio de vulnerabilidad	Valor ponderado
Mapa de densidad poblacional	0.10
Mapa de distancia a ríos	0.40
Mapa de uso actual de la tierra	0.50

4.3.1.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO.

Una vez adquiridos los criterios referidos a la amenaza y la vulnerabilidad, estos deben ser integrados en la ecuación del riesgo (Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad). Esta operación puede ser ejecutada en cualquier ambiente SIG.

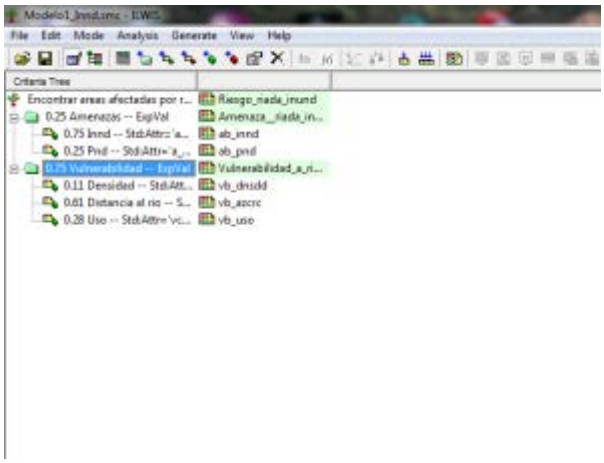


Figura 28: árbol de criterios

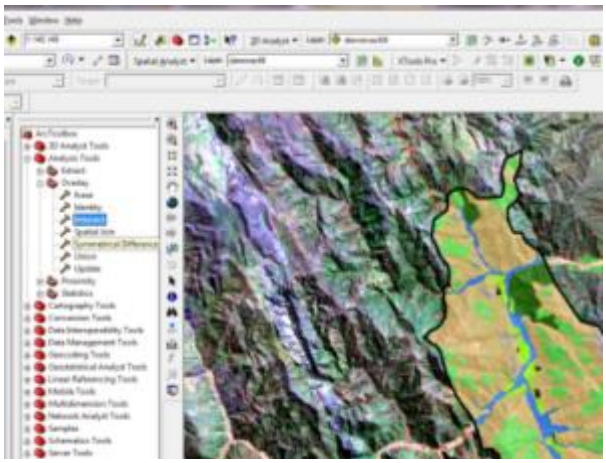


Figura 29: Intersect del programa ArcGis 9.3.

La aplicación se encuentra en Arctools Box/Analyst tools/Overlay/Intersect; en la ventana emergente del Intersect se determinan los parámetros requeridos (Input features, Output feature class), y el programa ejecutara el análisis. Cabe mencionar que en el input se debe introducir los mapas temáticos que fueron elaborados, estandarizados y ponderados.

El resultado del análisis del Intersect es un mapa que en sus atributos contiene los valores de los criterios de las amenazas y las vulnerabilidades, en función de estos es posible identificar las zonas de riesgo.

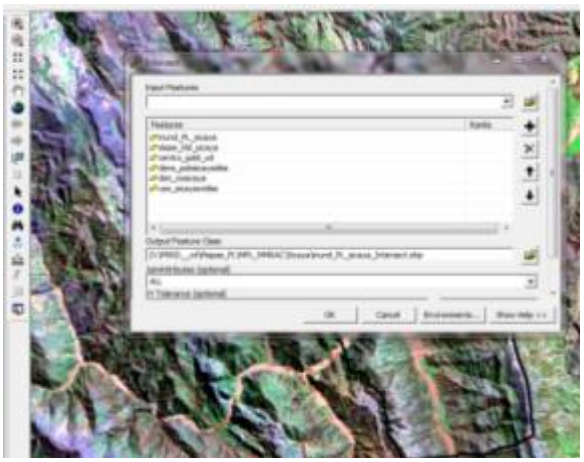


Figura 30: Ventana emergente del Intersect

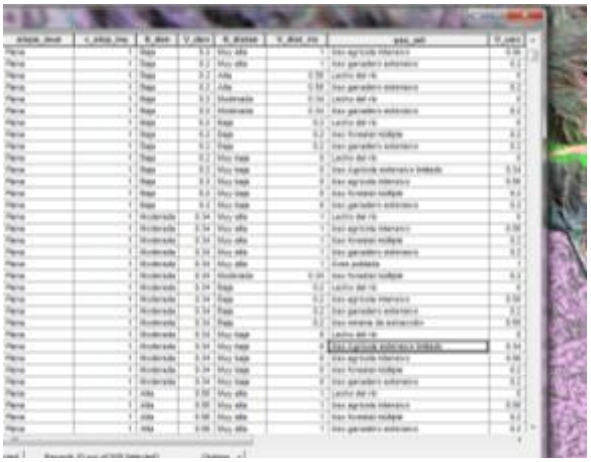


Figura 31: Tabla de atributos resultado de la intersección de los criterios.

En la tabla de atributos del mapa de intersección, se crea una nueva columna para determinar los valores del análisis de zonas de riesgo, esto es posible ejecutarlo con laa herramienta Field Calculator, tal como se ilustra en la figura 32. En la ventana emergente se escribe la ecuación que definirá los valores de la nueva columna, esta operación permitirá zonificar las áreas de riesgo. Los término de la ecuación escrita en le Field Calculator son los valores estandarizados de los criterios considerados como factores de Amenazas y vulnerabilidades, además de estar ponderados según importancia de acuerdo al objetivo.

Ecuación 1: Ecuación formulada en la ventana del Field Calculator, para la zonificación de las zonas de riesgo.

((([V_PLinund] *0.75) + ([v_PTslope_inund] *0.25))*0.25) + ((([V_den] *0.10) + ([V_dist_rio] *0.40) + ([V_uso] *0.50)) *0.75)

Dónde:

v_PLinund:	Percepción local de áreas de inundación.
v_PTslope_inund:	Criterio técnico de áreas potenciales de inundación.
V_den:	De densidad poblacional.
V_dist_rio:	Distancia al río.
V_uso:	Uso actual de la tierra.

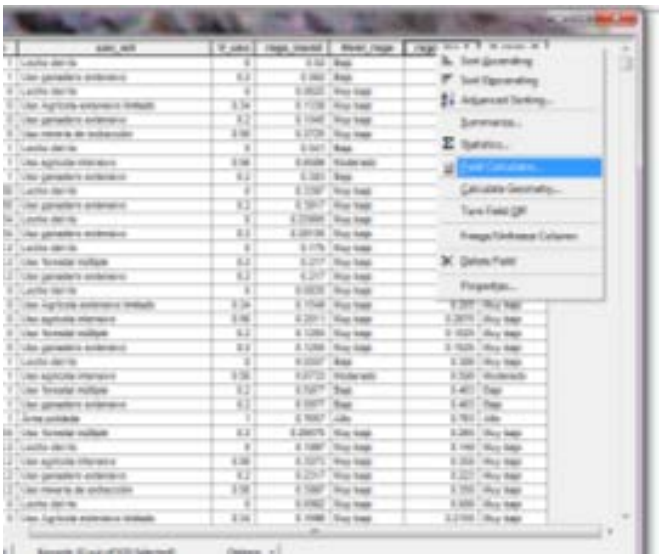


Figura 32: Ubicación del Field Calculator

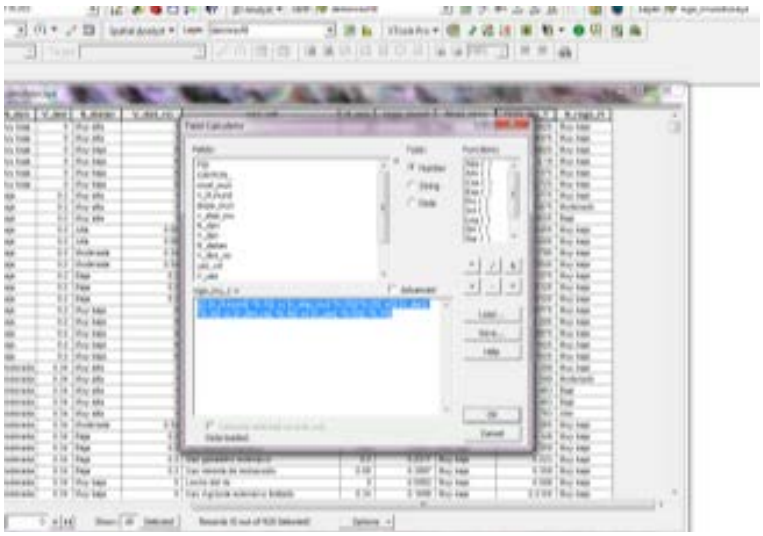


Figura 33: Ventana del Field Calculator.

El resultado del análisis del Field Calculator, como se ha explicado, son los valores de la nueva columna, que son reclasificados con Spatial Analyst/ Reclassify. De acuerdo al método de reclasificación de definirán las zonas de riesgo.
En el presente estudio, la clasificación fue realizada como se muestra en el cuadro 30, el rango de clasificación es el que más se aproxima a la realidad, que fue verificado en campo y validado por los actores locales en talleres de validación de los mapas de riesgo.

Cuadro 40: clasificación de los niveles de riesgo según la frecuencia de los casos

Casos (%)	Nivel de riesgo
Menor a 50	Muy bajo

50 – 60	Bajo
60 – 70	Moderado
70 - 80	Alto
Más de 80	Muy alto

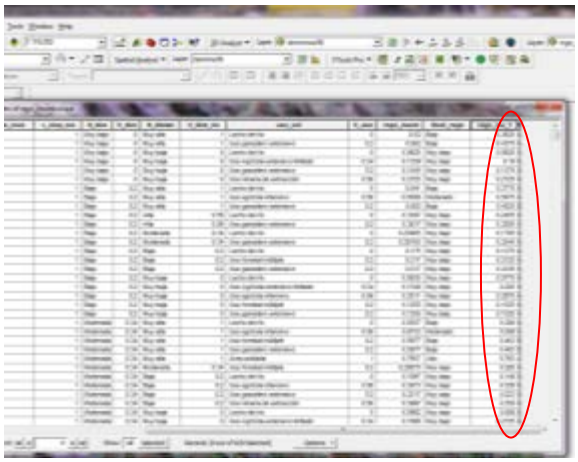


Figura 34: Valores resultado del Field Calculator

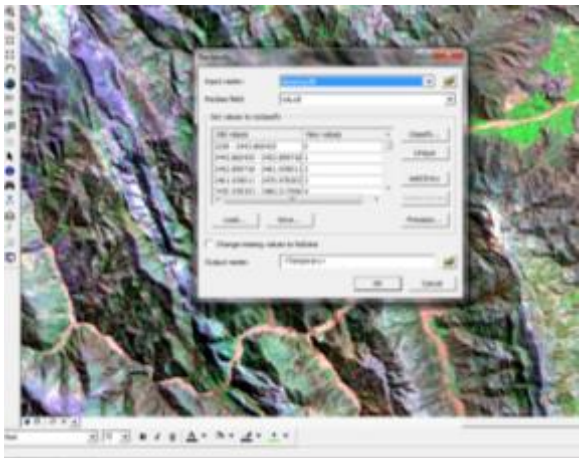


Figura 35: Ventana emergente del Field calculator

Finalmente el resultado del análisis se visualiza en la figura 36, como se puede apreciar, las zonas con riesgo muy alto, son las áreas pobladas ubicadas a orillas del rio, las zonas con riesgo alto son las áreas destinadas al uso agrícola intensiva, también ubicadas al orillas del rio, y las zonas con riesgo moderado, son las áreas destinadas a otro tipo de uso pero donde una posible inundación no tendrá mayores impactos.

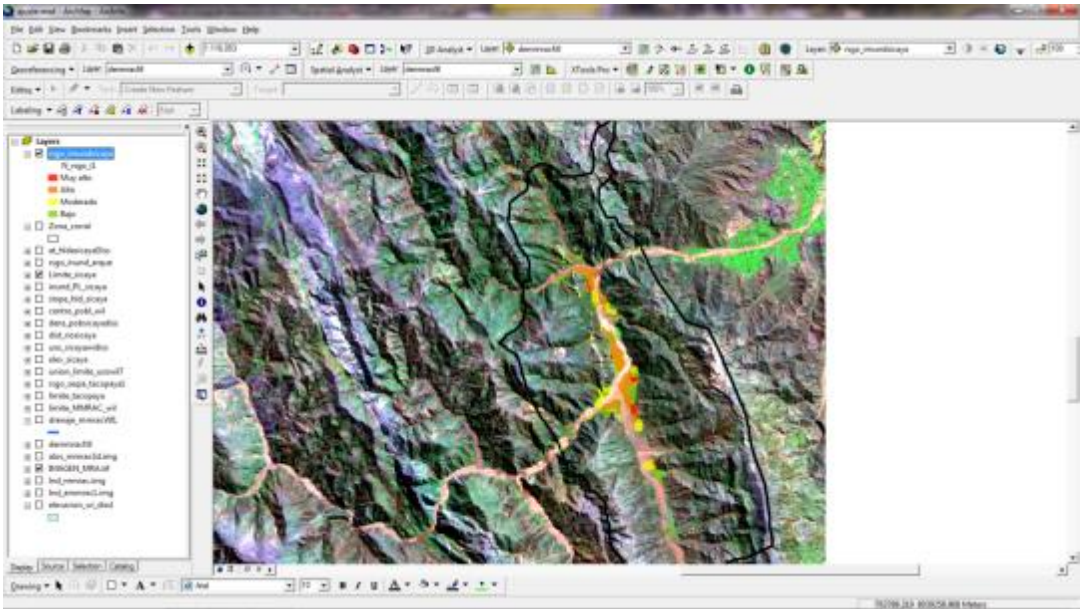


Figura 36: Mapa de riesgo a inundaciones por riadas, municipio de Sicaya.

4.3.2. ANÁLISIS DE DEL RIESGO A GRANIZADAS

4.3.2.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS

Mapa de amenaza en base a criterios técnicos.

Este mapa es generado a partir de información secundaria correspondiente a mapas de disponibilidad hídrica con un criterio de elevación.

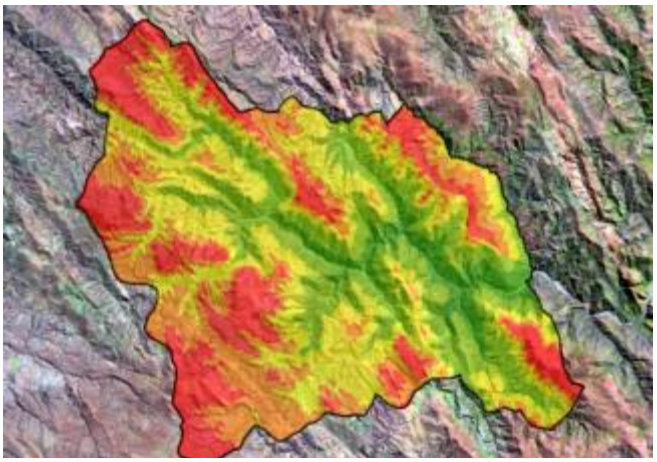


Figura 37: Mapa de percepción técnica de amenaza
A granizadas, municipio de Tacopaya.

El mapa de percepción técnica, fue clasificada en cinco niveles de amenaza “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”, este nivel niveles de amenaza son estandarizados como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 41: Estandarización de las alternativas
del criterio Percepción técnica.

Nivel de Amenaza a granizadas	Valor estandarizado
Muy Alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.20
Muy baja	0.09

4.3.2.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Para elaborar el mapa de vulnerabilidades se consideraron los siguientes criterios: Uso actual de la tierra, Densidad poblacional, Distancia al curso los ríos, Pendientes, y Orientación de la pendiente.

Mapa de uso actual de la tierra.

Este criterio representa uno de los insumos de mayor importancia, debido a que será donde se manifieste el riesgo al evento de las granizadas.

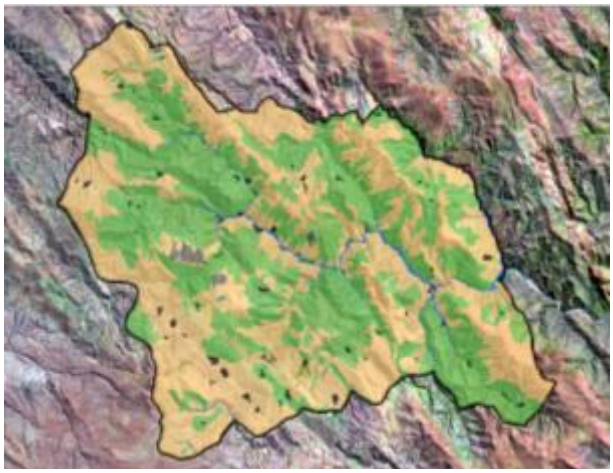


Figura 38: Mapa de uso actual de la tierra, Municipio de Tacopaya.

Las alternativas fueron estandarizadas como se muestra en el Cuadro 12, como se puede apreciar, las alternativas con más alto valor corresponden a las zonas más vulnerables a los eventos de sequía.

Cuadro 42: Estandarización de la alternativas del uso de la tierra

Uso Actual de la tierra	Valor estándar
Afloramiento rocoso	0
Área poblada	0.25
Bofedal	0.15
Lecho del río	0
Plantación forestal exótica	0.4
Uso Agrícola extensivo limitado	0.7
Uso agrícola intensivo	1
Uso agrícola intensivo limitado	0.8
Uso forestal múltiple	0.3
Uso ganadero extensivo	0.5
Uso ganadero extensivo (Afloramiento rocoso)	0.2

Mapa de densidad poblacional.

Este criterio fue generado en base al mapa de poblaciones representadas por puntos, cuya tabla de atributos contiene la información poblacional. Sin embargo, como se trata de un análisis espacial es necesario disponer de mapas con valores continuos. Este proceso es posible realizarlo con la herramienta Density del SpatialAnalyst del programa ArcGis.

Para iniciar el proceso se debe integrar el mapa de centros poblados, ejecutar el comando DENSITY, y en cuadro emergente cargar la información requerida,

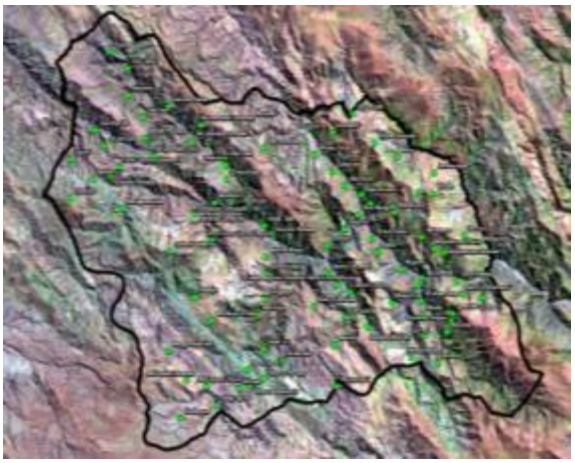


Figura 39: Mapa de centros poblados, municipio de Tacopaya

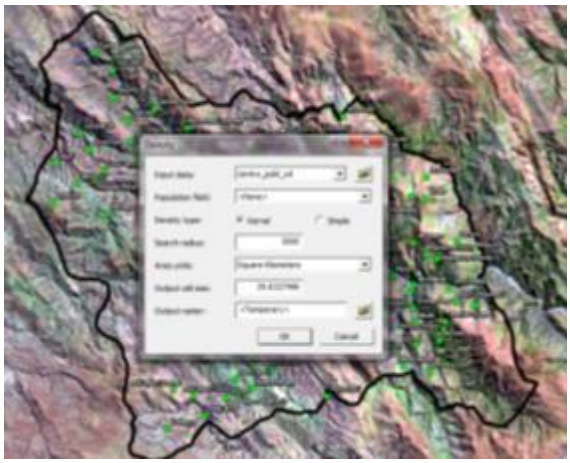


Figura 40: Ventana emergente de la herramienta Density del programa ArcGis.

Una vez condicionado la operación (Input Data, Population Field, etc.), clip en OK, el programa genera un mapa con valores continuos, que fueron elaborados en base a la cantidad poblacional en cada centro poblado.

Posteriormente es necesario reclasificar en cinco niveles de vulnerabilidad, a manera de estandarizar, este proceso es posible realizarlo con la herramienta Reclassify del SpatialAnalyst; en el cuadro emergente se asignan los parámetros requeridos como el número de clases y el método de clasificación.

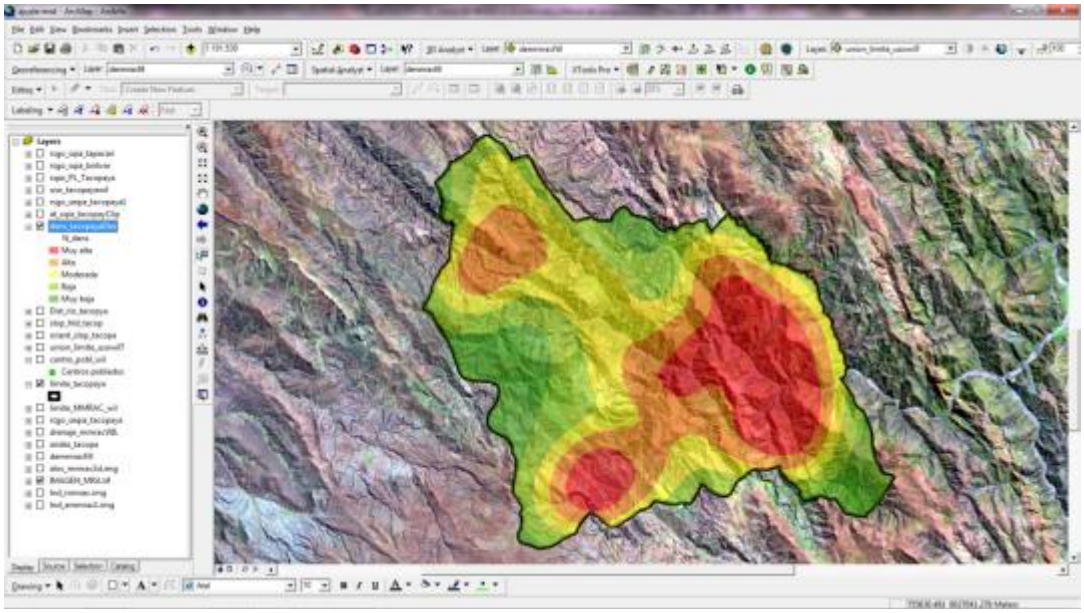


Figura 41: Mapa de densidad poblacional, Municipio de Tacopaya.

Las alternativas fueron estandarizadas en base de la cantidad de personas que se encuentran en un determinado espacio geográfico, se consideró que a mayor cantidad de habitantes por unidad de superficie, mayor la vulnerabilidad de esta zona, los valores estándar se ilustran en el siguiente cuadro:

Cuadro 43: estandarización de las alternativas del criterio densidad

Densidad poblacional	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0

Mapa de pendientes.

El criterio fue generado en base a una imagen espacial (DEM), que contiene información referente a alturas, pero, este mapas también puede ser generado en base a las curvas de nivel del IGM, sin embargo este último recurso requiere de un factor no siempre disponible (tiempo). El proceso fue realizado con la herramienta Slope del SpatialAnalyst; en el cuadro emergente se incluyen los parámetros (Input Surface, output measurement, etc.) luego de introducir todos los parámetros requeridos se acepta con un OK.

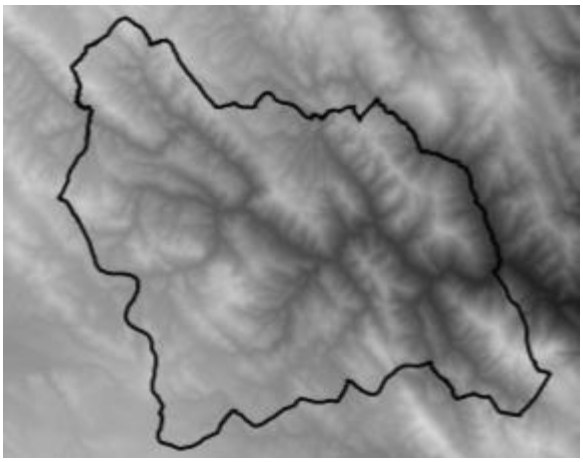


Figura 42: Modelo Digital de Elevaciones, municipio de Tacopaya

Figura 43: Ventana emergente de la herramienta Slope del ArcGis

El resultado del proceso es un mapa con valores continuos, los cuales como los anteriores casos deben ser reclasificados en cinco niveles de vulnerabilidad: “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”. Este proceso es ejecutado como ya fue explicado anteriormente, usando el Reclassify del SpatialAnalyst.

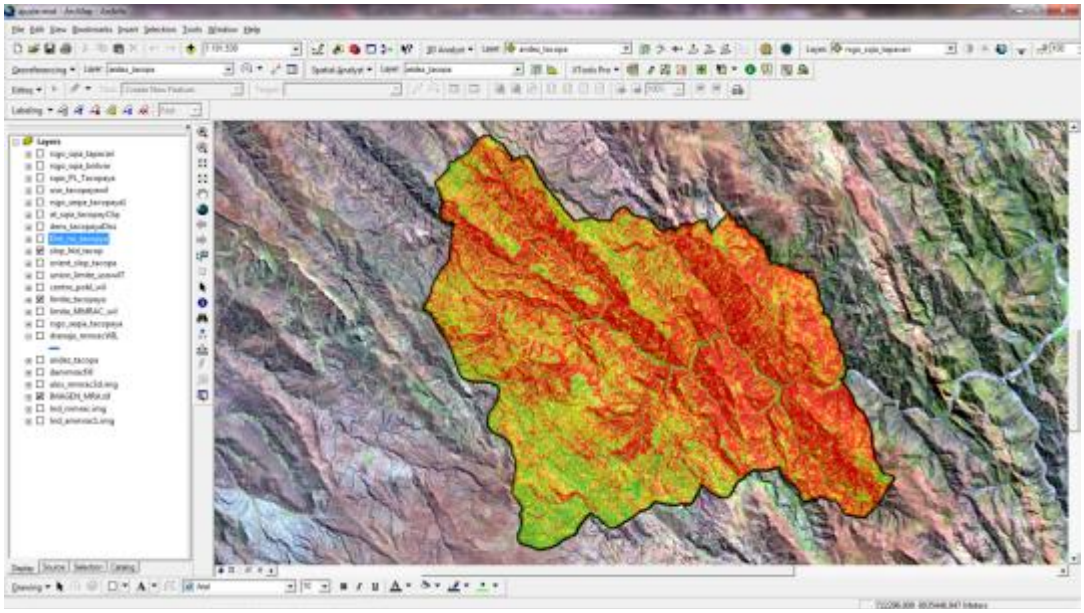


Figura 44: Mapa de pendientes, municipio de Tacopaya

La estandarización fue realizado considerando que las áreas con pendiente planas son más vulnerables respecto a las zonas cuyos pendientes son fuertemente empinadas, estas últimas por su dificultad de ingreso no presenta actividades humanas, por lo tanto un evento de granizadas no tiene mayores repercusiones.

Cuadro 44: Estandarización de las pendientes

Pendiente (%)	**Clase**	**Valor estandarizado**
0 – 10	Plano	1
10 a 20	Mod. inclinado	0.56
20 a 30	Inclinado	0.34
30 a 45	Mod. empinado	0.2
más de 45	Fuert. empinado	0.09

Mapa de elevaciones.

Las granizadas generalmente de presentan en las áreas de mayor elevación, en ese sentido, este criterio se ha elaborado en base al DEM, y el uso de la herramienta Reclassify que se encuentra en la extensión Spatial Analyst. La elevaciones fueron clasificadas en cinco niveles de vulnerabilidad, como sugiere el sentido común las zonas más elevadas se encuentran mayormente expuestasy consecuentemente son más vulnerables debido que se presenta con mayor frecuencia eventos de granizadas.

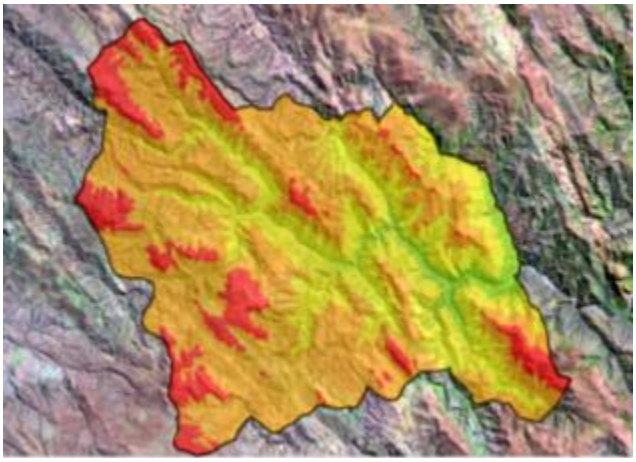


Figura 45: Mapa de elevaciones, municipio de Tacopaya

Para la estandarización se consideró que las zonas más elevadas, presentan mayor nivel de exposición, con respecto a la zona que se encuentran en zonas más bajas. Por lo tanto, fueron asignados con valores más altos, como se muestra en el Cuadro 45.

Cuadro 45: Estandarización del criterio de elevaciones.

Nivel de elevación	Valor estandarizado
Muy alto	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2

Como se pude apreciar la zona no presenta áreas de muy baja vulnerabilidad debida que la zona andina se encuentra constantemente expuesta a granizadas, por estar ubicada en elevaciones que varían entre los 2.900 y 4.800 msnm.

4.3.2.3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS.

Como una de las etapas finales y la más importante, corresponde la ponderación de los criterios, este paso fue realizado considerando la importancia que tiene cada uno de los criterios de acuerdo al objetivo planteado.

La ponderación fue realizada asignado valores que valían de 0.1 a 1, donde los valores cercanos a uno corresponden de mayor importancia de acuerdo al objetivo planteado. La ponderación fue realizada de manera separada para los criterios de las amenazas y las vulnerabilidades.

Cuadro 46: Ponderación de los criterios de amenaza

Criterio	Valor ponderado

Mapa de criterios técnicos de amenaza	0.75
Mapa de percepción local de amenaza	0.25

Cuadro 47: Ponderación de los criterios de vulnerabilidad

Criterio	Valor ponderado
Mapa de uso actual	0.6
Mapa de densidad poblacional	0.2
Mapa de pendientes	0.15
Mapa de elevaciones	0.5

4.3.2.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO.

Finalmente, para identificar las zonas de riesgo, se aplicó la ecuación general de riesgo (riesgo = amenaza * vulnerabilidad), el proceso fue ejecutado en el programa ArcGis 9.3. Para lo cual se realizado la intersección de todos los criterios con la herramienta intersect del ArcTool Box, en cuya ventana emergente se cargaron los criterios (mapas temáticos) y se estableció el archivo de salida.

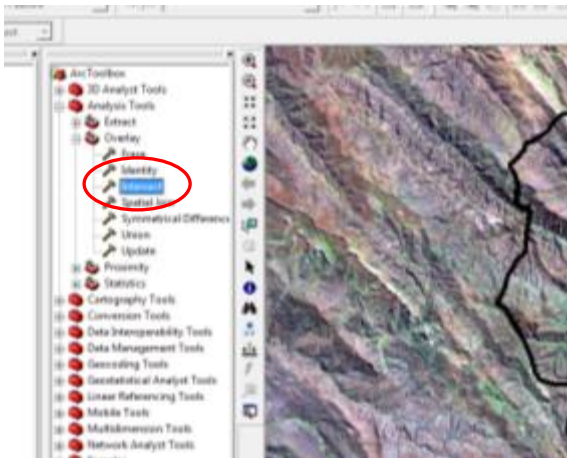


Figura 46: ubicación de la herramienta Intersect de ArcGis.

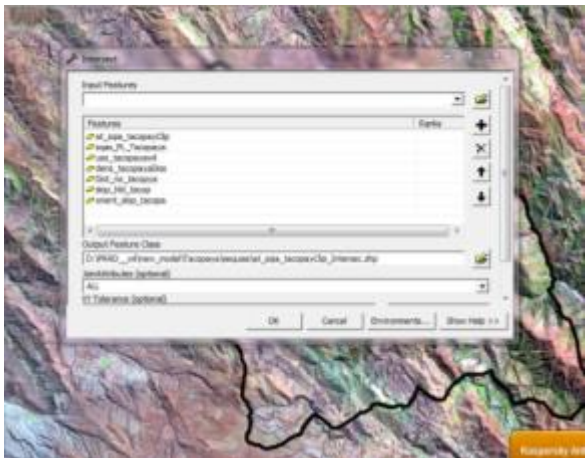


Figura 47: Ventana emergente del Intersect del ArcGis

Como resultado del proceso se tiene un nuevo mapa cuya tabla de atributos contiene todos los valores estandarizados de todos los criterios. Posterior a la intersección de los criterios, está el desarrollo del modelo que zonifique los riesgo, para esto se crea un nuevo Field en la tabla de atributos de la intersección, que puede llamarse riego, en la nueva columna abrir el Field Calculator en cual se escribe la siguiente ecuación.

Ecuación 2: Ecuación formulada en la ventana del Field Calculator, para la zonificación de las zonas de riesgo

((([A_PTGrnzdaM] *0.75) + ([V_PL_gnzda] *0.25)) *0.25) + ((([V_uso_gnzd] *0.60) + ([V_dens] *0.2) + ([V_slope] *0.15) + ([V_elev] *0.5)) *0.75)

Dónde:

A_PTGrnzadaM:	Criterio de percepción técnica.
V_PL_gnzda:	Criterio de percepción local.
V_uso gnad:	Criterio de uso actual.
V_dens:	Criterio de densidad poblacional.
V_slope:	Criterio de pendientes.
V_elev	Criterio de elevación.

Como se puede apreciar, e la ecuación formulada están incluidos todas las alternativas con sus ponderaciones correspondientes.

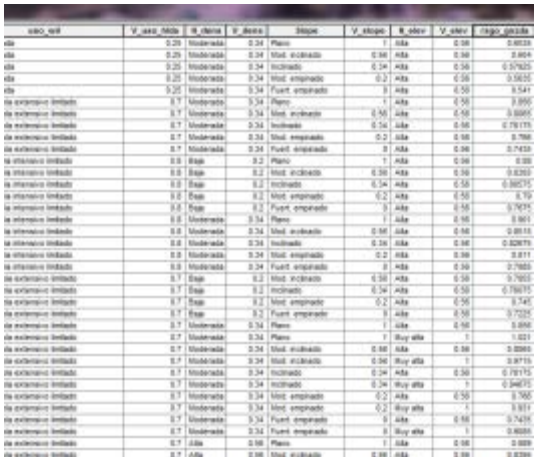


Figura 48: Tabla de Atributos del mapa intersección.

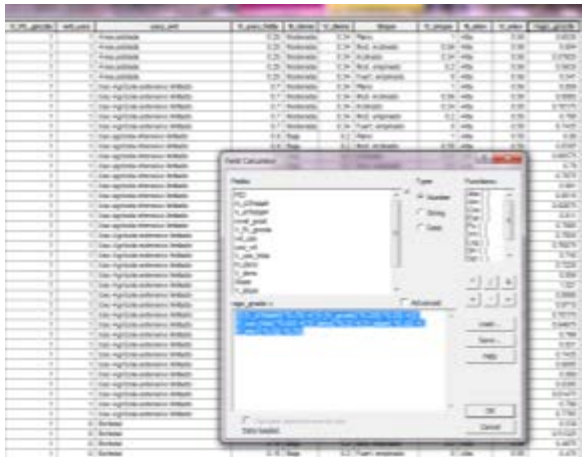


Figura 49: Ventana del FialdCalculator del ArcGis.

Una vez ejecutado la ecuación en el Field Calculator, se procedió a clasificar los valores resultantes en cinco niveles de riesgo como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 48: clasificación de los nivel de riesgo.

Intervalo de casos (%)	**Nivel de riesgo**
Menor a 45	Muy bajo
45–60	Bajo
60 – 75	Moderado
75 – 90	Alto
Mayor a 90	Muy alto

La figura 50 ilustra la zonificación del riesgo a granizadas para el municipio de Tacopaya; como se puede observar las áreas clasificadas como riesgo “Muy alto”, corresponde a áreas cuyo uso actual de la tierra es de Agrícola extensiva limitada y se encuentra expuesta a niveles de amenazas “Muy alta” ya sea por percepción local y técnico.

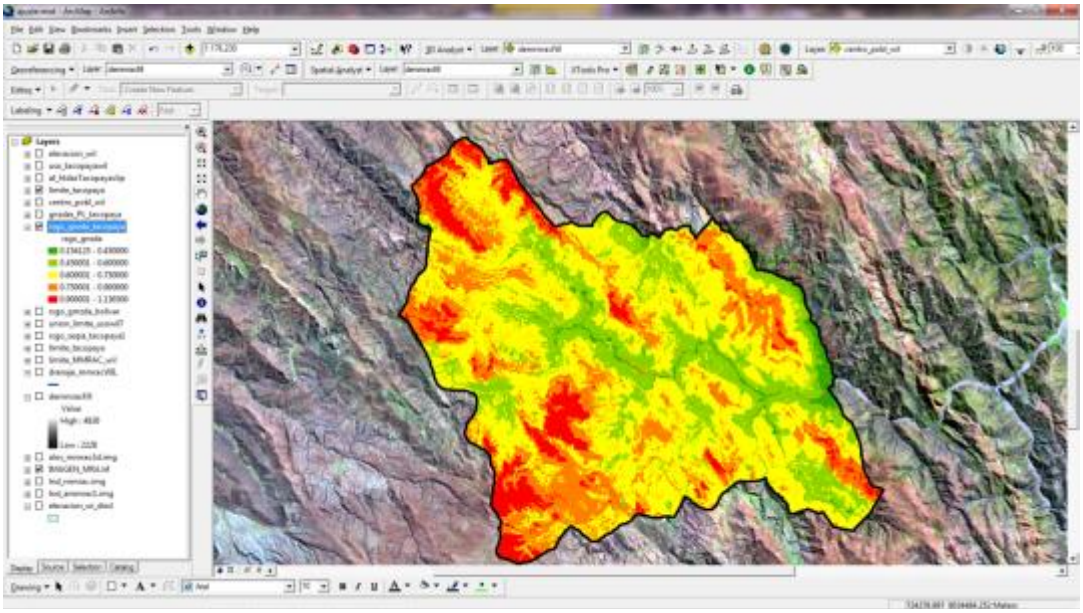


Figura 50: Mapa de riesgo a granizadas, municipio de Tacopaya

4.3.3. MAPAS DE RIESGO A HELADAS.

4.3.3.1. ANÁLISIS DE AMENAZA.

A manera de estandarizar, este criterio fue reclasificado en cinco nivel de amenaza (Muy alta, Alta, Moderada, Baja y Muy baja), la reclasificación fue realizada en el programa ArcGis con ayuda de su extensión Spatial Analyst/reclassify.

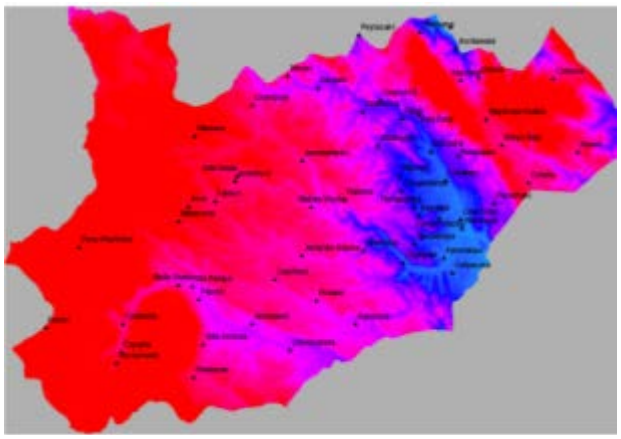


Figura 51: Mapa de percepción técnico de amenaza a heladas, municipio de Bolívar.

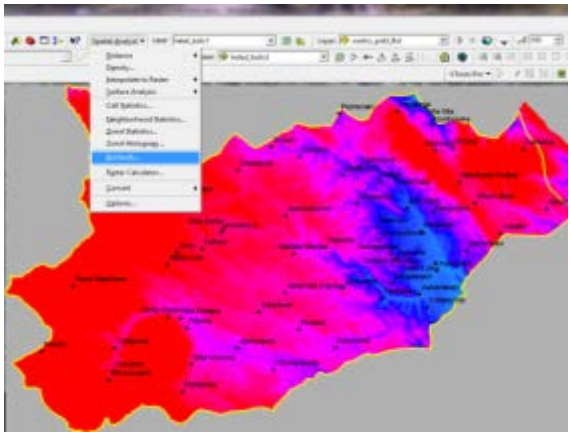


Figura 52: Ubicación del Reclassify en el Spatial Analyst.

En la ventana emergente del Reclassify se establecen los parámetros de reclasificación, como el método y el número de clases (ver figuras 53 y 54).

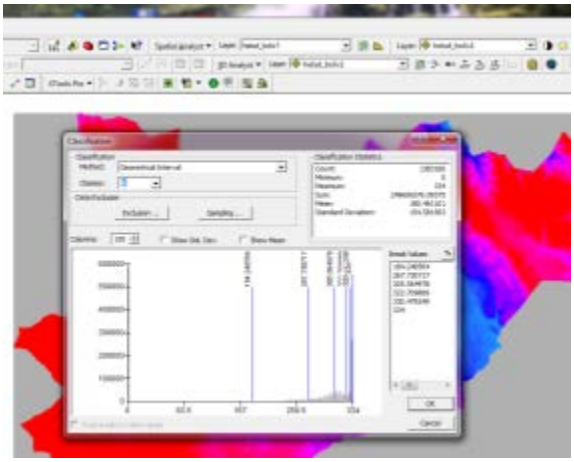


Figura 53: Ventana emergente del Reclassify.

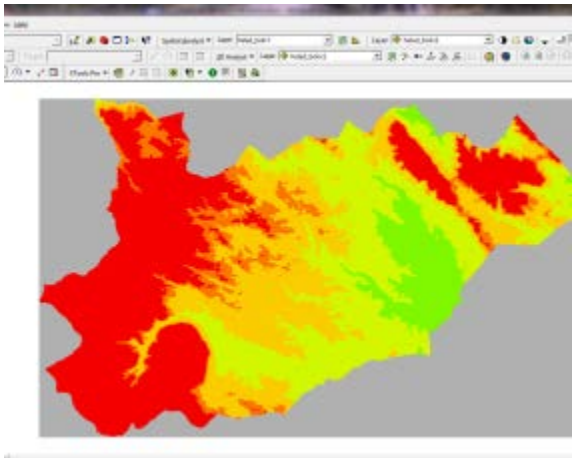


Figura 54: Mapa de haladas reclasificado en 5 niveles de amenaza, municipio de Bolívar.

El resultado de la reclasificación es un mapa en formato raster, que puede ser transformado al formato vector con la extensión Spatial Analyst/ convert/ Raster to feature, para trabajar en formato vector (figura 55).

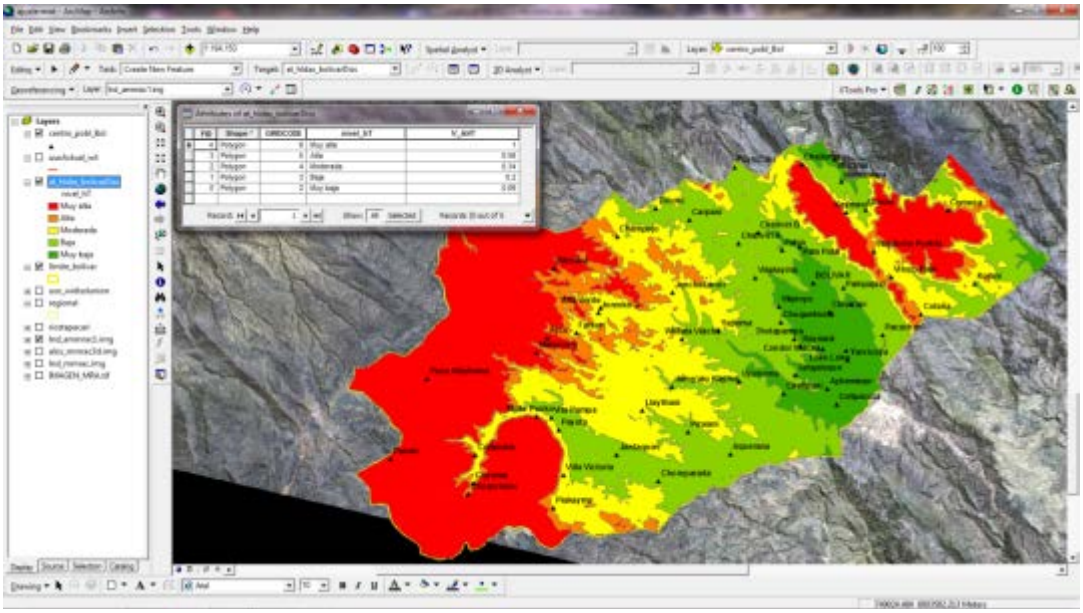


Figura 55: Mapa de percepción técnico a heladas, clasificado en cinco niveles, municipio de Bolívar.

La estandarización de las alternativas fue realizada con valores numéricos que varían de cero a uno, siendo uno para las zonas con más días de exposición a heladas de alta intensidad durante todo el año. Y los valores con tendencia a cero para las zonas con pocos días de heladas durante el año. Considerando que a mayor exposición, mas alto el riesgo de ocurrir un desastre.

Cuadro 49: Estandarización
del criterio MPT

Nivel de amenaza	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

4.3.3.2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD.

Considerando que la vulnerabilidad representa el grado de susceptibilidad de una comunidad humana a las amenazas naturales. Lo condicionan la localización y las condiciones de uso del suelo, infraestructura, construcciones, viviendas, distribución y densidad de población, capacidad de organización, etc. Es una variable en la que el ser humano tiene influencia. Está dado en grado de susceptibilidad. Los criterios considerados para medir la vulnerabilidad en el presente caso fueron: el uso actual de la tierra, la densidad poblacional, las pendientes y la orientación de la pendiente.

Mapa de uso actual de la tierra.

Este criterio es uno de los más importantes ya que de acuerdo a esta información se manifestaran las zonas expuestas a riesgos de desastres. Esta información puede ser generada de forma directa sobre imágenes satelitales y posteriormente validada in situ. Sin embargo también pueden ser adquiridas de fuentes secundarias. En el presente caso este mapa fue elaborado sobre una imagen satelital ALOS y validado posteriormente con visitas de campo.

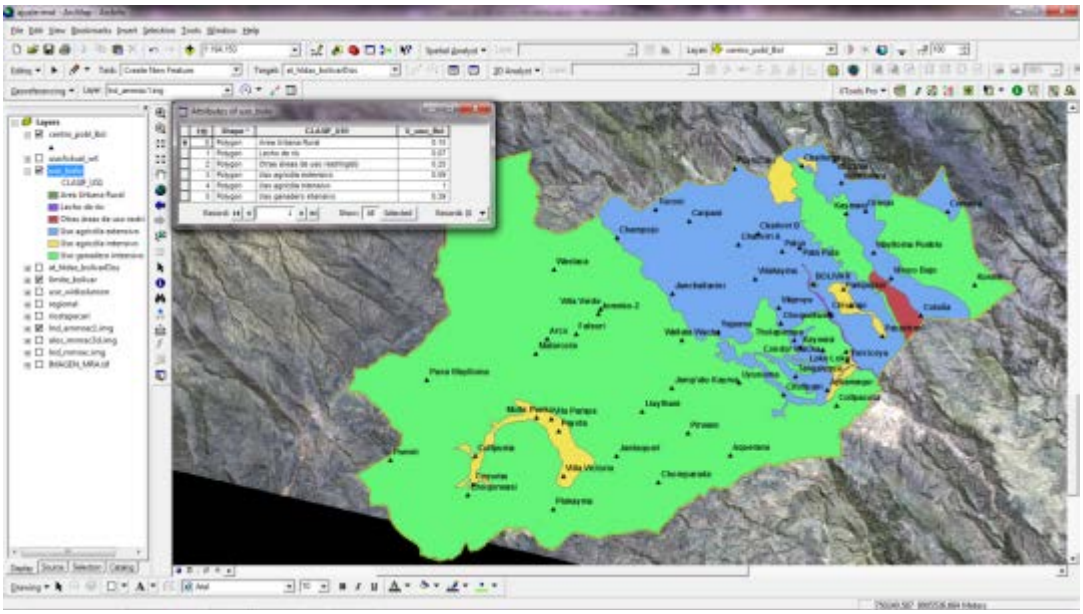


Figura 56: Mapa de uso actual de la tierra, municipio de Bolívar.

La estandarización de las alternativas de este criterio, fue realizado con valores cuantitativos, que varían de cero a uno, donde los valores más altos corresponden a las clases o alternativas con mayor vulnerabilidad en caso de ocurrir una intensa helada, como sería el caso de las zonas con uso agrícola intensivo e extensivo, y los valores tendientes a cero corresponden a las zonas, donde las heladas no ocasionaría mayores impactos, como en el lecho de los ríos por ejemplo.

Cuadro 50: Estandarización del criterio uso actual de la tierra.

Uso	Valor estandarizado
Área Urbana Rural	0.15
Lecho de río	0.07
Otras áreas de uso restringido	0.25
Uso agrícola extensivo	0.59
Uso agrícola intensivo	1
Uso ganadero intensivo	0.39

Como se puede ver en el cuadro anterior, las clases de uso actual de la tierra, son valoradas según las actividades económicas de las áreas de análisis, siendo las zonas con actividad agrícola intensivo las que están con los mayores valores, como es lógico pensar, en caso de presentarse un evento de helada de alta intensidad, los cultivos sufrirían impactos considerables debido al evento y como consecuencia reducirían los rendimientos de los cultivo, lo cual generaría bajos ingresos para los propietarios y la población en general. Al final se produce una cadena de problemas sociales (mayor pobreza, migración, familias desintegradas, etc.).

Mapa de densidad poblacional

Este mapa es generado en base a cantidad de habitantes que tiene cada comunidad o centro poblado que se encuentra en el área de análisis. La Figura 57 ilustra la distribución espacial de las comunidades en el municipio de Bolívar, en cuya tabla de atributos se encuentra la cantidad de habitantes.

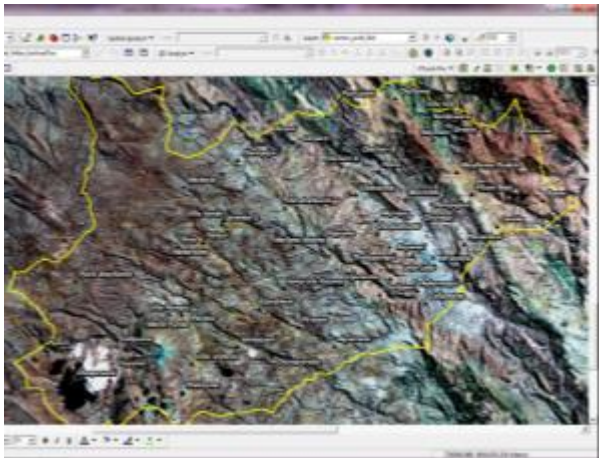


Figura 57: Mapa de centros poblados, municipio de Bolívar.

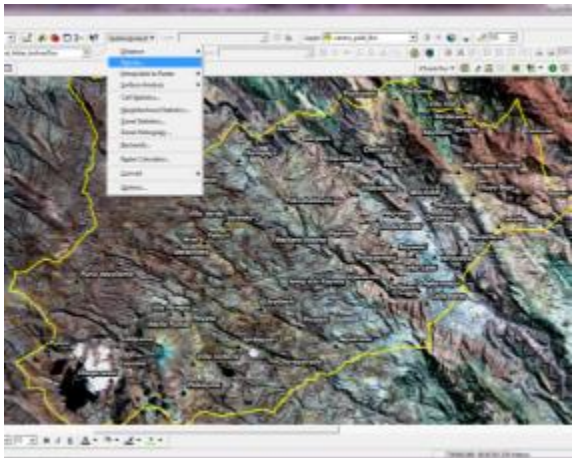


Figura 58: Ubicación del Density el Sapatial Analyst.

En base a esta información, se obtiene el mapa de densidad de población. Este análisis es realizado en la extensión Spatial Analyst/Density, como se ilustra en la Figura 58.

En el cuadro emergente se establecen los parámetros requeridos, como la selección del mapa a analizar, la columna en cual se encuentra la cantidad de habitantes por comunidad, el método de análisis de densidad, el radio de análisis y el directorio donde se guarda el análisis realizado. El producto del análisis debe ser reclasificado, este proceso puede ser realizado con la extension Spatial Analyst/ Reclassify Figura 59.

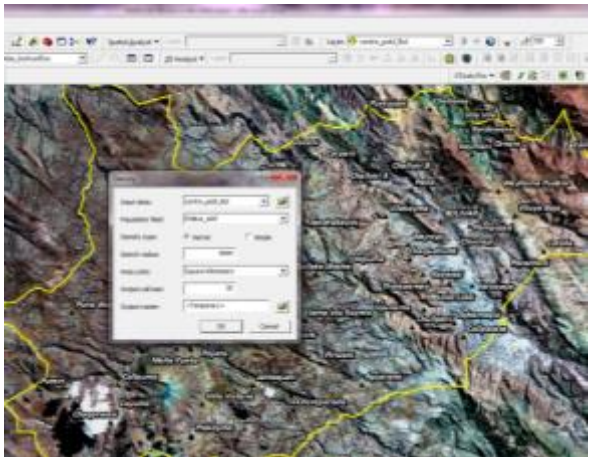


Figura 58: Ventana emergente de Density.

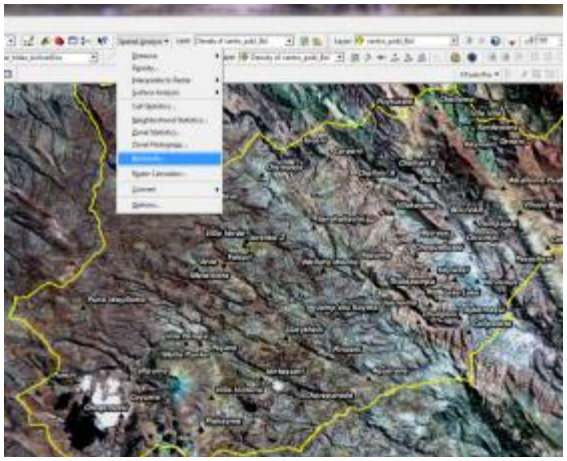


Figura 59: Ubicación del Reclassify en el Spatial Analyst.

El análisis de la reclasificación, resulta otro mapa con cinco niveles de densidad poblacional (Muy alta, Alta, Moderada, Baja y Muy baja) Ver figura 60.

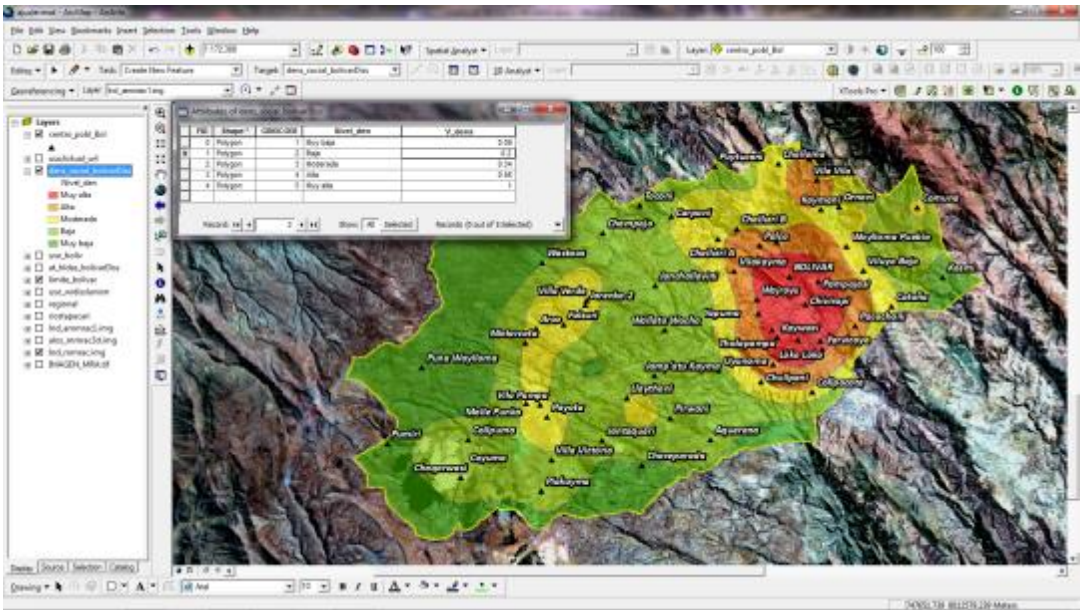


Figura 60: Mapa de densidad poblacional, municipio de Bolívar.

Una vez que se tiene el mapa de densidades, se procede a estandarizar las alternativas con valores cuantitativos que varían de cero a uno, donde los valores más altos corresponden las zonas más densamente pobladas, considerando, que en caso de ocurrir un evento de heladas, los impactos en esta zona serian de consideración; mientras que los valores bajos corresponden a las zonas de baja densidad poblacional en el cual hay poca presencia de personal y el impacto del evento no tendría mayor impacto.

Cuadro 51: Estandarización de criterio densidad poblacional.

Nivel de densidad	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0.09

La valoración de las alternativas del criterio de densidad de población, fueron designados considerando que a mayor población mayor será el impacto de un evento de helada, por lo tanto representan las zonas más vulnerables.

Mapa de pendientes.

Este insumo puede ser generado a partir de los DEM, obtenido de fuentes externas y que pueden ser Aster DEM o Landsat DEM (Figura 61).

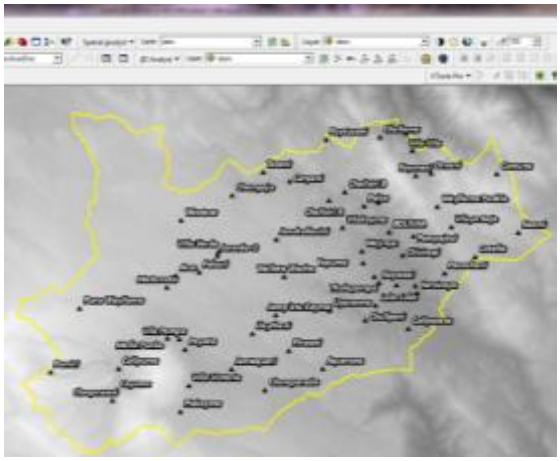


Figura 61: Modelo Digital de elevaciones, Municipio de Bolívar.

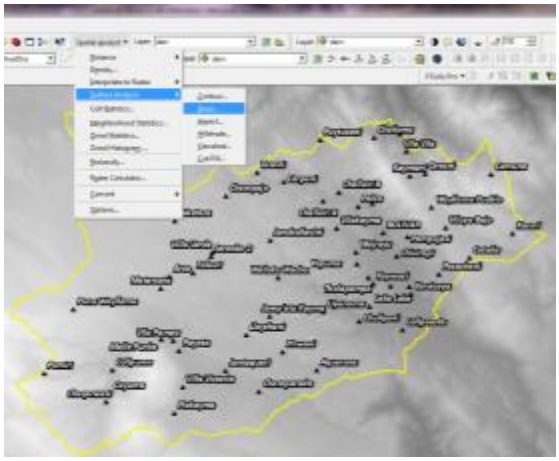


Figura 62: Ubicación del Slope en el Spatial Analyst.

En la ventana emergente (Figura 62) se establecen los parámetros como la elección del mapa con información de las alturas, las unidades de las pendientes, el tamaño de pixel y el directorio donde se guardara el resultado del análisis.

El resultado del análisis debe ser reclasificado, lo cual puede ser realizado en el programa ArcGis en su extensión Spatial Analyts/Reclassify como se ilustra a continuación.

Fugara 63: Ventana emergente del Slope.

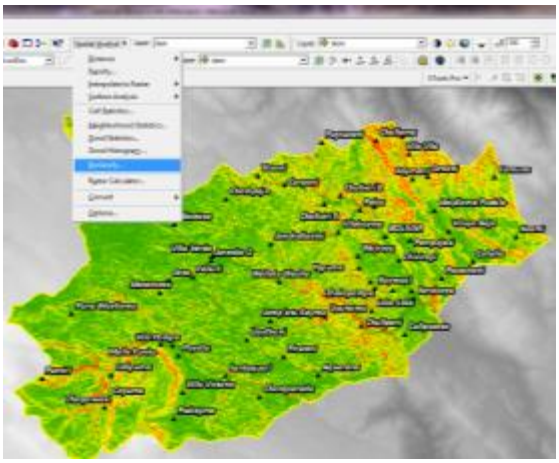


Figura 64: Ubicación del Reclassify en el Spatial Analyst.

En ventana emergente se establecen las características de reclasificado como el método de reclasificado y el número de clases.

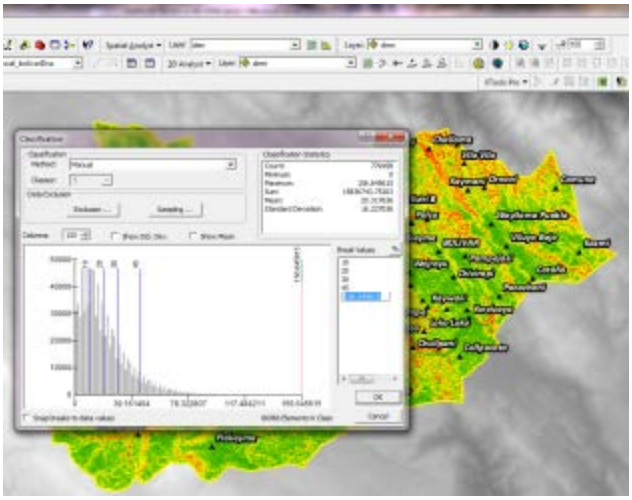


Figura 65: Ventana emergente del Reclassify.

El producto de la reclasificación resulta un mapa de pendientes con cinco niveles de pendientes (Plana, Moderadamente inclinada, Inclinada, Empinada y Muy empinada), posteriormente estas alternativas son estandarizadas con valores numéricos que varían de cero a uno, donde los valores altos corresponde a zonas con pendientes de 0%, considerando que estas zonas son más vulnerables a las heladas; en consecuencia el impacto sería de consideración, porque las condiciones de relieve de estas zonas favorecen las actividades socioeconómicas; mientras que los valores bajos corresponden a los zonas cuyas pendientes varían de empinada y muy empinada, debido a las condiciones de relieve se encuentran poca actividad antrópica, por lo tanto la helada causaría menores impactos.

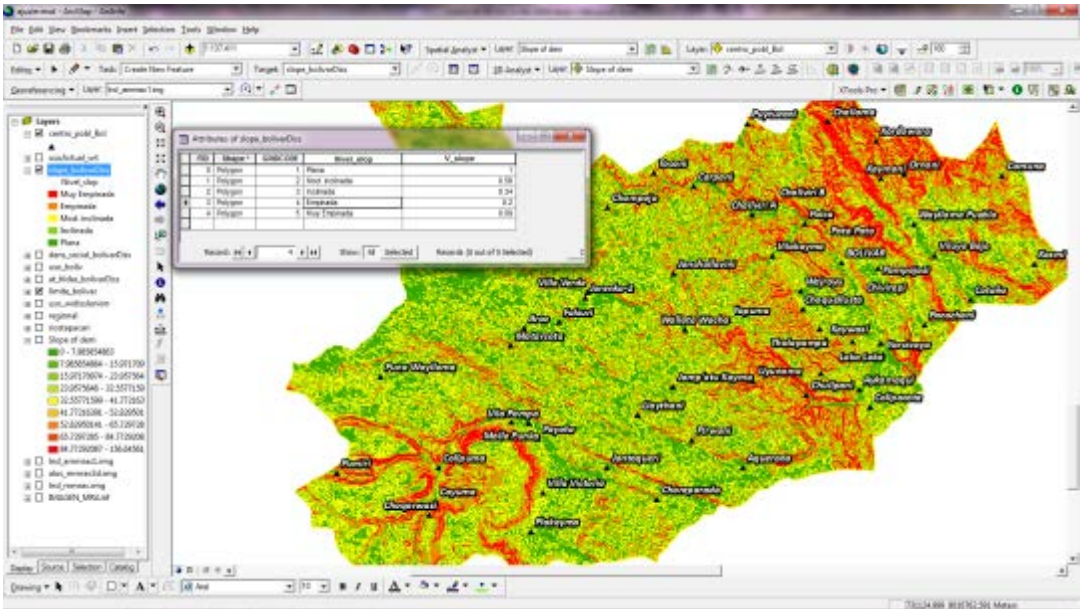


Figura 66: Mapa de pendientes, municipio de Bolívar.

Cuadro 52: Estandarización del criterio pendientes.

Pendiente	Valor estandarizado
Plana	1
Mod. Inclinada	0.56
Inclinada	0.34
Empinada	0.2
Muy Empinada	0.09

Mapa de orientación de pendientes.

Este insumo fue generado en el DEM, en la extensión Spatial Analyst /Surface Analysis/ Aspect, como se ilustra en la figura 67.

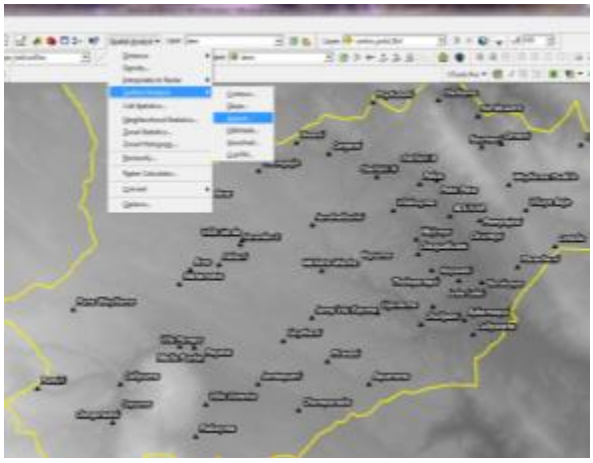


Figura 67: Ubicación del Aspect en el Spatial Analyst.

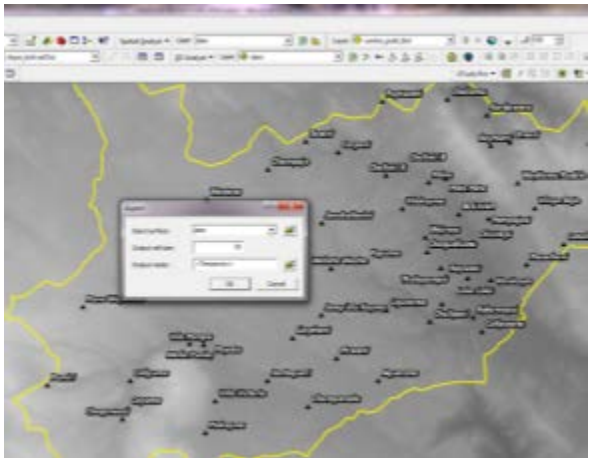


Figura 68: Ventana emergente del Aspect.

En la ventana emergente se establecen los parámetros para que el programa ejecute el análisis, tales como la elección del mapa que contiene la información de elevaciones del terreno, el tamaño de pixel y el directorio de guardado, como se ilustra en la Figura 68.

Como en los anteriores casos, el resultado del análisis debe ser reclasificado con la extensión Spatial Analyst/Reclassify. En la ventana emergente se establecen las características de la reclasificación como se muestra en las Figuras 69 y 70:

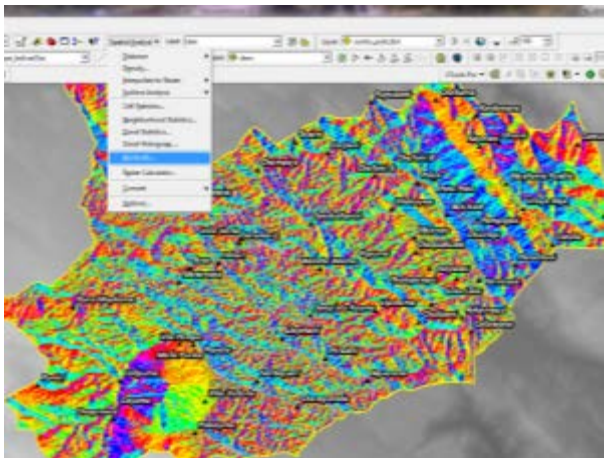


Figura 69: ubicación del Reclassify en el Spatial Analyst.

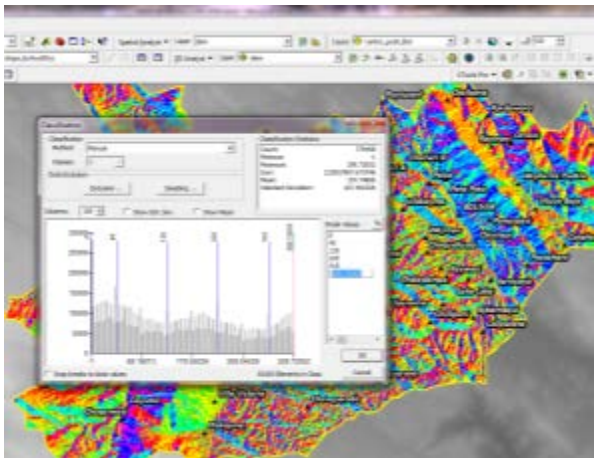


Figura 70: Ventana emergente del Reclassify.

El mapa resultante (Figura 71) es clasificado en cinco categorías según la dirección de la pendiente (Norte, Este, Sud, Oeste y llana), estas categorías son estandarizadas con valores numéricos que varían de cero a uno, donde los valores altos corresponden a las zonas con baja exposición al sol, que en caso de suceder una helada tendría impactos elevados.

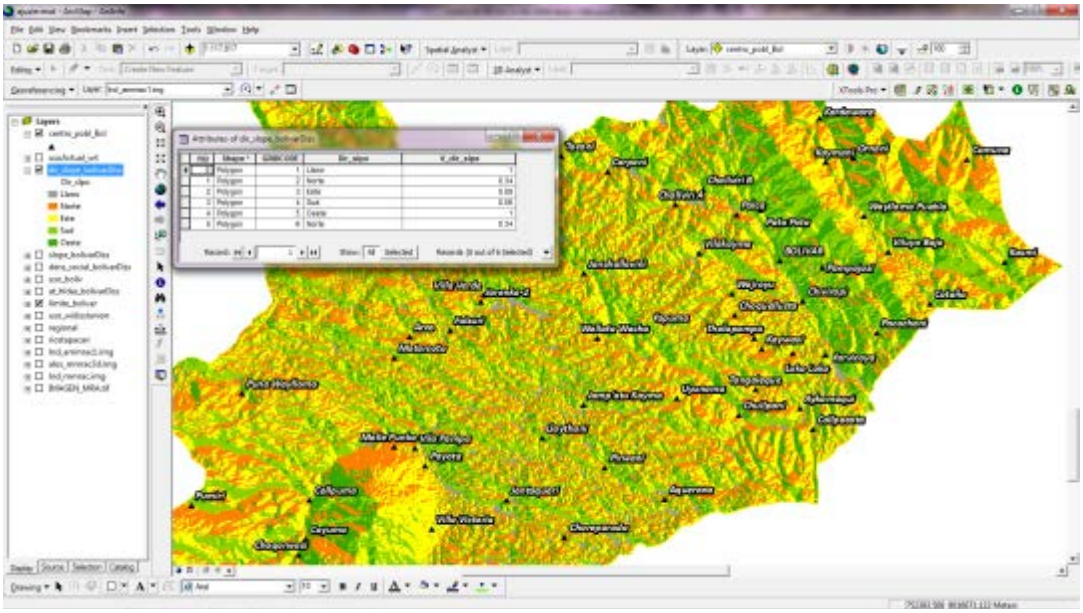


Figura 71: Mapa de orientación de la pendiente, municipio de Bolívar.

Cuadro 53: Estandarización del criterio Orientación.

Dirección de la pendiente	Valor estandarizado
Llano	1
Norte	0.34
Este	0.09
Sud	0.56
Oeste	1
Norte	0.34

4.3.3.3. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS.

La ponderación de los criterios fue realizado de acuerdo al a importancia del criterio y la relevancia con respecto al objetivo planteado; los valores de ponderación son valores numéricos que varían de valores mayores a cero hasta uno, como se muestra en los siguiente cuadros.

Cuadro 54: Ponderación de los criterio de amenaza

Criterio de Amenaza	Valor ponderado
Mapa de percepción local de amenaza	0.75
Mapa de percepción técnica de amenaza	0.25

Cuadro 55: Ponderación de los criterios de vulnerabilidad

Criterio de vulnerabilidad	Valor ponderado
Mapa de uso actual de la tierra.	0.50
Mapa de densidad poblacional.	0.25
Mapa de pendientes.	0.10
Mapa de Orientación de la pendiente.	0.05

4.3.3.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO.

Seleccionada la información base (mapas temáticos estandarizados), se integran mediante el análisis espacial llamado intersección de mapas, esta herramienta se encuentra en la caja de herramienta del ArcTool Box/Analisis Tools/Overlay/Intersect.

En la ventana emergente se introducen los mapas base que serán parte del proceso (criterios estandarizados) de la intersección y se direcciona al directorio guardado.

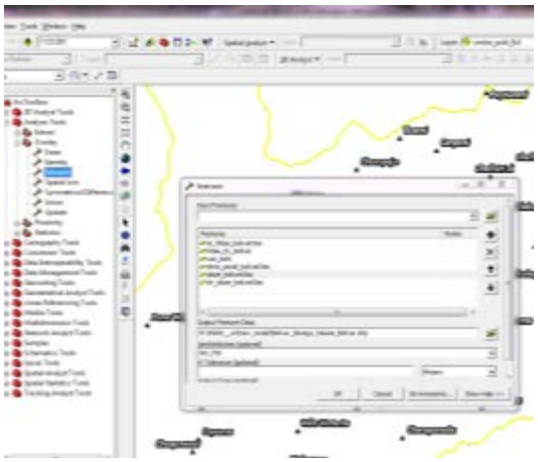


Figura 72: Ventana emergente de Intersección.

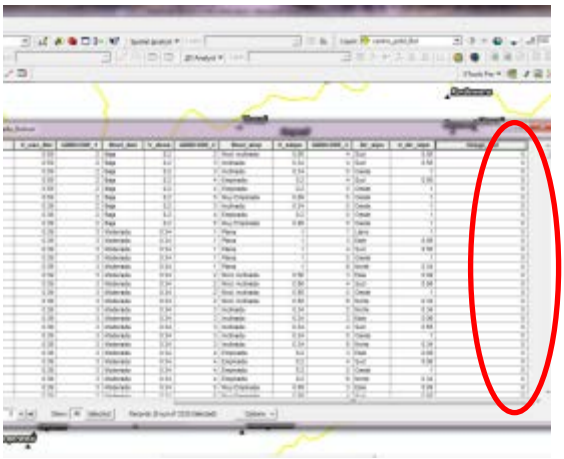


Figura 73: Nueva Columna en la tabla de atributos del mapa intersección.

El resultado del proceso, es un mapa que contiene todos los atributos que fueron elaborados anteriormente. Para identificar los niveles de riesgo, primero se crea una nueva columna en el mapa de intersección (en la tabla de atributos, Options/Add Field), ver Figura 88. Activamos el Field Calculator en el cual escribimos la ecuación general del riesgo utilizando los valores cuantitativos que fueron establecidos en cada una de los criterios (mapas base estandarizados), la ecuación utilizada en el presente caso se ilustra a continuación:

Ecuación 3: Ecuación formulada en la ventana del Field Calculator, para la zonificación del riesgo.

((([[A_PTHlda] *0.75)+ ([A_PLhlda] *0.25))*0.75)+((([V_uso] *0.52)+([V_dens] *0.27)+([V_slope] *0.15)+([V_ori_slpe] *0.06))*0.25)

Dónde:

A_PTHlda: Criterio técnico de amenaza
A_PLhlda: Percepción local de amenaza.
V_uso: Uso actual de la tierra.
V_Dens: Densidad poblacional.
V_slope: Pendientes.
V_ori_slpe: Orientación de la pendiente.

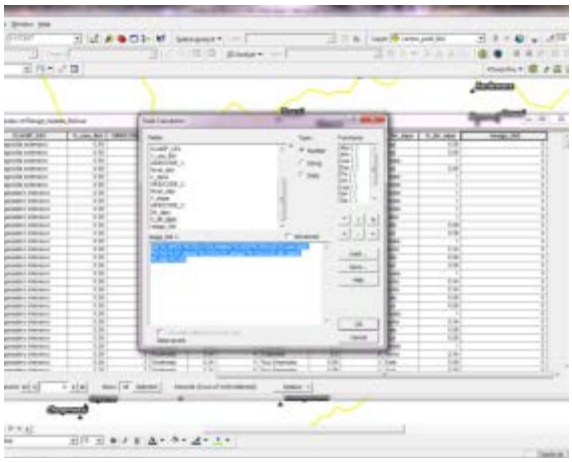


Figura 74: Ventana emergente del Field Calculator.

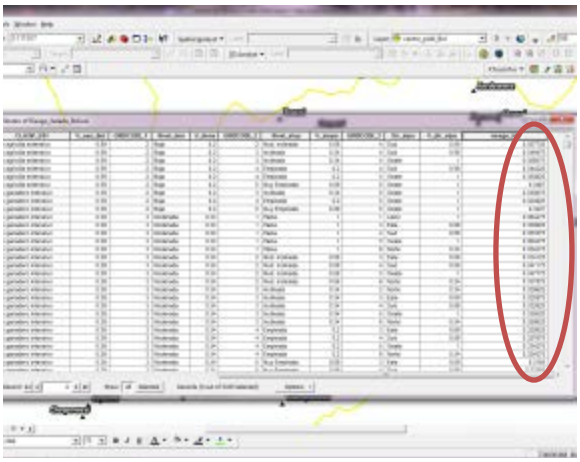


Figura 75: Valores calculados con el Field Calculator.

La aplicación del Field Calculator, permite integrar los valores cuantitativos de los mapas bases elaboradas, bajo criterios técnicos y matemáticos, como se ilustra en la figura, estos nuevos valores fueron reclasificados en la herramienta Reclassify del Spatial Analyst, los niveles de riesgo fueron clasificados en intervalos, como se ilustra en el cuadro siguiente.

Cuadro 56: clasificación de los niveles de riesgo según la frecuencia de los casos

Casos (%)	Nivel de riesgo
Menor a 35	Muy bajo
35 – 45	Bajo
45– 55	Moderado
55 - 65	Alto
Más de 65	Muy alto

Finalmente, con la ayuda de los nuevos valores obtenidos, es posible determinar los niveles de riesgo de heladas para el área de análisis, el resultado se ilustra en la siguiente figura.

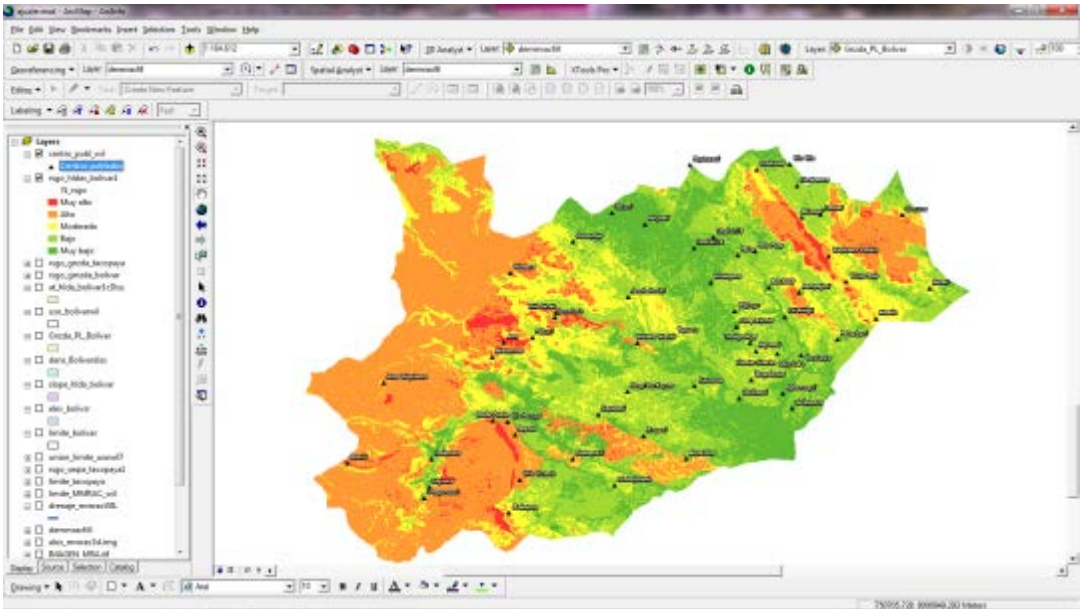


Figura 76: Mapa de Riesgo a heladas, municipio de Bolívar.

4.3.4. MAPAS DE RIESGO A SEQUÍAS.

4.3.4.1. ANÁLISIS DE AMENAZAS

Esta amenazas prevee el uso de mapas de disponibilidad hídrica, que pueden ser extraídos de informes nacionales y/o locales generados por el SENAMHI, AASANA o del Sensor TRMM o fuentes similares.

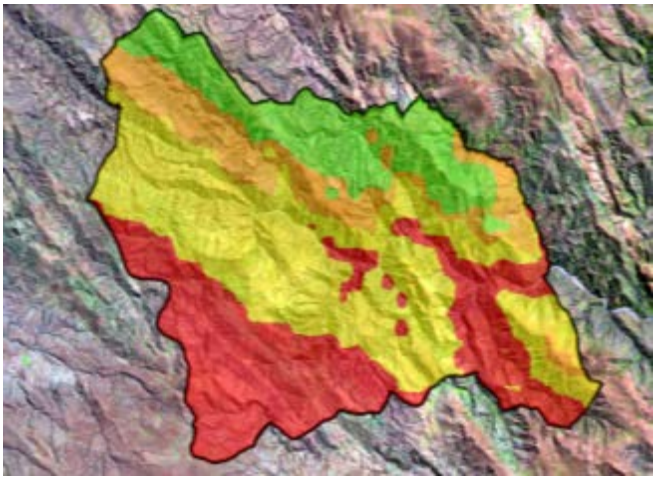


Figura 77: Mapa de percepción técnica de amenaza
A sequias, municipio de Tacopaya.

El mapa basado en criterios técnicos, fue clasificada en cinco niveles de amenaza “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”, estos niveles de amenaza son estandarizados como se muestra en el Cuadro 57:

Cuadro 57: Estandarización de las alternativas del criterio Percepción técnica.

Nivel de Amenaza a sequias	Valor estandarizado
Muy Alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.20
Muy baja	0.09

4.3.4.2. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD.

Para elaborar el mapa de vulnerabilidades se consideraron los siguientes criterios: Uso actual de la tierra, Densidad poblacional, Distancia al curso los ríos, Pendientes, y Orientación de la pendiente.

Mapa de uso actual de la tierra.

Como ya se señaló, este criterio representa uno de los insumos de mayor importancia, debido a que será donde se manifieste el riesgo.

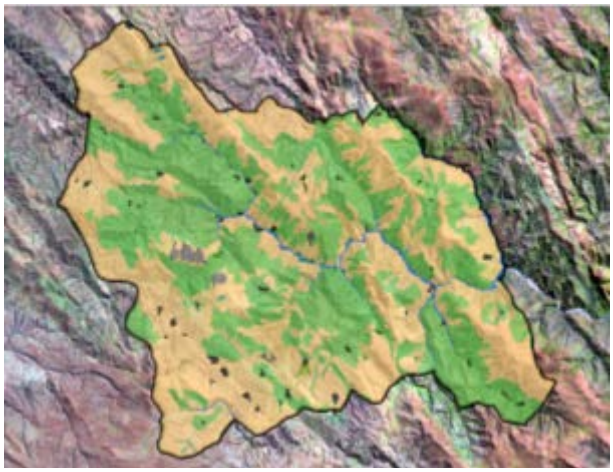


Figura 78: Mapa de uso actual de la tierra, Municipio de Tacopaya.

Las alternativas fueron estandarizadas como se muestra en el cuadro 58; se puede apreciar que las alternativas con más alto valor corresponden a las zonas más vulnerables a los eventos de sequía.

Cuadro 58: Estandarización de la alternativas del uso de la tierra

Uso Actual de la tierra	Valor estandarizado
Afloramiento rocoso	0

Área poblada	0.65
Área urbana	0.65
Bofedal	0.55
Lecho del río	0
Plantación forestal exótica	0.4
Uso Agrícola extensivo limitado	0.8
Uso agrícola intensivo	1
Uso agrícola intensivo limitado	0.9
Uso forestal múltiple	0.3
Uso ganadero extensivo	0.5
Uso ganadero extensivo (Afloramiento rocoso)	0.2

Mapa de densidad poblacional.

Fue generado en base al mapa de poblaciones representadas por puntos, cuya tabla de atributos contiene la información poblacional que habitan en cada uno de las áreas pobladas. Sin embargo como se trata de un análisis espacial es necesario disponer de mapas con valores continuos. Este proceso es posible realizarlo con la herramienta Density del Spatial Analyst del programa ArcGis.

El primer paso es cargar el mapa de puntos (centro poblados), ejecutar Density, y en cuadro emergente cargar la información requerida.

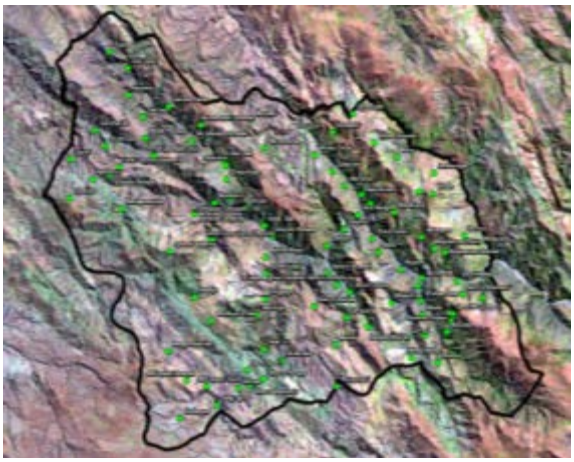


Figura 79: Mapa de centros poblados, municipio de Tacopaya

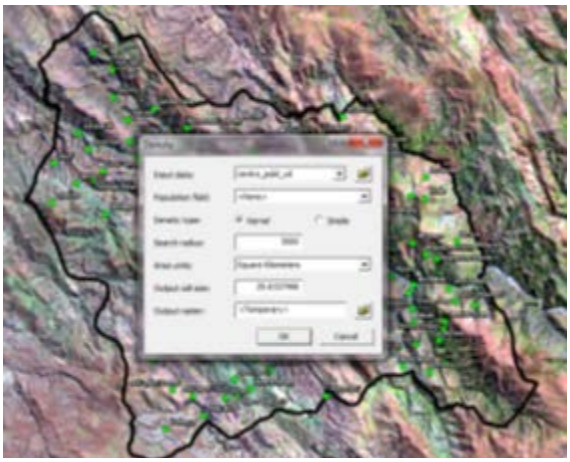


Figura 80: Ventana emergente de la herramienta Density del programa ArcGis.

Condicionada la operación (Input Data, Population Field, etc.), el programa generara un mapa con valores continuos, que fueron elaborados en base a la cantidad poblacional contenida en cada punto.

Posteriormente es necesario reclasificar en cinco nivel de vulnerabilidad, a manera de estandarizar, este proceso es posible realizarlo con la herramienta Reclassify del Spatial Analyst; en el cuadro emergente se asignan los parámetros requeridos como el número de clases y el método de clasificación.

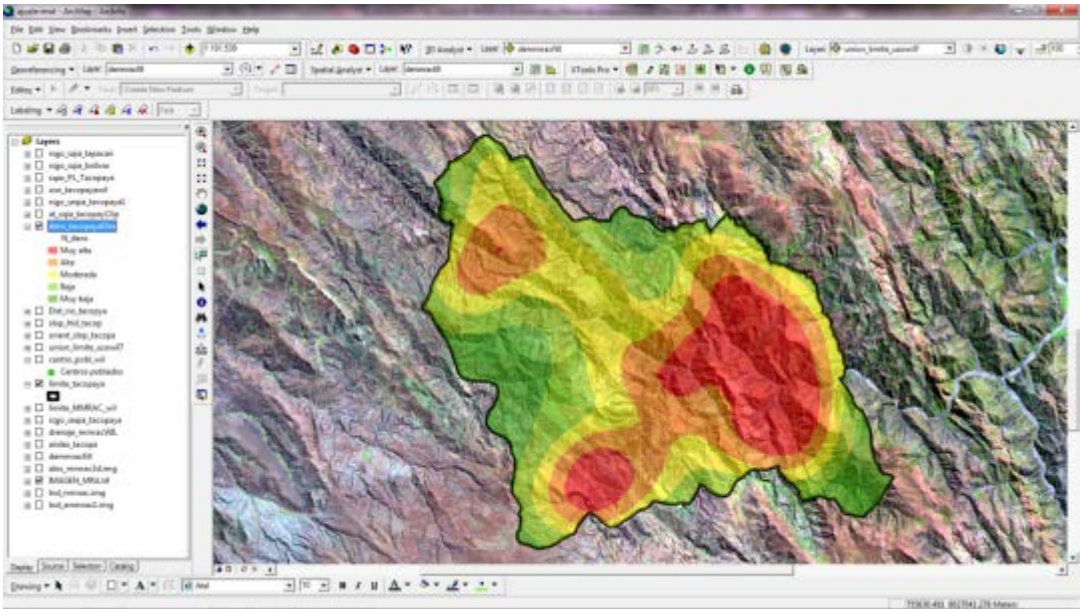


Figura 81: Mapa de densidad poblacional, Municipio de Tacopaya.

Las alternativas fueron estandarizados en base de la cantidad de población que se encuentran en un determinado espacio geográfico, se consideró que a mayor cantidad de habitantes por unidad de superficie, mayor la vulnerabilidad de esta zona, los valores estándar se ilustran en el Cuadro 30:

Cuadro 59: estandarización de las alternativas del criterio densidad poblacional

Densidad poblacional	Valor estandarizado
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0

Mapa de distancia al río.

Este mapa fue elaborado con la ayuda de la herramienta Cost Weighted de la extensión Spatial Analyst, para lo cual es necesario disponer de un mapa de ríos y el mapa de pendientes, la aplicación hallara las diferentes distancias hacia el curso del agua en función de la pendiente.

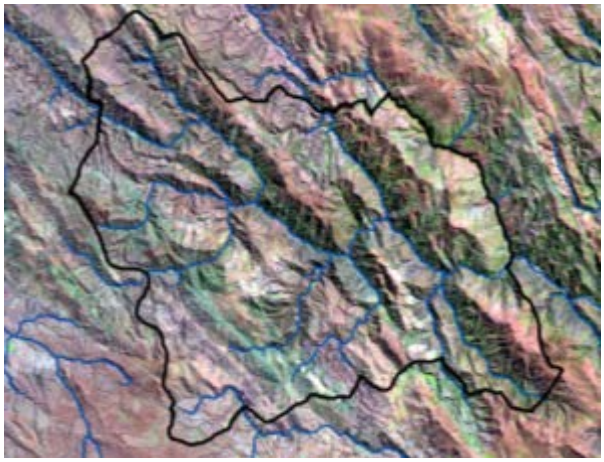


Figura 82: Mapa de ríos, municipio de Tacopaya

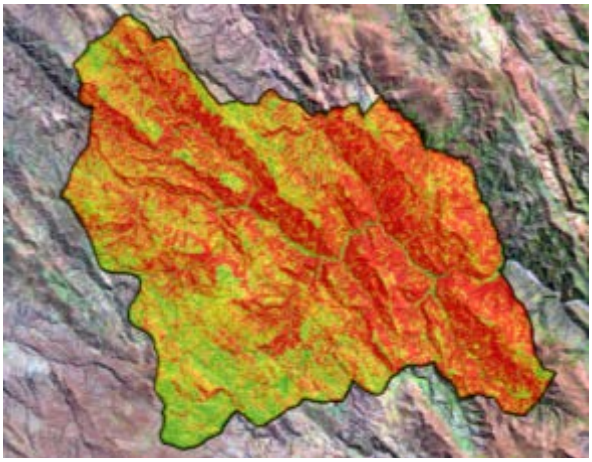


Figura 83: Mapa de pendientes, Municipio de Tacopaya.

Al hacer Clic en Cost Weighted emerge su correspondiente ventana, la cual debe ser llenada con los parámetros requeridos (Distance to, Cost Raster, y el directorio de guardado si se desea guardar el resultado), finalmente hacer clic en OK. El proceso puede tardar un momento dependiendo de la extensión del área de análisis.

Como se explicó anteriormente, el resultado del análisis resulta en un mapa con valores continuos, el cual debe ser reclasificado en cinco nivel de vulnerabilidad “Muy alta”; “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”, este proceso es realizado de la misma forma que en caso anterior usando la herramienta Reclassify del Spatial Analyst.

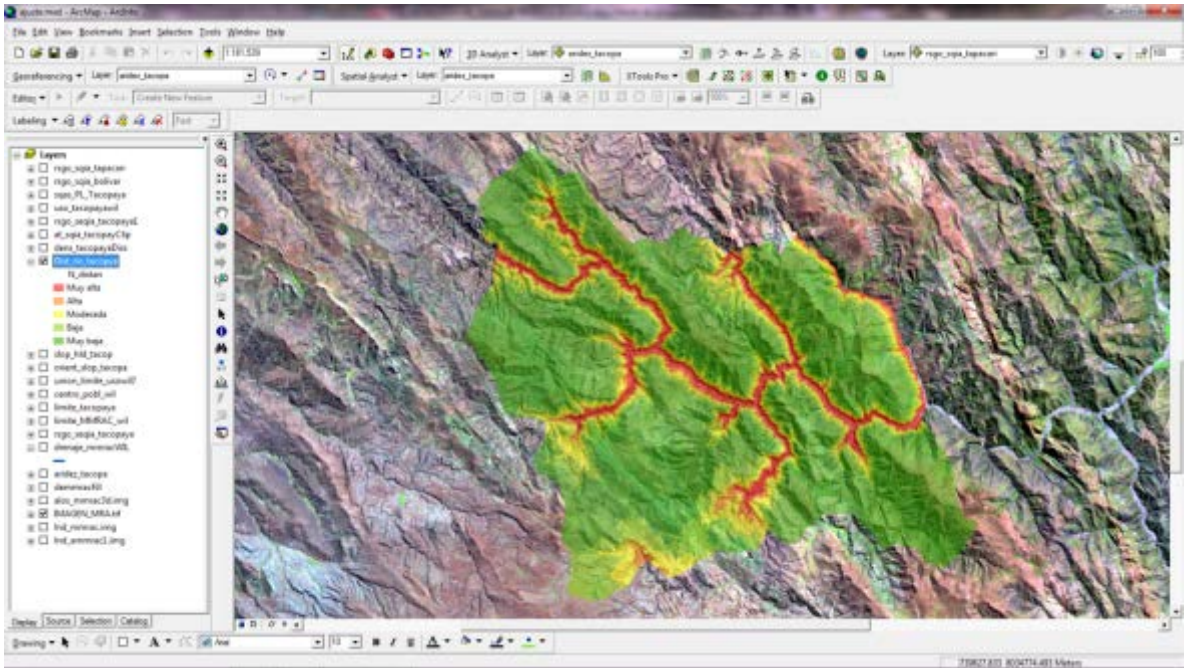


Figura 84: mapa de distancia a los principales ríos, Municipio de Tacopaya

Posteriormente, se estandariza las alternativas, según el nivel de vulnerabilidad, considerando que la áreas ubicadas más cerca al curso del río tienen menos nivel de

vulnerabilidad en eventos de sequía, y por otro lado, las zonas más alejadas al curso de los ríos, son más vulnerable a los eventos de sequías.

Cuadro 60: Nivel de vulnerabilidad por exposición al río

Distancia	Valor estandarizado
Muy lejos	1
Lejos	0.56
Mod. lejos	0.34
Cerca	0.2
Muy cerca	0.09

Mapa de pendientes.

Se generó en base a una imagen espacial (DEM), que contiene información referente a alturas. El proceso fue realizado con la herramienta Slope del Spatial Analyst; en cuadro emergente se incluyen los parámetros (Input Surface, Output measurement, etc.) luego de introducir todos los parámetros requeridos se acepta con un OK.

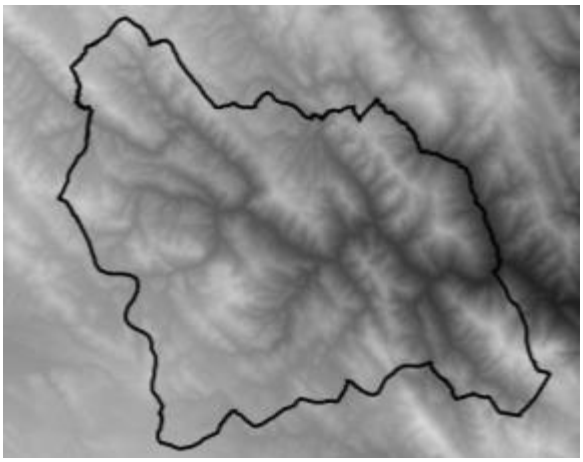


Figura 85: Modelo Digital de Elevaciones, municipio de Tacopaya

Figura 86: Ventana emergente de la herramienta Slope del ArcGis

El resultado del proceso es un mapa con valores continuos, los cuales como los anteriores casos deben ser clasificados en cinco clases de niveles de vulnerabilidad: “Muy alta”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Muy baja”. Este proceso es ejecutado como ya fue explicado anteriormente, usando el Reclassify del Spatial Analyst.

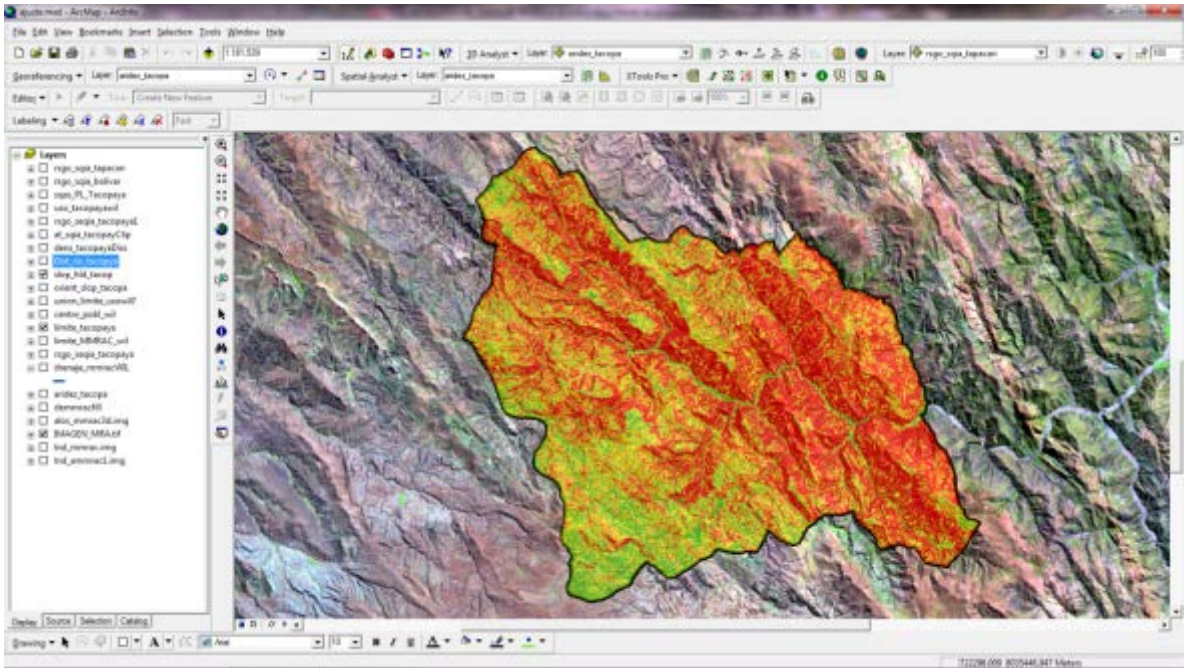


Figura 87: Mapa de pendientes, municipio de Tacopaya

La estandarización fue realizada considerando que las áreas con pendiente planas son menos vulnerables respecto a las zonas cuyas pendientes son fuertemente empinadas, donde por acción de la gravedad estos suelos pierden con mayor facilidad el agua disponible en ellos.

Cuadro 61: Estandarización de las pendientes

Pendiente (%)	Clase	Valor estandarizado
0 – 10	Plano	0.09
10 a 20	Mod. inclinado	0.2
20 a 30	Inclinado	0.34
30 a 45	Mod. empinado	0.56
más de 45	Fuert. empinado	1

Mapa de orientación de la pendiente.

Otro criterio que fue considerado es el mapa de orientación de la pendiente, igual que el mapa de pendientes, este criterio fue elaborado en base al Modelo Digital de Elevaciones del ASTERDEM, el cual tiene una resolución espacial de 30 metros de pixel, el cual se considera muy adecuado para trabajos a nivel municipal.

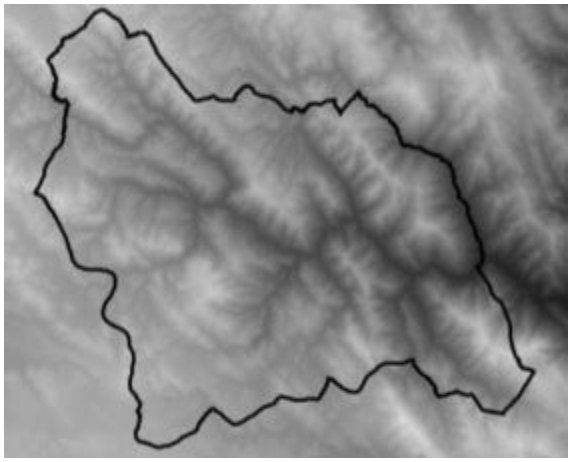


Figura 88: Modelo Digital de elevaciones, municipio de Tacopaya

Figura 89: Ventana emergente del Aspect de ArcGis.

La herramienta utilizada para este trabajo como todo trabajo de geoprocesamiento se encuentra en la extensión Spatial Analyst/Sulface Análysis/Aspect; en el cuadro emergente de Aspect se añaden los parámetros de Input surface, Output Cell size, para que el programa pueda ejecutar el análisis.

El resultado del análisis es un mapa (Figura 90) con valores continuos que representan la dirección que tienen cada una de las laderas. Este mapa fue reclasificado en cinco clases de orientación: Norte, Este, Oeste, Sud y plano o sin orientación.

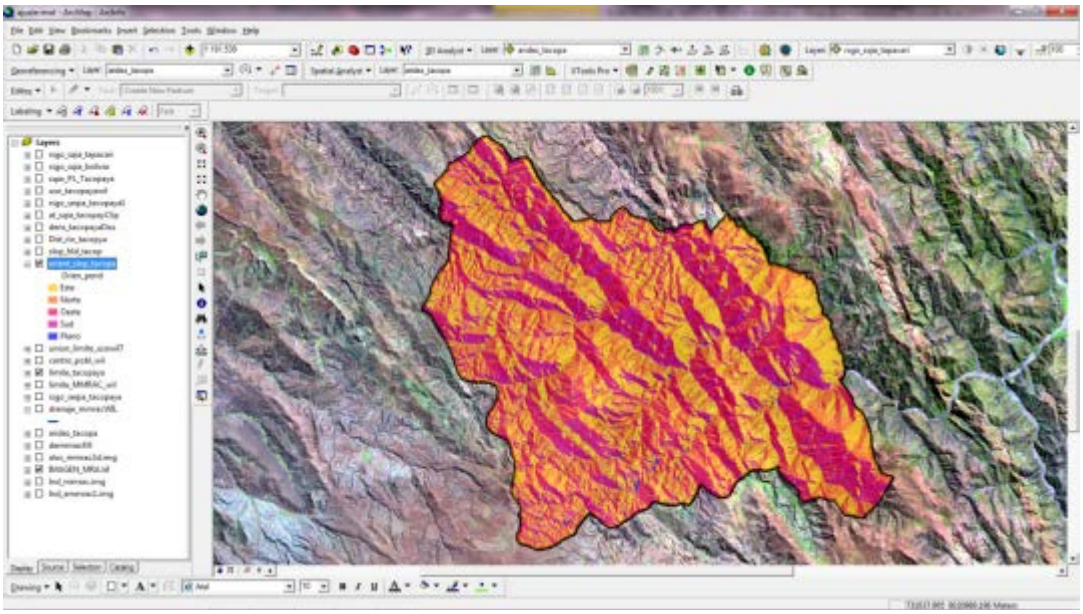


Figura 90: Mapa de dirección de la pendiente, municipio de Tacopaya.

La estandarización de las alternativas de este criterio fue realizada considerando que las zonas expuestas al este, por mayor exposición al sol, son más vulnerables a las sequias que las zonas con laderas orientadas hacia el sud.

Cuadro 62: Estandarización del criterio orientación de la pendiente.

Orientación	Valor estandarizado
Plano	0.25
Norte	0.56
Este	1
Sud	0.15
Oeste	0.35
Norte	0.56

4.3.4.3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS.

Como una de las etapas finales e importantes, corresponde realizar la ponderación de los criterios, este paso se realiza considerando la importancia que tiene cada uno de los criterios de acuerdo al objetivo planteado.

depara ello se asignan valores de 0.1 a 1, donde los valores cercanos a uno corresponden a mayor importancia de acuerdo al objetivo planteado. La ponderación fue realizada de manera separada para los criterios de las amenazas y las vulnerabilidades, tal como se ilustra en los cuadros 63 y 64.

Cuadro 63: Ponderación de los criterios de amenaza

Criterio	Valor ponderado
Mapa con criterios técnicos de amenaza	0.75
Mapa de percepción local de amenaza	0.25

Cuadro 64: Ponderación de los criterios de vulnerabilidad

Criterio	Valor ponderado
Uso actual de la tierra	0.52
Densidad poblacional	0.16
Distancia al río	0.14
Pendientes	0.1
Orientación de la pendiente	0.08

4.3.4.4. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL RIESGO.

Finalmente, para identificar las zonas de riesgo, se aplicó la ecuación general de riesgo (riesgo = amenaza * vulnerabilidad); el proceso fue ejecutado en el programa ArcGis 9.3. Para ello se realiza la intersección de todos los criterios con la herramienta Intersect del ArcTool Box, en cuya ventana emergente se cargaron los criterios (mapas temáticos) y se estableció el archivo de salida.

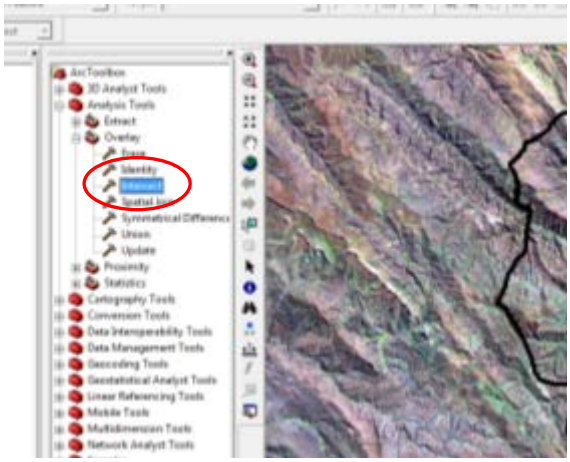


Figura 91: ubicación de la herramienta Intersect de ArcGis.

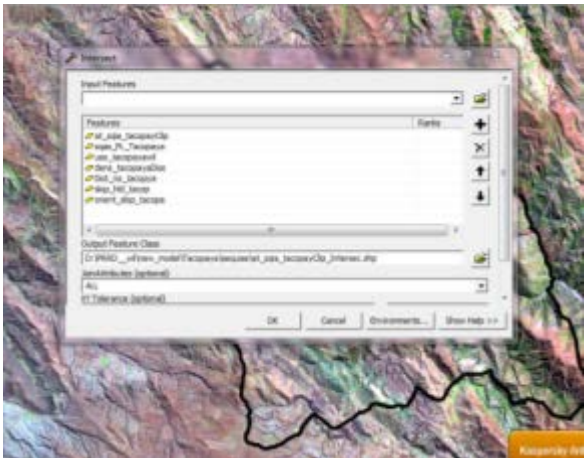


Figura 92: Ventana emergente del Intersect del ArcGis

Como resultado del proceso, se tiene un nuevo mapa cuya tabla de atributos contiene todos los valores estandarizados de todos los criterios. Posterior a la intersección de los criterios, se aplicael modelo que zonifique el riesgo, para esto se crea un nuevo Field en la tabla de atributos de la intersección, que puede llamarse “riesgo”, en la nueva columna se abre el Field calculator en cual se escribe la siguiente ecuación.

Ecuación 4: Ecuación formulada en la ventana del Field Calculator, para la zonificación de las zonas de riesgo.

((([A_PTsqia] *0.75) + ([V_PL_sqia] *0.25)) * 0.40) +((([V_uso] *0.52) +([V_dens] *0.16) +([V_DR] *0.14) +([V_slpe] *0.1) +([V_Orien] *0.08)) *0.60)

Dónde:

A_PTsqia:	Mapa de percepción técnica.
v_PL_sqia:	Mapa de percepción Local.
V_uso:	Uso actual de la tierra.
V_dens:	Densidad poblacional.
V_DR:	Distancia a rio.
V_slpe	Pendientes.
V_Orien	Orientación de la pendiente.

Como se aprecia, en la ecuación formulada están incluidas todas las alternativas con sus ponderaciones correspondientes.

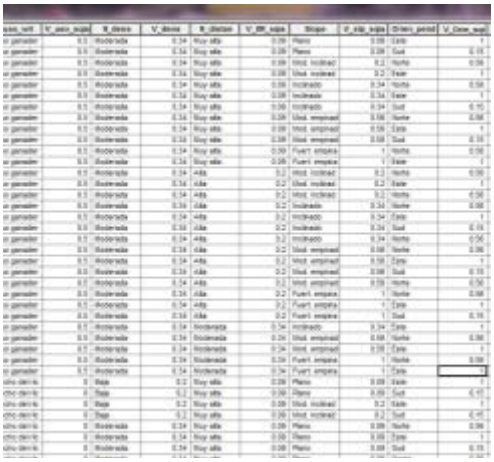


Figura 93: Tabla de Atributos del mapa intersección.

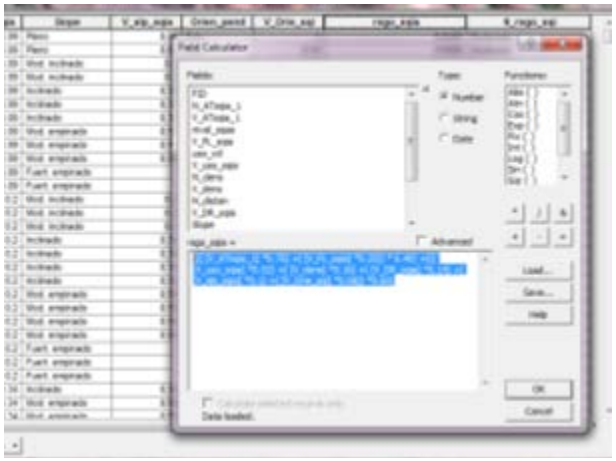


Figura 94: Ventana del Field Calculator del Arcgis.

Una vez ejecutado la ecuación en el Field Calculator, se procede a clasificar los valores resultantes en cinco niveles de riesgo como se muestra en el Cuadro 65:

Cuadro 65: clasificación de los nivel de riesgo.

Intervalo de casos (%)	**Nivel de riesgo**
Menor a 35	Muy bajo
35 –50	Bajo
50 – 65	Moderado
65 – 75	Alto
Mayor a 75	Muy alto

La Figura 95 ilustra la zonificación del riesgo de sequías para el municipio de Tacopaya; como se observa las áreas clasificadas con riesgo “Muy alto”, corresponde al uso actual de la tierra Agrícola extensiva limitada y se encuentra expuesta a niveles de amenazas “Muy alta” ya sea por percepción local o en base a criterios técnicos.

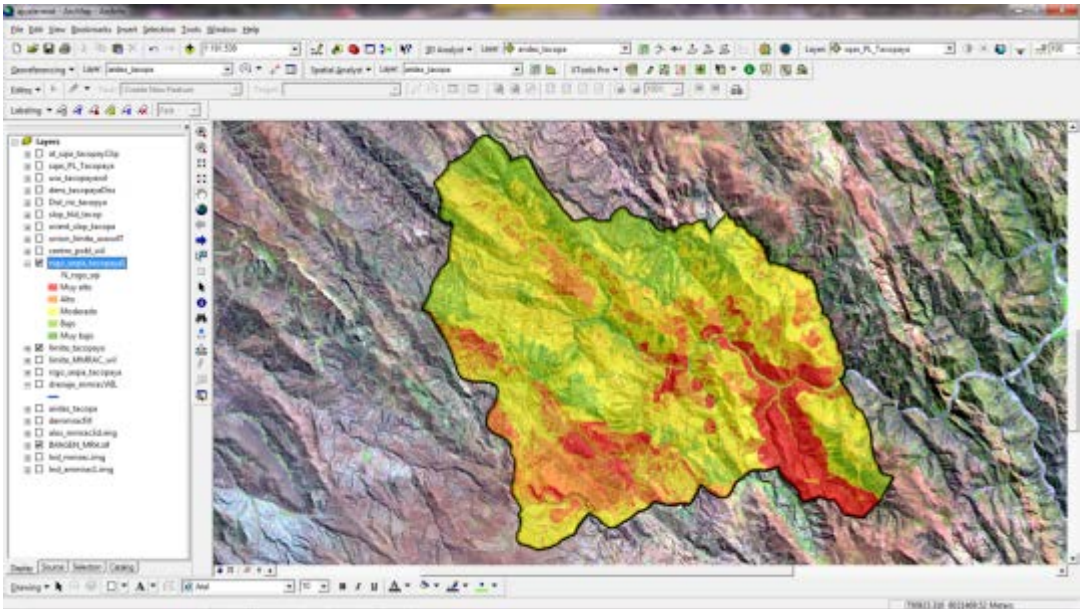


Figura 95: Mapa de riesgo a sequias, municipio de Tacopaya

4.4. VALIDACIÓN DE MAPAS DE RIESGO.

Concluida la elaboración de los mapas de riesgos a Inundaciones, Heladas, Sequias y Granizadas, se precisa organizar un evento de “Socialización y Validación de los mapas de riesgo”, que tiene como objetivo principal socializar el proceso de elaboración y validación de los mapas de riesgos. Para la validación, se precisan conformar mesas de trabajo con los actores de cada uno de los municipios o zonas de análisis, quienes deben analizar los resultados del trabajo. Cada mesa debe disponer de los mapas de riesgos impresos en tamaño A1 o A0 a Full color y un formulario con preguntas claves para evaluar los resultados; el objetivo de esta actividad consiste en que los actores sociales puedan analizar y evaluar la correspondencia del mapa de riesgo elaborado en base a la ecuación general del riesgo de forma participativa e incluyente, con la realidad en cada uno de sus municipios, y validar o rechazar el trabajo realizado.

Sin embargo, se debe considerar que estos mapas deberán ser actualizados y perfeccionados periódicamente por las instancias de planificación como son las Unidades de Gestión de Riesgo municipales. Además que estas herramientas deben ser transferidos hacia los municipios por medio de capacitación permanente.

Figura 96: socialización del proceso de elaboración de los mapas de riesgo

Figura 97: Exposición de los mapas de riesgos

Figura 98: Mesa de trabajo, municipio de Arque.

Figura 99: Mesa de trabajo, municipio de Bolívar.

Figura 100: Mesa de trabajo, municipio de Tacopaya.

Figura 101: Mesa de trabajo, municipio de Sicaya.

Figura 102: Mesa de trabajo, municipio de Tapacari.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Los resultados y nivel de apropiación de los actores son importantes y valiosos, esto se debe en parte por el enfoque horizontal planteado por la Mancomunidad Andina y CISTEL - UMSS (de igualdad entre el aporte de técnicos y actores); y sobre todo la participación y trabajo conjunto con los diferentes actores a lo largo de todo el proceso, que ha logrado el reto de construir una visión conjunta y consensuada.
- ✓ La guía como una primera propuesta trata de rescatar por una parte el desarrollo técnico del proceso y por otra parte las lecciones aprendidas de la aplicación en los municipios de la mancomunidad.
- ✓ Se ha podido establecer que la Ecuación General del Riesgo contribuye a una construcción de mapas de riesgo que puede servir de base referencial muy importante, especialmente en zonas donde no se dispone de ninguna información.

- ✓ Al tratarse de una primera propuesta, requiere en función a su enfoque el aporte de los actores por lo que se recomienda desarrollar actividades para obtener retroalimentación que permita mejorar y/o complementar este documento.

- ✓ Sin duda, la herramienta de la Ecuación General del Riesgo es para personal técnico con cierto nivel de uso del SIG, sin embargo sirve para orientar en el proceso a quellos técnicos municipales y particularmente a los UGR.

6. BIBLIOGRAFÍA

Beltran, Luis Ramiro 1980 LANDSAT Remote Sensing of Natural Resources: The Bolivian Experience IDRC mission. Internal IDRC Report of an Evaluation. Bogota Colombia.

Brockmann, C. (Geological Survey of Bolivia), December 1973 Third ERTS Symposium, Paper LI6, Earth Resources Technology Satellite Data Collection Project, ERTS-Bolivia.

COSUDE, 2008. Directrices de COSUDE para la reducción del riesgo de desastres. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) Bern Suiza

De By, R.A. (editor), R.A. de By, P.Y. Georgiadou, R.A. Knippers, M.J. Kraak, Y. Sun, M.J.C. Weir, C.J. van Westen 2004 Principles of geographic information systems: an introductory textbook. Third Edition. ITC. Enschede, Netherlands.

Freden, Stanley C., Enrico P. Mercanti David B. Friedman 1974 Third Resources Technology Satellite Symposium Volume III , Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland

Kerle, N (editor), L.L.F. Janssen (editor), G.C. Huurneman (editor), W.H. Bakker, K.A. Grabmaier, G.C. Huurneman, F.D. van der Meer, A. Prakash, K. Tempfli, A.S.M. Gieske, C.A. Hecker, L.L.F. Janssen, G.N. Parodi, C.V. Reeves, M.J.C. Weir, B.G.H. Gorte, J.A. Horn, N. Kerle, C. Pohl, F.J.A. van Ruitenbeek, T. Woldai 2004 Principles of remote sensing : an introductory textbook. Third Edition. ITC. Enschede, Netherlands.

Lavell, Allan Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacía una Definición

Maskrey, Andrew. (1998) Navegando entre Brumas. La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del Riesgo en América Latina. La Red, ITDG. Tercer Mundo Editores, Colombia.

Mazurek, Humbert Adrien 2006 Espacio y territorio: Instrumentos metodológicos de investigación social. PIEB, La Paz Bolivia.

PREDECAN 2009 Educación para la gestión del riesgo de desastre Herramientas conceptuales y metodológicas para su incorporación en la currícula, Lima, Perú.

Wilchex-Chaux, Gustavo 2006 Introducción al Concepto de Seguridad Territorial. Red de Estudios Sociales sobre Desastres Naturales. Bogotá, Colombia. 2do Dialogo Internacional sobre la Crisis Mundial del Agua Sevilla, 26 y 27 de octubre.

ANEXOS

Anexo 1. Glosario

Glosario

A

Amenaza: “Es el factor externo de riesgo presentado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas” Fuente: Ley 2140 “Según el PRRD (2006) “Es un fenómeno, ya sea natural o antrópico, que puede poner en riesgo bienes, servicios y personas, por lo que de modo general se pueden distinguir por tanto amenazas naturales y amenazas antrópicas

Análisis Espacial Multicriterio: Es un conjunto de métodos y técnicas útiles como herramientas para el modelamiento espacial y aplicaciones, especialmente útil en procesos de toma de decisiones en el manejo de recursos naturales, selección de sitios para proyectos y en general para procesos de análisis y evaluación espacial en Planificación Territorial

Anáglifo: “Las imágenes de anaglifo o anaglifos son imágenes de dos dimensiones capaces de provocar un efecto tridimensional, cuando se ven con lentes especiales (lentes de color diferente para cada ojo). Se basan en el fenómeno de síntesis de la visión binocular y fue patentado por Louis Ducos du Hauron en el 1891 con el nombre de este artículo. Las imágenes de anáglifo se componen de dos capas de color, superimpuestas pero movidas ligeramente, una respecto a la otra, para producir el efecto de profundidad. Cuando se ve a través de las gafas anáglifo, se revelará una imagen tridimensional. La corteza visual del cerebro fusiona esto dentro de la percepción de una escena con profundidad” (Wikipedia 2011)

Brigadas de campo: Equipos de personas destinadas a levantar información o datos de campo o talleres.

Brigadas escolares: Estudiantes de primaria y secundaria que se adhieren a las acciones del Proyecto difundiendo los mensajes en RRD/ACC en su entorno familiar y escolar.

.

C

Cartografía: Conjunto de estudios y de operaciones científicas y técnicas que intervienen en la elaboración o en el análisis de mapas, planos, cartas, perfiles, modelos tridimensionales o globos que representan la Tierra, o parte de la Tierra o cualquier cuerpo celeste a una determinada escala. (DDPC3-USAID 2007).

Catastro: Censo Descriptivo o estadística gráfica de las fincas rústicas y urbanas. Tiene por objeto la determinación de la propiedad territorial, es decir, el inventario más o menos detallado de la riqueza de una comarca o nación, cuyo fin primordial es que sirva para el equitativo reparto del impuesto territorial. Por su naturaleza técnica e informativa debe ser la base de todas las actividades que se relacionan con el territorio, trátese de concesiones forestales, mineras, agrícolas, hídricas, energéticas, turísticas, de políticas de protección del medio ambiente o preservación del derecho propietario. En suma, es un instrumento básico para el ordenamiento territorial del país. Por tanto es el registro de las características del terreno y de las construcciones de los predios del municipio mediante procedimientos técnicos, que georeferencian, codifican, registran y certifican la existencia y el valor del predio (DDPC3-USAID 2007; BLTP – USAID 2007)

C

Cobertura Vegetal: Capa vegetal existente, tapizando el terreno, constituida por los elementos arbóreos, arbustivos y herbáceos.

Croquis: Gráfico a escala aproximada de elementos existentes en un determinado espacio, que debe estar orientado y codificado.

Deslizamientos frecuentes: El deslizamiento ocurre cuando volúmenes de material meteorizado y masas de roca se desprenden de su lecho y se desplazan cuesta abajo, cuando el nivel sub-superficial traspasa el límite de plasticidad o liquidez. Al hacer hincapié en la frecuencia nos referimos a la repetición del evento anualmente (especialmente en la temporada de lluvias), o en lapsos más cortos de tiempo.

E

Escala: Es la proporción de la distancia representada sobre un mapa o fotografía respecto a su longitud real sobre la superficie de la Tierra. Los valores son normalmente escritos como números sin dimensión, indicando que las medidas sobre el mapa y la Tierra están en las mismas unidades. Por ejemplo, la escala 1:250 000, leída como uno a doscientos cincuenta mil, significa que un centímetro del mapa representa 250 mil centímetros de la superficie de la Tierra. (DDPC3-USAID 2007).

.

Geomática: Es un conjunto de ciencias, tecnología, métodos y técnicas de medición de la tierra y procesamiento de información y datos espaciales (geo-referenciados). Topografía, cartografía, geodesia, fotogrametría, SIG, teledetección y la informática. Fuente: Universidad Laval Canadá 1980 -1986

Gestión de riesgos: El concepto de gestión de riesgos de COSUDE implica: Prevención = reducir el riesgo existente y evitar nuevos riesgos; Atención del desastre = reducir el impacto de los desastres**,** Reconstrucción = reducir posibles daños futuros (reducir la vulnerabilidad) Fuente: PRRD 2006

Heladas frecuentes: La helada es un fenómeno que ocurre por el descenso de temperatura por debajo de cero grados centígrados, produciendo pérdidas agrícolas de consideración.

Imagen Satelital: Es la representación visual de información que ha sido capturada desde un satélite artificial. Según su resolución espacial (tamaño del pixel) se dividen en imágenes de Alta resolución (< 1 m, < 2.5 m), Mediana resolución (< 30 m) y Baja resolución (>= 30 m)
Fuentes: ITC 2003 .North Dakota State University 2004

Inundaciones frecuentes: La inundación puede ser definida como el flujo elevado de un río o arroyo el cual sobrepasa los bancos naturales o artificiales (Schulze, 2001).Estos eventos en nuestro país se concentran en la época de lluvias, es decir son estacionarios; por ello se consideran solo cuando el daño en la propiedad se produce en dicha época, es decir anualmente.

Mapa: Los mapas son representaciones graficas de un área de un territorio, por lo que son herramientas, insumos que ayudan a comprender, mostrar, organizar y tomar acciones para diversos campos. Los mapas temáticos representan cualquier tema específico de la realidad de un territorio.

Mitigación: “Son medidas o acciones que tienen por objeto reducir los Riesgos frente a los Desastres y/o Emergencias ” Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

P

Pendiente: Se refiere al grado de inclinación de la propiedad medida en porcentaje (%).

Prevención:"Es toda acción institucional o ciudadana que se emprenda para eliminar las causas de los Desastres y/o Emergencias " Fuente: Ley 2140 "Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres"

Reducción de riesgos “Son todas las actividades comprendidas en las fases de prevención, mitigación y reconstrucción destinadas a impedir o reducir la eventual ocurrencia de un Desastre y Emergencia.” Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

Reconstrucción “Es el proceso de desarrollo social, económico y sostenible de la comunidad ubicada en el territorio afectado por un desastre” Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

Rehabilitación “Es la recuperación a corto plazo de los servicios básicos e inicio de la reparación del daño físico, social y económico” Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

Riesgo: 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. Es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad. Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

Sistema de Información Geográfica (SIG): es un sistema computarizado que facilita el ingreso, análisis y presentación de datos georeferenciados. Es decir datos que contienen referencias de su ubicación geográfica (De By 2004). Es un sistema desarrollado para el procesamiento, análisis y visualización de datos e información geográfica, por lo que consiste en un conjunto de herramientas para trabajar con datos geográficos.

Teledetección (detección remota): Es la adquisición de información sobre un objeto o fenómeno a distancia. Utiliza instrumentos y dispositivos (sensores) que permiten recabar datos geográficos. Provee datos básicos sobre las características de la tierra para un periodo de tiempo específico**. Fuentes**: ITC 2003 **,**North Dakota State University 2004

Uso de la Tierra: Se refiere a la actividad socioeconómica realizada por las personas en un determinado lugar o área de la superficie terrestre. Los usos mas importantes que se pueden identificar son los siguientes:

- ✓ **Uso Agrícola:** área usada para actividades de producción de cosechas comunes cultivadas
- ✓ **Uso de la Tierra Rural**. Se refiere al tipo de uso que se da a la tierra en el área rural, en función a la actividad que se realiza.
- ✓ **Uso Forestal Maderable:** área usada para actividades de aprovechamiento del bosque, por ejemplo explotación de madera.
- ✓ **Uso Forestal múltiple:** área de aprovechamiento del bosque, considera aquellos bosques de conservación y protección de la biodiversidad así como los de uso múltiple, es decir aquellos que además de madera producen otros productos como látex, frutos, resinas, etc.
- ✓ **Uso Industrial**: área utilizada actividades de transformación de materia prima.

- ✓ **Uso Investigación:** Uso de la tierra rural en la que se realiza una actividad de investigación en el campo agropecuario, biológico, etc. de carácter público.

- ✓ **Uso Pecuario:** área usada para actividades de producción de ganado mayor y menor así como avicultura, incluye superficies destinadas a pastos sembrados y nativos.

- ✓ **Uso Público:** áreas que pertenecen al Estado y por tanto a toda la población. Su administración depende de una entidad pública por ejemplo el municipio o la comunidad quienes se encargan de su mantenimiento y de asignarle el uso correspondiente. Ej: cementerio, centros de acopio, etc.

Vulnerabilidad: Es el factor interno de riesgo, de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser afectado. Fuente: Ley 2140 “Ley para la reducciones de riesgos y atención de desastres”

Anexo 2. Diapositivas de Ruta Crítica

Organización y preparación del material base y del proceso

- Identificación de actores clave.
- Organización estratificada de grupos
- Selección del material cartográfico.
- Compilación de información secundaria
- Selección de las herramientas

FASE I

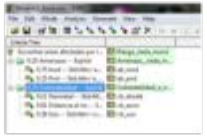
Generación y validación mapas de percepción local del riesgo

- Trabajo participativo de identificación de amenazas.
- Reflexión e identificación de la vulnerabilidad

- Recorridos de campo verificando el mapa.
- Confirmación de percepciones en terreno

FASE II

Modelación espacial de riesgos y validación de los mapas finales



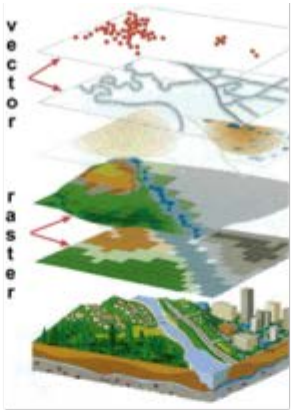
Análisis y Modelamiento Espacial Multicriterio

$$Ei=\sum_1^n (M_i * W_i)$$

$$Ri = Ai * Vi$$

FASE III

EVENTO



ESPACIALIZACION

VARIABLES DESCRIPTORAS

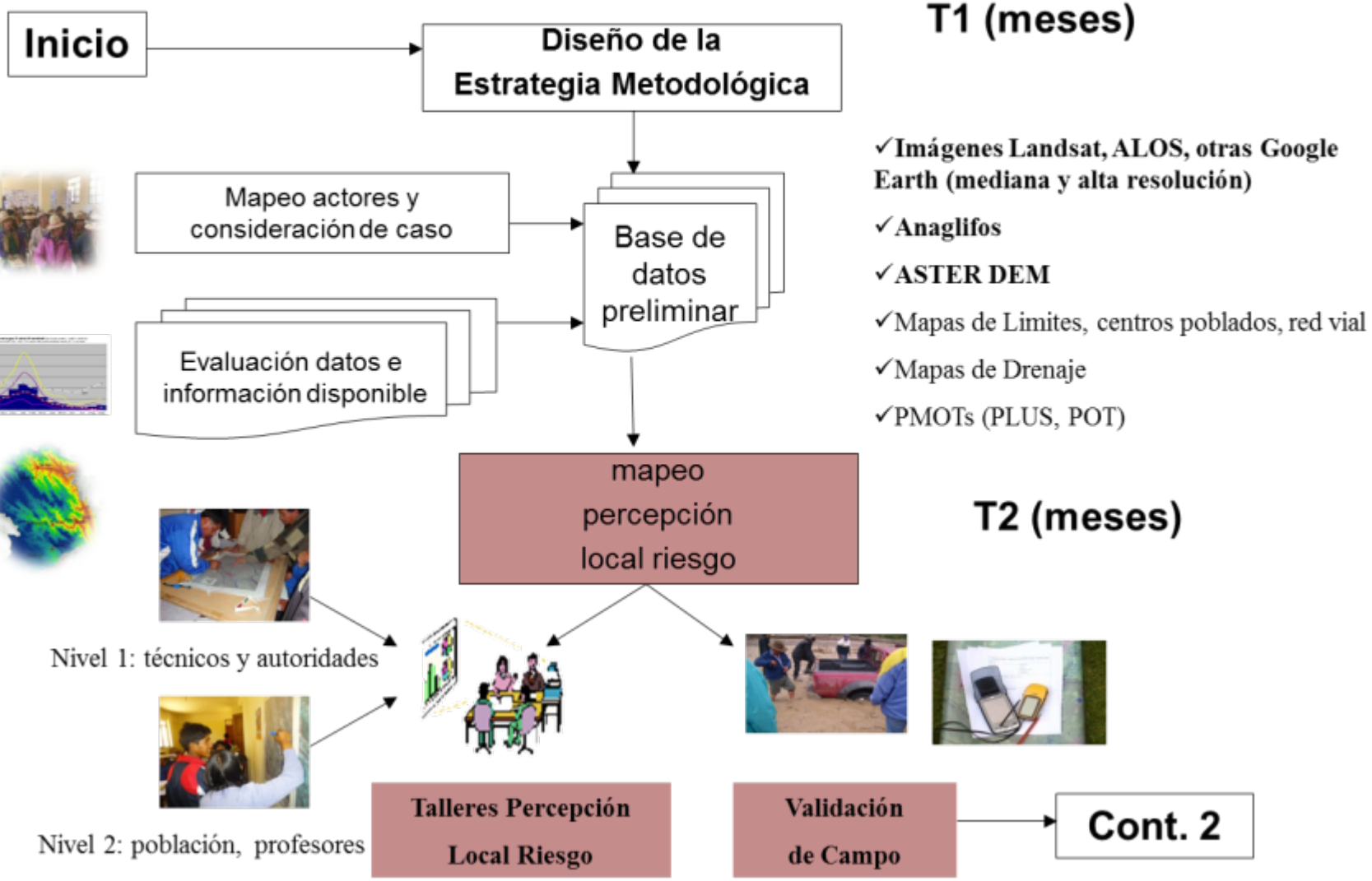
AMENAZAS

VULNERABILIDADES

DEFINICION
GRUPO
META

GENERACION DE
MAPAS DE
PERCEPCION
LOCAL DE
RIESGOS

Ruta critica



T1 (meses)

- ✓**Imágenes Landsat, ALOS, otras Google Earth (mediana y alta resolución)**
- ✓**Anaglifos**
- ✓**ASTER DEM**
- ✓Mapas de Limites, centros poblados, red vial
- ✓Mapas de Drenaje
- ✓PMOTs (PLUS, POT)

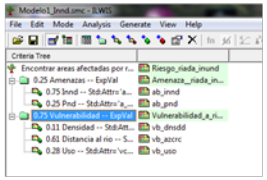
T2 (meses)

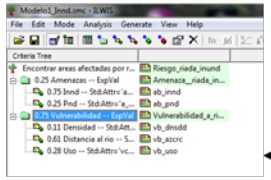
T3 (meses)

Cont 1

Sistematización y digitalización datos validados percepción local riesgo

Modelos finales = Árboles de criterios SIG calibrados= Ecuaciones A, V





Base de datos Final insumos

$A=\sum_1^n (M_i*W_i)$ $V=\sum_1^n (M_i*W_i)$

Modelo calibrado amenaza - EA

Modelo calibrado vulnerabilidad -EV

Análisis Espacial Multicriterio A

Análisis Espacial Multicriterio V

Mapas finales de riesgo

Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad

- ✓Digitalización datos validados percepción local del riesgo
- ✓Elaboración de base de datos final para modelamiento
- ✓Diseño y calibración de modelos para cada tipo de riesgo (suma ponderada de mapas con valores estandarizados) – diseño de árbol de criterios A, V
- ✓Estandarización y asignación de pesos final
- ✓Calculo final de mapas según modelos calibrados
- ✓Reclasificación para niveles de vulnerabilidad y amenaza
- ✓Combinación y suma ponderada final según EGR

Anexo 3. Formulas y tablas de ejemplo para la estandarización y la asignación de pesos

Para la asignación de valores de estandarización y la asignación de pesos de las variables, así como la elaboración preliminar de los modelos de árboles de criterios que posibilitaron calcular la ecuación general del riesgo para cada tipo de riesgo, se ha utilizado las formulas propuestas por:

- ✓ Janssen, R, and Van Herwijnen, M. (1994) Multiobjective decision support for environmental management + DEFINITE DEcisions on an FINITE set of alternatives : demonstration disks and instruction. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Netherlands). 232 p., 16 p. + two 3,5" disks. ISBN 0-7923-1908-7
- ✓ Saaty, T. (1980) The Analytical Hierarchy Process. New York, McGraw Hill.

Estas fórmulas han sido incorporadas al módulo de ILWIS a partir del 3.3 adelante para una fácil aplicación a cualquier tipo de modelo y el software tiene la ventaja que es gratis. Una vez definida la ecuación calibrado el modelo y validado puede ser aplicado en cualquier plataforma SIG, que como se explicó en las secciones previas para este caso dado su extendido uso en el país se utilizó ArcGIS 9.3

Se calcula la estandarización y/o el peso en función a la fórmula 1 y 2 según el método aplicado: donde n es el numero de criterios y el peso o importancia de cada variable se asigna en función a su importancia esto es que debe cumplir que el peso del criterio y o variable más importante siempre es mayor al menos importante $w1 \geq w2 \geq \ldots \geq w_n \geq 0$.

Cuando se trata de variables estandarizadas no se requiere que la suma sea igual a uno, ya que cada pixel aporta en función a su evaluación respecto a la vulnerabilidad o amenaza modelada. En cambio cuando se trata de los pesos de cada mapa si debe sumar entre todos los mapas que lo componen la unidad, ya que el valor de evaluación de cada amenaza o cada vulnerabilidad es un valor combinado que fluctúa de 0 a 1 y se reclasifica según sus niveles de severidad.

Método del valor esperado:

(Formula 1)

Numero de criterios	Valores de ejemplo					
N	E(w1)	E(w2)	E(w3)	E(w4)	E(w5)	E(w6)
2	0.75	0.25				
3	0.61	0.28	0.11			
4	0.52	0.27	0.15	0.06		
5	0.46	0.26	0.16	0.09	0.04	
6	0.41	0.26	0.16	0.10	0.06	0.03

Método Ordinal

(Formula 2)

Numero de criterios	Valores estandarizados.					
N	w1	w2	w3	w4	w5	w6
2	0.66	0.33				
3	0.50	0.33	0.17			
4	0.40	0.30	0.20	0.10		
5	0.33	0.27	0.20	0.13	0.07	
6	0.29	0.24	0.19	0.14	0.10	0.05