

# ATLAS SURAMERICANO

de mapas de riesgo de desastres  
causados por fenómenos naturales

Primer Tomo

**2015**

UNASUR





# **ATLAS SURAMERICANO**

de mapas de riesgo de desastres  
causados por fenómenos naturales

Primer Tomo  
**2015**

ATLAS SURAMERICANO  
de MAPAS de RIESGO de DESASTRES CAUSADOS por FENÓMENOS NATURALES

© CDS-UNASUR

Dirección Ejecutiva de la Delegación Peruana ante el CDS-UNASUR

Ministerio de Defensa

Av. De la Peruanidad s/n, edificio Quiñones (Campo de Marte) - Jesús María - Lima - Perú

Central Telefónica (511) 209-8530

[www.mindef.gob.pe](http://www.mindef.gob.pe)

Edición, diseño y diagramación:

Digital World Perú

[www.digitalworldperu.com](http://www.digitalworldperu.com)

Lima, agosto de 2015

ISBN: XXXXX

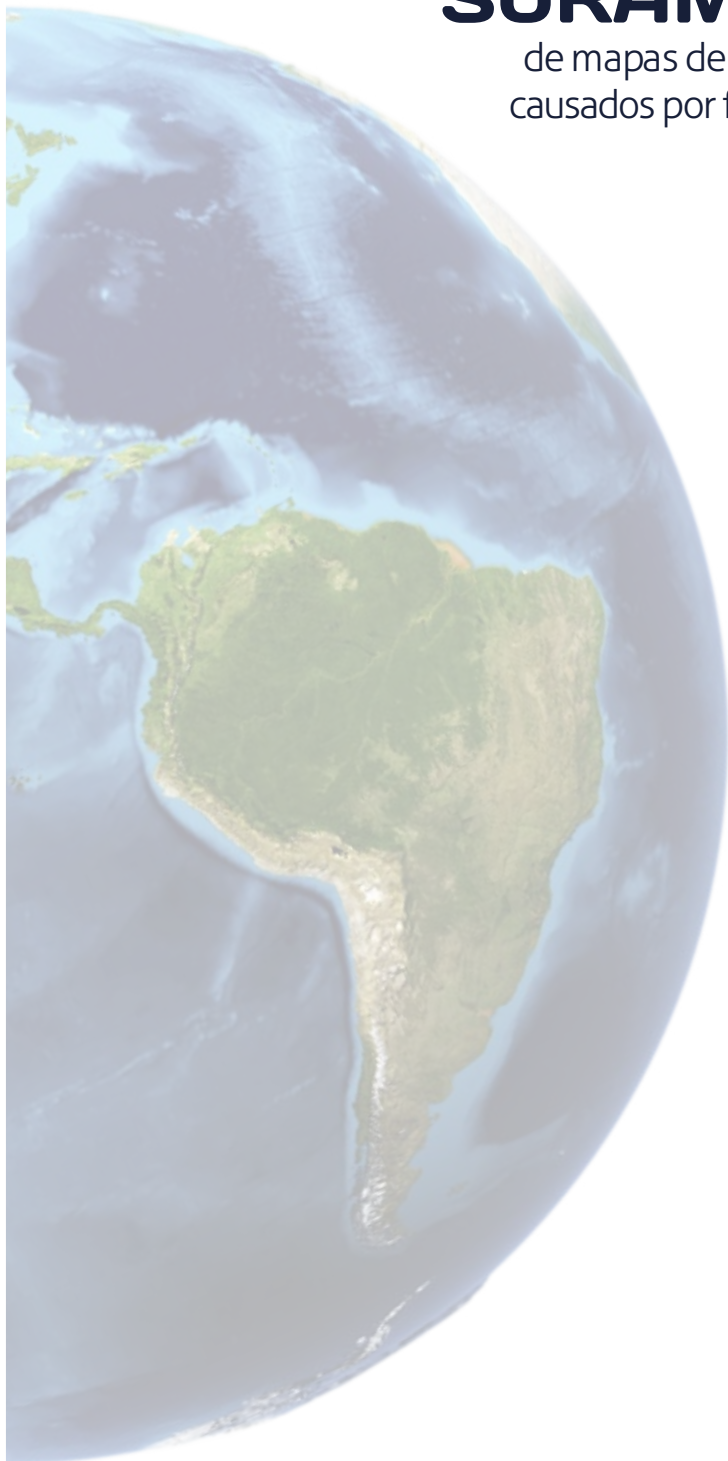
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú No xxxxxxxxxxxx

# ATLAS SURAMERICANO

de mapas de riesgo de desastres  
causados por fenómenos naturales

Primer Tomo

**2015**



UNASUR

 **CDS**  
Consejo de Defensa Suramericano  
**UNASUR**



# AGRADECIMIENTOS y RECONOCIMIENTOS

La Dirección Ejecutiva de la Delegación Peruana ante el Consejo de Defensa Suramericano de UNASUR expresa su profundo agradecimiento por la valiosa colaboración y participación de expertos, especialistas técnicos, coordinadores e integrantes de cada una de nuestras Delegaciones Nacionales, en la producción de este Primer Tomo del Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres Causados por Fenómenos Naturales, el mismo que expresa el espíritu de nuestros países de contribuir al fortalecimiento de capacidades para prevenir y estimar el impacto de los probables desastres y reducir anticipadamente sus riesgos, así como en la planificación y cooperación para la respuesta eficaz de nuestros Estados Suramericanos ante un eventual desastre de gran magnitud.

Este logro conjunto es el esfuerzo y cooperación de muchas instituciones civiles y militares de nuestros países, y marca un hito en la aspiración de diseñar en el ámbito de la defensa un Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres ocasionados por fenómenos naturales o la acción humana a nivel de Suramérica, por lo que estamos seguros que las generaciones futuras también reconocerán la valiosa contribución de las siguientes entidades:



#### REPÚBLICA ARGENTINA

- Ministerio de Defensa
- Secretaría de Coordinación Militar de Asistencia en Emergencias
- Subsecretaría de Planeamiento para la Asistencia en Emergencias
- Dirección Nacional de Información para el Análisis y la Gestión de Riesgos



#### REPÚBLICA DE CHILE

- Instituto Geográfico Militar
- Subdirección del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
- Subdirección de Ingeniería del Instituto Geográfico Militar



#### REPÚBLICA DEL PERÚ

- Dirección Ejecutiva de la Delegación Peruana ante el Consejo de Defensa Suramericano CDS-UNASUR
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED
- Comité Multisectorial del Estudio Nacional de Fenómeno de "El Niño" - ENFEN
- Instituto de Mar del Perú - IMARPE
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI
- Instituto Geofísico del Perú - IGP
- Dirección de Hidrografía de Marina - DHN
- Autoridad Nacional del Agua - ANA
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET
- Gobierno Regional de Piura
- Gobierno Regional de Arequipa
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI



#### ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

- Gobierno Autónomo Municipal de La Paz
- Viceministerio de Defensa Civil del Ministerio de Defensa



#### REPÚBLICA DEL PARAGUAY

- Dirección General de Defensa Civil del Ministerio de Defensa Nacional
- Jefatura del Departamento de Inteligencia del Ministerio de Defensa Nacional
- Dirección de Planes Operativos y Logísticos de la Dirección General de Defensa Civil



#### REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

- Subdirección de la Dirección de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DIGECAFA)

# CONTENIDO GENERAL

**10** / PRESENTACIÓN

**12** / MARCO CONCEPTUAL

**14** / CAPÍTULO I. SINOPSIS DE SURAMÉRICA

Espacio geográfico	16
Características geológicas y morfológicas del espacio geográfico suramericano	16
División política	19



**20**

**CAPÍTULO II. CONSOLIDACIÓN DE INFORMES TÉCNICOS ELABORADOS  
POR CADA PAÍS**

República Argentina	22
Estado Plurinacional de Bolivia	34
República de Chile	120
República de Paraguay	138
República del Perú	174
República Bolivariana de Venezuela	324

**409**

**ANEXOS**

# PRESENTACIÓN

El presente documento es el fruto del trabajo articulado de un conjunto de profesionales suramericanos, que han aportado decididamente en la evaluación técnica y revisión de documentos e informes técnicos que corresponden a los fenómenos de mayor recurrencia que fueron propuestos por los países miembros del CDS. Esta articulación de esfuerzos permitió fomentar la participación de diversas instituciones técnico-científicas relacionadas con la gestión de riesgo de desastres y con entidades del ámbito de la defensa relativas a emergencias y atención de desastres de cada uno de nuestros países.

El Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres Causados por Fenómenos Naturales es un instrumento de cooperación elaborado por nuestros Ministerios de Defensa, que busca constituirse como una herramienta de carácter regional en el ámbito del Consejo de Defensa Suramericano CDS-UNASUR, para sistematizar estudios técnico-científicos e información de diferentes fenómenos naturales que por su impacto generan niveles de alto riesgo para los países suramericanos, mostrando a su vez diferentes metodologías aplicadas en la elaboración de los estudios de riesgo de desastres de nuestros respectivos países.

La materialización y concreción de este Primer Tomo del Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres Causados por Fenómenos Naturales, nos permitirá avanzar en la realización de un diagnóstico integral, multisectorial, multidimensional y transversal principalmente sobre los riesgos, retos y desafíos que tenemos frente a los probables desastres naturales, toda vez que siguen aumentando en frecuencia, imprevisibilidad y gravedad.

Con el fin de facilitar el acceso, intercambio y búsqueda de información a todos los actores sociales e institucionales involucrados en la gestión del riesgo de desastres y en los procesos de desarrollo nacionales, esta herramienta de cooperación entre los Ministerios de Defensa de los países del CDS-UNASUR, estará a disposición a través de la plataforma de información geoespacial de última generación, tecnológica puesta a disposición del CDS-UNASUR, que ha sido diseñada y desarrollada por el equipo técnico del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), institución del Perú que viene asesorando técnicamente a la Dirección Ejecutiva de la Delegación Peruana ante el CDS-UNASUR para la coordinación general por parte de Perú de este proyecto.

Es importante destacar que este proyecto tiene sus inicios en abril del año 2012 con el desarrollo del Primer Taller sobre Mapas de Riesgo de Desastres Naturales para Mitigaciones Anticipadas, dentro de la actividad 2.e del Plan de Acción del Consejo de Defensa Suramericano, realizado en la ciudad capital de la República de Chile, en la que se destacó la importancia que reviste que un organismo como el CDS pueda crear un sistema de cooperación que permita apoyar y asistir a sus miembros cuando se vean afectados por algún evento catastrófico.



Posteriormente, en el primer semestre del año 2013 en Santiago de Chile se continuó con el Segundo Taller del Grupo de Trabajo para la Elaboración de Mapas de Riesgo de Desastres Naturales a nivel de cada país Suramericano, en el cual se compartieron experiencias y metodologías en la elaboración de mapas de riesgos, destacando que este trabajo requiere de la colaboración de diversos organismos de cada Estado, quienes proporcionarán la información necesaria que permita prevenir eventos catastróficos.

En ese mismo año, en el segundo semestre se realizó en Lima-Perú el Tercer Taller del Grupo de Trabajo de la referida actividad, en la cual se desarrollaron procedimientos técnicos y metodológicos estandarizados para la elaboración de mapas de riesgo de los países Suramericanos, destacando la factibilidad de elaborar un Atlas de Mapas de Riesgo de Desastres en la región y el desarrollo de mecanismos tecnológicos que faciliten la transferencia, difusión y acceso a información geoespacial y registros administrativos del riesgo de desastres para los países miembros del UNASUR.

Para el año 2014, en la ciudad de Lima-Perú, se realizó la Primera Reunión del Grupo de Trabajo para la "Elaboración del Atlas de Mapas de Riesgo de Desastres Naturales en Suramérica", en la que se destacó la presentación de la primera versión digital del mencionado Atlas y una propuesta de plataforma web denominado "SIGRID CDS-UNASUR", así como un proyecto de esquema de Plan de Trabajo para la culminación del Atlas por un período de cinco años.

En abril del año 2015 se realizó la segunda reunión del Grupo de Trabajo de esta actividad, en la cual se aprobó el Primer Tomo del Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres Causados por Fenómenos Naturales y el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres denominado SIGRID CDS-UNASUR, como un valioso instrumento para la prevención y estimación de riesgos en el ámbito del Consejo de Defensa Suramericano, los que serán elevados y presentados a la próxima Instancia Ejecutiva para su posterior aprobación por parte del CDS-UNASUR.

La presentación de este Primer Tomo evidenció que existe cada vez una mayor conciencia sobre la necesidad de promover iniciativas para la incorporación de la reducción del riesgo por desastres naturales, en las políticas de Estado. Cada experiencia busca, a través de estudios específicos, determinar el nivel de peligro, vulnerabilidad, estimar el nivel de riesgo, y con ello proponer las acciones de cooperación desde nuestros países que contribuyan a mitigar sus efectos sobre la población, la infraestructura y el entorno.

Dirección Ejecutiva de la Delegación Peruana  
ante el Consejo de Defensa Suramericano CDS-UNASUR



# MARCO CONCEPTUAL

El Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres causados por Fenómenos Naturales es una herramienta que permite conocer, de manera real, las distintas experiencias en las metodologías aplicadas para la determinación de los niveles de riesgos originados por fenómenos naturales. Estas experiencias permitirán orientar y priorizar el diseño de programas y proyectos de reducción de pérdidas en sus respectivos ámbitos político-administrativos.

Para la construcción de mapas de riesgos se requiere disponer de mapas de amenazas (peligros) y de vulnerabilidades, según la relación:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

A escala de la región es factible disponer de información de amenazas por fenómenos naturales. Sin embargo, estudios y cartografía de vulnerabilidad, que implican el cálculo de la resistencia de los elementos expuestos a diferentes niveles de amenaza, está disponible solo para algunas ciudades.

De manera general, la exposición representa un aspecto del riesgo, ya que ilustra aquellos elementos que pueden sufrir algún nivel de daños o pérdidas como consecuencia de la acción de la amenaza. Conocer la distribución y cantidad de elementos expuestos a un nivel de amenaza específico, permite priorizar y promover actividades básicas como estudios de vulnerabilidad y riesgo. Este conocimiento se puede considerar como un indicador o especie de alerta que señala a los interesados hacia dónde enfocar prioridades de análisis y medidas estructurales (físicas) y no estructurales (legislación, educación y difusión) para la reducción de riesgos.

La exposición a la amenaza es una condición indispensable para que existan pérdidas o daños, pero no determina el grado o nivel de estos daños, que dependen de condiciones intrínsecas de los elementos expuestos, es decir de su vulnerabilidad.

## Objetivo

---

El objetivo del Atlas Suramericano de Mapas de Riesgo de Desastres causados por Fenómenos Naturales es mostrar las distintas experiencias y metodologías empleadas en la determinación de los niveles de riesgos originados por fenómenos naturales, así como exponer la cartografía de la distribución espacial de población, bienes e infraestructura que están expuestos a diferentes niveles de amenaza por fenómenos naturales.

CAPÍTULO

I



SINOPSIS  
de  
SURAMÉRICA



# Sinopsis de Suramérica

## 1. Espacio geográfico

América del Sur se sitúa en la parte meridional del continente americano. Se extiende desde los 11° de latitud norte, que corresponde a las costas septentrionales de Venezuela, hasta los 56° 30' de latitud sur, que corresponde a la isla Diego Ramírez, al sur del Cabo de Hornos, en el extremo meridional de Chile. Tiene una extensión de 17 820 950 000 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

Limita por el norte y el este con el océano Atlántico; por el oeste, con el océano Pacífico; por el sur, con el Paso de Drake, que lo separa de la Antártica, donde confluyen las aguas de los océanos Atlántico y Pacífico.

Su punto más bajo está en la península de Valdés (-40 m) y su punto más alto, en la cima del nevado del Aconcagua (Argentina).

## 2. Características geológicas y morfológicas del espacio geográfico suramericano

### Geología y geomorfología

---

#### Sistemas orográficos

En América del Sur hay tres grandes sistemas orográficos:

##### a. El Sistema Andino o Cordillera de los Andes

El Sistema Andino es la segunda cadena montañosa más alta del mundo. Se localiza en la parte occidental de América del Sur, entre el Cabo de Hornos, por el sur, y Venezuela por el norte. Ocupa gran parte de los territorios de Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. Tiene una longitud aproximada de 8 900 km., siendo, por tanto, la cordillera más larga que hay en la superficie terrestre.

Esta cordillera, de acuerdo con la teoría tectónica de placas, se habría formado como consecuencia de la presión que ejercen, de un lado, la placa continental sudamericana, y de otro, la placa de Nazca.

Los nevados más altos de la Cordillera Andina: Aconcagua, Tupungato, Mercedario y Ojos del Salado.

#### b. El Sistema Brasileño o Macizo Brasileño

El Sistema Brasileño ocupa gran parte del territorio del Brasil. Primitivamente conformaba el escudo brasileño que, por efecto de la erosión, quedó reducido a una penillanura, es decir, a un relieve de meseta, de escasa elevación. Sobre esta vasta meseta destacan las sierras de Mantiqueira y Domar, en el extremo oriental, donde se encuentran los picos Bandeira (2 890 m) e Itaya (2 884 m), que son los más altos; las sierras de Espinhaco y Dourada, en la parte central, donde se encuentra Brasilia, su nueva capital. En la parte occidental se localiza la meseta de Mato Grosso.

#### c. Los Sistemas de Parima y Pacaraima

Estos sistemas orográficos se extienden en la parte norte de América del Sur, entre Venezuela y Brasil. Actúan como divisorias de aguas entre los ríos Orinoco y Amazonas. Son de escasa elevación, pero tan antiguos como el Macizo Brasileño. El pico más alto de este sistema es el Roraima.

#### Mesetas:

- Altiplano Boliviano
- Mesetas del Collao y Bombón
- Meseta de Cundinamarca (Colombia)
- Meseta de Quito
- Meseta Brasileña y Mato Grosso
- Meseta de Patagonia

#### Llanuras:

- Llanura Amazónica
- El Gran Chaco y las Pampas
- Los Llanos del Orinoco (Venezuela)

### Sistema hidrográfico

---

#### Sistemas fluviales

Suramérica posee los ríos más largos y caudalosos del mundo.

##### Río Amazonas

El Amazonas forma la cuenca colectora más grande del mundo, sobrepasa los 7 000 000 de km<sup>2</sup>. Su ancho es variable, alcanzando 241 km en su desembocadura. Su longitud sobrepasa los 6 760 km, desde su nacimiento más remoto.

El río es navegable en toda su longitud y tiene en sus márgenes importantes puertos fluviales, como Iquitos en Perú y Manaos y Belén en Brasil.

Sus aguas irrumpen con violencia entre las aguas del océano Atlántico, produciendo un ruido característico conocido con el nombre de "pororoca". 300 km mar adentro, todavía sus aguas son dulces.

Los afluentes más importantes del gran río Amazonas son Napo, Putumayo, Negro, Madeira.

### Río Paraná–La Plata

Este río conforma el segundo sistema fluvial más extenso de América del Sur. Su cuenca colectora abarca los territorios de Brasil, Paraguay, Bolivia, Uruguay y Argentina. Tiene su origen en el Macizo Brasileño, al norte de Río de Janeiro. Al desembocar en el Atlántico forma un estuario muy amplio, conocido con el nombre de Río de la Plata, de más de 300 km de longitud. Forma la catarata de Iguazú.

### Río Orinoco

El río Orinoco tiene una cuenca limitada por la cordillera de los Andes y el Sistema de Parima. Recorre los Llanos del Orinoco y desagua en el océano Atlántico, formando un gran delta. Está unido al sistema fluvial del Amazonas a través del canal de Casiquiare.

## Lagos

- a. **El lago Maracaibo**, el más extenso que se localiza en el extremo noroccidental de Venezuela, con 12 780 km<sup>2</sup> de superficie, vierte sus aguas en el golfo de Venezuela.
- b. **El lago Titicaca**, en el Altiplano peruano–boliviano, es, además, el lago navegable más alto del mundo con 8 380 km<sup>2</sup>, para cuyo efecto cuenta con dos importantes puertos lacustres: Puno, en el Perú, y Huaqui en Bolivia. Su único afluente es el río Desaguadero, que vierte sus aguas en el lago Poopo, en Bolivia.

## Climatología

---

- En América del Sur hay una gran variedad de climas:
- En las zonas de baja latitud el clima es tropical, es decir, cálido-húmedo y lluvioso.
- En las regiones de latitudes medias del norte y del sur los climas son templados.
- En las regiones de alta latitud o áreas cercanas al polo sur el clima es muy frío.
- En las altas cordilleras el clima es glacial o extremadamente frío.

## Población y división política

---

América del Sur tiene en la actualidad más de 300 millones de habitantes; tiene menos del 6% de la población mundial; la densidad es de 17 hab/km<sup>2</sup>. Más de la mitad de su territorio tiene una densidad de 2 hab/km<sup>2</sup>. La población está conformada por los descendientes de tres principales grupos raciales: 1. Amerindia o autóctona, 2. Raza negra, 3. Blanca o europea.



## 3. División política

## Países de América del Sur

PAÍS	SUPERFICIE (En km <sup>2</sup> )	POBLACIÓN	CAPITAL	IDIOMA	MONEDA
ARGENTINA	3 761 274	40 117 096	Ciudad Autónoma de Buenos Aires	Español	Peso
BOLIVIA	1 098 581	8 814 000	Sucre y La Paz	Español	Boliviano
BRASIL	8 511 965	180 368 000	Brasilia	Portugués	Real
COLOMBIA	1 141 748	45 378 000	Bogotá	Español	Peso
CHILE	736 902	16 173 000	Santiago	Español	Peso
ECUADOR	275 830	13 482 000	Quito	Español	Dólar
GUYANA	214 970	850 000	Georgetown	Inglés	Dólar guayanés
PARAGUAY	406 752	6 279 000	Asunción	Español	Guaraní
PERÚ	1 285 216	27 300 000	Lima	Español	Sol
SURINAM	163 265	400 000	Paramaribo	Neerlandés	Florín de Surinam
URUGUAY	176 215	3 428 000	Montevideo	Español	Peso
VENEZUELA	916 445	26 235 000	Caracas	Español	Bolívar

CAPÍTULO



# CONSOLIDACIÓN DE INFORMES TÉCNICOS ELABORADOS POR LOS PAÍSES



República Argentina



Estado Plurinacional de Bolivia



República de Chile



República de Paraguay



República del Perú



República Bolivariana de Venezuela



# República Argentina





# ÍNDICE

## MAPA DE RIESGO POR INUNDACIONES · CUENCA DEL SALADO

<b>1</b>	<b>/</b>	<b>Justificación de la elección</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>/</b>	<b>Descripción de la cuenca</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>/</b>	<b>Evento histórico</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>/</b>	<b>Impactos</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>/</b>	<b>Explicación de los parámetros del mapa</b>	<b>25</b>
		<b>5.1. Amenaza</b>	<b>27</b>
		<b>5.2. Vulnerabilidad</b>	<b>28</b>
		<b>5.3. Riesgo</b>	<b>30</b>



# Mapa de Riesgo por Inundaciones Cuenca del Salado

## 1. Justificación de la elección

Teniendo en cuenta que la cuenca del Salado ha provocado la inundación del año 2003, que afectó a un núcleo poblacional y económico-productivo muy importante del país, resulta apropiado trabajar sobre esta cuenca para el análisis de mapas de riesgos. El evento fue registrado como uno de los de mayor magnitud por las pérdidas y el alto grado de afectación.

## 2. Descripción de la cuenca

La cuenca del Salado se localiza en el noreste del país. Abarca desde su nacimiento hasta su desembocadura las siguientes provincias de Argentina: Salta, Santiago del Estero, Córdoba y Santa Fe. La cuenca desemboca en el río Paraná, que junto con el sistema del río Uruguay, conforman la cuenca del Plata, la más importante del país y una de las más destacadas en América del Sur.

Desde la Puna donde nace, en el departamento de Joaquín V. González, hasta su desembocadura en el sistema fluvial del Paraná, en la provincia de Santa Fe, el río Salado recorre aproximadamente 1 500 km. La cuenca abarca aproximadamente 90 000 km<sup>2</sup>.

El río realiza un recorrido en sentido noroeste-sudoeste, en el cual se distinguen tres tramos: superior, medio e inferior. El tramo superior de la cuenca abarca desde la naciente en el Tunal (Joaquín V. González), hasta la provincia de Santiago del Estero. En ese tramo, el río presenta características de un río de montaña y piedemonte. El tramo medio de la cuenca comienza cuando el río ingresa a la provincia de Santiago del Estero, adquiriendo a partir de allí, características de un río de llanura. Aquí también adquiere el nombre de Salado, ya que en su tramo anterior se lo denomina Juramento. Finalmente, el tramo inferior de la cuenca comienza cuando el río ingresa a la provincia de Santa Fe (a la altura de la ciudad de Tostado) hasta su desembocadura en el río Coronda. En el tramo inferior, el Salado recibe aportes de distintas subcuencas, entre las que destacan Saladillo, Las Conchas, Palos Negros-La Cabral, San Antonio, CuluLú, Vizcacheras, Pantanoso y Arizmendi.

Entre las localidades más importantes que se encuentran en la cuenca destacan Santiago del Estero, Santa Fe y Santo Tomé.

El régimen del río es pluvial, depende exclusivamente de las lluvias y de la variedad estacional que estas presenten. En un período estable, el caudal medio del río, en la ruta Provincial N° 70, es de 150 m<sup>3</sup>/s.



### 3. Evento histórico

Durante el año 2002 y comienzos de 2003 se produjeron lluvias localizadas que provocaron el desborde de cursos de agua y el ascenso de napas. En abril de ese año las precipitaciones alcanzaron niveles de 152 mm para el cordón oeste, provocando que en Santo Tomé el río alcanzara los 5,01 m, señalando un crecimiento de 13 cm respecto al día anterior. El día 28 de abril, el agua ingresó en la planta urbana de Recreo y en la ciudad de Santa Fe. El río Salado aumentó su nivel en 24 horas y marcó una diferencia de más de 1 m respecto al año anterior. Creció así hasta alcanzar una velocidad de 2,50 m/s (cuando la media normal es de 0,60 m/s).

En el caso de la ciudad de Santa Fe, si bien la misma contaba con una defensa contra inundaciones, esta no estaba concluida. El tercer tramo de la defensa, en el sector oeste de la ciudad, no se había finalizado para abril de 2003 y eso permitió el ingreso del agua que fue ocupando su valle de inundación al ingresar por el sector del hipódromo.

El 30 de abril el caudal alcanzó el pico de crecida, que llegó a los 7,88 m. Al día siguiente, el río comenzó a descender y el agua retrocedió gracias a que se realizaron brechas en el sistema de defensas para permitir el escurrimiento.

### 4. Impactos

Entre los principales impactos que la crecida generó se cuentan: en la localidad de El Recreo, el anegamiento alcanzó los 0,70 m provocando la evacuación de 11 000 personas sobre un total de 13 000 habitantes.

En el caso de Santa Fe, el resultado fue que más del 75% de la población de la ciudad resultó afectada, según un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas.

Las pérdidas económicas de la superficie productiva oscilaron entre 50 y 100%, de acuerdo con la localidad que se considere. Llegó a sancionarse una legislación de emergencia agropecuaria para numerosos departamentos. A modo de ejemplo, según señaló la Federación Agraria Argentina, alrededor de 1 500 000 ha sembradas con soja se encontraban bajo el agua, se vio comprometida el 70% de la zafra de la oleaginosa, así como también resultaron afectadas unas 3,5 millones de cabezas bovinas, estimándose pérdidas por el orden de los 160 000 000 de dólares.

Respecto de los evacuados, las cantidades varían, pero llegaron a funcionar aproximadamente 117 centros de evacuados.

### 5. Explicación de los parámetros del mapa

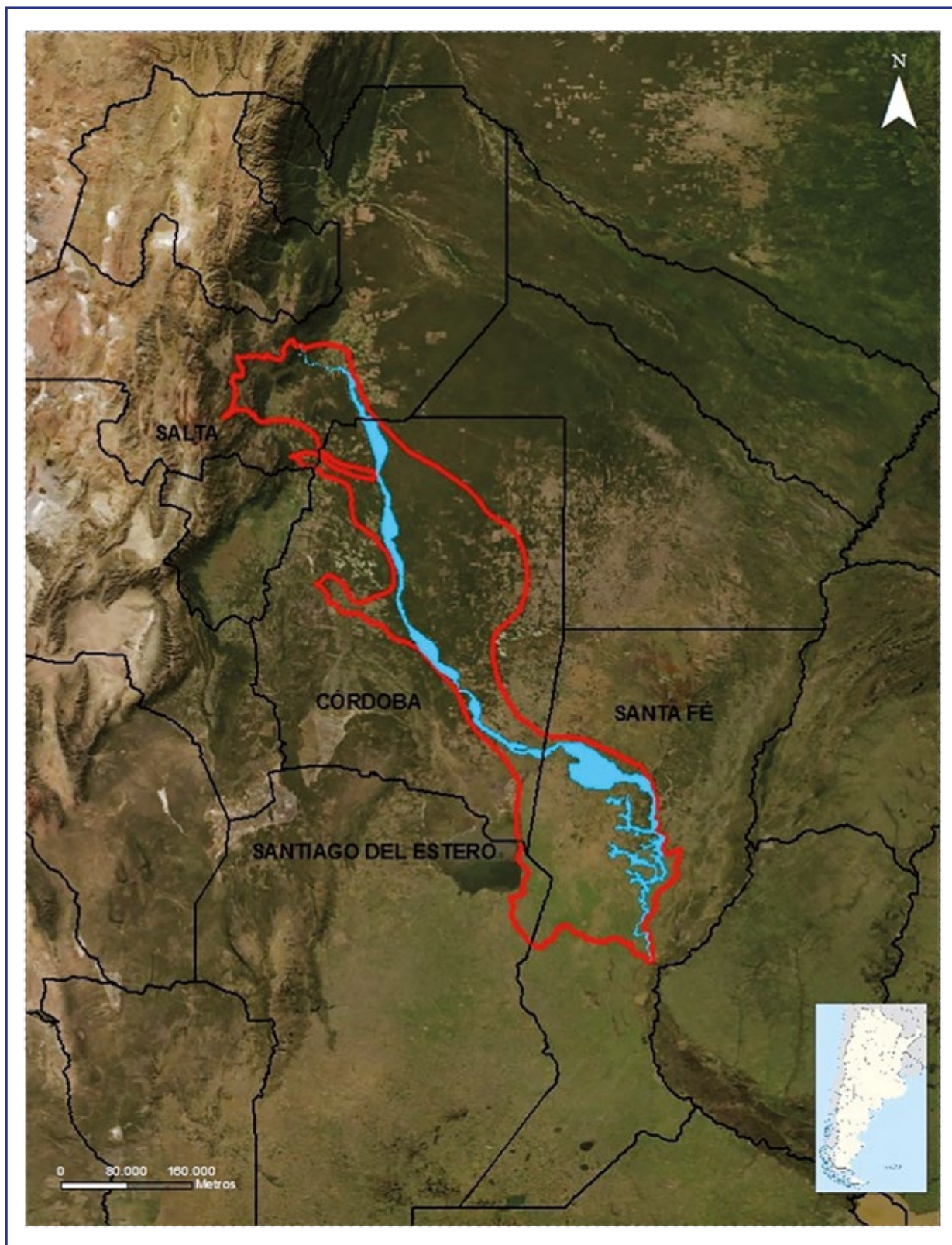
De acuerdo con lo trabajado en el Taller de elaboración del Atlas de Mapas de Riesgos de Desastres Naturales en Sudamérica:

Para el análisis con base en la disponibilidad de datos, se ha trabajado a escala de radio censal y con la información disponible en organismos o fuentes confiables, lo que no siempre ha permitido obtener la información en escala 1:5 000 o 1:25 000.

Para determinar el valor de ponderación de cada una de las dimensiones, así como para establecer el valor de cada categoría dentro de las variables, se ha utilizado el Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty descrito en el Manual para la Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales.



Mapa 1  
Área que ocupa la cuenca







## 5.1. Amenaza

Para el análisis de las amenazas se tomaron las dimensiones que se detallan en la matriz. Para trabajar la cuestión de las amenazas, como la cuenca tiene tres tramos bien diferenciados, con características particulares, estas fueron consideradas al momento de analizar y ponderar las dimensiones de la peligrosidad. En este sentido, teniendo en cuenta los episodios de inundación que históricamente ha sufrido la cuenca y las características que las inundaciones tienen en cada provincia, se consideraron diferentes ponderaciones para cada tramo. Así, en el tramo superior de la cuenca (en la provincia de Salta) la ponderación de las dimensiones otorga mayor peso a las precipitaciones; en el tramo medio de la cuenca (en la provincia de Santiago del Estero), la dimensión más importante para determinar la peligrosidad es la pendiente, mientras que en el sector inferior de la cuenca el parámetro con más preponderancia vuelve a ser el de precipitaciones; por tal razón, se construyeron categorías para cada dimensión.

**Pendiente:** en el caso de la pendiente, tomando como base la información del Modelo Digital de Elevación, se construyeron tres categorías:

Tabla 1

Descriptor	Inclinación del terreno	Nivel de peligrosidad
Pendiente	Entre 0 y 10°	Alto
	Más de 10° y hasta 20°	Medio
	Más de 20°	Bajo

**Tipo de suelos y geomorfología:** para analizar el tipo de suelos y la geomorfología se recurrió a la base de datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Al reunir estas dimensiones se determinó el grado de anegabilidad de los suelos.

Tabla 2

Descriptor	Anegabilidad	Nivel de peligrosidad
Categorías de anegabilidad	Anegable	Alto
	Probable	Medio
	Improbable	Bajo

**Precipitaciones:** con base en la información aportada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de registro de precipitaciones medias anuales para el área de la cuenca, se construyeron las siguientes categorías

Tabla 3

Descriptor	Precipitación media en mm	Nivel de peligrosidad
Nivel de precipitaciones	1,103	Alto
	1,055	
	1,01	
	0,915	Medio
	0,865	
	0,820	
	0,775	Bajo
	0,725	
	0,675	

## 5.2. Vulnerabilidad

Para el análisis de la vulnerabilidad se tomaron las dimensiones propuestas en la matriz. De acuerdo con los estudios y realidad de la población de la cuenca, se otorgó mayor valor de ponderación a la dimensión de Necesidades Básicas Insatisfechas debido a su importancia como indicador de la situación de la población.

Por ello, se construyeron categorías para cada dimensión:

**Densidad poblacional:** teniendo en cuenta la información del Censo 2010, aportada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDECI) se ha realizado una categorización con base en el número de habitantes por km<sup>2</sup> que se encuentra en cada radio censal. Vale la pena aclarar que la categorización se adaptó a las características de la cuenca:

**Nivel educativo:** teniendo en cuenta la información del Censo 2010, aportada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDECI), se ha realizado una categorización con base en la proporción de población que no ha finalizado sus estudios. Tomando esa proporción se construyeron cuatro categorías en las cuales los máximos y mínimos han sido tomados en referencia a las características poblacionales de la cuenca en cuestión. Las categorías construidas reflejan los siguientes valores:

Tabla 4

Descriptor	Proporción respecto de la población del radio censal en cuestión	Nivel de vulnerabilidad
Población que no culminó sus estudios	Más de 75%	Muy alto
	Más de 50 y menos de 75%	Alto
	Más de 25 y hasta 50%	Medio
	Menos de 25%	Bajo

**Edad de la población:** teniendo en cuenta la información del Censo 2010, aportada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDECI) se ha realizado una categorización con base en la tasa de dependencia infantil de cada radio censal. Teniendo en cuenta que la población menor de 5 años es especialmente vulnerable a los desastres y emergencias, resulta un buen indicador para esta dimensión. Se han construido así cuatro categorías:



Tabla 5

Descriptor	Proporción de niños menores de 5 años	Nivel de vulnerabilidad
Taza de dependencia infantil	Más de 30%	Muy alto
	Más de 20 y menos de 30%	Alto
	Más de 10 y hasta 20%	Medio
	Hasta el 10%	Bajo

**Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI):** teniendo en cuenta la información del Censo 2010, aportada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDECI) se ha realizado una categorización con base en la proporción de población con Necesidades Básicas Insatisfechas de cada radio censal. Teniendo en cuenta que este indicador refleja en general el perfil socioeconómico de la población, se le ha otorgado un peso mayor en el proceso de ponderación de las dimensiones.

Se han construido así cuatro categorías tomando como valores de referencia los máximos y mínimos de la cuenca:

Tabla 6

Descriptor	Proporción respecto de la población del radio censal en cuestión	Nivel de vulnerabilidad
Proporción de Población con Necesidades Básicas Insatisfechas	Más de 20%	Muy alto
	Más de 10 y menos de 20%	Alto
	Más de 5 y hasta 10%	Medio
	Hasta 5%	Bajo

**Uso del suelo:** para la caracterización del uso del suelo no se contó con la información catastral necesaria. Sin embargo, se utilizó la clasificación que realiza el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que establece la proporción de suelo destinado a actividades de tipo agrícola. Con base en ello se construyó una topología de cuatro categorías:

Tabla 7

Descriptor	Proporción respecto del departamento en cuestión	Nivel de vulnerabilidad
Proporción de suelo destinado a uso agrícola	Hasta 10%	Muy alto
	Más de 10 y menos de 20%	Alto
	Más de 20 hasta 30%	Medio
	Más de 30%	Bajo

**Tipo de vivienda:** teniendo en cuenta el tipo de viviendas que se encuentran en el radio censal, se tomó como mejor indicador de la dimensión, la proporción de viviendas que presentan la categoría denominada CALMAT IV, que se refiere a los materiales menos adecuados utilizados en la construcción. Este indicador refleja la calidad constructiva de la vivienda. Se han construido cuatro categorías al considerar la situación de la cuenca:

Tabla 8

Descriptor	Proporción respecto del radio censal en cuestión	Nivel de vulnerabilidad
Proporción de viviendas con CALMAT IV	Más del 30%	Muy alto
	Más de 20 hasta 30%	Alto
	Más de 10 hasta 20%	Medio
	Hasta 10%	Bajo

### 5.3. Riesgo

Para establecer el nivel de riesgo se tomaron los niveles de peligrosidad y de vulnerabilidad, otorgando el mismo peso a ambas dimensiones. Allí donde hay amenaza y vulnerabilidad en forma simultánea existe riesgo. De esta manera, se ha otorgado a ambas dimensiones el mismo valor de ponderación dentro del cálculo final, quedando establecidas las siguientes categorías:

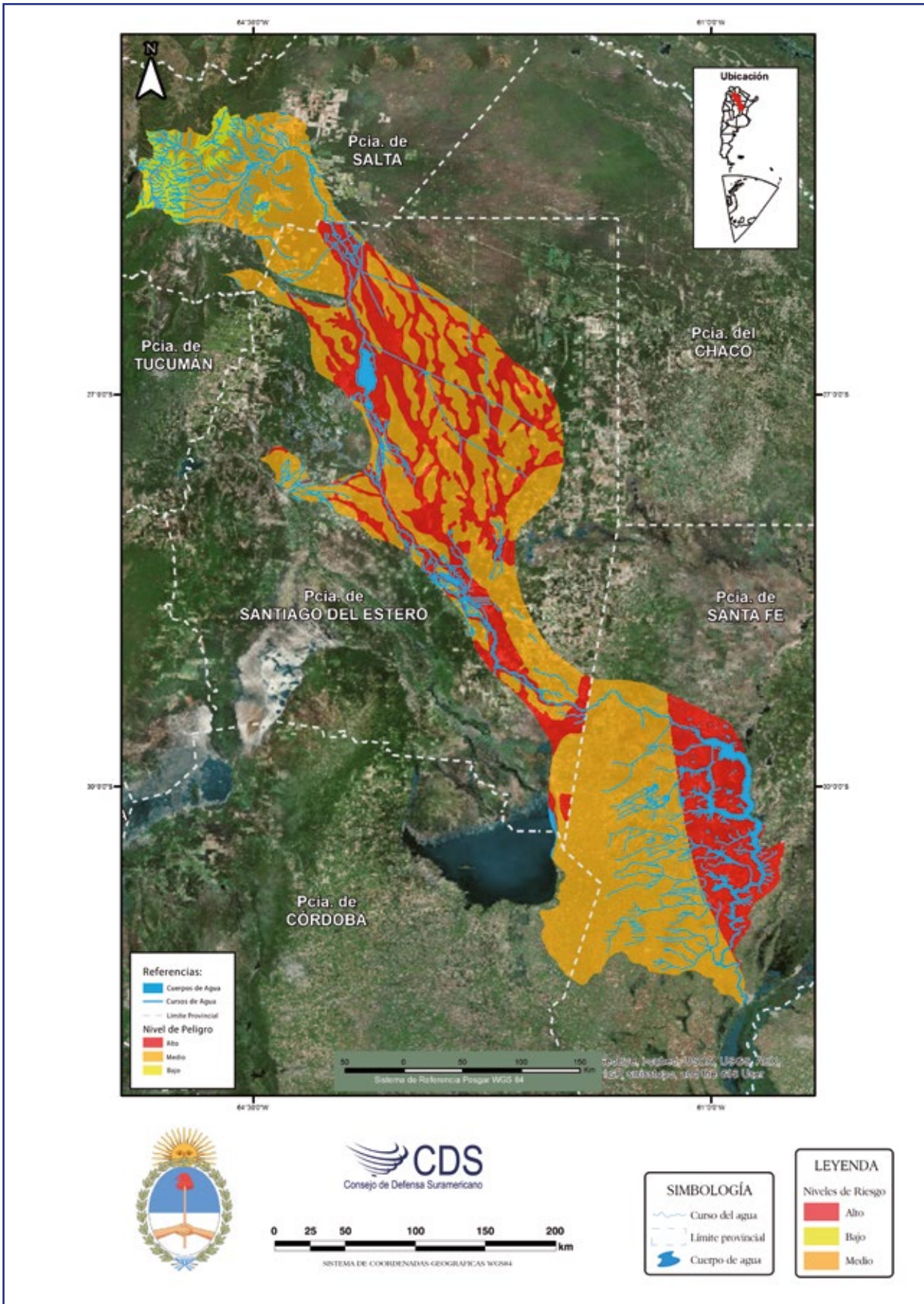
Tabla 9

Categoría	Nivel de riesgo
Más de 0,036	Alto
Más de 0,014 hasta 0,036	Medio
Hasta 0,014	Bajo



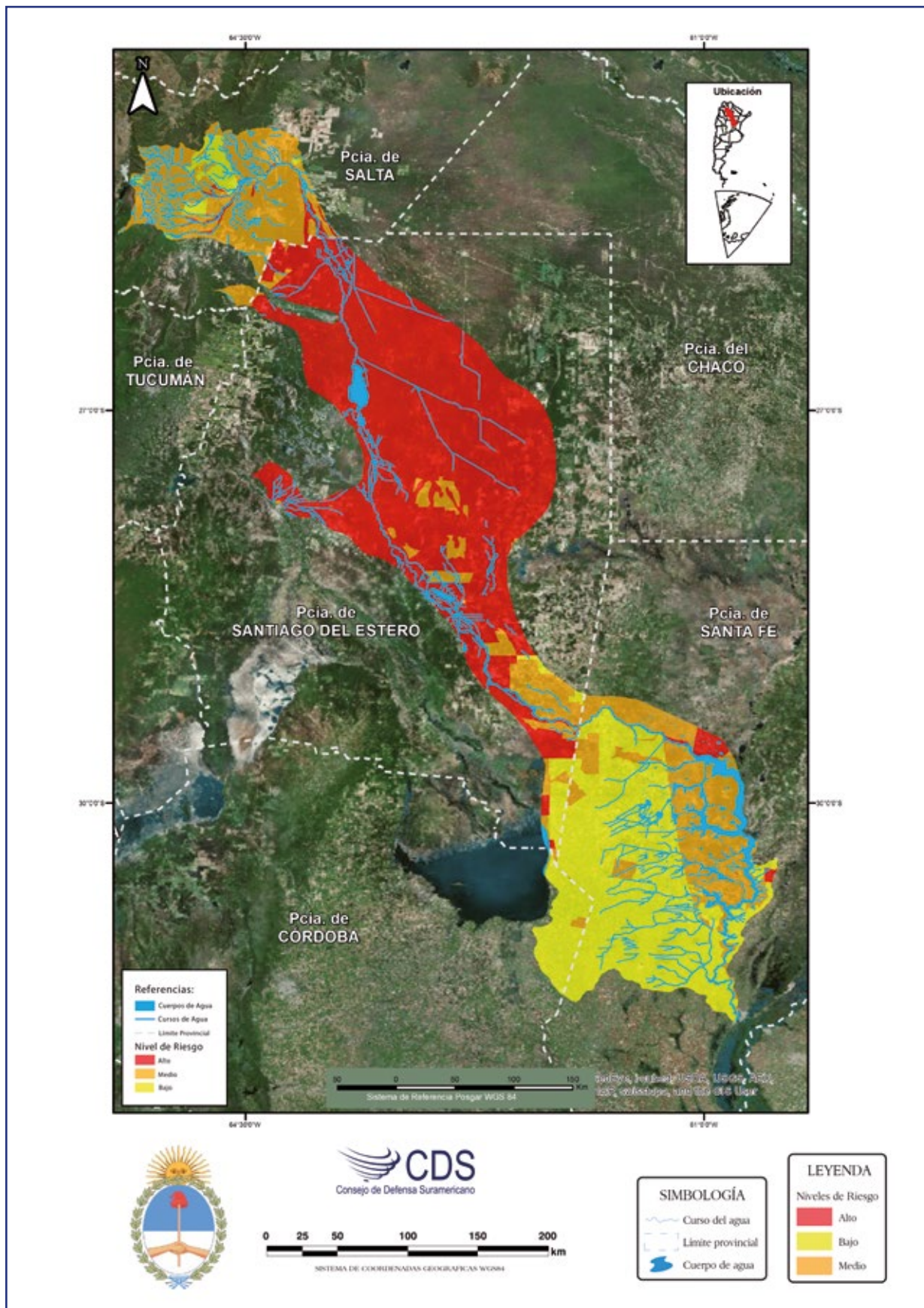


Mapa 2  
Cuenca del río Salado • Mapa de Peligro





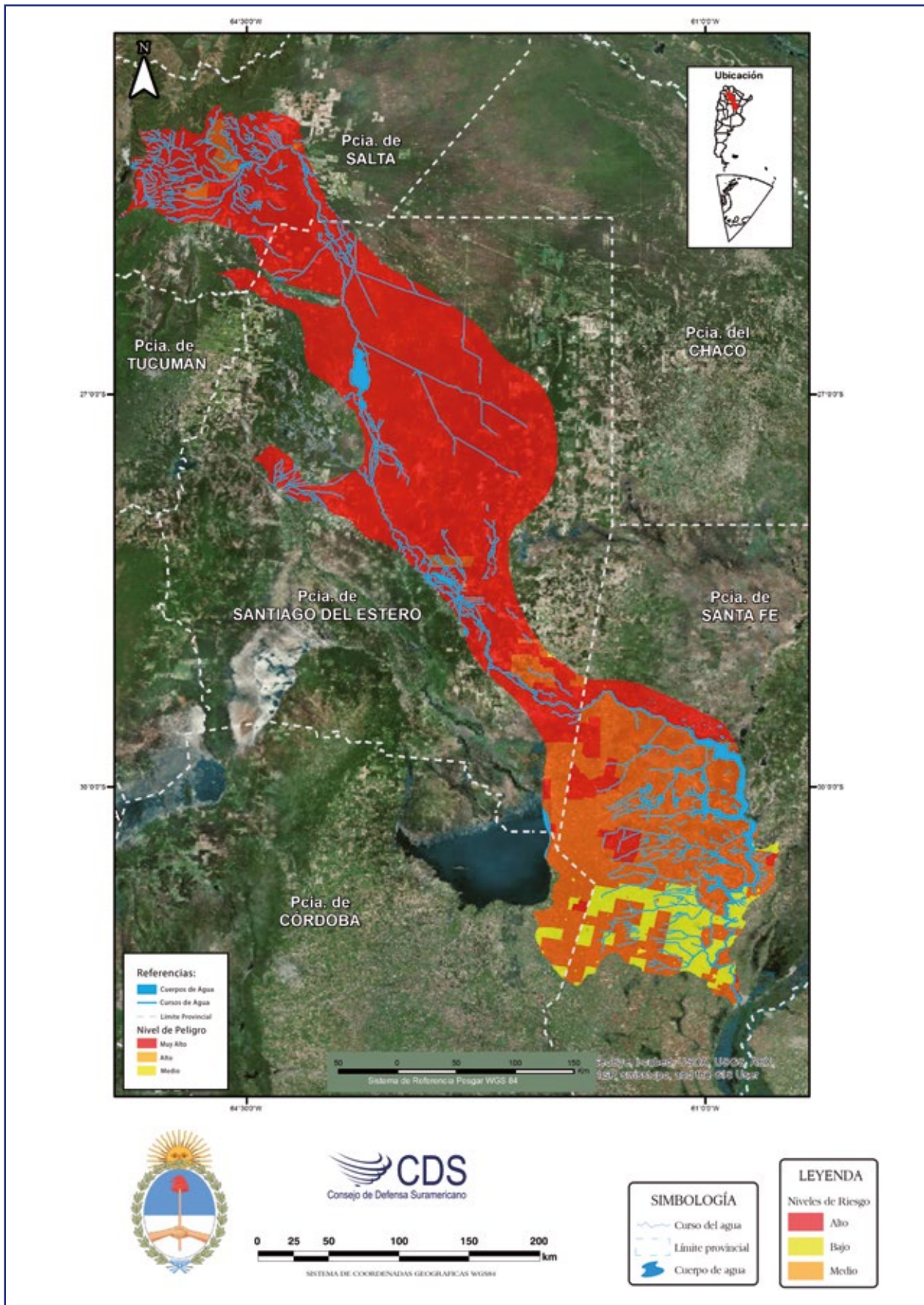
Mapa 3  
Cuenca del río Salado • Mapa de Riesgo







Mapa 4  
Cuenca del río Salado • Mapa de Vulnerabilidad





# Estado Plurinacional de Bolivia





# ÍNDICE

## RIESGOS DE LOS DISTRITOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE LA PAZ

Resumen	36
Antecedentes	36
<b>1</b> / Introducción	37
<b>2</b> / El municipio de La Paz	37
<b>3</b> / Descripción biofísica del área urbana	38
<b>4</b> / Conceptos fundamentales	39
<b>5</b> / Características generales del valle de La Paz	41
5.1. Geología del valle de La Paz	41
5.2. Geomorfología del valle de La Paz	62
5.3. Características geotécnicas del valle de La Paz	66
5.4. Tectónica en el valle de La Paz	70
<b>6</b> / Mapa de amenazas	70
6.1. Análisis de la información	71
6.2. Ponderación de las amenazas geodinámicas del valle de La Paz	74
6.3. Generación del mapa de amenazas del valle de La Paz	76
<b>7</b> / Mapa de vulnerabilidades	78
7.1. Marco metodológico	78
7.2. Referencia geográfica y escala de trabajo	79
7.3. Fuente de la información	79
7.4. Preparación de la información	79
7.5. Herramientas de análisis y bases de información	79
7.6. Procesamiento de la información	80
7.7. Análisis de resultados	94
<b>8</b> / Mapa de riesgos	97
8.1. Características principales del riesgo	97
8.2. Metodología	98
8.3. Descripción de los grados del riesgo	100
8.4. Análisis de resultados	103
<b>9</b> / Referencias bibliográficas	116



# Riesgos de los distritos urbanos del municipio de La Paz

## Memoria explicativa

### Resumen

Dentro de una conceptualización moderna del Riesgo y bajo un enfoque holístico, en el que no solo se consideren criterios técnicos fríos, sino además sociales, económicos y ambientales, se ha desarrollado un Modelo de Evaluación del Riesgo para el Municipio de La Paz.

La creación de este modelo contempló en una primera etapa la elaboración de dos productos base, que son el Mapa de Amenazas y el Mapa de Vulnerabilidad; estos productos que tienen una amplia utilidad por sí solos fueron la base para la determinación del producto final.

De manera general, el modelo diseñado estuvo fundamentado en las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica; específicamente, fue construido con una herramienta (Evaluación Espacial Multicriterio) que permite trabajar con un número amplio de variables, las cuales pueden ser evaluadas de forma paralela para la resolución del problema planteado, que en nuestro caso correspondía a la espacialización de un Índice de Riesgo, este índice permitió reflejar la condición del conjunto de variables utilizadas para luego de un proceso de reagrupación, mostrar de forma cualitativa un nivel de riesgo. Una evaluación conjunta de estos productos y la utilización de herramientas y técnicas modernas permitieron el análisis de datos para descubrir estructuras espaciales, asociaciones y relaciones entre ellos, además de poder modelar fenómenos geográficos.

### Antecedentes

En el año 1977 se contrataron los servicios de las consultoras francesas BRGM y BCEOM para la elaboración del Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de La Paz. Como parte de este estudio, las mencionadas consultoras elaboraron un documento denominado "Riesgos naturales encontrados en la cuenca de La Paz y alrededores".

En el año 1987 el Proyecto de Fortalecimiento Municipal (PFM) elaboró el primer mapa de riesgos de la ciudad; los estudios realizados presentan, por primera vez, datos estadísticos de los riesgos de la ciudad.

El Estudio de Constructibilidad y Plan de Desarrollo Urbano de 1978, junto con el Reglamento de Uso de Suelo y Patrones de Asentamiento (USPA) correspondiente, fueron los primeros en incorporar medidas para controlar y ordenar la ocupación de las zonas de las laderas. En ellos se señala que toda pendiente mayor a 45° debe ser área de uso forestal, limitando por ende el uso residencial a una pequeña parte del territorio.

A este hecho se suma la división de la metrópoli (1989) en dos ciudades: La Paz y El Alto. Esta división político-administrativa no permitió dar continuidad a la planificación conjunta del espacio, cuyos primeros intentos se habían dado en las décadas de los años 40' y 50', pero en las que no se realizó una intensiva inversión.



En el año 1999 El IIPAM elaboró un documento denominado "Riesgos geológicos en el área urbana de La Paz", el cual contiene un plano a escala 1:25 000 en el cual se identifican las zonas de riesgo.

A raíz de la torrencial granizada del día 19 de febrero de 2002, que causó grandes inundaciones, pérdida de infraestructura urbana y vidas humanas, el Gobierno Municipal de La Paz (GMLP) procedió a la creación del programa Prevención de Riesgos, Atención de Emergencias y Reconstrucción del Municipio. Con base en recursos propios y un financiamiento del PNUD, esta institución encomendó la elaboración del primer mapa de riesgos de la ciudad, el cual fue denominado "Mapa de Riesgos Socioeconómico de la Ciudad de La Paz - 2004".

## 1. Introducción

En el proceso de crecimiento del municipio de La Paz se han presentado diferentes tipos de desastres, sobre estos eventos, si bien se hicieron diferentes estudios para tratar de determinar su origen, causas y comportamiento, pocos fueron los análisis del sistema afectado, el cual está compuesto por la población y sus bienes.

La ciudad de La Paz está situada, en parte, sobre una cadena de laderas; es así que en su proceso de crecimiento tuvo y tiene hoy en día, que adaptarse a las características fisiográficas de la zona, mismas que hacen de su desarrollo un caso particular. Elevadas pendientes, temperaturas muy variables y condiciones socioeconómicas diversas son elementos que, sumados al hecho de ser sede de Gobierno, han inferido en su crecimiento espacial, social, económico y cultural.

De manera paralela a su crecimiento y desarrollo, la posibilidad de que eventos adversos puedan afectar a la población también se tuvo que incrementar, ya que producto de la interrelación de factores físicos con la actividad de la población, año tras año se suceden eventos desastrosos de diferente magnitud.

El crecimiento de la ciudad, especialmente en las laderas de La Paz, no solo significa un proceso de expansión, implica además un proceso de densificación de estos asentamientos; esto, sumado a un incremento de estructuras fuera de norma, talleres y comercios construidos sin el criterio técnico adecuado, incrementa el riesgo en estas áreas.

## 2. El municipio de La Paz

### Localización

Geográficamente, el municipio de La Paz se ubica a 16° 29' de latitud sur respecto a la línea del Ecuador, y 68° 08' de longitud oeste, al extremo norte de la Meseta Altiplánica, en el valle que forma la cuenca del río Choqueyapu, a una altura promedio de 3 640 metros sobre el nivel del mar. La sección capital de la provincia Murillo, del departamento de La Paz, limita al norte con el municipio de Guanay, al noreste con el municipio de Caranavi, al este con los municipios de Coroico y Yanacachi, al sureste con el municipio de Palca, al sur con los municipios de Mecapaca y Achocalla, en tanto que al suroeste limita con el municipio de El Alto y al oeste con el municipio de Pucarani.

El área de estudio para el presente trabajo está delimitada por siete de los nueve macrodistritos existentes en el municipio de La Paz, los cuales son considerados como urbanos y están descritos en la siguiente ilustración:



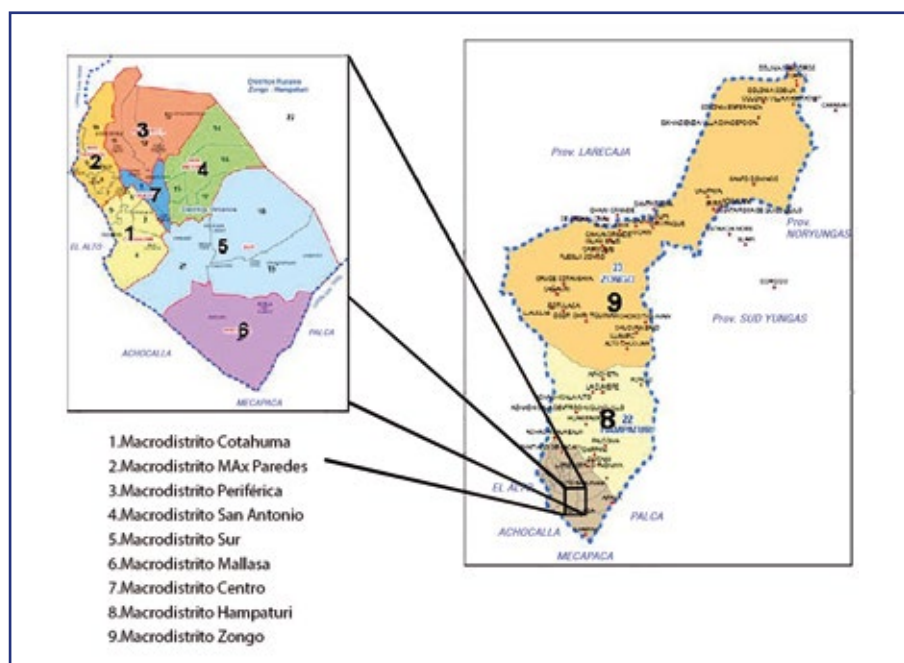


Figura 1.

División política del municipio de La Paz.

Extraído de: Plan de Desarrollo Municipal 2006.

### 3. Descripción biofísica del área urbana

#### Clima

La conformación de la Cordillera Real que se localiza al norte, forma una barrera climática que en la estación de lluvias sirve de freno a las corrientes húmedas que provienen de la cuenca amazónica. El clima de la ciudad está, obviamente, condicionado por el clima del municipio y como en este, las precipitaciones en el área urbana son en promedio de 500 mm/año, también concentradas entre diciembre y marzo, marcando el clima húmedo de verano y el seco de invierno.

Los contrastes entre el día y la noche son muy fuertes, con una diferencia anual promedio diaria de 14° y con temperaturas de 0 °C en la noche en la época fría del año. La temperatura promedio es de 10,4 °C y el gradiente térmico medio es de 0,64 °C c/100 metros.

La humedad promedio es de 64,7% en la época de lluvias y de 48% en la época seca de invierno. Los vientos en verano son en dirección este a oeste, en invierno predominan los de dirección sudoeste a este. El promedio de exposición solar es de 240 horas/mes en 200 días por año. (Datos del documento de Revisión y Actualización del Plan Maestro de Drenaje para el Área Urbana de La Paz, Nippon Koei co, Ld, PCA, La Paz, 2006)

#### Topografía

El 35% de la mancha urbana está constituido por los terrenos de alta pendiente, que sobrepasan el 50% de inclinación del terreno, con problemas de inestabilidad potencial, dificultades para la dotación de servicios básicos y consiguientemente altos costos de urbanización. Se ubican en las proximidades de la ceja de El Alto, Alto Chijini, Villa Nuevo Potosí,





Tacagua, Andrés de Santa Cruz, más al sur las pendientes son accidentadas, como en el valle del río Achumani, Aranjuez, Alpacoma, La Florida y río Abajo, en la actualidad están siendo incorporadas al tejido urbano.

El 28% lo constituyen terrenos de pendiente media, que van del 10 al 49%, ubicadas en zonas intermedias de unión entre las terrazas y las pendientes abruptas, y se relacionan con los abanicos torrenciales actualmente urbanizados en Villa Fátima, Los Andes, Tembladerani, Sopocachi; también, las planicies de Llojeta y Pampajasi.

El restante 37% de terrenos son las pendientes suaves de hasta 10%, que se ubican en el centro de la cuenca, en las terrazas de las gravas Miraflores, en Achachicala al norte hasta Seguencoma al sur, en los valles de Chuquiaguillo e Irpavi, en fajas más o menos elevadas, en Obrajes a partir Irpavi y Achumani, expuestas a inundaciones.

Las quebradas son el resultado de la erosión hídrica y podemos distinguir entre quebradas aisladas más o menos profundas, alargadas según la línea de mayor pendiente; se ubican sobre las laderas de los valles de Achachicala-Kaluyo, Chuquiaguillo y Kallapa, encajonadas en las terrazas de las gravas de Miraflores como en Pampahasi, Llojeta, Achocalla-Mallasa, entre otros. Las quebradas desarrolladas con ramificaciones hacia los lados y hacia arriba, toman un aspecto dendrítico como se observa en los valles de los ríos Achachicala y Chuquiaguillo.

#### 4. Conceptos fundamentales

“La unificación de la terminología se hace importante al momento de coaligar esfuerzos en la reducción de desastres”. (Mora, 2007. CLAS, A.C.)

##### Amenaza

Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. (UNISDR, 2009)

##### Análisis de vulnerabilidad

Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. (Lavell, A. et al. *La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*). Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. (CEPRENAC, PNUD, 2003)

##### Análisis multicriterio

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones. (Barredo, 1996)

##### Elemento en riesgo

Comprende a la población, propiedades, actividades económicas, servicios públicos. (Van Westen - ITC, 2005)

## Evaluación Espacial Multicriterio (SMCE) - Ilwis

Siguiendo el marco definido por Sharifi & Rodriguez (2002), vemos la planeación y el proceso de toma de decisiones como una actividad interactiva y recursiva, que va a través de etapas analizando el entendimiento de un problema o una oportunidad (inteligencia), encontrando o desarrollando soluciones alternativas (diseño de soluciones) para llegar a la solución óptima. La etapa de la inteligencia está destinada a construir un concepto o un modelo (cualitativo o cuantitativo) del proceso, donde primeramente describe este fenómeno tratando de entender la situación actual y conduce los objetivos que guían los pasos a seguir.

La SMCE es una herramienta del software Ilwis que puede ser categorizada como un método heurístico del modo más transparente. Su implementación ayuda a los usuarios a aplicar la evaluación multicriterio y su análisis espacial. (CCI, 2001)

Las prioridades se establecen en la jerarquización de objetivos diferenciando la importancia de los distintos criterios. Finalmente, una función de agregación es aplicada como una sumatoria de pesos, la cual agrega todos los puntajes estandarizados a un puntaje total para cada alternativa. Las diferencias de puntaje permiten jerarquizar las alternativas estableciendo así una jerarquía de objetivos y criterios, funciones de definición de valores. La priorización de objetivos y criterios es altamente subjetiva. (Boerboom - Sharifi, s.f.)

## Normalización o estandarización

Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar problemas de cálculo originados en el uso de diferentes escalas y/o unidades utilizadas en la matriz de decisión. La normalización no siempre es necesaria, pero sí es esencial en la mayoría de los métodos compensatorios. El propósito de la normalización es el de obtener escalas comparables, lo que permite realizar comparaciones intra-atributos. En consecuencia, los puntajes normalizados no tienen unidades de dimensión y, para el caso de atributos de beneficios, cuanto mayor sea el puntaje normalizado, mayor es la preferencia del mismo. (Flament, 1999)

## Proceso Analítico Jerárquico

Desarrollado por Thomas Saaty en 1980, este proceso consiste esencialmente en formalizar nuestra comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica. El propósito de AHP es permitir que el decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, dándole la forma de una jerarquía de atributos, la cual contendría mínimamente tres niveles: el propósito u objetivo global del problema, ubicado en la parte superior, los varios criterios que definen las alternativas en el medio y las alternativas concurrentes en la parte inferior del diagrama. En la medida que los criterios sean muy abstractos, tal como bienestar humano, o capacidad, por ejemplo, pueden incluirse subcriterios más operativos en forma secuencial entre el nivel de los criterios y el de las alternativas, lo que da origen entonces a una jerarquía multinivel.

## Riesgo

La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento adverso y sus consecuencias negativas. (UNISDR, 2009)



### Territorio urbano

La unión de estos conceptos tiene varias definiciones; sin embargo, tomando el concepto básico de Territorio, que indica que es el "medio geográfico ocupado, apropiado y controlado por diferentes agentes y grupos sociales" (Vargas, Galindo, 2004), se entenderá Territorio Urbano como el medio en el cual se desarrolla un Sistema Urbano.

### Vulnerabilidad

Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza (UNISDR, 2009).

### Vulnerabilidad socioeconómica

Para propósitos socio-económicos más generales y análisis de nivel macro, la vulnerabilidad es un concepto definido menos estrictamente. Incorpora consideraciones del valor intrínseco de los elementos involucrados y su valor funcional al bienestar de la comunidad en general y la respuesta en la emergencia y la recuperación post desastre en particular. En muchos casos, es necesario (y suficiente) conformarse con una clasificación cualitativa en términos de "alta", "media" y "baja" o explicitar declaraciones concernientes a la disrupción dispuesta a ser sufrida. (Barrenechea, Gentile, Natenzon, 2002)

## 5. Características generales del valle de La Paz

### 5.1 Geología del valle de La Paz

Con los antecedentes expuestos podemos resumir que la evolución geológica del valle de La Paz se inicia sobre una paleogeografía constituida por sedimentos paleozoicos y paleógenos plegados y fallados, tales como las formaciones Belén y Sica Sica asignadas al Devónico y la formación Luribay asignada al Paleógeno; sobre esta paleogeografía rugosa y áspera se han depositado facies de abanicos proximales y distales de la formación Huacallani sintectónicas a la deformación de esta región; una serie de cuerpos ígneos de pequeñas dimensiones, muy alterados, constituyen los cuerpos subvolcánicos de la Muela del Diablo, estas dos últimas unidades corresponden al Neógeno, según Bles *et al.* (1978), estas litologías corresponden a las formaciones del zócalo del valle de La Paz.

Un nuevo solevantamiento de la cordillera provocará que la paleogeografía plegada, rugosa y áspera, sometida a erosión, cambie su régimen a una cuenca de relleno que inicia con sedimentos de facies distales fluviolacustres someras y facies proximales de abanicos aluviales que irán colmatando este valle, esta sedimentación neógena ocurrirá durante el Plioceno inferior, donde la toba "Cota-Cota" ha dado una edad K/Ar de  $5,5 \pm 0,1$  a  $5,8 \pm 0,2$  Ma, y la toba Chijini dio  $2,8 \pm 0,1$  Ma Lavenu *et al.* (1989), indicando una edad Plioceno Superior.

Sobre la toba Chijini, que es un estrato guía que aflora en casi todo el valle de La Paz, las facies de la formación La Paz son continuas en las laderas de la Autopista, Cotahuma, San Simón, Pulpituni y Villa Salomé, en otros sectores sobre la mencionada toba se hallan en discordancia erosiva los depósitos glaciales de la formación Calvario, sobre esta última discordantemente ya sea directamente sobre la formación La Paz o sobre la formación Calvario se han depositado las facies fluviales a lacustres de la formación Purapurani.

Al tope de la formación Purapurani, en el sector del valle Kaluyo, existe una toba  $2,8 \pm 0,1$  Lavenu *et al.* (1989), que marca el límite superior y sobre esta se han depositado los sedimentos glaciares de la formación Kaluyo; más al sur, en el sector del cerro Condorini, en el valle del río Orkojahuirá por el sector de Chuquiaguillo, esta toba marca el límite entre facies fluviales y fluvioglaciares, asignadas a las mismas formaciones. En las laderas de los valles de Kaluyo, Chuquiaguillo e Irpavi, al norte de La Paz, los depósitos glaciares son espesos y es en el sector de Patapatani, en el extremo noroeste del valle de La Paz, donde se han desarrollado las morrenas de la formación Milluni, ya sobre el altiplano y en el sector de la Autopista próximo al Alto de Munaypata, afloran las facies de flujos de barro de esta formación.

El relleno final de la cuenca del valle de La Paz lo constituyen las denominadas Gravas del Altiplano, que corresponden a facies fluvioglaciares intercaladas con facies de abanicos aluviales y en las facies distales desarrollan depósitos fluviales, que marcan la colmatación total del valle de La Paz; en paisaje constituyen las terrazas más antiguas a nivel del altiplano en el Alto de Lima, Ceja, Ciudad Satélite, Huaripampa y las altiplanicies del Alto de Ovejuyo y Huaripampa.

Según Bles *et al.* (1978), estas litologías descritas desde la formación La Paz, Calvario, Purapurani, Kaluyo, Milluni y Gravas del Altiplano corresponden a las formaciones del Altiplano.

La erosión retrógrada del río Beni cortó la Cordillera Oriental y se dio la captura fluvial de una parte del drenaje endorreico del altiplano, que dio origen al desarrollo del valle del río La Paz, ahora este punto se halla en la confluencia de los ríos Luribay y La Paz, siendo este el punto más bajo con 2 000 msnm. La profundización del valle alcanzó los 2 400 metros de desnivel en comparación con la Ceja del Altiplano en las alturas de Patapatani; asimismo, la altura del cañadón de Aranjuez es de 3 200 msnm y el desnivel, comparado con la altura de referencia anteriormente citada, es de 1 200 metros.

El desarrollo del valle de La Paz, según Bles *et al.* (1978), considera cuatro épocas de erosión, siendo la primera época de erosión caracterizada por los primeros indicios de procesos de remoción en masa manifestados como flujos de barro, generalmente gravosos, tales como Jukumarini, Laikakhota, Pampahasi y Kayu, este último registrado en el valle de Achocalla.

A la segunda etapa de erosión corresponden los depósitos desarrollados sobre los principales drenajes mayores del valle de La Paz, que ya estaban individualizados para esa época; estos son los ríos Choqueyapu, Orkojahuirá e Irpavi.

En este lapso de sedimentación las gravas de la terraza Villa Salomé y sus remanentes aguas arriba, probablemente son correlacionables o representan las facies fluviales de la glaciación Choqueyapu I, este evento glacial es reconocido por el desarrollo de valles glaciales en el valle de Kaluyo, Chuquiaguillo y Hampaturi; en este último, aguas arriba del Jacha Khora, presenta morrenas terminales, mientras que en los otros valles se observan depósitos de morrenas laterales, valles facetados y valles colgantes.

En el valle de Kaluyo, sector de Limanipata, se presentan dos grandes deslizamientos que albergan lagunas, este deslizamiento embalsó la parte del río Kaluyo que dio origen a un lago temporal y sus sedimentos son asignados a los depósitos lacustres de Limanipata. Esta época es importante, ya que en este lapso se produjo la formación de los depósitos aluviales que dieron lugar a la terraza Miraflores, de amplia distribución en la zona homónima, villas Copacabana, San Antonio, Villa Armonía, Alto Obrajés, Alto Seguencoma, zona central y Achachicala.

Una serie de morrenas laterales y de fondo se observan sobre las laderas del valle de Kaluyo; Achachicala e Irpavi corresponden a la glaciación Choqueyapu II.

Como consecuencia del retroceso de la glaciación se formó el torrente de barro de Peña Azul, estos depósitos masivos heterogéneos se los observa en el valle del río Irpavi, a unos 30 a 100 m sobre el nivel de la terraza actual.





Otros depósitos de terraza asignados a esta época son las de Alto Achumani, Huayllani y Kellumani.

Finaliza esta segunda época de erosión con grandes flujos de barro en los sectores de Sopocachi, Chijini, Cementerio, Pura Pura, Villa San Antonio, Alto Obrajes, Bella Vista, Chinchaya-Ciudad del Niño y Cerro Aruntaya (Ciudadela Stronguista).

La tercera época de erosión está caracterizada por grandes deslizamientos, entre los más notables tenemos el de Achocalla, de Alpacoma, Llojeta, Tembladerani, Huancani (Cóndores Lakota), Ovejuyo y sincrónicamente se han desarrollado algunas terrazas como las del Barrio Gráfico, Obrajes, Kellumani y Bosque de Bologna.

La cuarta época de erosión se caracteriza por los flujos de barro reciente, tales como el de Cota Cota, Ovejuyo, Apaña, y grandes deslizamientos como el de Villa Armonía, Santa Bárbara, Las Dalías, El Pedregal, Codavisa, Auquisamaña, Obispo Bosque, San Martín, Alpacoma, Lomas de Sur en Achumani y el más reciente, que es un reactivamiento del deslizamiento de Pampahasi bajo Central y Callapa,

Existen además pequeños deslizamientos a nivel de predios y manzanos aledaños a todos los movimientos en masa citados.

También en esta etapa se consideran los abanicos aluviales, coluvios, terrazas recientes y lechos aluviales.

Al concluir este resumen iniciamos la descripción de cada una de las unidades que conforman el valle de La Paz.

## Formaciones del zócalo

### Formación Belén

Las rocas que componen la formación Belén (Fricke *et al.*, 1964), están constituidas por litologías pelíticas oscuras con estratificación laminar y con nódulos de pirita autígena, muy cizalladas y falladas afloran en la serranía



Foto 1

Formación Belén cubierta en discordancia por sedimentos de la formación Huallaconi, en La Rinconada.



Foto 2  
Formación Sica  
Sica, sobrepuesta  
tectónicamente sobre  
sedimentos de la  
formación Luribay, en el  
Gramadal.

de Aranjuez con relación de falla sobre las rocas paleógenas y neógenas y cubiertos discordantemente por diversos sedimentos del Plio-Pleistoceno y Holoceno. Estas rocas son asignadas al Devónico inferior por la fauna fosilizada que contiene, principalmente trilobites, como *Phacops orurensis*, que pertenecen a la era Paleozoica sistema Devónico.

### Formación Sica Sica

Rocas plegadas y falladas con rumbos de N45W y buzamientos de 55 al norte afloran en contactos pseudoconcordantes con las pelitas de la formación Belén, en la serranía de Aranjuez; de color gris verdoso con estratificación laminar gruesa, constituye una alternancia de limolitas y areniscas finas, se hallan falladas y corridas sobre las rocas de la secuencia paleógena que aflora en el sector, la potencia de estas rocas se incrementa hacia el sureste.

Estas rocas corresponden a la secuencia devónica de la cordillera oriental y el paso es transicional desde la formación Belén (Kosłowski, 1923), se ha observado la presencia de algunos fósiles como Tentaculites y algunos braquiópodos; sin embargo, no se pudieron identificar los especímenes.

### Formación Luribay

Un gran hiatus erosivo separa al sistema Paleozoico del sistema Cenozoico, Son típicos de la serranía de Aranjuez estratos subverticales con rumbo N45W, constituidos por conglomerados polimícticos conformados por clastos sedimentarios de areniscas y pelitas con contacto puntual de líticas en una matriz arenosa de color rojo violáceo a marrón naranja; estas capas alcanzan un espesor de hasta 4 m, alternan con estratos de areniscas soldadas de grano fino a medio y limolitas friables; presentan muchas estrías de falla con desplazamientos horizontales tipo capa en capa, se hallan sobrepuestas por fallamiento por rocas paleozoicas, estas rocas son correlacionables con la



formación Coniri del altiplano; en la garganta de Aranjuez alcanzan unos 500 m de espesor. Por relaciones estratigráficas y de correlación radiométrica, son sedimentos del sistema Paleógeno.

Hasta la década del 80 del siglo pasado se denominó formación Aranjuez, estudios posteriores de geología regional, de correlación estratigráfica y paleontológica permitieron correlacionarla con la formación Luribay, que es más completa y tiene buenos límites estratigráficos con las formaciones paleógenas inferiores y neógenas superiores; por tal motivo, en los mapas geológicos 1:100 000 publicados por el Servicio de Geología y Minería (SERGEOMIN), se denominaron a estas con su actual nombre que sigue vigente.

### **Formación Huacallani (Huacallaconi)**

Sobre la serranía de Aranjuez y en zonas aledañas al Pedregal, Muela del Diablo, se han depositado sedimentos gruesos, medianos y finos, correspondientes a abanicos aluviales y flujos de barro heterogéneos y masivos que rellenan pequeñas cuencas aisladas de dirección noroeste a sureste. En su cuenca principal, donde se halla la comunidad de Huacallani, se observan facies de abanicos aluviales que gradan a areniscas y limolitas, sedimentos sueltos de color rojo rosáceo a beige y gris ceniza. Estos sedimentos se han depositado en una cuenca transpresiva que se interpreta por las discordancias progresivas que sellan varias fallas inversas.

La formación Huacallani, descrita en la localidad homónima y redenominada en este trabajo (Huallaconi de Bles *et al.*, 1978; Huacallaconi de GEOBOL, 1960), alcanza espesores de unos 80 m en sus partes distales. Es del sistema Cenozoico y pertenece a la era Neógena.

### **Subvolcánico Muela del Diablo**

La actividad magmática durante el Neógeno se encuentra manifestada por el cuerpo subvolcánico de la Muela del Diablo (GEOBOL, 1960), corresponde a una apófisis ígnea alterada, en los alrededores afloran otras pequeñas manifestaciones de igual composición, son rocas de grano fino, con textura porfirítica, cristales de horblenda totalmente oxidados y cristales de plagioclasas sericitizados con algo de carbonato, son asignadas al Neógeno debido a que afectan



Foto 3

Formación Luribay, sobrepuesta tectónicamente por sedimentos de la formación Belén, en la serranía de Vilaque.





Foto 4

Formación Luribay, toma próxima a la Muela del Diablo facies fluviales en areniscas y conglomerados, con fallas inversas.



Foto 5

Formación Huacallani, facies de abanicos aluviales, capas inclinadas hacia el sudeste, ingreso a la población de Huacallani.



Foto 6

Subvolcánico Muela del Diablo, extruyendo a través de sedimentos paleozoicos y neógenos, en el sitio homónimo.



a rocas paleozoicas, cenozoicas y se atribuye a una actividad ígnea durante el Mioceno Superior. Dado el marco geodinámico y su relación con la placa en subducción, estas rocas corresponden a andesitas shoshoníticas por su alto contenido de Ti mayor al 1%.

## Formaciones del altiplano

### Formación La Paz

El relleno del valle de La Paz inicia con el desarrollo de una amplia cuenca fluviolacustre, con el desarrollo de facies finas en su depocentro con variaciones laterales en su régimen sedimentario, la secuencia más completa y espesa se la puede ubicar en el valle de Tejada Alpacoma con más de 500 m de secuencia sedimentaria, que en su base desarrolla un conglomerado netamente fluvial constituido por líticos ígneos de granitos de hasta 1 m de diámetro, que se hallan en discordancia angular sobre rocas del Devónico Sica Sica, en otros sectores se observa que se hallan en discordancia angular sobre la antigua paleogeografía y sobre distintas rocas plegadas de diferentes sistemas.

Los sedimentos de la formación La Paz están constituidos por capas de limos y arcillas con presencia esporádica de yesos, arenas y gravas fluviales, niveles de lignitos, turbas y paleosuelos, desde la base hasta el tope alternan varios niveles de tobas.

En los sectores intermedios de la cuenca de sedimentación se presentan capas de gravas y arenas rojizas, cerca de su base en Cota Cota la toba homónima interestratificada en capas de la formación La Paz (Gregory, 1913), ha dado una edad K/Ar de  $5,5 \pm 0,1$  a  $5,8 \pm 0,2$  Ma y en el sector del río Minasa la toba Chijini dio una edad K/Ar de  $2,8 \pm 0,1$  Ma Lavenu *et al.* (1989).

La Paz se interdigita con las capas fluviolacustres finas, más hacia la fuente de aporte las facies proximales gravosas se hacen más espesas y constituyen los sedimentos predominantes en detrimento total de las capas finas.

Es característico en esta secuencia el desarrollo de discordancias progresivas, estableciendo que la cuenca, durante esta época, era muy subsidente debido a una deformación sinsedimentaria.

El ambiente de sedimentación corresponde a un lago somero, con aluviones de ríos que alcanzan el depocentro con algunas islas de gramíneas y alta evaporación con precipitación de yesos y desarrollo de turbas y grietas de desecación.

La toba Chijini se acuña al noreste y desaparece en Villa Salome, mientras que al sur es visible en el valle de Ayma y en las cercanías del ingreso a Sapahaqui, en la ceja del altiplano. Esta es una toba de caída probablemente relacionada con una gran erupción ubicada al occidente de la cuenca.

### Formación Calvario

La formación glacial Calvario (Dobrovlny, 1962) corresponde a un till de color gris ceniza en la base y amarillento-rosáceo en el tope. Es una mezcla heterogénea de clastos y bloques que pueden medir hasta 1 m de diámetro de granitos angulares y limolitas azules. La matriz está constituida por limos arcillosos y arenas.

Según Bles *et al.* (1977), la parte superior de este till presenta pasajes a gravas fluviales o fluvioglaciares de algunos metros de espesor.

En el valle de La Paz sus afloramientos están en el sector de Alto Tejar, por la avenida Segundo Vascones, en Munaypata, Quebrada Pantisirca; de este sitio es continuo hasta la quebrada Capellani, Matadero, Guitarrani y Minasa, desapareciendo hacia el sur y este del valle de La Paz.





Foto 7

Capas subhorizontales de facies fluvio-lacustres de la formación la Paz, zona de Ovejuyo, sector Huancané.



Foto 8

Depósitos del primer evento glacial Calvario, zona Alto Tejar, quebrada Coa Coa.

### Formación Purapurani

Discordantemente sobre distintos niveles de la formación La Paz y la formación Calvario, facies de sedimentos fluviales se desarrollan, característico en la localidad tipo zona de Pura Pura. Estos sedimentos presentan clastos de granito bien redondeados, en ese sitio es discordante sobre las formaciones La Paz y Calvario formando canales; más al sur, en la ladera oeste hacia el tope, presenta gravas alternadas con niveles finos limoarcillosos a arenosos.

En la ladera este son gravas gruesas con clastos subangulares constituidos principalmente por líticos sedimentarios con poco granito, en la quebrada Peske Punku, en la zona de Chuquiaguillo, aflora una toba de hasta unos 6 m de espesor.





Hacia el tope presenta un nivel de alteración bien visible en la quebraba Utapulpera que, según Ballivian *et al.*, corresponde al desarrollo del nivel de erosión N° 3 que explica la desaparición de la formación Purapurani hacia el norte del valle de La Paz.

En su tope se halla la toba Kaluyo, descrita por Ahlfeld (1958) que, según Lavenu (1989), dio una edad K/Ar de  $2,8 \pm 0.1$  Ma, esta situación permite aseverar que el episodio glacial Calvario y el fluvial Purapurani se han depositado en un lapso muy corto, probablemente en unas centenas de miles de años.

Su tope, en el valle de Kairani de la cuenca del río Irpavi, presenta un depósito lacustre con el desarrollo de un importante paleosuelo y en la quebrada Ventanani, en la cuenca Orkojahuirá (en Chuquiaguillo), un pequeño afloramiento de la toba Kaluyo.

La formación Purapurani (Dobrovolny, 1962), en su mayor espesor, alcanza unos 80 m.

### Formación Kaluyo

Sobre la toba Kaluyo, en el valle homónimo, se han depositado sedimentos glaciales con bloques de granitos, limolitas, areniscas. Es típico observar en las laderas de los valles desarrollados sobre estos sedimentos, en los ríos Choqueyapu, Orkojahuirá e Irpavi sobre la cota 4 100 msnm, la presencia de grandes bloques de granito de más de 1 m de diámetro, característicos de esta glaciación.

Hacia el sur existe un cambio de facies que, según Servant *et al.* (1989), se interpreta como las facies fluvio-glaciales de este evento y se caracterizan por flujos de gravas masivas sin textura ni estructuras sedimentarias, con líticos principalmente subredondeados.

En la ladera oeste, a la altura del peaje de la autopista, se observa el nivel 4 de erosión de Servant *et al.* (1989), que pone en contacto la erosión a las gravas del altiplano sobre la formación Kaluyo (Servant, 1977), que en este sector son gravas fluvio-glaciales.

En el valle de Kaluyo se observa este nivel de erosión donde sobrepone a la glaciación Milluni (Dobrovolny, 1962) sobre la glaciación Kaluyo.



Foto 9

Depósitos aluviales gravosos de la formación Purapurani, zona oeste, curva de la autopista, cerca del alto de Munaypata.



Foto 10

Afloramiento de la toba Kaluyo, en el valle homónimo; encima de ella, depósitos glaciales de la glaciación Kaluyo.

### Formación Milluni

Sobre el altiplano boliviano, entre las cotas de 4 100 a 4 200, se han desarrollado espesos y extensos depósitos glaciares que corresponden a la glaciación Milluni (Dobrovoly, 1962), es característico de estos sedimentos el campo de morrenas desarrollado desde el Alto de Lima a la mina homónima, con alturas de hasta 150 m; es típico en estos depósitos de la tercera glaciación la presencia de grandes cantos erráticos de hasta 3 m de diámetro sobre las laderas de estas morrenas, hacia el sur estas cambian a depósitos fluvio-glaciares y aluviales que constituyen las Gravas del Altiplano.

### Gravas del Altiplano

Sobre el nivel 4 de erosión, a la altura del peaje de la autopista La Paz-El Alto, se observa un horizonte de color gris que separa a los sedimentos de flujos de barro de la formación Kaluyo de las denominadas Gravas del Altiplano. (Bles *et al.*, 1977)

Estos depósitos proximales son fluvio-glaciares, los depósitos intermedios gradan a flujos de barro y los distales corresponden a depósitos aluviales; asimismo, son discordantes sobre distintos depósitos, a la altura del peaje están sobre los depósitos de flujos de barro de la formación Kaluyo, en las antenas de Ciudad Satélite se han depositado sobre la formación Purapurani y más al sur, sobre el valle de Achocalla, descansan directamente sobre la formación La Paz. En su espesor máximo alcanzan los 20 m en las cabeceras de Llojeta. Son gravas mal seleccionadas con clastos predominantemente sedimentarios de areniscas, con contacto puntual entre clastos en una matriz arenolimososa.

Todas estas formaciones, desde la formación La Paz hasta las Gravas del Altiplano, constituyen el relleno del altiplano y a la vez constituyen la terraza más antigua del valle de La Paz. En los siguientes acápite describiremos las unidades litológicas producto de la conformación del valle de La Paz, según varios niveles de erosión identificados.



## Depósitos y deslizamientos de las cuencas

### PRIMERA ÉPOCA DE EROSIÓN

#### *Flujos de barro tipo Pampahasi*

Según Bles *et al.* (1977), debido a la erosión retrocedente del río Beni que corta la Cordillera Oriental, como actualmente se observa a la altura de la confluencia de los ríos Luribay y La Paz, este evento desgarró al altiplano y se produce el desarrollo de la cuenca de La Paz, este proceso fue desarrollando paisajes inestables y producto de la búsqueda de su equilibrio se produjeron grandes deslizamientos que se reconocen en las laderas que conforman el valle de La Paz.

Los depósitos asociados a los primeros flujos de barro son principalmente gravosos, con improntas de texturas y fábricas fluviales y lacustres deformadas, indicando que han sido transportadas por flujos turbulentos; engloban también, a veces, grandes bloques de ceniza volcánica de la cinerita Chijini, estos deslizamientos han removilizado sedimentos de la formación La Paz, formación Milluni y Gravas del Altiplano. En la literatura geológica escrita para el valle de La Paz estos deslizamientos son conocidos como Kayu, Jukumarini, Laikakhota y Pampahasi.

El flujo de barro de Jukumarini está en discordancia sobre las formaciones La Paz y Purapurani, sus escarpes se sitúan en la ladera oeste y se hallan mejor expuestos en la zona homónima, se extienden al sur hasta las serranías que separan Llojeta de Alpacoma. Ha removilizado a las formaciones Purapurani, Kaluyo gravosa, Gravas del Altiplano y partes de la formación La Paz, el máximo espesor es de unos 50 m medido sobre la avenida Buenos Aires, sector del río Melchuco; su color es marrón claro. El flujo de barro de Laikakhota está expuesto desde el sector de la caja de agua, próximo al cementerio de la Llamita, y discurre hacia el sur por Villa Pabón y el cerro Killi Killi, continuando en el cerro Laikakhota; ha removilizado sedimentos de las formaciones La Paz, Chijini, Calvario y Purapurani. Su color es beige a gris claro.

El flujo de barro de Pampahasi inicia en la serranía cuchilla de Chuquiaguillo y su flujo conforma una meseta inclinada hacia el sur, conocida como Pampahasi, más al sur aflora en las serranías de Kupini, en ambos márgenes de la subcuenca y zona homónima, y llegan hasta la zona de Bella Vista y San Alberto. Su espesor máximo es de unos



Foto 11

Afloramiento de las gravas fluvioglaciales de Kaluyo, a la altura del peaje de la autopista. La capa gris es el tope y constituye el nivel de erosión 4. Las gravas encima de este nivel son las Gravas del Altiplano.

Foto 12

Vista de Google earth de las morrenas de la glaciación Milluni, en primer plano la morrena de Milluni con su valle glacial al medio y sus lagunas en rosario.







Foto 13

Vista de la ceja del Alto en Rosaspampa, el contacto discordante de las Gravas del Altiplano sobre la formación La Paz.

40 m en Pampahasi, cerca de Kupini, su color varía de gris marrón a gris claro. En Pampahasi bajo central, en el escarpe del actual deslizamiento, este flujo de barro gravoso sella un antiguo deslizamiento rotacional que ha movilizado bloques de más de 100 m de diámetro de la formación La Paz, estas masas deslizadas presentan una capa de cinerita Chijini con un buzamiento de unos 70°, además de capas de arenas, gravas, limos y arcillas; estas capas se hallaban a unos 500 m más al norte y unos 150 m por encima de su posición actual.

Cuando se produjo el deslizamiento de Pampahasi bajo central y Callapa, en el escarpe de más de 80 m se observaron dos niveles de aguas subterráneas, uno a 30 m debajo de la ceja de Pampahasi, presumiblemente en el contacto con los bloques rotados que son un deslizamiento antiguo, y otro a unos 20 m por debajo del anterior, en el contacto entre los bloques deslizados con la formación La Paz *in situ*.

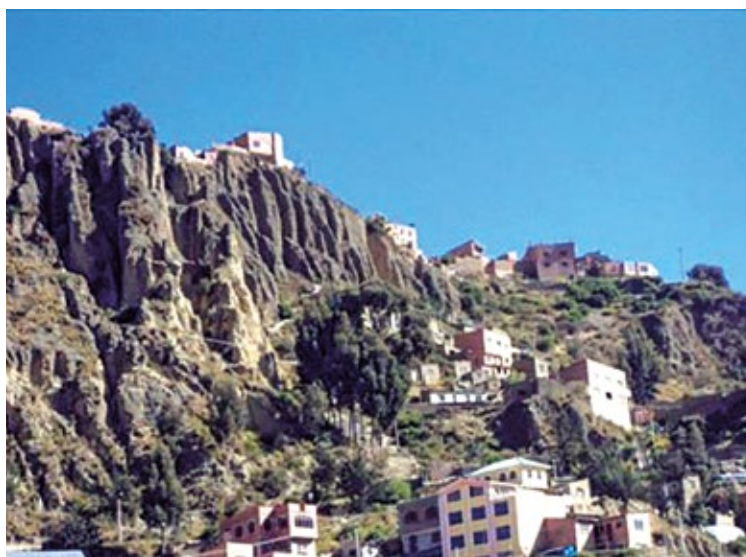


Foto 14

Vista del escarpe de deslizamiento de Metropolitana, las capas gris marrón son las gravas Pampahasi y las capas de color beige infrayacentes son sedimentos deslizados. En la ceja de Pampahasi, el barrio de Cervecería.



## SEGUNDA ÉPOCA DE EROSIÓN

Según Bles *et al.* (1977), durante esta época los valles de los ríos Choqueyapu, Orkojahuirá e Irpavi ya estaban individualizados.

### **Glaciación Choqueyapu**

En esta etapa se identifica la cuarta glaciación denominada Choqueyapu I (Troll *et al.*, 1935), que ingresa por estos valles hasta la cota de 3 800, bien visibles en las zonas de Ciudadela Ferroviaria, Chuquiaguillo y Hampaturi, donde se observan bloques de granitos y limolitas azules en una matriz limo arenosa de color gris ceniza y marrón claro; son típicas las morrenas laterales y solamente en Hampaturi se observan las morrenas terminales.

### **Terraza Villa Salome**

Depósitos fluvio-glaciares a fluviales contemporáneos a la glaciación Choqueyapu, lo constituyen los niveles de terrazas altas de Villa Salome (Terraza Irpavi de Dobrovlny, 1962). Constituida por gravas de color marrón grisáceo, heterogéneas, con líticas sedimentarios y matriz arenosa.

Afloran a una cota de 3 800 msnm formando unas terrazas suavemente inclinadas hacia el río Irpavi, que se halla a unos 200 m por debajo de este nivel.

### **Deslizamiento de Limanipata**

Según Bles *et al.* (1977), en el valle del río Kaluyo, en la zona denominada "7 Lagunas", se observa un paisaje de hummocky, resultado de dos deslizamientos rotacionales en ambas laderas, en la margen derecha del río Choqueyapu se tienen siete lagunas alineadas, esta masa deslizada es de 2,6 km de ancho por 0,9 km de largo y el otro deslizamiento a la izquierda del río mencionado existen cuatro lagunas permanentes no alineadas. La dimensión de este deslizamiento es de 1,6 km de ancho por 1 km de largo. Las dimensiones cortas corresponden a la dirección de flujo de oeste a este en el primero y de este a oeste en el segundo.

Estos deslizamientos constituyen depósitos heterogéneos mezclados de lentes de gravas, arcillas, arenas y limos, todos deformados y de un color gris blanquecino a beige; en promedio, el escarpe oriental es de más de 100 m de rechazo vertical, mientras que el escarpe occidental presenta un escarpe con un rechazo de hasta 70 m.

### **Lacustre Limanipata**

Producto del deslizamiento de Limanipata se produjo un endicamiento del río Choqueyapu formándose un lago (Bles *et al.*, 1977), el cual presenta en la actualidad depósitos lacustres arcillosos de unos 4 m de espesor, este lago probablemente tuvo una corta duración, hasta que la erosión la desaguó hacia el valle de La Paz.

### **Terraza Miraflores**

Depósitos aluviales que se hallan a unos 30 o 40 m sobre el nivel de los ríos actuales son las terrazas de Alto Seguencoma, Alto Obrajes, Miraflores, San Jorge, Villa San Antonio, Villa Copacabana, Villa Fátima y Alto Achumani, denominadas como la Terraza Miraflores por Dobrovlny en 1962.

Son gravas con bloques de granito de hasta 3 m de diámetro, en promedio, bloques de hasta medio metro de areniscas y granitos son frecuentes en una matriz arenosa, con contenido aurífero; en Miraflores y San Jorge se observa un flujo de barro arcilloso de unos 3 m de espesor, interestratificado en esta secuencia.



Foto 15

Vista de las morrenas terminales de la glaciación Choqueyapu I, cabeceras del río Irpavi próximo a la comunidad Lorokhota.

Sus texturas y fábricas son típicamente aluviales y corresponden a flujos entrelazados que en una época rellenaron el valle de La Paz

Estos sedimentos constituyen un buen acuífero, ya que en el contacto con la formación La Paz afloran muchos manantiales en diversas zonas del valle de La Paz.

### **Glaciación Choqueyapu II**

Un nuevo episodio glacial (Bles *et al.*, 1977) se manifestó en el valle de La Paz, observable en el valle de Kaluyo, ya que sobre las laderas de este valle y sobre el antiguo paisaje glacial se han desarrollado pequeñas formas glaciales consistentes en morrenas laterales y de fondo, de pequeñas dimensiones.

### **Flujos de barro de la Segunda Etapa de Erosión**

Una extensa etapa de inestabilidad probablemente afectó al valle de La Paz (Bles *et al.*, 1977), una serie de procesos de flujos de barro han equilibrado parcialmente las pendientes de las laderas manifiesta en todo el valle, siendo los más extensos los de la ladera oeste en Sopocachi y zona del Cementerio, consistente en gravas y arenas y limos removilizados, de color gris marrón a gris; en la ladera este se los observa en la avenida Periférica, villa Copacabana, villa San Antonio, Alto Obrajes y Cóndores Lakota.

Los arranques han tenido lugar en la ceja del altiplano para los de la ladera oeste, y para los de la ladera este la serranía Cuchilla y los altos de Ovejuyo son discordantes sobre las terrazas de Miraflores.



Foto 16

Vista de la corona de deslizamiento de Limanipata, en la ceja de Huaripampa y el paisaje de hummocky desarrollado en el sector de 7 Lagunas.



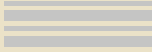


Foto 17

En el valle de Kaluyo el río homónimo ha cortado los sedimentos finos del episodio lacustre de Limanipata, como consecuencia del represamiento sufrido por el deslizamiento de Limanipata.



Foto 18

Vista de la terraza Miraflores en el valle del río Orkhojahuira, 10 m por debajo de la zona de Miraflores se observa la capa arcillosa de un flujo de barro interestratificado.



Foto 19

Vista del valle de Kaluyo, en el centro de la foto se observan ondulaciones producidas por el evento glacial Choqueyapu II.



Foto 20

Vista de los flujos de barro en la zona oeste, en la prolongación Illampu.

### **Torrente de barro Peña Azul**

En el valle del río Irpavi, desde la parte baja de Hampaturi, comunidad de Lorokhota, a la altura de la quebrada Jacha Khora, se individualiza un torrente de barro encauzado al valle del río Irpavi; este ha conformado una meseta suavemente inclinada hacia el sur, su extensión es de más de 9 km y su ancho probablemente fue de 0,8 a 2,0 km, se halla a unos 40 a 50 m sobre el nivel del río Irpavi, fue confundida con la terraza Miraflores, pero corresponde a un flujo de detritos masivo constituido por bloques de 3 a 4 m de diámetro de limolitas gris azuladas con líticos angulares de areniscas, limolitas y granitos, algunos estriados sostenidos en una matriz gris azulada a gris beige.

Los comunarios originarios de Alto Irpavi denominaron al sector superior de esta meseta como sector Peña Azul, porque en la superficie de la misma se observan grandes peñas de limolitas de color azul, estos bloques de limolitas no tienen muy buena resistencia a la tracción y como se observa en la cabecera de los valles, esos bloques apenas se los observa hasta unos 3 km del lugar de origen; entonces, la única explicación para que se hallen tan lejos de la fuente de origen es que estos hayan sido transportados en suspensión en un flujo turbulento masivo, que ha permitido preservarlos.

### **TERCERA ÉPOCA DE EROSIÓN**

Este periodo de evolución del valle de La Paz, según Bles *et al.* (1977), está caracterizado por los grandes deslizamientos de Achocalla, Llojeta, Cerro Aruntaya (Ciudadela Stronguista) y Huancani (Cóndores Lakota) y partes altas del río Wila Khota, cubren en discordancia la terraza Miraflores y a la formación La Paz.

Estos flujos son predominantemente una mezcla de limos y arcillas mezclados con lentes disturbados de gravas y arenas, como se observa en el torrente de barro de Achocalla, en el sector de Mallasa; son típicos los bloques de cinerita en superficie y, en el valle de la Luna, conforman un paisaje lunar por la erosión pluvial con las típicas formas de rocas monigote con bloques de cinerita el tope.

Este flujo, desde su zona de arranque en la ceja del Altiplano hasta su final más abajo de Avircato, tiene una extensión de casi 22 km y en Aranjuez alcanza su máximo espesor de unos 50 m.



Foto 21

Vista del torrente de barro de Peña Azul, en las cabeceras de la quebrada Koani.





Foto 22

Vista de la meseta de Alto Irpavi producto de un torrente de barro, cuando las lagunas glaciales.

El deslizamiento de Llojeta tiene una longitud de casi 4,6 km, arranca en la ceja de Ciudad Satélite y finaliza a la altura del Cementerio Jardín, en las orillas del río La Paz.

Este flujo de color gris beige está compuesto por una mezcla de limos y arcillas albergando lentes deformados de gravas y arenas, además de paleosuelos; en su parte terminal desarrolló algunas lagunas someras temporales.

El deslizamiento de Huacani, en las cercanías de Cóndores Lakota y partes del río Wila Khota, arranca en las cumbres de las Ánimas y finaliza en las alturas de Cota Cota sobre el campus universitario de la UMSA, es de poco espesor llegando alcanzar unos 3 a 4 m, es discordante sobre la formación La Paz. Tiene una dimensión de 1,8 por 0,5 km y un espesor medio de 6 m.

El deslizamiento de Cerro Aruntaya cubre discordantemente la meseta Peña Azul de 1,5 km de largo, un ancho máximo de 1,1 km y espesores de hasta 30 m, constituido por una mezcla heterogénea de limos y arcillas con lentes deformados de arenas y gravas.

En esta época se tienen también depósitos de terraza, tal como la de barrio Gráfico, Obrajes, Achachicala y barrio Ferroviario. Aruntaya, Bosque de Bolonia, Kellumani y alturas de Achumani corresponden a depósitos aluviales que han quedado después de la última incisión del valle de La Paz hasta su actual piso.

Generalmente son gravas heterogéneas, siendo los depósitos de terraza de las cuencas de los ríos Choqueyapu, Orkojahuiria e Irpavi, con presencia de granitos de hasta 0,5 m de diámetro con clastos subredondeados de areniscas sustentados en una matriz arenosa, mientras que los depósitos aluviales de las cuencas de Achumani son gravas con líticos sedimentarios subredondeados con matriz arenosa.

Estas terrazas se hallan a diferentes alturas sobre los lechos de los ríos actuales, variando estas entre 10 y 20 m, siendo los espesores de igual magnitud.

### ***Lacustre Calacoto***

En las zonas de Calacoto, La Florida y Aranjuez, producto del torrente de barro de Achocalla, se produjo un represamiento del río La Paz, conformándose un lago efímero que dio lugar a los depósitos del lago Calacoto, constituido por capas de arcillas gris beige con estratificación laminar y de hasta unos 20 m de espesor hasta la década de los años 50 del siglo pasado, estaban bien representados en la zona de Calacoto. La mancha urbana creciente fue cubriendo a la misma y solo están expuestos en la zona de Aranjuez, en la exladrillera de Clímaco Flores.



Foto 23

Vista del gran deslizamiento de Achocalla, al fondo la inmensa corona del deslizamiento desarrollada en la caja del Altiplano, al medio los bloques rotados, sector de las lagunas y en el medio y extremo izquierdo de la foto el gran flujo de barro.



## ÉPOCAS DE EROSIÓN RECIENTE Y ACTUAL (Bles *et al.*, 1977)

### *Terrazas aluviales*

Las más conspicuas constituyen los depósitos de terrazas aluviales que han sido ganadas a los ríos actuales, han sido altamente urbanizadas siendo las más amplias las terrazas de Calacoto, Irpavi, Achumani, Koani, Huañajahuira, Obrajes y Chuquiaguillo; en menor dimensión, son las del río Minasa, quebradas en San Simón, Alto Villa Copacabana y valle Hermoso.

Son gravas sueltas con contacto puntual entre líticos con matriz arenosa, generalmente de color gris claro. Sus espesores varían de decenas de centímetros hasta la decena de metros.

### **Flujos de barro**

Algunos flujos de barro recientes, altamente urbanizados, son los de Cota Cota, Ovejuyo, Auquisamaña, El Pedregal y Codavisa. Son terrenos constituidos por gravas, limos y arenas disturbadas con presencia, en algunos casos, de lagunas permanentes (Cota Cota), y actualmente presenta muchas zonas inestables, ya que existen viviendas agrietadas y vías deformadas.

Foto 24

Vista de una foto aérea de 1957, de la zona de La Florida, las parcelas gris claro corresponden a los sedimentos lacustres finos del lago Calacoto, limitado al NE por la calle Benito Juárez y al SE por el río que la separa de la serranía de Aranjuez.





Los espesores son variables siendo a la altura de la calle 28 de Cota Cota, de unos 40 m, los colores varían de marrón gris a grises claros.

Dentro de estos clasificaremos a Villa Armonía, si bien fue considerado como un flujo de barro de la tercera etapa, la deformación por reptación que sufre actualmente, agrietando viviendas y deformando sus vías de comunicación, lo hace activo y altamente amenazante a los vecinos que viven en esa zona.

### Deslizamientos

Dada la inestabilidad de las laderas, acrecentada por procesos de erosión del pie del talud, saturación de aguas por precipitaciones pluviales altas, rotura de redes de agua potable y alcantarillado, sobrecarga por construcciones y urbanizaciones ilegales de terrenos inestables, y microsismicidad producida por alto tráfico, se han venido provocando un sinnúmero de deslizamientos principalmente rotacionales, en algunos casos también traslacionales, o combinación de ambos.

En el valle de La Paz, estas zonas inestables se las ha identificado en Limanipata, en ambas orillas del río Choqueyapu, en Munaypata sobre la cancha km 3, más al sur en la Segundo Vascones, en la ladera oeste son frecuentes los de Tembla-derani, Cotahuma, Obispo Bosque, Jaimes Freyre, San Martín, Adela Zamudio, Playa Verde, Kantutani (relleno sanitario).

También, en la zona de Llojeta, en las quebradas del Chuajahuira y Jarañapampa, Los Pinos y al pie del mismo, el deslizamiento del Cementerio Jardín y urbanizaciones aledañas.

De igual manera, en la zona de Tejada Alpacoma, el sector de las ladrilleras, donde existen deslizamientos rotacionales, traslacionales y torrentes de barro alineados a la falla Alpacoma.

Siguiendo por la ladera oeste, en el sector de Alto Seguencoma y cabeceras de la quebrada Remedios en la zona Reyes Carvajal, y más al sur en el Gramadal próximo a la urbanización Amor de Dios.

En la garganta de Aranjuez también existen deslizamientos activos, así como en los valles de las urbanizaciones valle de Aranjuez y Sequoia.

En el caso urbano Central es notorio el deslizamiento del Calvario, más al sur están los de la



Foto 25

Vista de la zona de Achumani urbanizando las terrazas actuales del río homónimo. Al fondo a la derecha, las terrazas antiguas de este río.

Foto 26

Vista del deslizamiento de Alpacoma, en la margen izquierda del río homónimo y cómo se han formado unas lagunas sobre la base de la corona de este deslizamiento.







Foto 27

Vista de las cabeceras del río Warisani, sector de Santa Bárbara, deslizamientos activos en superficies casi horizontales solamente por saturación de aguas de los suelos.

Caja de Agua, Villa Pabón, Calle Sucre, San Juan Lazareto y los más activos el de Santa Bárbara y Laikakhota.

En la ladera este los deslizamientos se han registrado desde San Simón al norte, y hacia el sur se tienen los de avenida Latinoamericana, Valle Hermoso, villa San Antonio, Calle 1 de Pampahasi, Villa Litoral, Unión Frontera, los Retamanis y el macro deslizamiento de villa Armonía y sus movimientos recientes, como el de Zenobio López, IV Centenario y Germán Jordán.

Otros deslizamientos son los de San Isidro, Los Álamos, calle 8 de Obrajes, Huanu Huanuni, avenida Mecapaca, calles 20, 21, 22 y 23 de Bella Vista, además de los de Kupini Alto y Bajo.

En el valle del río Irpavi se tienen los deslizamientos de Callapa, Chinchaya, Chicani y Aruntaya.

En las cuencas de Achumani, Jillusaya y Huañajahuira de norte a sur, tenemos los deslizamientos de Kellumani, Alto los Rosales, Lomas del Sur, Las Carmelitas, Los Lirios, calle 28 y 35 de Cota Cota, El Pedregal, Los Rosales, Codavisa, La Merced, Virgen de Copacabana, norte de la ciudadela Stronguista, 23 de Marzo, urbanización de las tres fuerzas y Apaña. En la Serranía de Aranjuez existen varios deslizamientos controlados por el drenaje hacia el río La Paz.



Foto 28

Vista del gran abanico aluvial de Ovejuyo, sitio de descarga de las quebradas Charapaya y Ovejuyo.





## Abanicos aluviales

Son aquellos depósitos que se forman donde la energía de los ríos cambia; entonces, estos se han formado en estos sectores, siendo los más importantes los abanicos de Ovejuyo, Irpavi II, La Florida, la bajada de Villa Salome, el Jacha Khora y Huayllani, son depósitos de gravas sueltas con matriz arenosa, con líticos principalmente sedimentarios subredondeados, de color gris claro.



Foto 29

Vista del valle de Kaluyo y los depósitos aluviales actuales que están siendo explotados por áridos.



Foto 30

Vista del deslizamiento de Pampahasi Bajo central, a los pocos días del suceso.



Foto 31

Vista del deslizamiento de Pampahasi Bajo central, tres meses después del suceso.

## Depósitos aluviales actuales

Constituyen los sedimentos existentes en los canales de los ríos actuales; son depósitos de gravas, arenas, limos y ocasionalmente arcillas.

## 5.2. Geomorfología del valle de La Paz

La evolución del paisaje del valle de La Paz está relacionada con una fase de tectónica finimiocena que deformó y falló sedimentos paleozoicos, produciendo un paisaje áspero por el cabalgamiento de las rocas paleozoicas sobre las rocas paleógenas y neógenas, la orientación de estas sierras es de sudeste a noroeste, adoptando un lineamiento andino. Posterior a esta deformación, se formó el Altiplano producto del relleno discordante de este paisaje, algunas formas de denudación glacial y fluvial quedaron preservadas sobre un paisaje de pie de monte a llanuras aluviales.

Durante el Pleistoceno este paisaje fue modificado por una incisión del valle, esta erosión produjo los valles desgarrados del altiplano, tal como el de La Paz, Sapahaqui y Luribay, más al norte el valle de Sorata.

La evolución geomorfológica del valle de La Paz corresponde a formas de erosión y formas de acumulación.

Una descripción más completa se halla en el Informe Geológico Nº 6 "Características Geomorfológicas de la Cuenca de La Paz y Alrededores", elaborado por Malatrait *et al.* (1978).

## Formas de erosión

En la evolución geomorfológica del valle de La Paz, las formas más conspicuas son los escarpes de glaciación en las aristas y agujas glaciares del Huayna Potosí y las cumbres de Incachaca, Hampaturi y Palcoma, así como sus lagunas en rosario, que exponen el bed rock (roca madre) y los valles en U desarrollados en las cabeceras de los ríos Kaluyo, Orkojahuirá, Irpavi y Achumani. En las cabeceras del río Kaluyo se puede observar el típico desarrollo de un paisaje glacial



Foto 32

Vista de la corona del deslizamiento de Pampahasi Bajo Central.





con las paredes del valle facetados y valles colgantes.

Otras formas conspicuas de este valle son los escarpes de deslizamiento, siendo los más espectaculares los escarpes de Achocalla, Tejada Alpacoma, Llojeta, Pampahasi y Limanipata.

Sobre cada suelo también se tienen formas características de erosión, tal como las pirámides de tierra en suelos gravosos con matriz arenosa, se tiene un intenso carcavamiento desarrollando una erosión dendrítica muy densa, típico del valle de las Ánimas, Huayllani, Serranía Cuchilla de Chuquiaguillo, quebradas Utapulpera y Coa Coa en la ladera oeste, además de la Muela del Diablo en la zona sur.

En las zonas de sedimentos finos, como la formación La Paz, en los sectores de Achumani, Aruntaya, Cactario, se tienen otros paisajes, tales como rocas monigotes. Paisajes de pseudo carts con erosión subterránea se han dado en algunos sectores de flujos de barro y deslizamientos, siendo los más preservados los de Malasilla en el valle de la Luna, urbanización Sequoia, Final Armaza, Allpacoma, Llojeta y Alto Seguencoma.

Producto del ciclo geomorfológico fluvial se han desarrollado valles en V juveniles y valles maduros con piso plano y flujos entrelazados. En la garganta de Aranjuez, el río La Paz constituye un río sobreimpuesto.

Producto de la profundización del valle de La Paz, se han diferenciado cuatro etapas de erosión identificadas por varios niveles de terrazas y paleodeslizamientos.

Las formas de erosión han expuesto geoformas relacionadas con procesos endógenos como altos y bajos estructurales, serranías homoclinales (Aranjuez) y cuerpos ígneos (Muela del Diablo).



Foto 33

Vista de los procesos de erosión diferencial con la conformación de pirámides de tierra en el río Ovejuyo.



Foto 34

Vista de los procesos de erosión interna en Llojeta Bajo, drenaje dendrítico muy denso y el deslizamiento del Cementerio Jardín (foto aérea de 1930).



## Formas de acumulación

De acuerdo con los procesos identificados, se tiene el Ciclo Geomorfológico Glacial y el Ciclo Geomorfológico Fluvial como principales agentes morfogenéticos que han dado lugar a una variedad de formas que han modelado el paisaje.

El paisaje más conspicuo es el de las formas glaciales, y los depósitos más grandes y bien preservados lo constituyen las morrenas de la glaciación Milluni. Bien expuesta en el camino Alto de Lima a Milluni, constituyen serranías paralelas con cantos erráticos en sus laderas y cúspides, una de las más grandes tiene unos 15 km de longitud y alcanza alturas de hasta 150 m desde su piso hasta una de sus cúspides.

Otras morrenas de menor dimensión son las identificadas durante la glaciación Choqueyapu I, la forma más representativa son las morrenas laterales de Chuquiaguillo de hasta 6 km de largo y una altura de 50 m desde el piso del valle glacial y las morrenas terminales en Hampaturi.

La glaciación Choqueyapu II solamente fue identificada en las laderas altas del valle de La Paz, en Chuquiaguillo y Kaluyo, estas formas son morrenas laterales y de fondo, de unos 500 m de largo y unos 6 a 7 m de alto.

El otro paisaje dominante es el relacionado con el ciclo geomorfológico fluvial caracterizado por los depósitos de terraza, siendo el más antiguo el de la ceja del Alto de La Paz y Achocalla, constituyendo una planicie ligeramente inclinada hacia el suroeste, de similar génesis lo constituyen Huaripampa y el Alto de Ovejuyo.

Cuatro etapas de erosión han sido determinadas relacionados con procesos y formas asociadas a la geomorfología, siendo las principales las formas asociadas al ciclo geomorfológico fluvial y a procesos de remoción en masa.

Grandes formas asociadas al ciclo geomorfológico fluvial las constituyen las terrazas aluviales, siendo las más altas y antiguas las de Villa Salome, solamente observables en el valle del río Irpavi en su margen derecho, limitadas por escarpes abruptos debido a erosión y deslizamientos.

Otra forma importante la constituye la terraza Miraflores, geoforma sobre la que se ha levantado el centro de la ciudad de La Paz y se convierte en el sitio donde existe mayor densidad de construcciones, principalmente edificios.

Se halla limitado por escarpes de erosión y formas de acumulación, tales como abanicos aluviales y deslizamientos.

Otras terrazas similares son las de barrio Gráfico, Bolognia, Kellumani y otras similares.

Las terrazas recientes son aquellos depósitos aluviales actuales limitados por canalizaciones, siendo las más importantes las de Achumani, Irpavi y Calacoto en la zona sur, igualmente con alta densidad de construcciones residenciales y de edificios comerciales. Estas formas son propensas a inundaciones.

Los abanicos aluviales, generalmente dentro del valle de La Paz, ya han sido invadidos por urbanizaciones, siendo los más importantes los de la ladera oeste en la Landaeta, a la altura del estadio Bolívar, Chamoco Chico, El Tejar, San Pedro y Sopocachi.

En la ladera este los abanicos aluviales se han identificado en Las Delicias, Villa El Carmen, Chuquiaguillo, villas Copacabana y San Antonio.

En el valle del río Irpavi, estas formas se hallan en Villa Salome, Chicani, Chinchaya, Irpavi II y Aruntaya.

En la zona sur, el más vulnerable es el abanico aluvial de Ovejuyo, propenso a un desborde del río del mismo nombre.



La forma más antigua la constituye la meseta de Pampahasi, que es una superficie inclinada hacia el sur constituida por un flujo de barro gravoso con niveles de arcillas deformadas, y se alternan aluviones de barro gravoso. De similar paisaje es el flujo de barro de Laikakota, que en Agua de la Vida ha conformado un paisaje parecido.

Otra forma similar lo constituye el flujo de barro de Jukumarini, que aflora en la ladera oeste, siendo representativo. La pendiente hacia el este es más empinada.

Formas más preservadas, aunque con alta cobertura urbana, son los flujos de barro del Cementerio, Chijini, San Pedro y Sopocachi, en la ladera oeste.

En la ladera este, son los flujos de barro de Villa San Antonio, Alto Obrajes y Bella Vista, mientras que en la cuenca Irpavi se tiene el cerro Aruntaya,

En la cuenca Irpavi se tiene también la meseta de Peña Azul, geoforma asociada a un flujo turbulento de barro probablemente asociado a un desborde de lagos glaciares formados durante la glaciación Choqueyapu I, de casi 9 km de longitud, que en un momento ha debido rellenar todo el valle de Irpavi y parte de Calacoto; ahora, por la erosión sufrida, esta forma ha quedado preservada en un alto topográfico limitado por escarpes de erosión, son típicos de esta forma los bloques de limolitas azules de hasta 3 m de diámetro que sobresalen en la superficie, y que los comunarios de estas zonas denominaron como sector Peña Azul, y es en el mapa geológico que se reconoce como nueva unidad formacional para el valle de La Paz.

Otra forma similar, aún más grande, es el torrente de barro de Achocalla, que desde la ceja del Alto del mismo valle ha desarrollado una corona de deslizamiento, el deslizamiento rotacional desarrollado. Sobre los escarpes secundarios se han formado lagunas, delante de estos escarpes la masa deslizada se ha licuado y en forma de una corriente lodosa turbulenta ha discurrido por el valle del río La Paz, formando una meseta a unos 40 o 50 m sobre el nivel del río esta meseta está bien preservada en las zonas de Mallasilla, Mallasa, Jupapina, Umamanta y Huajchilla.

De parecida génesis, aunque más reciente, es el flujo de Cota Cota con su corona de deslizamiento en Ovejuyo y el flujo de barro heterogéneo que es una mezcla de gravas, limos y arenas que llegó hasta la zona de Los Pinos.

Típico de este flujo es que en los escarpes secundarios se han formado las famosas lagunas de Cota Cota (Khota Khota = zona de lagunas, en Aymara), aun hoy visible en el campus universitario de San Andrés.

Los deslizamientos son otras de las formas que se tienen en el valle de La Paz, se manifiestan en diferentes magnitudes, generalmente son deslizamientos rotacionales y traslacionales, o una combinación de ambos, sobre esos terrenos movidos son permanentes los procesos de reptación, que se observan en las zonas urbanizadas o no, donde la deformación del suelo es muy lenta pero constante.

Formas muy preservadas de estos deslizamientos se tienen en Limanipata con un escarpe desarrollado sobre ambas cejas del Alto de Kaluyo y Alto de Huaripampa, siendo el de la orilla izquierda del río Choqueyapu el que ha desarrollado un paisaje hummocky típico de deslizamientos rotacionales.

Así mismo, el deslizamiento de Callapa es otro de grandes dimensiones y está compuesto por varias coronas que se alinean desde la plazuela Ergueta hasta el ingreso a Callapa por Kupini. De 1,5 km de largo, el escarpe desarrollado en primera instancia tenía unos 40 a 50 m, escarpes secundarios se han desarrollado en varios sectores, el cuerpo y pie de este deslizamiento se halla en la zona de Callapa; dada la dinámica actual, este deslizamiento se reactivó el 26 de febrero de 2011, evidenciándose que todas estas formas se desarrollan en una serie de eventos de corta duración.

Los tipos de movimiento registrados en este deslizamiento son rotacionales y traslacionales y el ajuste de los escarpes es mediante derrumbe de bloques que han quedado en contra talud, esarrollándose un talud natural de 100%.

En Tejada Allpacoma, que es un valle totalmente inestabilizado, se tienen todas las formas posibles de procesos de remoción en masa, con deslizamientos rotacionales, traslacionales, flujos viscosos de lodos, derrumbes y otras formas de remoción en masa. En algunos sectores del sur en la serranía de Aranjuez existen acumulaciones por gravedad, estos son los conos de talud más conocidos como sallerios. Otra forma acumulada por gravedad que excede los conos de talud son los coluvios en todas las pendientes de hasta 100%, caracterizados por una acumulación en las laderas de material grueso y fino sin agua, solo por gravedad.

Una descripción más detallada de los procesos y agentes que dieron lugar a la geomorfología del valle de La Paz se halla en el estudio "Características Geomorfológicas de la Cuenca de La Paz y Alrededores" por Maltrait (1997).

### 5.3. Características geotécnicas del valle de La Paz

La Paz, en casi su totalidad, aproximadamente 100% está constituida por diferentes calidades de suelos y el restante mínimo porcentaje lo constituyen rocas de diferente calidad.

Los suelos que conforman al Valle de La Paz de acuerdo con sus condiciones geotécnicas, tienen diferentes calidades, es así que brevemente de acuerdo con las diferentes clasificaciones dadas en el *Mapa geotécnico de la ciudad de La Paz y sus alrededores*, de la BRGM (1977), daremos las características generales, con base en las asociaciones de suelos y rocas.

#### Formaciones del zócalo

##### Problemas

Son rocas con relieves abruptos, varios tipos de remoción en masa por erosión y alteración, casi siempre inestabilidad superficial, con erosión diferencial baja e intensa.

##### Aptitudes

- La aptitud de los terrenos es débil y pobre, en algunos sectores es apta para fundaciones por lo fácil de su excavación, requiere de estudios y de movimientos de tierra para poder urbanizarse.

#### Formaciones La Paz y Purapurani

##### Problemas

Son suelos con relieves abruptos, presentan inestabilidad en varios sectores por erosión del pie de talud, con presencia de arcillas plásticas saturadas, arenas saturadas sin cohesión, presión hidráulica fuerte, fallas o fracturas de descompresión y disminución de las propiedades físico mecánicas con saturación por la descompresión y remoción.

##### Aptitudes

- Pobre y localmente buena, para urbanizaciones extensas (según topografía, naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas).
- Para edificios aislados en terrenos de baja pendiente, condiciones de fundación generalmente buena. Con la debida precaución para terrenos plásticos (drenaje y aireado),





buen mantenimiento de redes de agua potable y alcantarillado, terrenos aptos para la fabricación de cerámica bruta (tejas y ladrillos).

### Formaciones La Paz, Purapurani, Calvario

#### Problemas

Relieve abrupto afectado por erosión superficial intensa, presenta inestabilidad en varios sectores por fallas o fracturas, circulación de aguas subterráneas, presencia de arcillas muy plásticas y disminución de las propiedades físico-mecánicas de los niveles finos con saturación, descompresión o remoción.

#### Aptitudes

- Media a buena, para urbanizaciones extensas (según topografía, naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas).
- Para edificios aislados en terrenos de baja pendiente, condiciones de fundación buenas a excelentes. Se recomienda un buen mantenimiento de redes de agua potable y alcantarillado, localmente los terrenos gravosos y arenosos pueden ser fuentes de préstamo.

### Formaciones La Paz, Purapurani, Kaluyo, Gravas del Altiplano

#### Problemas

Relieve abrupto afectado por erosión superficial intensa, presenta en ciertos lugares del Altiplano niveles arcillosos y gravosos poco densos y plásticos. En el Kenko y Huaripampa, zonas de fallas potencialmente activas.

#### Aptitudes

- Excelente en el Altiplano y terrenos poco inclinados.
- Media a buena, para urbanizaciones extensas (según topografía, naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas).
- Para edificios aislados en terrenos de baja pendiente, condiciones de fundación buenas a excelentes. Se recomienda un buen mantenimiento de redes de agua potable y alcantarillado.
- Prohibir toda construcción en las zonas de fallas potencialmente activas del Altiplano.
- Buenas fuentes de préstamo.

### Formaciones Calvario y Milluni Superior

#### Problemas

Relieve abrupto afectado por erosión superficial, inestabilidad en ciertos sectores por la saturación de aguas, presenta en algunos lugares del Altiplano niveles arcillosos y gravosos poco densos y plásticos.

#### Aptitudes

- Buena en el Altiplano y Huaripampa.
- Pobre, en algunos sectores es apta para fundaciones por lo fácil de su excavación y requiere de estudios y de movimientos de tierra para poder urbanizarse. Se recomienda un buen mantenimiento de redes de agua potable y alcantarillado.

### Deslizamientos antiguos Pampahasi, Laikakota y Jukumarini

#### **Problemas**

Erosión y remoción en masa de los bordes de las planicies. Naturaleza heterogénea.

#### **Aptitudes**

- De excelente a buena.
- Media a buena, para urbanizaciones extensas (según topografía, naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas).
- Buenas fuentes de préstamo los materiales gravosos.

### Miraflores

#### **Problemas**

Erosión e inestabilidad de los taludes (erosión de pie), caída de bloques, excavación mecanizada a veces difícil debido a la presencia de pedrones, niveles arcillosos densos y plásticos.

#### **Aptitudes**

- Excelente, constituye el mejor terreno de fundación de la cuenca siempre y cuando se eviten los taludes muy empinados.
- Buena fuente de préstamo los materiales gravosos y la presencia de grandes bloques de granito es utilizada como piedra sillar.

### Sedimentos lacustres Calacoto

#### **Problemas**

Erosión fuerte, características físico-mecánicas muy variables y sensibles a la saturación de aguas, inestabilidad y asentamientos.

#### **Aptitudes**

- Pobre a débil, para urbanizaciones extensas (según topografía, naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas).
- Terrenos aptos para la fabricación de cerámica bruta (tejas y ladrillos).

### Abanicos aluviales, terrazas de ríos y aluviales actuales

#### **Problemas**

Zonas saturadas a veces inundables.

Riesgos de erosión y derrumbes de los bordes de ríos y terrazas.

Riesgos de asentamientos diferenciales e inundaciones, sobre todo en los abanicos.

#### **Aptitudes**

- Excelente a buena, son las áreas de urbanización de Irpavi, Achumani y Calacoto. Se debe tener cuidado con el nivel freático y con los niveles finos.
- Las gravas y arenas son fuentes de préstamo excelentes.



### Remoción en masa antigua (avenida Periférica, Villa Copacabana, Villa San Antonio, Alto Obrajes, Cóndores Lakota)

#### Problemas

Erosión superficial.

Remoción en masa de varios tipos, localmente relieves abruptos, disminución de las propiedades físico-mecánicas por efecto de saturación de aguas.

#### Aptitudes

- De media a pobre, localmente buena, zonas altamente urbanizadas en la ladera oeste y este, son indispensables buenas obras de drenaje de aguas superficiales, subterráneas y de redes de drenaje sanitario.
- Los niveles gravo arenosos son buenas zonas de préstamo.

### Remoción en masa reciente (Achocalla, Llojeta, cerro Aruntaya (ciudadela Stronguista), y Huancani (Cóndores Lakota) y partes altas del río Wila Khota)

#### Problemas

Erosión superficial y subterránea.

Remoción en masa de varios tipos, localmente relieves abruptos, disminución de las propiedades físico-mecánicas por efecto de saturación de aguas.

#### Aptitudes

- De media a pobre, buena, zonas altamente urbanizadas en la ladera oeste y este, son indispensables buenas obras de drenaje de aguas superficiales, subterráneas y de redes de drenaje sanitario. El carácter mayoritariamente arcilloso de estos terrenos hace que se presenten asentamientos diferenciales, los trabajos de estabilización de suelos son muy costosos.

### Flujos de barro y deslizamientos actuales

#### Problemas

Inestabilidad potencial y real, características físico-mecánicas muy variables, frecuentemente bajas y sensibles a la saturación.

Reactivación generalmente por saturación de aguas superficiales y subterráneas, erosión de pie de talud natural y antrópica, sobrecarga por movimientos de tierra, construcciones ilegales y escombros y acumulación de basura.

#### Aptitudes

- De pobre a nula. Rehabilitación posible de ciertos lugares, de poca extensión, esencialmente por medio de obras de drenaje, protección y recalce del pie.

### Coluvios

#### Problemas

De pobre a nula.

Rehabilitación posible de ciertos lugares, de poca extensión, esencialmente por medio de obras de drenaje, protección y recalce del pie.



### **Aptitudes**

- De media a débil, localmente buena (pendientes poco inclinadas y granulometría gruesa), para edificios pesados es necesario comprobar los riesgos de inestabilidad y de asentamientos diferenciales, tomar las precauciones usuales de drenaje.

### **Relleno artificial**

#### **Problemas**

Características nulas a muy bajas, erosión interna, terrenos compresibles, espesor variable.

#### **Aptitudes**

- De débil a nula. Buena en caso de compactación correcta.
- Necesidad de comprobar el espesor y la compacidad del relleno.

## **5.4. Tectónica en el valle de La Paz**

La deformación manifestada en el valle de La Paz está correlacionada con el Ciclo Andino II, fase Quechua. Lavenu y Mercier (1994) señalan que el lapso 5,5 y 2,8 Ma de sedimentación de la cuenca de La Paz fue plegada y sellada por sedimentos glaciales y aluviales plio-cuaternarios, los pliegues desarrollados en los afloramientos de Achumani y Llojeta son paralelos a las grandes fallas de Amachuma y el Kenko, en la vecindad estas fallas afectan a la cobertura cuaternaria.

Un estudio realizado por El Observatorio San Calixto y Sergeotecmin en el año 2007 y presentado a las autoridades del municipio del Alto de La Paz, estableció que estas fallas tienen una recurrencia cada 15 000 años, el análisis de paleosuelos obtenidos de varias trincheras excavadas en distintos sitios de la falla el Kenko (Ciudad Satélite, Ludoteca y Cuartel Tarapacá), estableció que la falla más antigua data de hace 30 000 años y la última falla es de hace 15 000 años.

Las mensuras realizadas de la geometría de las fallas y de las direcciones axiales de los pliegues da una componente de desplazamiento siniestro, las fallas mayores tienen una dirección 125° N y las asociadas tienen una dirección 110° N, desarrollando fracturas tipo Riedel, la deformación del final del Plioceno muestra un acortamiento próximo a EW. En el mismo sector, las fallas que afectan a los sedimentos pliocenos muestran dos cinemáticas, una de fallas inversas y la otra de fallas normales.

Por comparación, las fallas que afectan al cuaternario en los mismos sitios muestran siempre una cinemática en fallas normales resultantes de una extensión próxima a N-S.

Entonces, el cálculo cinemático realizado por Lavenu y Mercier (1994) sobre estas fallas muestra que las fallas inversas son compatibles con una compresión este-oeste y un acortamiento nort-sur.

## **6. Mapa de amenazas**

El Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAML) preocupado por los constantes fenómenos geodinámicos que afectan al valle de La Paz, como los deslizamientos e inundaciones, que se hacen cada vez más trágicos debido al crecimiento explosivo de la mancha urbana que ha



invadido informalmente lechos de ríos y laderas inestables, decidió elaborar un nuevo mapa geológico que sirva de base para identificar las diferentes amenazas geodinámicas a estas zonas vulnerables y así poder identificar los riesgos que puedan afectar el desarrollo de la ciudad más importante de Bolivia.

Ya en el año 1978 las consultoras BRGM-BCEOM (1977-1978) realizaron el "Estudio ecogeológico de la cuenca de La Paz y sus alrededores", plasmado en 23 documentos temáticos, elaborados para planificar el desarrollo urbano de la ciudad de La Paz. La escala de trabajo de esos documentos fue de 1:50 000, pero dado que la cobertura urbana es susceptible de ser amenazada por los fenómenos citados a nivel de manzano, era necesario sobre la base de la información existente generar un mapa geológico a una escala de 1:5 000, para ese fin se utilizaron las ortofotos del año 2006, además de fotos aéreas del siglo pasado que datan de las décadas del 30, 50, 60, 70, 80, 90 y de la primera década del presente siglo, el análisis realizado permitió una interpretación multitemporal de la geología del valle de La Paz.

Este trabajo fue realizado por geólogos de nuestro municipio que poseen diferentes aptitudes y la combinación de esas capacidades permitió realizar este trabajo en forma óptima.

Sobre esa información básica y necesaria se elaboraron otros mapas temáticos a la misma escala, tal como el mapa geomorfológico, mapa geotécnico y un mapa de pendientes.

Combinando esos mapas temáticos se obtuvo un mapa de amenazas por remoción en masa, paralelamente se trabajó un mapa de amenazas por inundaciones.

Por otra parte, otro grupo de técnicos de varias disciplinas (ingenieros civiles, agrónomos, geógrafos) elaboraron el mapa de vulnerabilidades.

La combinación algebraica de estos mapas permitió obtener el Mapa de Riesgos Versión 2011.

## 6.1. Análisis de la información

---

Troll y Finsterwalder (1935) realizaron los primeros estudios sobre la geología del valle de La Paz, más tarde Dobrovolny (1962) elaboró el estudio geológico del valle de La Paz y sus primeras consideraciones sobre el deslizamiento de Santa Bárbara, identificando el torrente de barro de Achocalla. Dobrovolny (1968) hace un estudio más detallado del torrente de barro de Achocalla.

Posteriormente, Bles *et al.* (1978), mediante las consultoras BRGM-BCEOM, dentro del Estudio Ecogeológico de la Cuenca de La Paz y sus Alrededores, elaboraron el informe sobre las características litoestratigráficas del valle de La Paz para el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de La Paz de la Honorable Alcaldía Municipal de La Paz, donde clasifican las unidades litológicas en formaciones del zócalo que agrupan a rocas de los sistemas Silúrico, Devónico, Cretácico, Paleógeno y Neógeno.

También, dentro de esa clasificación se tienen las formaciones del Altiplano, que son los suelos agrupados en los sistemas Neógeno y Cuaternario, que rellenaron el valle de La Paz hasta el Altiplano, representados por las planicies del Alto de La paz, Huaripampa y el Alto de Ovejuyo.

El desarrollo de la cuenca por la erosión en el sistema cuaternario, está clasificado como depósitos y deslizamientos de las cuencas, se consideran la primera época de erosión, segunda época de erosión, tercera época de erosión y finaliza con las épocas de erosión reciente y actual.

El siguiente cuadro es la leyenda del mapa geológico de La Paz editado por la BRGM-BCEOM, que resume todas las formaciones litológicas identificadas por Bles *et al.* (1978):

Tabla 1  
 Mapa geológico de La Paz BRGM-BCEOM (1978)

Depósitos y deslizamientos de las cuencas		
<b>c</b>	Coluvios	ÉPOCAS DE EROSIÓN RECIENTE Y ACTUAL
<b>a</b>	Aluviones actuales de los ríos	
<b>aa</b>	Flujos de terrenos y deslizamientos del periodo actual	
<b>d</b>	Flujos de terrenos de la época de erosión reciente	
<b>tr</b>	Terrazas de ríos	
<b>Lf</b>	Formación lacustre de ARANJUEZ - LA FLORIDA: Arcillas finas ocreas	TERCERA ÉPOCA DE EROSIÓN
<b>f3</b>	Flujos de terrenos de la tercera época de erosión	
<b>1</b> <b>f2</b>	Flujos de terrenos de la segunda época de erosión 1 = Coluvios de la misma edad	SEGUNDA ÉPOCA DE EROSIÓN
<b>ir</b> <b>mi</b>	Terraza IRPAVI (Dobrovoiny, 1962): Gravas Terraza MIRAFLORES: Gravas con clastos de granitos de gran tamaño	
<b>LLp</b>	Formación lacustre de LIMAN PATA	
<b>dLp</b>	Deslizamiento de LIMAN PATA	
<b>ch</b>	Glacial de valle CHOQUEYAPU: Morrenas con capas de turbas	
<b>dp</b>	Deslizamientos de gravas y fluviales tipo PAMPAJASI	
Formaciones del altiplano		PRIMERA ÉPOCA DE EROSIÓN
<b>1</b> <b>sba2</b>	Cubierta de la superficie baja del altiplano: Gravas (1) y Arcillas lacustres (2)	
<b>LB</b>	Formación lacustre Ballivian: Arcillas finas ocreas amarillentas	
<b>(GA) 1</b> <b>GA</b>	GRAVAS DEL TECHO DEL ALTIPLANO 1 = Superficie estructural del nivel 4 de erosión o de estas gravas	PLEISTOCENO
<b>1</b> <b>MS</b>	Formación glacial CHACALTAYA (MILLUNI SUPERIOR) - Morrenas al norte (1) - Lava de barro al Sur	
<b>1 MI</b> <b>2</b>	Formación glacial KALUYO (MILLUNI INFERIOR) - Till al norte. (1) con presencia de cinerita en su base - Gravas fluvio-glaciales al Sur (2)	





<b>PU</b>	Formación lacustre fluvial PURAPURANI	<b>PLIOCENO</b>
2	- Gravas con capas de limos ocre a veces con cinerita en la base (1) 2 = Arcillas, arenas y gravas gris azul claro	
1 CA	Formación glacial CALVARIO	
2 3	- Till (1) y gravas fluvio-glaciales que pueden supra (2) e infrayacen (3) al till.	
3 1	Formación lacustre LA PAZ	
2	- Arcillas, arenas y gravas gris azul claro con cinerita. Chijini (1) y otras cineritas (2). - 3 = facies gravosa	?
<b>Formaciones del zócalo</b>		EOCENO ?
MD	Roca intrusiva de la Muela del Diablo	CRETÁCICO ?
HU	Formación Huallaconi: Gravas y conglomerados rojizos	SILURO DEVÓNICO
AR	Formación Aranjuez: Conglomerados y limolitas rojas	
SI	Formación Sica Sica: Lutitas negras y cuarcitas	

**Leyenda:** Elaborado por el ing. J. L. BLES con los levantamientos geológicos a escala 1:10000 de los ingenieros: A. ALVARES, O. ANZOLEAGA, O. BALLIVAN, J. L. BLES, O. BUSTILLOS, H. HOSCHSTATTER, A. MALATRAIT y N. OTAZO.

Asimismo, Bles *et al.* (1978) realizan una interpretación de la evolución y correlación estratigráfica de la región de La Paz.

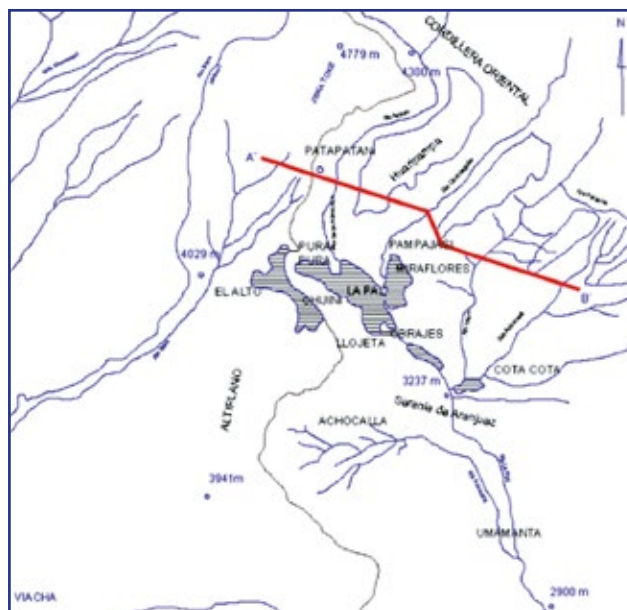


Figura 2. Mapa de ubicación, corte A-B'. Zona de La Paz.

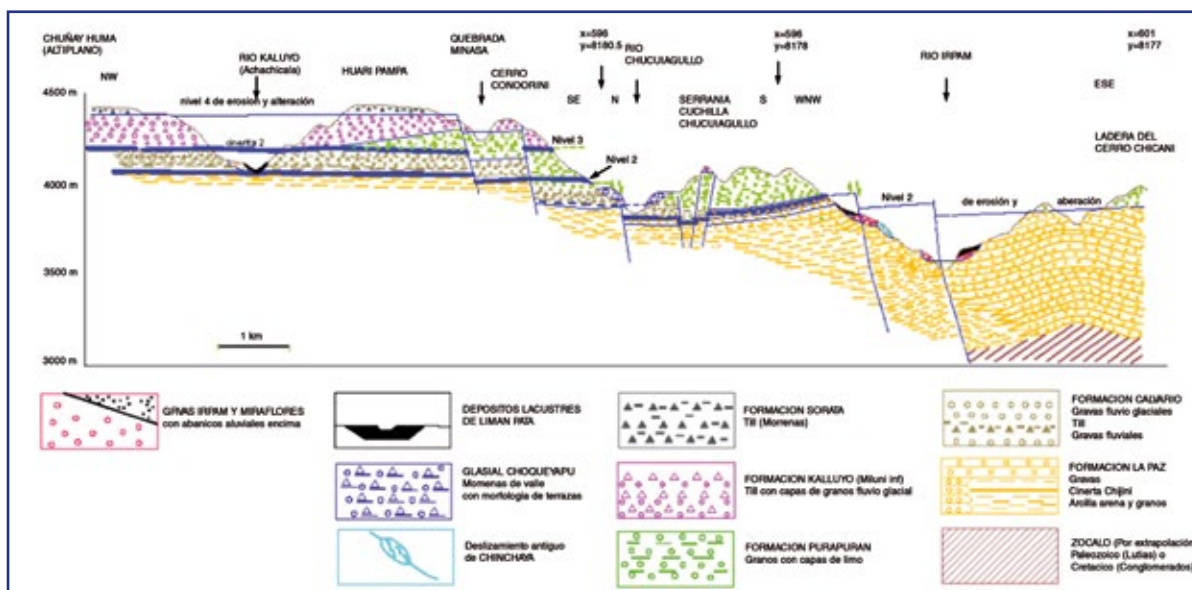


Figura 3. Corte geológico A'-B' del Pliocuatenario de La Paz (BRGM-BCEOM).

En 1987 el Proyecto de Fortalecimiento Municipal (PFM) realizó el mapeo de deslizamientos por cuencas en el valle de La Paz, dentro del Sub Proyecto Riesgos, identificando amenazas y vulnerabilidades se elaboraron planes de trabajo para la mitigación de los riesgos.

En el año 1992 la Dirección de Control y Manejo de Cuencas (DICOMAC), preparó el Plan de Prevención y Alertas para el año 1993, de las diferentes cuencas del valle de La Paz, con base en una inventariación y actualización del trabajo elaborado por el PFM en el año 1987.

Es así que una década después, en el año 2003, con la compilación de toda esa información geológica, hidrológica, datos del censo 2001 se han elaborado los Mapas de Amenazas y Vulnerabilidades ponderados y generado el Mapa de Riesgos versión 2004, con una precisión de escala 1:50 000

Estos estudios fueron bastante regionales y dado que muchos de los problemas geodinámicos de la ciudad de La Paz se dan a nivel de predio y manzano, fue necesario elaborar un nuevo mapa geológico a escala 1:5 000.

## 6.2 Ponderación de las amenazas geodinámicas del valle de La Paz

Las amenazas geodinámicas identificadas a nivel global son las endógenas y las exógenas.

Las amenazas endógenas son los sismos y el vulcanismo.

Las amenazas exógenas son las remociones en masa y las inundaciones.

En La Paz, las amenazas identificadas más frecuentes son por remoción en masa e inundaciones.

Para la ponderación de las amenazas del valle de La Paz, se han elaborado cuatro mapas temáticos, siendo el mapa geológico el más importante, siguiéndolo en importancia el mapa de pendientes, y sucesivamente el mapa geomorfológico y el mapa geotécnico.



### Mapa geológico

Para la elaboración de este mapa se realizó una revisión bibliográfica identificando los documentos generados por la BRGM-BCEM el año 1978, siendo el más importante en esa materia para la correlación de las diferentes unidades litológicas que conforman el valle de La Paz.

También se realizó una interpretación fotogeológica para la que se usaron pares estereográficos, que fueron interpretados con la ayuda de estereoscopios de espejos. Las fajas de vuelo utilizadas fueron de distintas décadas del siglo pasado; así, se interpretaron fotos de la década del 30, 50, 60, 80 y 90 y del año 2006.

Para la restitución fotogramétrica y transformar la información de una proyección cónica a una ortogonal se utilizaron las ortofotos del año 1994 con una resolución de 60 centímetros, las de 2006 con una resolución variable de 0,13 a 2 m y una imagen de satélite Quick Bird a colores con una resolución de pixel de 2 m.

La determinación de usar esta información fue debido a las características de recubrimiento y de resolución, siendo la mejor la de 2006 en cuanto a resolución, la imagen Quick Bird en relación con la cobertura, y la ortofoto de 1994 una intermedia que facilitó los trabajos de restitución.

Para el trabajo de campo se imprimieron juegos de planos a escala 1:2 500 para el control y mapeo de campo, este trabajo se llevó a cabo en doce meses extensivos 2009-2010 (10%) y diez meses intensivos 2010-2011 (90%), las correcciones y correlación de la información se llevó a cabo en cinco meses, finalizando el trabajo en aproximadamente 24 meses calendario.

Una vez concluido el proceso de relevamiento en el municipio se dio paso a una tercera etapa en la que se correlacionó la información de forma global con trabajo de campo y gabinete, en esta etapa participó en conjunto el grupo de profesionales para uniformar criterios de descripción de las distintas unidades identificadas, este proceso duró alrededor de cinco meses.

La etapa final para la elaboración de este producto consistió en la digitalización de la misma utilizando el software Arc Gis versión 9.3, herramienta especializada para el manejo de información espacial.

### Mapa de pendientes

El municipio cuenta con varios levantamientos topográficos del valle de La Paz, los trabajos recopilados fueron comparados con la ortofoto del año 2006, después de este proceso de correlación se resolvió utilizar el relevamiento realizado por el IGM del año 2001 con curvas de nivel cada 20 m, este levantamiento tiene la particularidad de ajustarse a las formas de erosión muy densa, tal el caso de Huayllani, Plan Autopista y Las Ánimas.

Sobre esta topografía en formato vector y utilizando herramientas de Arc Gis versión 9.3, se transformó la información a TIN en formato raster, que es una triangulación irregular de una red para poder obtener un Modelo de Elevación Digital (DEM).

Sobre el modelo digital y utilizando herramientas del mismo programa, se obtuvo el mapa de pendientes en grados que después fue reclasificado en cinco clases, de acuerdo con la siguiente gráfica:



Tabla 2  
 Niveles de reclasificación del mapa de pendientes (en grados)

0-8	Muy bajo
8-22	Bajo
15-22	Moderado
22-31	Alto
31-78	Muy alto

### Mapa geomorfológico

El relevamiento de las unidades identificadas en este mapa fue hecho de forma paralela al mapeo realizado para la elaboración del mapa geológico, identificando las geoformas y procesos que dieron origen a las mismas.

En la fotointerpretación y restitución se individualizaron las unidades geomorfológicas, en la edición final se discriminaron las unidades geológicas de las unidades geomorfológicas. Ya con el mapa geomorfológico se elaboró su columna geomorfológica y, al igual que con el mapa geológico, se pueden realizar impresiones desde escala 1:500.

Para utilizar esta información en la generación del mapa de amenazas se asignaron pesos a cada unidad geomorfológica, del 1 al 5, siendo 1 muy alto, 2 alto, 3 moderado, 4 bajo y 5 muy bajo, esta información en vector fue transformada a formato raster. Igualmente se reclasificó del 1 al 5 con los mismos valores que en el vector.

### Mapa geotécnico

El Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, mediante la DEGIR, ha generado una base de datos de geotecnia, esta información que tiene una buena dispersión de información, permitió un análisis geoestadístico, que para un gran porcentaje de la ciudad de La paz es válido, se discriminó la información que discrepaba con algunos de los datos de la BRGM-BCEOM que figuran en el Informe Geológico N° 15 "Características geotécnicas de la cuenca de La Paz".

Considerando el trabajo citado se procedió sobre el mapa geológico. Se utilizó la información estadística y de campo. Se identificaron las aptitudes de los suelos con el empleo de herramientas portátiles para analizar su granulometría, saturación, plasticidad, cohesión, deformación y fracturación, así como su grado de peligro.

Para utilizar esta información en la generación del mapa de amenazas se asignaron pesos a cada unidad geotécnica considerando los parámetros citados en el párrafo antes descrito, del 1 al 5, siendo 1 muy alto, 2 alto, 3 moderado, 4 bajo y 5 muy bajo, esta información en vector fue transformada a formato raster. Igualmente se reclasificó del 1 al 5 con los mismos valores que en el vector.

### 6.3. Generación del mapa de amenazas del valle de La Paz

El mapa de amenazas del valle de La Paz fue realizado mediante la ponderación de los procesos geodinámicos endógenos y exógenos.

Dentro de los endógenos se tienen los sismos y vulcanismo. Si bien existen sismos en el sector, en la actualidad no hay registros de epicentros en la ciudad ni en sus proximidades, las escalas registradas son menores a 4 según Richter.



La otra amenaza endógena es la del magmatismo debido a que estamos 330 km al NE del volcán activo más próximo, el Guallatiri de Chile, que está a unos 15 km al sur de Tambo Quemado.

La Muela del Diablo y las volcanitas de Cohoni corresponden a una actividad volcánica miocena, ya no activa desde esa fecha en este sitio.

Las amenazas exógenas corresponden a la remoción en masa (deslizamientos, flujos de barro y derrumbes). En el mapa geológico elaborado se han identificado estas litologías. La otra amenaza es la de las inundaciones, igualmente se ha hecho un análisis hídrico de la red de drenaje de la ciudad de La Paz.

Entonces, se ha elaborado el mapa de amenazas relacionado con el proceso de remoción en masa considerando los siguientes parámetros: geología, geomorfología, geotecnia y pendientes.

Para ponderar la amenaza se elaboró el mapa geológico del valle de La Paz a escala 1:1 000, sobre esta base se elaboraron también los mapas geomorfológico y geotécnico a la misma escala.

Sobre un modelo de elevación digital de 10 m de pixel se elaboró un mapa de pendientes con un pixel de 10 m.

Los mapas geológico, geomorfológico y geotécnico se rasterizaron desde la base vector, con un tamaño de pixel de 10 m.

La amenaza fue ponderada de la siguiente manera, para procesos de remoción de masa:

**Tabla 3**  
**Ponderación de las variables de amenaza**

N°	Parámetro	Porcentaje	Justificación
1	GEOLOGÍA	40%	Constituye el mapa base y fue elaborado a escala 1:300. Para fines de cartografía fue restituido a escala 1:1 000. Sobre una restitución fotogramétrica del valle de La Paz del año 2006, con una resolución de 0,13 a 1 m. Por esa razón tienen ese porcentaje.
2	PENDIENTES	30%	Solamente se dispone de un Modelo de Elevación Digital (DEM) a 10 m, con las interpolaciones se elaboró un mapa de pendientes a 10 m. Este plano debería tener una mayor ponderación pero al no disponer de un DEM al metro se le ha dado ese porcentaje.
3	GEOMORFOLOGÍA	20%	Elaborado sobre el mapa base, dado que la ciudad de La Paz se ha edificado sobre geoformas resultado de procesos y agentes muy actuales. Entonces, estas están muy relacionadas, exceptuando aquellas geoformas relacionadas con la erosión que es independiente de la litología. Por esta razón tiene ese porcentaje.
4	GEOTECNIA	10%	La aptitud mecánica de los suelos está muy relacionada con la litología, aquí se considera su cohesión, plasticidad, permeabilidad y su capacidad portante, por esa situación se le asignó ese porcentaje.

$$\text{AMENAZA} = (\text{GEOLOGÍA} \times 0,4) + (\text{PENDIENTES} \times 0,3) + (\text{GEOMORFOLOGÍA} \times 2) + (\text{GEOTECNIA} \times 1)$$

Se ponderó en una escala de valores de 5, siendo:

Tabla 4

NÚMERO	GRADO DE AMENAZA
1	Muy bajo
2	Bajo
3	Moderado
4	Alto
5	Muy alto

## 7. Mapa de vulnerabilidades

Uno de los aspectos que es importante relevar al comenzar el análisis es que a través del tiempo el concepto de vulnerabilidad social se ha relacionado directamente con el nivel económico o social de la población, relación que gracias a diversos estudios actuales se ha demostrado que no es del todo real; es por esto que, con una visión más holística e integral de análisis y evaluación del problema, diversos autores concluyen que la vulnerabilidad social es una relación más compleja que está vinculada a distintos elementos que hacen y conforman un ambiente urbano.

Se debe entender de manera general, que este grado de exposición estará determinado por una sumatoria de factores de diferente origen, naturaleza y características, que si bien en condiciones de "normalidad" pueden mejorar las condiciones de vida de la población, ante su pérdida o mal funcionamiento por una situación adversa se afectará en diversa magnitud y forma a la dinámica regular de la población.

La identificación, caracterización y evaluación de estas interrelaciones es el punto de partida que propone la metodología del presente trabajo. En este sentido, la integración futura de nuevos elementos o variables será necesaria para, en una primera instancia, comprender e identificar la interdependencia que existe entre la población y los elementos que hacen de este un medio urbano; luego, en una segunda, evaluar de qué forma y en qué magnitud podría ser afectada esta dinámica por un desastre natural.

Esta situación de vulnerabilidad, a través del tiempo, se vuelve una consecuencia de diferentes tipos de fenómenos económicos, políticos, sociales y culturales. Este conjunto de fenómenos, sumados a un crecimiento no planificado de la ciudad en muchos sectores de la población, ha incrementado el grado de exposición.

### 7.1. Marco metodológico

El marco metodológico planteado para este proyecto tiene un enfoque heurístico, se basó en una primera etapa en el conocimiento amplio y sólido del municipio, que tiene el equipo de profesionales que participó en la recolección de datos, evaluación y análisis; esta información colectada se tradujo en factores que bajo un análisis y una evaluación integral, determinó una relación (índice) del nivel de vulnerabilidad de la población.





Este modelo heurístico se convierte en una parte del sistema de soporte de decisiones (DSS), que apunta a las decisiones espaciales (Castellanos y Van Westen, 2003).

De forma general, dentro de este enfoque se pueden distinguir dos análisis, el primero es un mapeo directo de las variables y el segundo es un mapeo cualitativo; ambos operan en combinación. El mapeo directo se hizo con base en transposición de tablas del INE y la espacialización de las variables. En el análisis posterior, el grupo de trabajo utilizó sus conocimientos para determinar el método de asignación de pesos para cada parámetro de clase dentro de los grupos o factores.

## 7.2. Referencia geográfica y escala de trabajo

---

La escala de trabajo fue de 1:5 000.

El datum de referencia fue WGS84 Zona 19 sur

## 7.3. Fuente de la información

---

La recolección de la información tuvo diferentes fuentes; los datos estadísticos de población que corresponden al censo 2001 provienen del Instituto Nacional de Estadística.

Los datos concernientes a ubicación de servicios fueron proporcionados por la Oficialía Mayor de Desarrollo Humano.

Finalmente, otra parte de la cartografía utilizada proviene de la anterior Oficialía da Mayor de Ordenamiento Territorial (2007), además de información generada por el Sistema de Alerta Temprana de la Dirección Especial de Gestión Integral de Riesgos.

## 7.4. Preparación de la información

---

Este procedimiento permitirá convertir la información geográfica de los distintos formatos en los que se encuentre (shapes, tablas) uno que pueda ser utilizado por ILWIS 3.7 O.S. Se propone este software como herramienta para los procesos algebraicos de información espacial por la operabilidad que brinda cada uno de sus scripts, pasos y operaciones, además de la ventaja que brinda al ser un software libre.

### Homogeneización de cartografía

La cartografía fue homogeneizada e integrada; se confeccionaron capas subfactoriales para todas las variables de acuerdo con los siguientes criterios generales: integración de capas bajo proyección UTM con un datum WGS84.

## 7.5. Herramientas de análisis y bases de información

---

Las herramientas de análisis de este trabajo serán los sistemas de información geográfica Ilwis 3.7 (Open Source) de acceso libre, y Argis 9.3, sistemas especializados que se caracterizan por su capacidad de manejar información geográfica, permitiendo así realizar estudios dirigidos a la gestión de recursos naturales y humanos, la planificación de la gestión urbana y del equipamiento, la cartografía y el control de grandes instalaciones (red telefónica, redes de abastecimiento y evacuación de aguas, redes de transporte, etc.), esta herramienta tecnológica especializada constituye una ayuda para la toma de decisiones.

## 7.6. Procesamiento de la información

La elaboración de este trabajo contempló cuatro etapas.

### PRIMERA ETAPA: Delimitación del área de evaluación (distritos urbanos)

El trabajo de evaluación fue realizado en siete macrodistritos urbanos; si bien existe un límite municipal establecido, este no coincide en su totalidad con aquellos incluidos como urbanos según el censo del INE 2001, es decir, existe una diferencia en el área que cubren los datos del INE con el que pertenece al municipio. Esta diferencia debe ser entendida y asociada a un proceso de crecimiento e integración espacial que tiene un ambiente urbano como el nuestro con otros municipios colindantes.

El caso del municipio de La Paz no es aislado, el crecimiento demográfico y la expansión urbana ocasionan que los límites de áreas pobladas (mancha urbana) de diferentes municipios con el tiempo vayan desapareciendo, un proceso conocido como metropolización.

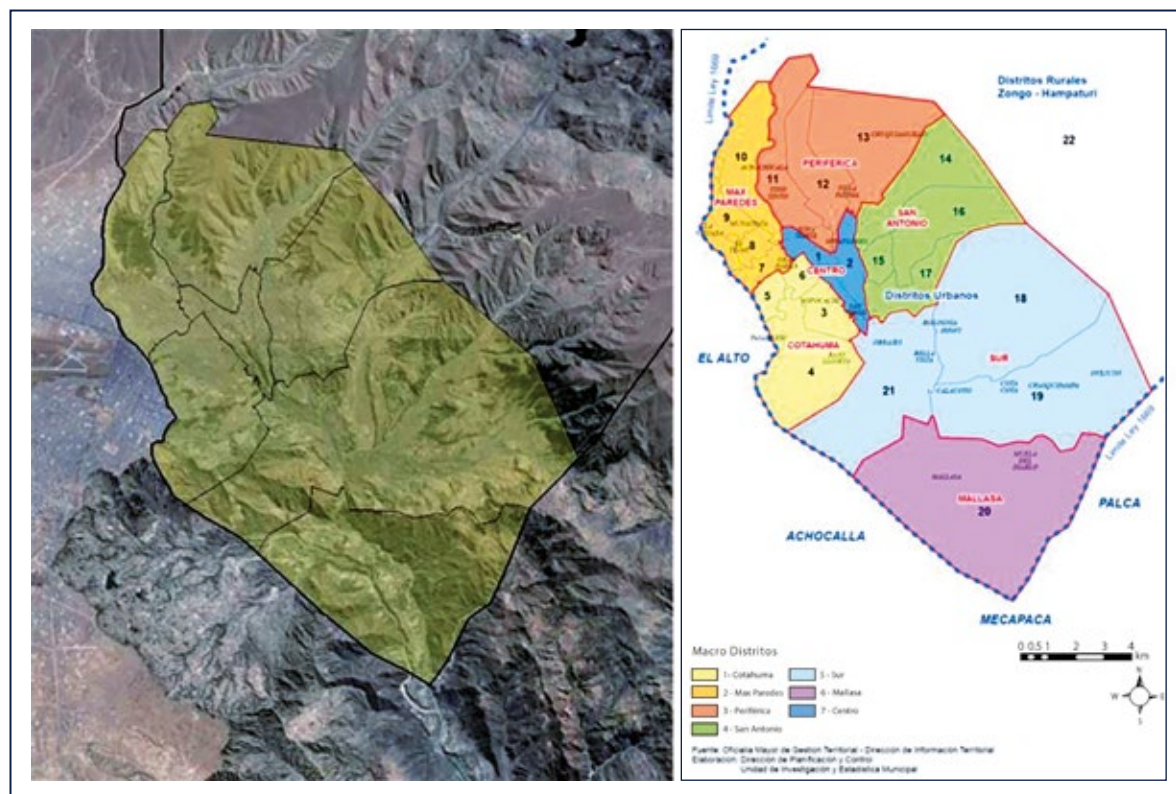


Figura 4. Vista área urbanizada del municipio de La Paz-macrodistritos urbanos.

De esta forma es posible advertir que el límite con los municipios de Mecapaca, Achocalla y especialmente El Alto, se ha convertido simplemente en un elemento geográfico formal que define jurisdicciones administrativas, pero que de forma práctica las condiciones y características de los linderos son homogéneas.

En sentido de evaluar las características y condiciones de vulnerabilidad de la población, se tomó como espacio de interacción de las variables el delimitado por las zonas censales delimitadas por el INE en 2001, ya que la base estadística oficial sobre la cual se basa la información de nuestro municipio es la creada por el censo.



En la siguiente figura es posible observar las zonas censales que fueron utilizadas en el proceso de 2001 y la relación espacial que tiene la misma con respecto al límite del municipio.

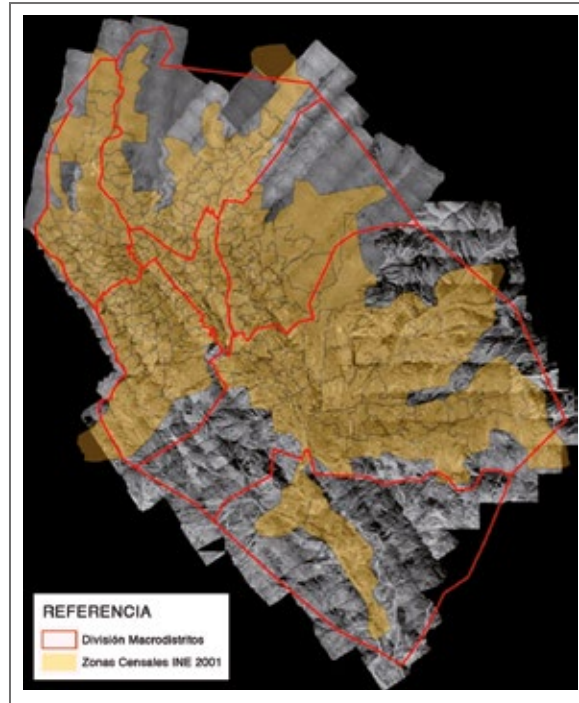


Figura 5. Diferencia de macrodistritos vs. zonas censales INE.

Fuente: Elaboración propia.

## SEGUNDA ETAPA: Agrupación sistemática de variables

En esta etapa se elaboró el mapa Índice de Vulnerabilidad del Municipio de La Paz utilizando la herramienta SMCE; esta herramienta permite, a manera de un árbol, ir agrupando las distintas variables utilizadas dentro de los cinco ejes previamente definidos, los cuales fueron contruidos de acuerdo con la información disponible y otra que fue posible desarrollar por el Sistema de Alerta Temprana de la DEGR.

Los insumos, factores o variables se reagruparon tal como indican las tablas siguientes, los criterios que se utilizaron para crear estos grupos de factores están basados en la caracterización y en la correlación que se hizo entre estos y la interrelación con el elemento central que es la población.

Los recursos o insumos necesarios para el desarrollo del proyecto fueron:

Tabla 5  
Cartografía Básica

Eje temático	Capa temática
Cartografía básica	Límite municipal
	Límite macrodistrital
	Límite distrital
	Manzanos (mancha urbana)



Tabla 6  
 Factor poblacional

Factor	Tipo de distribución	Significado del tipo de distribución
<b>Factores poblacionales</b>	Género y edad	Distribución poblacional por género y por nivel etario.
	Nivel de instrucción	Distribución poblacional por nivel o grado de instrucción alcanzado al momento de la encuesta.
	Categoría ocupacional	Distribución de la población por categoría ocupacional (ej. obreros, trabajadores por cuenta propia, etc.).
	Distribución por tipo de tenencia de vivienda	Distribución de la población por la forma de tenencia de vivienda (ej. propia, alquilada, etc.).

Tabla 7  
 Factores físicos

Factor	Tipo de distribución	Significado del tipo de distribución
<b>Factor físico</b>	Distribución por características de la vivienda	Por tipo de pared, por tipo de techo, por tipo de piso.
	Distribución de servicios básicos	Por disponibilidad de electricidad, por tipo de evacuación de aguas servidas, por disponibilidad de baño, wáter o letrina, por modo de uso de servicios sanitarios, provisión de agua potable, distancia a redes de colectores.
	Vías de acceso	Distancia a vías de acceso.

Tabla 8  
 Factores económicos

Factor	Tipo de distribución	Significado del tipo de distribución
<b>Factor económico</b>	Centros de abasto	Distancia a/de supermercados, distancia a mercados.
	Centros financieros	Distancia a bancos.

Tabla 9  
 Factor de apoyo y política institucional

Factor	Tipo de distribución	Significado del tipo de distribución
<b>Apoyo y política institucional</b>	Centros de emergencia	Ubicación de bases de atención a emergencias de la DEGIR.



Tabla 10  
Factores de servicios

Factor	Tipo de distribución	Significado del tipo de distribución
<b>Servicios</b>	Estaciones de bomberos	Distancia a estaciones de bomberos.
	Centros educativos públicos	Densidad de centros educativos públicos.
	Centros policiales	Distancia a módulos policiales.
	Centros de salud	Densidad de centros de atención médica pública, centros de atención administrados por ONGs, centros de salud institucionales, laboratorios prefecturales, morgues.
	Cementerios	Cementerios públicos y privados, cementerios clandestinos.
	Cobertura de transporte público	Rutas de microbuses, rutas de minibuses, rutas de trufis.

### TERCERA ETAPA: Estandarización y ponderación de variables

En esta etapa de estandarización y ponderación trabajó un equipo multidisciplinario para poder definir los mejores criterios, especialmente en la asignación de pesos.

En la estandarización se tomó en cuenta el tipo de variable y la consideración que se debía hacer sobre la utilización de toda la serie de valores de cada una, o si se hacía necesario limitar los valores con un nivel de incidencia en los valores de algunas de ellas.

En el proceso de ponderación o asignación de pesos dentro de la herramienta SMCE se utilizaron dos métodos, uno fue el método de orden jerárquico (Rank Order) y el otro, el método de asignación directa.

La utilización de uno u otro método estuvo basada en el análisis del número de clases para cada grupo, subfactor y factor, tomando en cuenta que el método de orden jerárquico no es viable para más de seis niveles.

#### Descripción del método Ponderación por Orden de Jerarquía

El conjunto de pesos de un problema con tres criterios ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ) que no son negativos y se suman, se representa como un triángulo ABC en la Ilustración 40. Si el criterio  $C_1$  es más importante que el criterio  $C_2$  si el criterio  $C_2$  es más importante que el criterio  $C_3$ , entonces el conjunto de pesos factible  $S$  es igual a la ADE del triángulo sombreado en la Ilustración 40. Esto demuestra que la información contenida en el análisis de jerarquización es importante, desde el conjunto de pesos que no son negativos y sumaran 1 (extraído de Ilwis Help, traducción: R. Porcel).

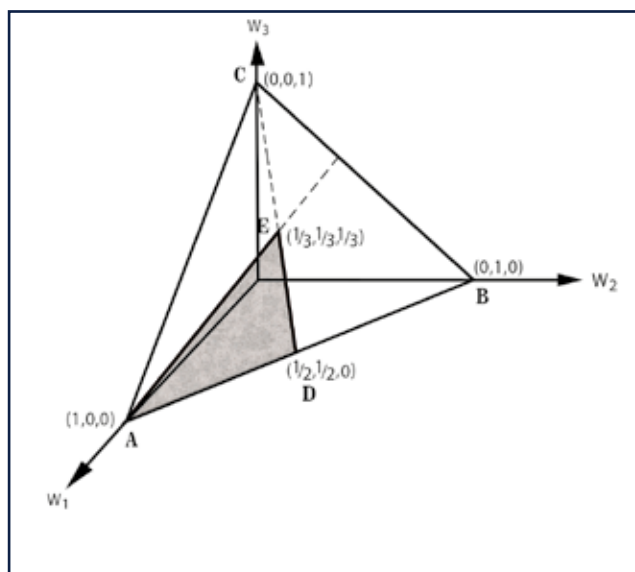


Figura 6. Gráfico descriptivo.  
Fuente: Extraído de Ilwis Help.

Este método calcula el peso,  $w_k$ , para el criterio  $k$  según la ecuación 1, donde  $n$  es el número de criterios. Una vez más, los pesos forman el orden de los criterios definidos por el conjunto  $S$ , lo que significa que  $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ .

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

Ecuación 1

Siguiendo esta fórmula, la asignación de pesos según el número de clases será de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 11  
Pesos por número de variables

Number of criteria	Criterion weights using rank sum method					
<u>N</u>	<u>w1</u>	<u>w2</u>	<u>w3</u>	<u>w4</u>	<u>w5</u>	<u>w6</u>
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

### Método directo de asignación de pesos

Estos factores fueron incorporados sistemáticamente dentro del árbol de evaluación de la herramienta de acuerdo con los siguientes criterios para cada factor y subfactor:

#### Factor poblacional

Este factor fue incorporado al árbol de análisis de acuerdo con la muestra de la figura 7:



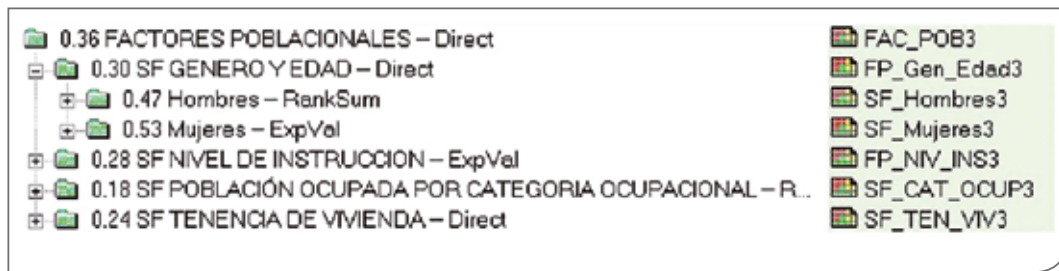


Figura 7. Árbol de criterios-SMCE Ilwis OS.

Fuente: Elaboración propia.

**a. Género y edad**

Para el primer subfactor Género y edad se especializaron las tablas de la población dadas por el censo 2001, separando a la población por género, la ponderación que se hizo fue en consideración simple a la representación en porcentaje de cada uno en relación con el universo de población. La siguiente clasificación se hizo por grupos etarios quinquenales, misma agrupación que toma el INE en la presentación de resultados. Para ambos géneros se aplicó una escala de nivel de vulnerabilidad basada en la edad haciendo una consideración básica de que los niños y adultos mayores tienden a ser más vulnerables ante una posible situación de desastre, ej.:

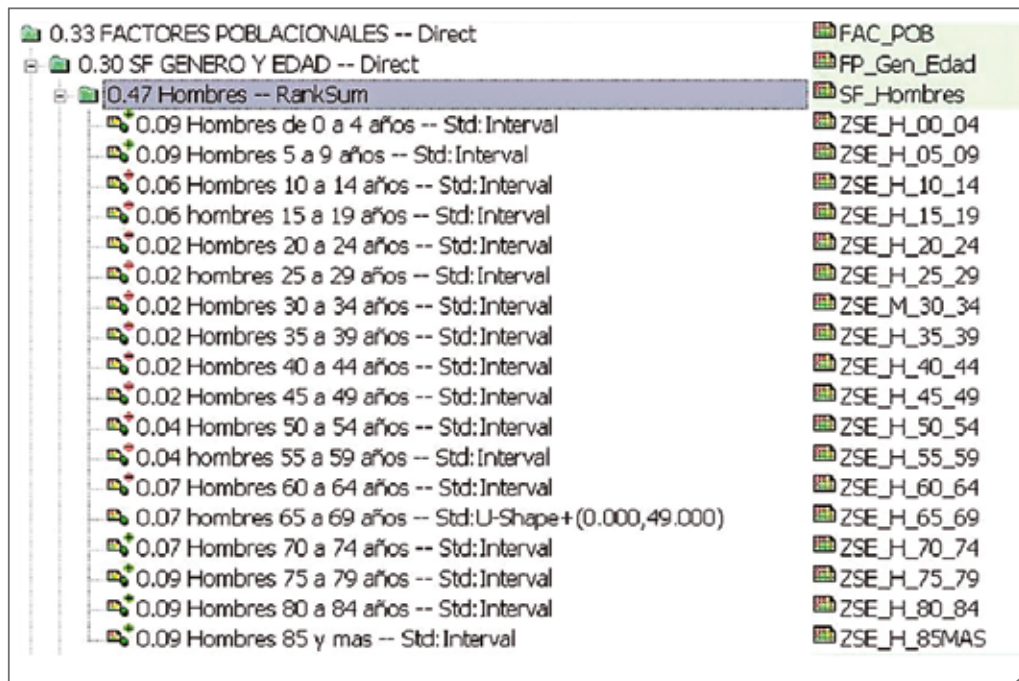


Figura 8. Esquema de análisis. Detalle de incorporación por nivel etario.

Fuente: Elaboración propia.

Los niños que van de 0 a 9 años y adultos mayores de 65 años fueron considerados como sectores de la población más vulnerables ante una condición adversa; en el mismo sentido, aquellos comprendidos entre los 10 y 59 años son el grupo que se considera menos vulnerable ante este tipo de situación, se consideró además un nivel de transición que va de 60 a 65 años.

**b. Nivel de instrucción**

Para este otro subfactor se tomaron como datos de entrada las tablas procesadas por el INE (censo 2001) donde se clasificó a la población de acuerdo con detalle de categorías plantadas por la mencionada institución:

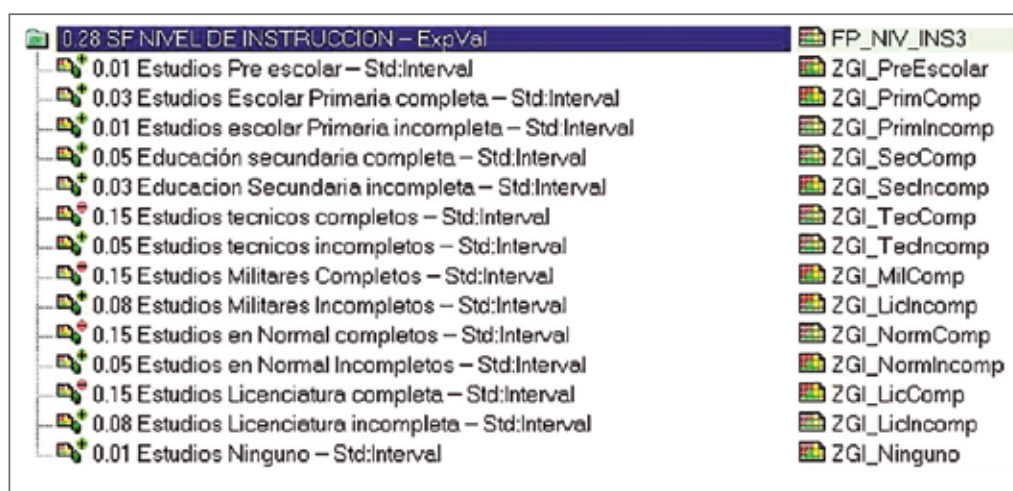


Figura 9. Esquema de análisis

Fuente: Elaboración propia.

De cada una de estas categorías se consideró que suman al nivel de vulnerabilidad aquellos grados iniciales hasta la secundaria completa y todos los demás grados incompletos de estudio, en este mismo sentido se entendió que aquellas clases de profesionalización que fueron completadas son un factor que puede reducir el nivel de vulnerabilidad ante un evento adverso.

**c. Población por categoría ocupacional**

Dentro de este factor se consideró que todas las personas que desarrollan algún tipo de actividad económica remunerada tienen una ventaja, en contraposición a aquellas que no la perciben, incluyéndose las que desarrollan su actividad dentro del hogar.

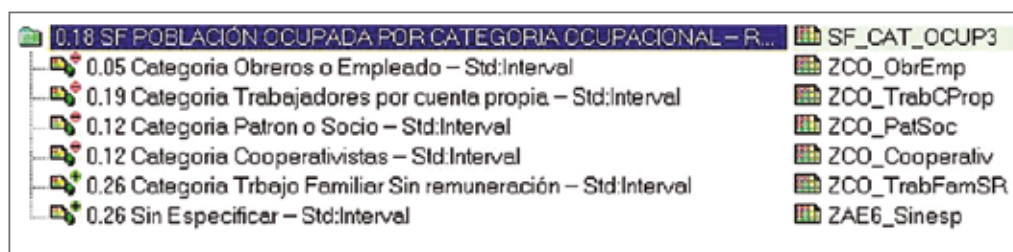


Figura 10. Esquema de análisis-SF Población por categoría ocupacional.

Fuente: Elaboración propia.



**d. Tenencia de la vivienda**

Dentro de este factor se consideró que ante un evento adverso los núcleos poblacionales menos afectados serían aquellos que viven en una vivienda alquilada, prestada o cedida por algún tipo de servicio; esto, en razón de que al existir una pérdida parcial o total de inmueble no sería directamente afectada, pese a que pudiese existir una pérdida de enseres y artículos personales. Por el contrario, esta posible pérdida del inmueble afecta directamente a los propietarios y anticresistas, los segundos, al perderse la vivienda perderían el patrimonio de la persona o familia y al no existir una figura legal que defina las condiciones de la devolución total o parcial del monto entregado en calidad de anticrético esta pérdida significaría el total de su patrimonio destinado a vivienda.

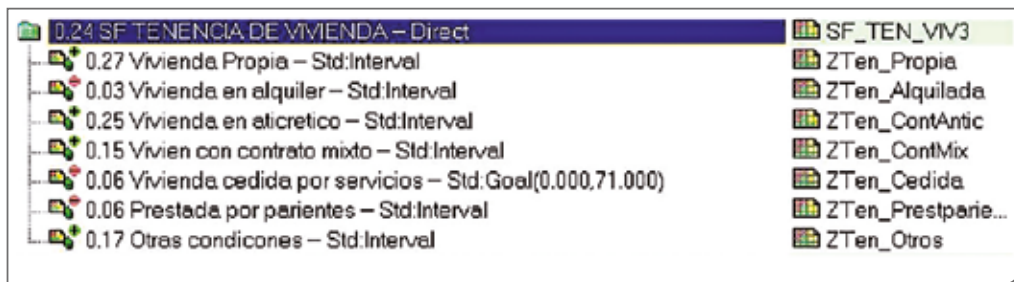


Figura 11. Esquema de análisis-SF Tenencia de vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

**Factores físicos**

Dentro de este eje fueron considerados los subfactores dirigidos a las condiciones de la vivienda de la población, estas condiciones se agruparon en tres subgrupos, el primero que refiere al material de la vivienda, el segundo a los servicios básicos con los que cuenta y el tercero a la densidad de vías de acceso que existe en cada zona censal.

**a. Estructura de la vivienda**

La pregunta central para la ponderación que se planteó para este eje fue: ¿Cuál es la posibilidad de que falle en su función ante un evento adverso? Adicionalmente al análisis de cada subfactor se plantearon algunas otras preguntas que se detallan a continuación.



Figura 12. Esquema de análisis-Factores físicos.

Fuente: Elaboración propia.

Método de ponderación: Rank Ordering

Dentro del subfactor dirigido a evaluar las condiciones propias de la vivienda se tomaron tres elementos constructivos básicos, que son: paredes, techos y pisos; a partir de esta división se los clasificó por el tipo de material que refiere cada uno de ellos según las clases establecidas por el INE.

En el caso del tipo de paredes se consideró que si están construidas con ladrillo, hormigón y piedra, estos tres tipos de materiales reducen la posibilidad de fallar en caso de un evento adverso; por el contrario, materiales como el adobe y madera incrementan las posibilidades de fallar.

Para el caso de techos, además de tomar la posibilidad de falla se tomó en cuenta la posibilidad de reutilización de la calamina o de la teja.

Para pisos, además de considerar su posible reutilización se tomó en cuenta el bajo costo que tienen algunas de las clases consideradas, como es el caso de los pisos de ladrillo o de tierra.



Figura 13. Esquema de análisis-SF Estructural de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

### b. Servicios básicos

Para este subfactor se tomaron en cuenta seis grupos, de los cuales se pudo conseguir la información suficiente: disponibilidad de electricidad, tipo de evacuación de aguas servidas, disponibilidad de baño o letrina y modo de uso de servicios sanitarios fue la información extraída del censo 2001; provisión de agua potable y distancia a redes de colectores fueron variables tomadas de información proporcionada al municipio por aguas del Illimani en 2005.

En el grupo "Disponibilidad de electricidad" se diferencié a aquellas personas que sí poseen el servicio, considerando esto como un elemento que reduce su condición de vulnerabilidad, en el mismo sentido se consideró que aquellas que están conectados a una red de alcantarillado son menos vulnerables.

Para la provisión de agua potable se hizo una inferencia por distancia, es decir, poniendo un rango de 500 m para la red primaria y 300 m para la red secundaria.



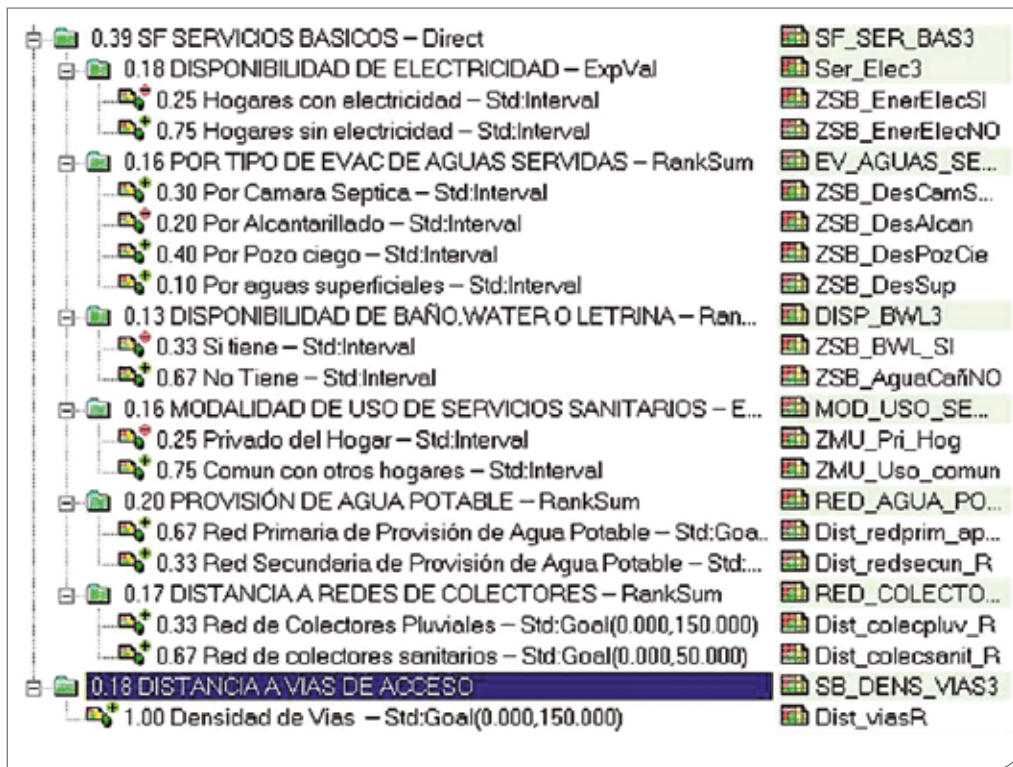


Figura 14. Esquema de análisis-SF Servicios básicos.

Fuente: Elaboración propia.

### Factor económico

Dentro de este factor se consideraron dos elementos de la dinámica económica poblacional, que son: los centros de abasto y los bancos.

La consideración de estos elementos es que un área poblacional será menos vulnerable si tiene centros de aprovisionamiento cercanos, y si puede acceder a algún servicio bancario (retiros de dinero, recepción de giros) frente a posibles eventos adversos que alteren la normalidad de sus actividades.

Las dos razones fundamentales por las que los usuarios acuden a una agencia bancaria o financiera son la "cercanía a su casa" y "la cercanía al centro de trabajo" (MBS Consulting, 2011).

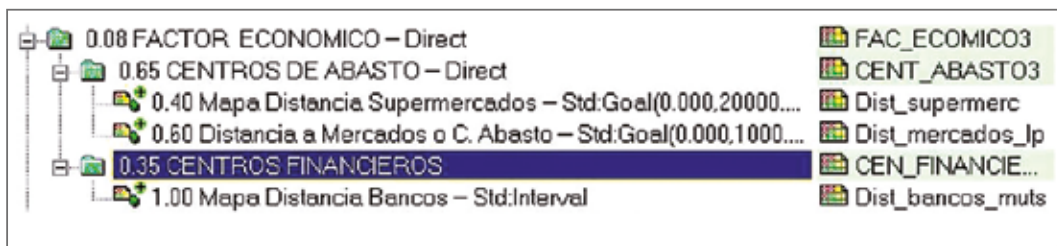


Figura 15. Esquema de análisis-Factor económico.

Fuente: Elaboración propia.

### Factor Apoyo Institucional

Dentro de este factor se consideró la disposición de las bases de atención a emergencias que posee la DEGIR, estas bases cuentan con la capacidad suficiente, especialmente en época de lluvias, para atender y cubrir los requerimientos de la población de todo el municipio.



Figura 16. Árbol de criterios-Factor apoyo institucional.

Fuente: Elaboración propia.

### Factor elementos esenciales

Dentro de este eje se consideraron aquellos elementos que complementan y caracterizan el entorno urbano, son los elementos complementarios a los servicios básicos que permiten interaccionar a los miembros de la sociedad y que deben garantizar su seguridad.

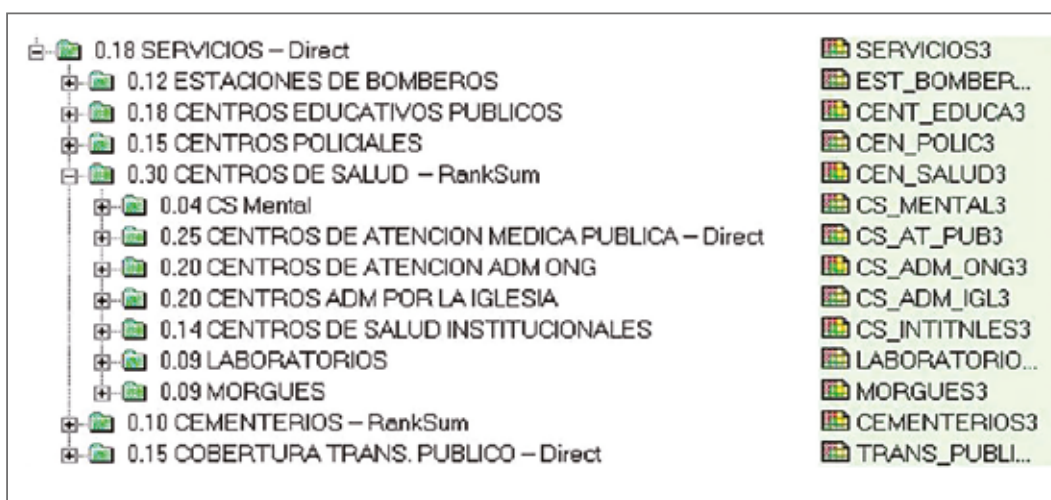


Figura 17. Esquema de análisis-Servicios.

Fuente: Elaboración propia.

#### a. Est. bomberos, c. educativos, centros policiales

Para estos tres primeros subfactores se espacializó su ubicación y con base en un análisis de distancia se trabajó su grado de influencia, es decir para las estaciones de bomberos se consideró su acción a nivel de todo el municipio. El criterio tomado para los centros educativos es que estos pueden y han funcionado como albergues transitorios para damnificados en diferentes ocasiones; si bien no existe un convenio o política definida con las instancias que administran estos establecimientos, estos centros han sido muy útiles en el trabajo de ayuda y hospedaje a sectores de la población afectados.



En el caso de los módulos policiales, hecho el análisis de las condiciones en las que funcionan los mismos se consideró un radio de acción de hasta 3 000 m, distancia que puede variar de un módulo a otro por las características heterogéneas que tienen, en muchos sí disponen de vehículos o motocicletas y en otros el desplazamiento de efectivos es solo a pie.

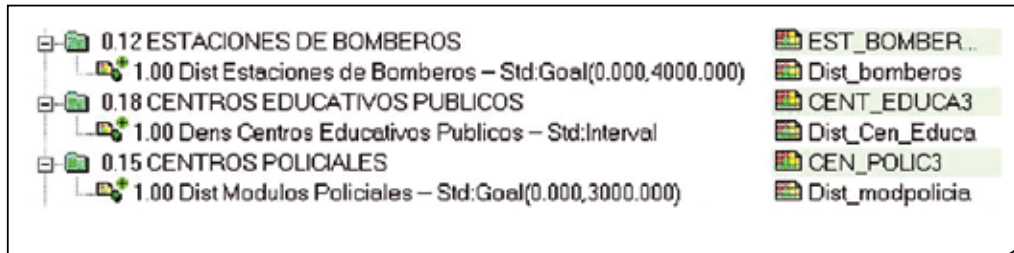


Figura 18. Esquema de análisis.

Fuente: Elaboración propia.

### b. Centros de salud

En referencia a los centros de salud se tomaron en cuenta los archivos elaborados por el Dr. Hardy, quien mapeó y caracterizó los centros de salud en el municipio, con base en este trabajo se clasificaron en cinco grupos de atención directa y dos servicios indirectos; a los de atención directa se los clasificó a su vez por el tipo de administración y accesibilidad a la población, de acuerdo con el siguiente esquema:



Figura 19. Esquema de análisis-GR Centros de salud.

Fuente: Elaboración propia.

Los Centros de Salud Mental se separaron en un grupo individual por el tipo de atención especializada que brindan.

Los centros de atención médica pública se dividieron en tres grupos por el nivel y/o capacidad de atención que pudieran brindar, considerando tres clases, la primera que engloba hospitales, clínicas y servicio de emergencia, que son las instalaciones a donde la población acude de forma masiva y donde pueden brindar atención especializada. Los policlínicos son centros con capacidad más reducida pero que ofrecen atención en algunas especialidades.

Los centros de salud son entidades con capacidad de atención reducida y están dirigidos a atender casos más simples, en gran parte son más de tipo ambulatorio.

Método de ponderación: Rank ordering.

### c. Cementerios

Sobre este relevamiento de información se clasificó al total en dos grupos por un factor de legalidad, considerando que aquellos que son legales en un caso de desastre en el que puedan ser afectados existe una empresa o institución que será responsable de reparar o subsanar los posibles daños causados por el fenómeno adverso, además de velar por todo posible efecto de contaminación.

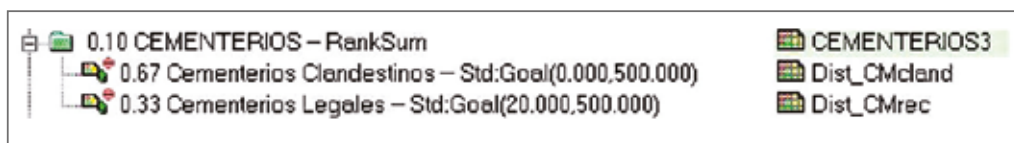


Figura 20. Esquema de análisis-Cementerios.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se hizo una inferencia de distancia para ambas clases, en el caso de los clandestinos se tomó una distancia o perímetro de 500 m y para los legales, una de los 20 a 500 m.

Método de ponderación: Rank ordering.

### d. Cobertura del transporte público

Gracias al trabajo realizado por la Unidad de Tráfico y Vialidad del GAMLP se incluyó la información correspondiente a la cobertura del transporte público, de esta información se obtuvieron tres clases, las cuales se diferencian por el tipo de vehículo que utiliza cada línea y que además está asociado a un costo o tarifa.

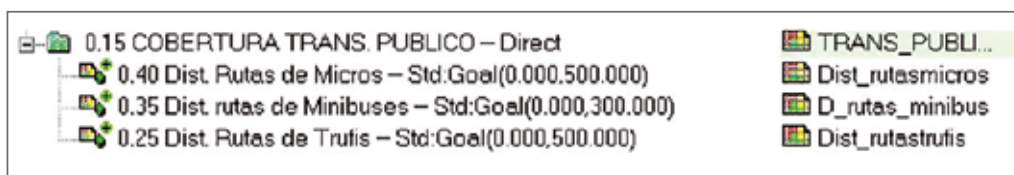


Figura 21. Cobertura de transporte público.

Fuente: Elaboración propia.

Método de ponderación: Directo





**CUARTA ETAPA-RECLASIFICACIÓN DE UNIDADES POR GRADO DE VULNERABILIDAD**

Este proceso consiste en una reclasificación o agrupación de los valores para hacer más visual y comprensible el producto final para el usuario transportando estos valores cuantitativos a un criterio cualitativo, esta agrupación de los valores del mapa Índice se hizo con base en los datos estadísticos extraídos del histograma; con el análisis de estos valores se elaboró la tabla de umbrales para la reclasificación.

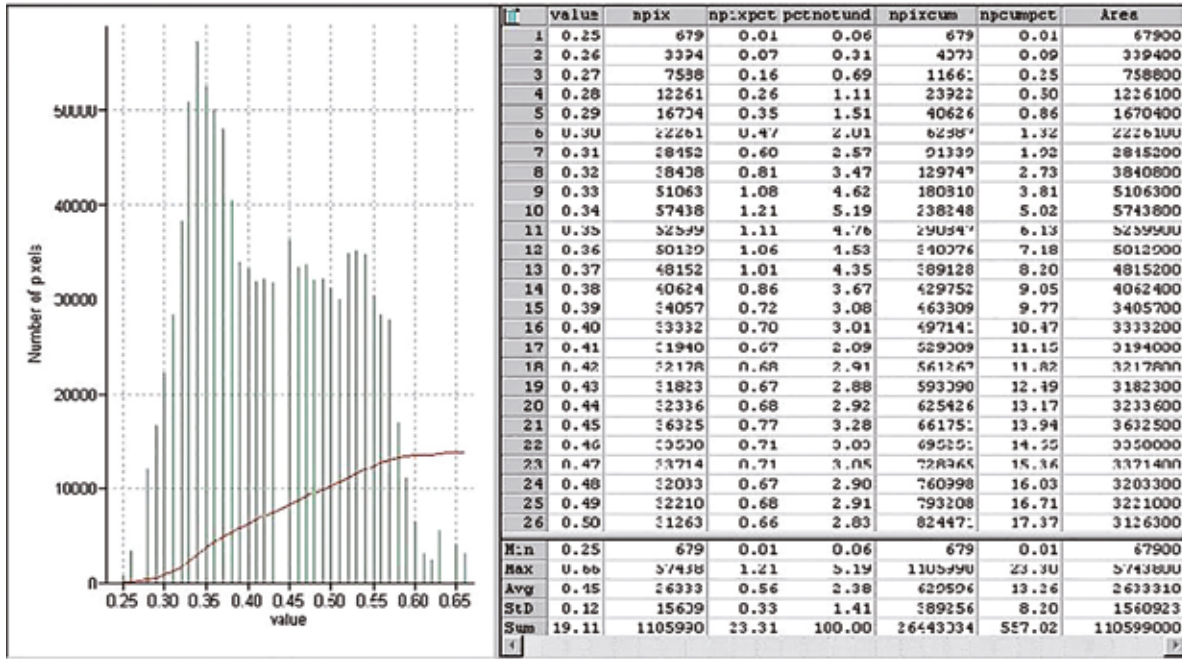


Figura 22. Histograma. Mapa Índice de Vulnerabilidad.

Del histograma anterior se obtiene la siguiente tabla resumen:

**Tabla 12**  
**Tabla resumen de indicadores**

Indicador	Valor
Valor mínimo	0,25
Valor máximo	0,66
Promedio	0,45
Mediana	0,42

Para la transposición a grados cualitativos se utilizaron cinco clases:

Tabla 13  
Grados cualitativos

Grado	Color
Muy bajo	Verde oscuro
Bajo	Verde claro
Moderado	Amarillo
Alto	Naranja
Muy alto	Rojo

Aplicada la función Slicing del software Ilwis, según los valores estimados para cada una de las clases, se obtuvo el mapa de vulnerabilidad reclasificado.

### 7.7. Análisis de resultados

En esta etapa del trabajo se analizaron primeramente los resultados por grupo, luego por subfactor y por factor, para determinar la coherencia de cada uno de ellos antes de calcular el producto final, es así que después del proceso de modelamiento los porcentajes de peso para cada factor son los que se aprecian en el gráfico siguiente:

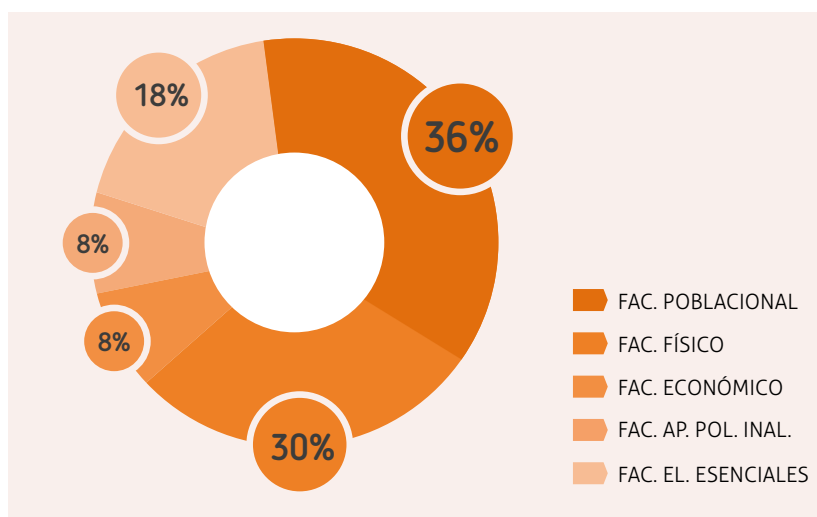


Figura 23. Pesos por factor en porcentaje.

### Productos obtenidos

Los productos parciales resultado de los cinco ejes principales planteados fueron:

- Mapa de Vulnerabilidad - Factor Poblacional
- Mapa de Vulnerabilidad - Factor Físico
- Mapa de Vulnerabilidad - Apoyo Institucional



- Mapa de Vulnerabilidad - Factor Económico
- Mapa de Vulnerabilidad - Factor Servicios

Los productos finales son:

- Mapa Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica
- Mapa Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica-Reclasificado

### Descripción de los productos obtenidos

#### Mapa de Vulnerabilidad - Factor Poblacional

De acuerdo con el resultado obtenido se puede mencionar que:

- La concentración de la población más vulnerable se encuentra ubicada en la zona de Irpavi Bajo, Ciudadela Stronguista y parte de Vino Tinto.
- Existe un mayor nivel de vulnerabilidad en las laderas de la ciudad con respecto al centro de la urbe.
- Las zonas con menor índice son las zonas de Koani, Achumani y Sopocachi.

#### Mapa de Vulnerabilidad - Factor Físico

De acuerdo con el resultado obtenido se puede mencionar que:

- Las zonas más vulnerables según este factor son las que están en áreas perimetrales del municipio, especialmente al oeste de la zona de Inca Llojeta y al este de Chasquipampa, hacia Ovejuyo.
- Las zonas que tienen un nivel medio alto son Mallasa, Valle de las Flores, Primavera, Limanipata e Inca Llojeta.
- Las zonas que muestran un nivel más bajo son Sopocachi, Koani, Achumani y Calacoto.

#### Mapa de Vulnerabilidad - Apoyo Institucional

De acuerdo con el producto obtenido se puede mencionar que:

- Las áreas más vulnerables de acuerdo con este factor son las que están más alejadas de las bases definidas por DEGIR, esto es explicable ya que solo se consideró este factor sobre un análisis de distancia. Bajo este criterio, los sectores de Mallasa y Chasquipampa hacia el este serían las más vulnerables.

#### Mapa de Vulnerabilidad - Factor Económico

De acuerdo con el producto obtenido se puede mencionar que:

- Las zonas más vulnerables son Mallasa, Ciudadela Stronguista, Kellumani, Chuquiaguillo, Limanipata y el área que se encuentra al suroeste de Incallojeta.

- Las zonas con un nivel moderado son las que están ubicadas en la ladera oeste, Chasquipampa, Ovejuyo, Tembladerani y Alto Achumani.
- Las zonas con nivel más bajo, es decir con mejor cobertura de este tipo de elementos de dinámica económica, son la Central, Miraflores, Sopocachi, Obrajes y San Miguel.

### Mapa de Vulnerabilidad - Factor Servicios

De acuerdo con el producto obtenido se puede mencionar que:

- Las zonas que tienen un mayor índice de vulnerabilidad son las que están de manera general al sur partiendo de Obrajes hasta Lipari, hacia el sur, Kellumani y Chasquipampa al este, al norte Limanipata y Chuquiaguillo.
- Las zonas con un nivel moderado son las que se encuentran en la ladera oeste, Villa Copacabana y Villa Victoria,
- El área con un nivel bajo es la que incluye el Centro, Sopocachi, San Pedro y Miraflores.

### Mapa Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica

De acuerdo con el producto obtenido se puede mencionar que:

- El área con un índice bajo es la que se encuentra en el centro de la ciudad, desde la zona de San Sebastián, San Pedro, Sopocachi y parte de Miraflores.
- Las que muestran un valor medio son la ladera oeste, Villa Copacabana, parte de Calacoto y Achumani Bajo.
- Las zonas con índice más alto de vulnerabilidad son Limanipata, Kellumani, Jupapina, la parte alta de Chasquipampa y Ovejuyo.

### Mapa Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica - Reclasificado

Utilizando el Mapa Índice de Vulnerabilidad se reagruparon los valores en cinco clases o niveles; esto, con objeto de hacer más visual los niveles de vulnerabilidad.

Del histograma del mapa reclasificado se obtiene la siguiente gráfica:

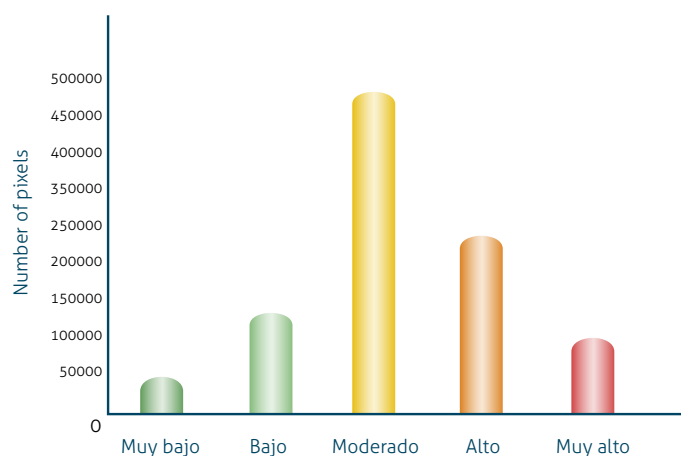


Figura 24. Comparativo por grados (N° de píxeles).





- Las zonas con un nivel muy alto de vulnerabilidad se encuentran en la periferia del área de estudio.
- Las zonas con un nivel alto son Mallasa, Ciudad Stronguista, la parte alta de Chasquipampa, Callapa, Santa Rosa de Callapa y Santísima Trinidad.
- Las zonas con un grado moderado son Achachiala, Vino Tinto, Pura Pura, Bajo Llojeta, Calacoto, Cota Cota, Chasquipampa e Irpavi.
- Las zonas con grado "Bajo" son parte de Achumani, Obrajes, Tembladerani, Miraflores bajo, Gran Poder, Villa Copacabana y Villa Fátima.
- Las zonas con un nivel "Muy Bajo" son Sopocachi, Santa Bárbara, San Sebastián, todo el casco central y parte de San Pedro.

La siguiente tabla muestra la relación por área y porcentaje.

Tabla 14  
Relación de grados por superficie y porcentaje

Grado	Sup m <sup>2</sup>	%	ha
Muy bajo	6.235.189,92	5,64	508,672474
Bajo	17.690.010,66	16,00	1390,24983
Moderado	38.588.705,88	34,90	5137,86816
Alto	29.965.585,63	27,10	3001,09752
Muy alto	18.077.789,38	16,35	1037,52202
<b>TOTAL</b>	<b>110.557.281,47</b>	<b>100,00</b>	<b>11075,41</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 8. Mapa de riesgos

El mapa de riesgos determinará áreas geográficas donde existe la posibilidad de que ocurran daños a causa de eventos adversos, se basa en las características naturales del terreno como: topografía, geología, fallas geológicas activas, condiciones geomecánicas del suelo tomando en cuenta el sistema al que estaría afectando, sistema que puede ser social, político o económico; el objeto de identificar dicha relación de probabilidad *versus* sistema afectado permitirá programar las medidas de protección adecuadas. Por otro lado, será una base para reglamentar los usos de las distintas áreas geográficas de acuerdo con el nivel de riesgo que represente. Es un instrumento importante para el ordenamiento territorial y así garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

### 8.1. Características principales del riesgo

#### Dinámico y cambiante

El riesgo es producto de factores de amenaza con factores de vulnerabilidad, siendo ambos dinámicos y cambiantes en el tiempo; por ello, el riesgo tiene el mismo comportamiento dinámico y cambiante respecto al tiempo.

## Diferente percepción del riesgo en la sociedad

Los miembros de la sociedad o comunidad no tienen la misma percepción del riesgo, por estar condicionada a la función y responsabilidad que cumple el individuo en la sociedad, además está condicionada a la posición social, económica y psicológica del mismo individuo.

## Antrópico

El riesgo no solo está condicionado por los fenómenos naturales, sino también, y de gran manera, por la interacción continua del hombre frente a su entorno. En ese entendido es un proceso social de configuración de riesgo determinado por procesos económicos, sociales, políticos y culturales que contribuyen a la generación del riesgo y determinan niveles y condiciones de exposición al riesgo.

## 8.2. Metodología

---

La elaboración del producto final constó de tres etapas:

**Primera etapa:** Revisión del mapa insumo

**Segunda etapa:** Construcción del modelo de evaluación

**Tercera etapa:** Revisión de resultados

### Primera etapa: Revisión del mapa insumo

La revisión de los insumos significó la revisión del mapa de amenazas y del mapa de vulnerabilidad, esta revisión de cada uno significó en primera instancia el análisis espacial comparativo de superficies, revisión de valores por pixel en los mapas índice y revisión de incoherencias.

Esta etapa es necesaria ya que se deben verificar las condiciones y características espaciales de superficie para cada uno de los mapas, es decir, para el mapa de vulnerabilidad ya se mencionó que fue trabajado sobre la cartografía base utilizada en el censo 2001 del INE, esta cartografía restringe la información al área considerada para ese proceso y que en otros sectores sale del límite municipal, es bajo estas consideraciones que se debió hacer ese tipo de revisión.

Basados en ese enfoque, se decidió que para el análisis final de resultados se tomarían en cuenta solo las unidades circunscritas por el límite municipal. Por otra parte, se revisó la existencia de pixeles con información que fuera de los límites generales de cada uno de los mapas insumo, estos pixeles suelen aparecer debido a pequeños segmentos innecesariamente digitalizados en layers de origen CAD.

### Segunda etapa: Construcción del modelo de evaluación

Para el procesamiento del mapa índice de riesgo se utilizó la herramienta SMCE del Software Ilwis 3.7, construido el modelo nuevamente se reunió el grupo multidisciplinario de profesionales para ajustar los porcentajes para cada una de las variables insumo, este ajuste se basó en dos elementos esenciales, el primero en la diferente visión y puntos de vista sobre la temática de riesgos que tiene cada línea profesional (economistas, geólogos, agrónomos, ingenieros civiles) y en el amplio conocimiento y experiencia del equipo participante del municipio.

El siguiente flujograma resume la secuencia de las variables utilizadas:

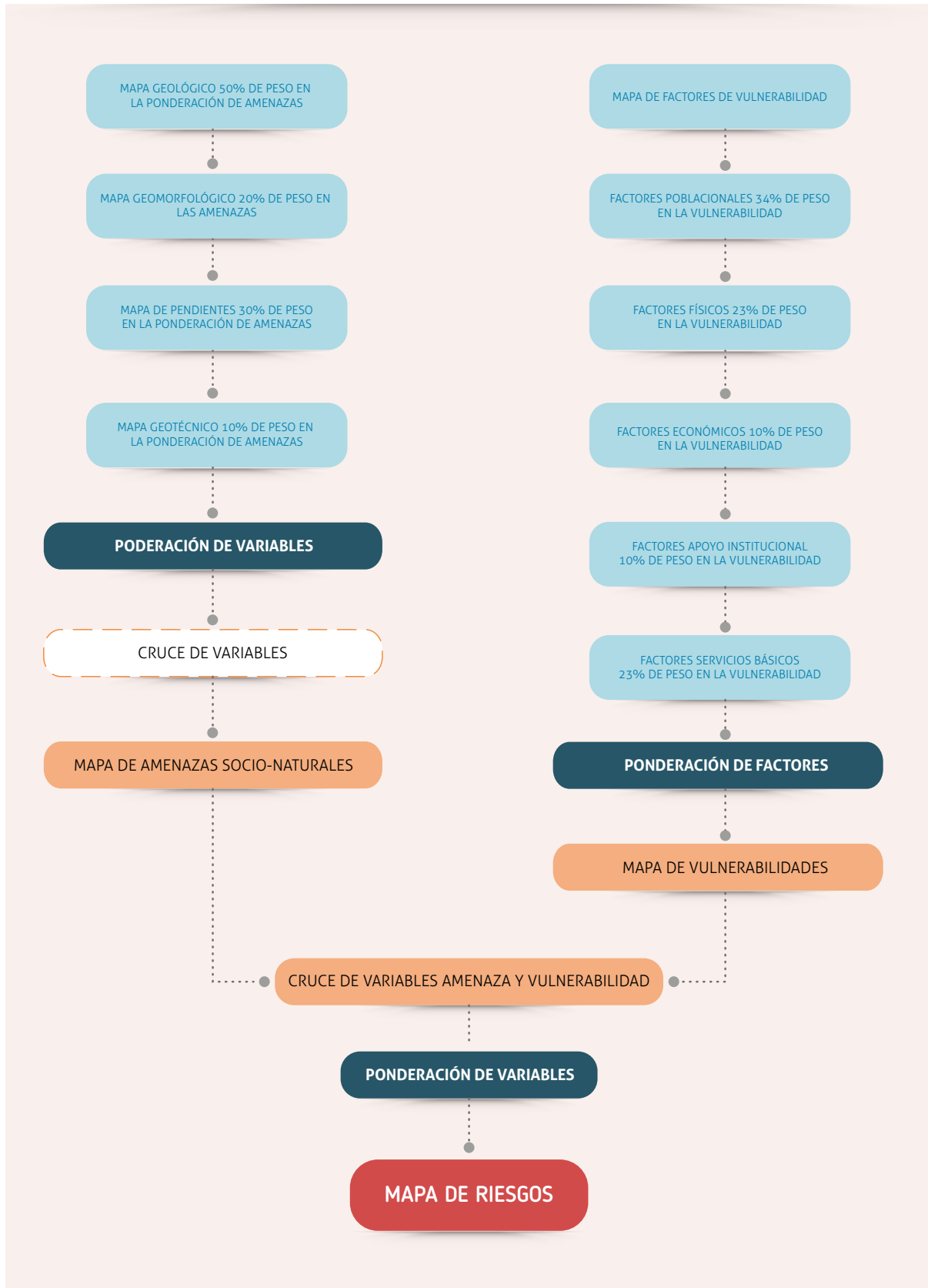


Figura 25. Flujograma mapa de riesgos.

Una vez que los subproductos variables que son el mapa de amenazas y el de vulnerabilidad fueron consolidados, el siguiente paso fue establecer, en el cruce de ambos, la relación de peso que deberían tener las mencionadas variables; es así que después de un proceso de ajuste consensuado se identificó que la relación de pesos que más se ajustaba era la que muestra la siguiente gráfica:

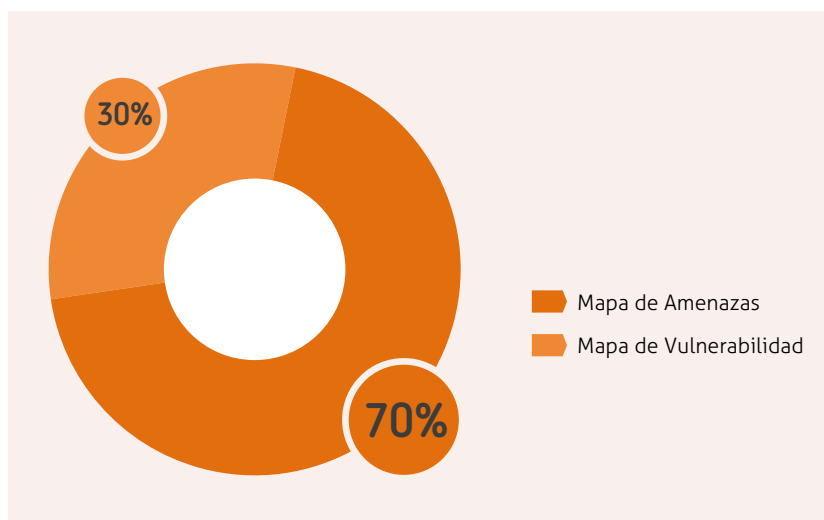


Figura 26. Mapa de riesgos variables en porcentajes.

### Tercera etapa - Revisión de resultados y caracterización de zonas

En esta etapa nuevamente participó el conjunto de profesionales involucrado, el método adoptado para la revisión fue la realización de un taller de retroalimentación. En la dinámica de este taller se analizaron los resultados de forma general y específica para cada macrodistrito, además se fueron justificando los valores por cada zona o sector.

De forma simultánea, mientras se analizaban los valores de cada una de las zonas se iban caracterizando los elementos o causales que definieron el valor de índice por unidad espacial.

### 8.3. Descripción de los grados de riesgo

A continuación se representa en un cuadro la explicación de los cinco grados de riesgo, y el porcentaje de la mancha urbana expuesto a este grado de riesgo.





Tabla 15  
Descripción de grados de riesgo

Grado	Descripción de los daños esperados	Superficie (porcentaje aprox.)
Muy bajo	Muy leves, asentamientos diferenciales, erosión e inestabilidad en los taludes, erosión de pie, muy pocas personas afectadas, edificaciones levemente dañadas, buena cobertura de servicios básicos y elementos esenciales. Condiciones por vulnerabilidad específica de acuerdo con la zona.	6%
Bajo	Leves, zonas saturadas y en lugares inundables, se pueden presentar asentamientos diferenciales especialmente en los abanicos aluviales. Pocas personas afectadas, de igual manera edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios y medio ambiente. Condiciones de vulnerabilidad específicas de acuerdo con la zona.	22%
Moderado	Daños moderados con relieve de abrupto a moderado afectado por erosión superficial e interna, inestabilidad en ciertos sectores por la saturación, disminución de las características físico-mecánicas, en ciertos sectores, presencia de niveles limosos y gravosos densos y plásticos, existen zonas de falla potencialmente activas. Daños moderados en edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios y medio ambiente. Condiciones por vulnerabilidad específica de acuerdo con la zona.	41%
Alto	Daños elevados, en áreas de relieve abrupto afectado por erosión superficial e interna. Inestabilidad en varios sectores por: erosión de pie, presencia de arcillas plásticas y saturadas, presencia de arenas saturadas sin cohesión, presencia de aguas subterráneas, grietas de tracción y de compresión, pérdida de las propiedades físico-mecánicas de los suelos con la saturación, con la remoción y con la descomposición. De igual manera los daños pueden ser elevados en las edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios básicos y el medio ambiente. Muchas personas son afectadas. Condiciones por vulnerabilidad específica de acuerdo con la zona.	21%
Muy alto	Daños muy elevados, área de relieve abrupto y afectado por erosión superficial e interna, inestabilidad en el sector por la presencia de arcos de rotura manifestado (falla de rotura), además de grietas de tracción y de compresión de diferente magnitud, por la circulación de aguas subterráneas, presencia de arcillas muy plásticas, erosión del pie de talud y disminución de las propiedades físico-mecánicas de los niveles finos de saturación, descomposición o remoción. De igual manera los daños son elevados en las edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios básicos y el medio ambiente. La mayoría de personas son afectadas. Condiciones por vulnerabilidad específica de acuerdo con la zona.	10%

### Riesgo muy bajo

El 6% del área total de la mancha urbana de la ciudad de la Paz. Son áreas geográficas en las que no existen elementos expuestos, no existen fenómenos de remoción en masa de magnitud, aunque existen amenazas al medio ambiente en pequeña escala. En el mapa corresponde al área urbana comprendida entre las zonas de Achachicala, Pura-pura, San Pedro, Sopocachi y Miraflores.

### Riesgo bajo

En este nivel de riesgo se encuentra el 22% del área total de la mancha urbana. Están demarcadas las áreas con pendiente baja y muy baja, suelos con capacidad portante de buenas a excelentes, zonas saturadas pertenecientes a terrazas aluviales antiguas y recientes, abanicos aluviales y otros. Estas áreas en lugares son inundables, de la misma forma se pueden presentar asentamientos diferenciales, especialmente en los abanicos aluviales. Están identificadas la planicie de Achumani, Irpavi Bajo, Bolognia, la zona de Calacoto, Alto Obrajes. Identificada también la terraza de Pampahasi, las zonas de Tembladerani, Sopocachi, Villa victoria, Gran Poder y otras. Pocas personas afectadas, de igual manera edificaciones, centros de producción, servicios y medio ambiente.

### Riesgo moderado

En este nivel de riesgo se encuentra el 41% de la mancha urbana de la ciudad de La Paz, pueden presentarse en estas áreas daños moderados en edificaciones, en vías de acceso, en centros de producción. Las áreas con riesgo moderado presentan relieve de abrupto a moderado afectado por erosión superficial e interna, inestabilidad en ciertos sectores por la saturación, disminución de las características físico-mecánicas, en algunos sectores se observa la presencia de niveles limosos y gravosos densos y plásticos, existes zonas de falla potencialmente activas. Se pueden presentar daños moderados en edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios y medio ambiente. Entre las zonas que se caracterizan por presentar riesgo moderado están, en la zona sur, La Rinconada, parte de Cota Cota y Chasquipama, Irpavi II. En la zona norte, Vino Tinto, Achachicala, Chuquiaguillo y otras zonas diseminadas en toda la mancha urbana de la ciudad de La Paz.

### Riesgo alto

En este nivel de riesgo se encuentra el 21% del área ocupada por la mancha urbana de la ciudad de La Paz. En estas áreas los daños son elevados, presentan relieve abrupto afectado por erosión superficial e interna, inestabilidad en varios sectores por: erosión de pie, presencia de arcillas plásticas y saturadas, presencia de arenas saturadas y sin cohesión, presencia de aguas subterráneas, grietas de tracción y de compresión, pérdida de las propiedades físico-mecánicas de los suelos con la saturación, con la remoción o por la descomposición. Así mismo, los daños pueden ser elevados en las edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios básicos y ocasionan daños al medio ambiente; puede resultar muchas personas afectadas, entre estas áreas están comprendidas las zonas de Alto Achumani, Codavisa, Bajo Llojeta, parte de la zona de Cota Cota, Bella Vista y otras zonas en el macrodistrito sur, además de las zonas de San Simón, Octavio Campero, Kupini y otros en el macrodistrito San Antonio. En el macrodistrito de Mallasa están con riesgo alto, las márgenes derecha e izquierda del río Achocalla por la calidad de suelo, pendiente y presencia de aguas subterráneas, las otras zonas con riesgo alto están diseminadas en toda la mancha de la ciudad de La Paz.



### Riesgo muy alto

En este factor de riesgo se encuentra el 10% de toda el área de la mancha urbana de la ciudad de La Paz, en estas áreas los daños pueden ser muy elevados, estas áreas presentan relieve abrupto y están afectadas por erosión superficial e interna, inestabilidad en el sector por la presencia de arcos de rotura manifestada (falla de rotura), además de grietas de tracción y de compresión de diferente magnitud, por la circulación de aguas subterráneas, presencia de arcillas muy plásticas, erosión del pie de talud y disminución de las propiedades físico-mecánicas de los niveles finos de saturación, descomposición o remoción. De igual manera, los daños son elevados en las edificaciones, líneas vitales, centros de producción, servicios básicos y el medio ambiente. La mayoría de personas son afectadas.

Estos grados de riesgo se pueden identificar en la siguiente relación de colores en el mapa de riesgos.

Tabla 16  
Relación de grado de riesgo por calor y superficie

Grado	Color	Área (%)
Muy bajo	Verde oscuro	6%
Bajo	Verde claro	22%
Moderado	Amarillo	41%
Alto	Naranja	21%
Muy alto	Rojo	10%

## 8.4. Análisis de resultados

### Áreas de riesgo muy alto

La combinación del mapa de vulnerabilidades con el mapa de amenazas arroja como resultado 36 áreas dentro de la mancha urbana de la ciudad de La Paz, con riesgo muy alto, lo que representa el 10% del área de la mancha; mientras el 21% de la mancha urbana está identificada con riesgo alto, el 41% está catalogado con riesgo moderado, 22% del área total de la ciudad de La Paz está identificada con riesgo bajo, y solamente el 6% del área está identificada como área de riesgo muy bajo.

Las 36 áreas son sujetas a monitoreo permanente, inspecciones continuas y acciones en el control de las causas por las cuales se ha llegado a identificar el riesgo; en las 36 áreas es necesaria la caracterización de áreas mitigables al riesgo y áreas no mitigables al riesgo, este trabajo corresponde a un mapeo y evaluación de las áreas ya identificadas a una escala mayor 1: 1 000, 1:500, además de considerar las zonas de expansión urbana identificadas con riesgo muy alto.

### Descripción de las áreas de muy alto riesgo

Son 36 áreas de la mancha urbana de la ciudad de La Paz las de muy alto riesgo, y estas se subdividen, en función de su extensión, por macrodistritos:

### A. Macrodistricho Sur - 5

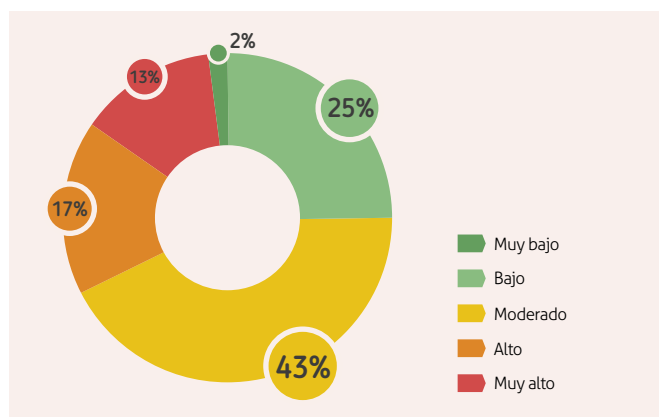


Figura 27. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistricho sur - 5.

Del total del área del macrodistricho Sur, 13% está identificada como área de muy alto riesgo; en esta superficie actualmente se identifican 13 sub-áreas con las siguientes características:

- a) 4 Áreas identificadas como áreas de expansión urbana.
- b) 3 Áreas se encuentran con obras de contención y con obras de control de aguas subterráneas.
- c) 2 Áreas están controladas relativamente con movimientos de tierra.
- d) 4 Áreas que en los últimos dos años han presentan desajustes.

En las siguientes tablas se detallan las características y condiciones.

Tabla 17

#### a) Áreas de riesgo muy alto identificadas en zonas de expansión urbana en el macrodistricho Sur - 5

N°	Nombre de zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Ciudadela Stronguista Norte	Muy alto	Deslizamiento por sobrepeso y aguas subterráneas. Falta de vías de acceso, falta de servicios	No cuenta con sistema de saneamiento básico.
2	CODAVISA	Muy alto	Deslizamiento por sobrepeso y aguas subterráneas.	No cuenta con sistema de saneamiento básico.
3	Flor de Irpavi	Muy alto	Inundación, deslizamiento y arrastre de material	A la fecha no cuenta con obras de control hidráulico.
4	Los Lirios Pedregal	Muy alto	Deslizamientos, material poco consolidado	No cuenta con saneamiento básico





Tabla 18

### b) Áreas de riesgo muy alto controladas con obras de contención y obras de control de aguas subterráneas en el macrodistrito Sur - 5

N°	Nombre de zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Las Carmelitas	Muy alto	Deslizamiento, material de relleno y aguas subterráneas.	Se emplazó muro pantalla sobre 30 pilotes.
2	Cota Cota calles 32-35	Muy alto	Deslizamiento por la presencia de aguas subterráneas.	Se emplazó muro pantalla sobre pilotes y galerías filtrantes.
3	24 de Junio- Alto Seguencoma	Muy alto	Deslizamiento, suelos inestables, aguas subterráneas.	Muro cajón en la base y anclado, galerías filtrantes y cortinas drenantes.

Tabla 19

### c) Áreas de riesgo muy alto y controladas relativamente con movimientos de tierra, en el macrodistrito Sur - 5

N°	Nombre de zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	23 de Marzo Achuma	Muy alto	Deslizamiento, material de relleno, poco consolidado	En el año 2003 se produjo deslizamiento y movimientos de tierra
2	Santa Fe de Kesini	Muy alto	Deslizamiento por calidad de suelos	Se realizó movimientos de tierra y se asentaron nuevas viviendas

Tabla 20

### d) Áreas de riesgo muy alto en el macrodistrito Sur - 5 con presencia de deformaciones altas y moderadas identificadas en los dos últimos años

N°	Nombre de zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Cota Cota calles 25-28	Muy alto	Desprendimientos y deslizamiento por aguas subterráneas.	Asentamientos diferenciales
2	Calle 23-Ventilla Bella Vistat	Muy alto	Deslizamiento por sobrepeso y aguas subterráneas.	Desajustes asentamientos diferenciales, grietas de tracción.
3	Calle 29, Las Lomas-Achumani	Muy alto	Inundación, deslizamiento y arrastre de material.	A la fecha no cuenta con obras de control hidráulico.
4	Calle 20 Bella Vista	Muy alto	Deslizamiento, material poco consolidado.	Presencia de aguas, grietas de tracción y aguas subterráneas.

Las causales del nivel de riesgo en estas trece áreas identificadas son:

### **GEOLOGÍA**

En conjunto presentan material arcilloso plástico poco consolidado, pertenecientes a torrentes de barro, materiales deslizados antiguamente, suelos afectados por erosión superficial e interna. De la misma manera presentan cárcavas de diferente magnitud, así mismo se observa presencia de aguas subterráneas que saturan el suelo y hacen que pierda sus cualidades físico-mecánicas tornándose en una amenaza en el área por la calidad de suelo.

Geomorfológicamente algunas áreas presentan un arco de antiguo deslizamiento, drenajes de aguas superficiales profundas y carcavamiento que posteriormente han sido modificados con movimientos de tierra de consideración, lo que ha cambiado la topografía del área; de la misma manera, las áreas de acuerdo con el mapeo e identificación, presentan grietas de tracción de diferente magnitud, algunas de ellas monitoreadas periódicamente y reportan incremento milimétrico.

### **VULNERABILIDADES**

Las áreas son de expansión urbana en la actualidad, no cuentan con servicios básicos, a la fecha se han asentado varias viviendas con construcciones precarias; también se observan edificaciones de media y gran inversión que consumen y necesitan los servicios básicos; tampoco existen vías de comunicación suficientes.

En las áreas donde presentan desajustes se tiene una mancha urbana considerable, todas densamente pobladas y con los servicios instalados, siendo que los servicios de agua potable y de alcantarillado deben ser revisados por dos razones; primero, porque su instalación data de muchos años atrás y segundo, porque por los desajustes de la zona los sistemas de alcantarillado han sufrido deterioros y están dañados.

No existen centros de salud en estas áreas que puedan cubrir los requerimientos de la población del lugar.

### **CONCLUSIONES**

El mapa de riesgos identifica trece zonas como de muy alto riesgo en este distrito.

(De acuerdo con los tiempos de inspecciones y/o de informes, el riesgo identificado a la fecha cambiará a medida que se intervenga en el área con saneamiento básico, control de aguas superficiales, control de torrenteras y las nuevas construcciones se adecuen y normen a la calidad del suelo existente en la zona.)



**B. Macrodistrito San Antonio - 4**

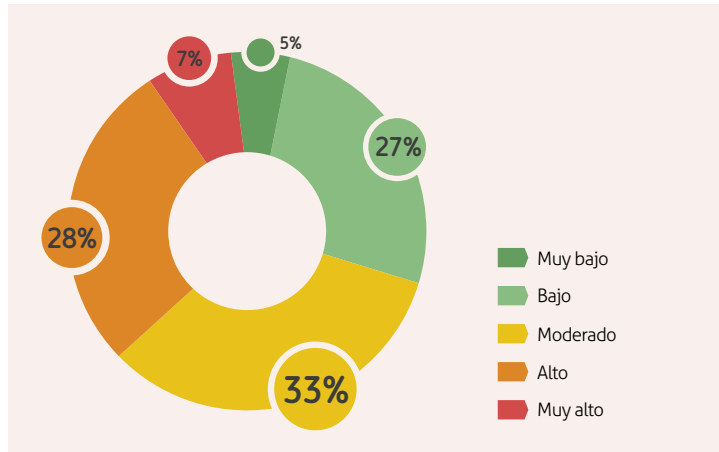


Figura 28. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistrito San Antonio - 4.

Del total del área del macrodistrito San Antonio, el 7% está identificada como área de muy alto riesgo; el 7% del total del área del macrodistrito San Antonio está subdividido en diez áreas identificadas de la siguiente manera:

10 áreas de riesgo muy alto subdivididas en:

- a) 3 Áreas se encuentran con obras de control de aguas subterráneas.
- b) 3 Áreas están controladas relativamente con movimientos de tierra.
- c) 4 Áreas que en los últimos dos años presentan desajustes de consideración.

Tabla 21

**a) Áreas de riesgo muy alto controladas con obras de contención y obras de control de aguas subterráneas en el macrodistrito San Antonio - 4**

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	San Simón - San José - Santa Catalina	Muy alto	Deslizamiento por pendiente, con obras de control de aguas subterráneas.
2	Villa San Antonio	Muy alto	Deslizamientos en sectores, control de aguas subterráneas.
3	Villa Armonía - IV Centenario, Germán Jordán	Muy alto	Deslizamientos, con obras de control de aguas subterráneas (cortinas drenantes).

Tabla 22

b) Áreas de riesgo muy alto y controladas relativamente con movimientos de tierra, en el macrodistrito San Antonio - 4

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Kupini-Plaqueta	Muy alto	Deslizamientos, con movimientos de tierra.
2	Juan Sin Miedo-Tejajahuira	Muy alto	Relleno, material suelto.
3	Valle Hermoso-Villa Copacabana	Muy alto	Deslizamiento, movimientos de tierra.

Tabla 23

c) Áreas de riesgo muy alto en el macrodistrito San Antonio - 4 con presencia de deformaciones altas y moderadas identificadas en los dos últimos años

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Río Irpavi margen derecha - Izquierda aguas arriba	Muy alto	Deslizamiento, pendiente, erosión, aguas subterráneas.
2	Octavio Campero	Muy alto	Deslizamientos
3	San Isidro Alto	Muy alto	Deslizamientos
4	Ladera Este - Valle de las Flores - Cervecería - Metropolitana - Bajo Salome	Muy alto	Múltiples factores





### C. Macrodistrito Cotahuma - 1

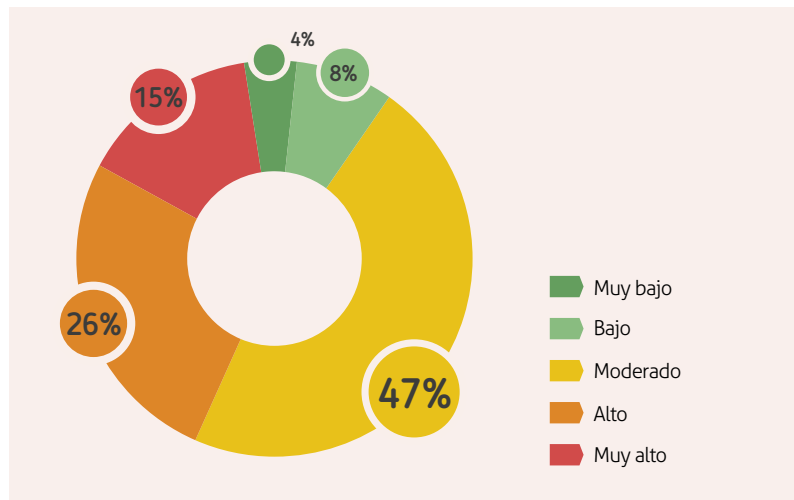


Figura 29. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistrito Cotahuma - 1.

Del total del área del macrodistrito Cotahuma 15% está identificado como área de muy alto riesgo; este 15% del área del macrodistrito Cotahuma está subdividido en seis áreas identificadas de la siguiente manera:

6 áreas de riesgo muy alto subdivididas en:

- a) 3 Áreas están controladas relativamente con movimientos de tierra.
- b) 3 Áreas que en los últimos dos años presentan deformaciones de consideración y consecuentes

Tabla 24

#### a) Áreas de riesgo muy alto y controlado relativamente con movimientos de tierra, en el macrodistrito Cotahuma - 1

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Final Armaza	Muy alto	Deslizamiento inactivo, con movimientos de tierra.
2	Cotahuma - Julio Téllez	Muy alto	Deslizamiento - movimientos de tierra.
3	Relleno Sanitario - Kantutani	Muy alto	Deslizamiento - movimientos de tierra.

Tabla 25

b) Áreas de riesgo muy alto en el macrodistrito Cotahuma - 1 con deformaciones altas y moderadas identificadas en los dos últimos años

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Playa Verde - Adela Zamudio	Muy alto	Deslizamiento
2	Francisco Bedregal - Cancha Figaro	Muy alto	Deslizamiento
3	Alpacoma - Llojeta	Muy alto	Deslizamiento - en sectores con movimientos de tierra.

D. Macrodistrito Periférica - 3

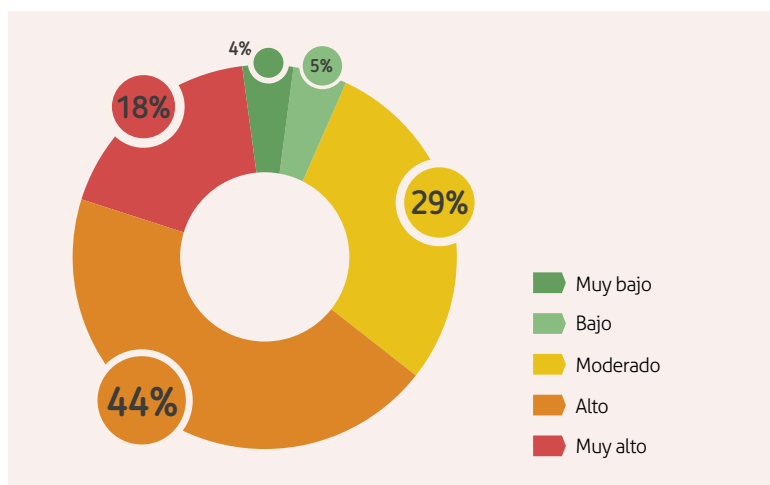


Figura 30. Distribución espacial en porcentaje, macrodistrito Periférica - 3.

Del total del área del macrodistrito Periférica, el 4% está identificado como área de muy alto riesgo. El 4% del total del área del macrodistrito Periférica está subdividida en tres áreas que están identificadas de la siguiente manera:

3 áreas de riesgo muy alto, subdivididas en:

- a) 1 área está identificada como área de expansión urbana.
- b) 2 áreas están controladas relativamente con movimientos de tierra.



Tabla 26

a) Áreas de riesgo muy alto identificadas en zonas de expansión urbana, en el macrodistrito Periférica - 3

N°	Nombre de la zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Limaniyata	Muy alto	Deslizamiento - Pendiente - Erosión de pie	Área de expansión urbana, no cuenta con saneamiento básico.

Tabla 27

b) Áreas de riesgo muy alto y controlado relativamente con movimientos de tierra en el macrodistrito Periférica - 3

N°	Nombre de la zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Plaza Litoral	Muy alto	Deslizamiento	Antiguo deslizamiento controlado con movimientos de tierra.
2	Agua de la Vida	Muy alto	Deslizamiento - movimientos de tierra	Antiguo deslizamiento controlado relativamente con movimientos de tierra.

E. Macrodistrito Centro - 7

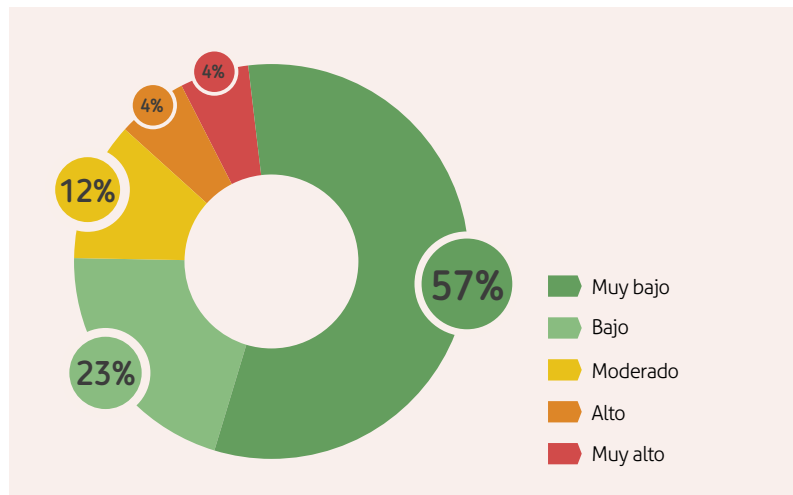


Figura 31. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistrito Cotahuma - 1.

Del total del área del macrodistrito Centro el 4% está identificada como área de muy alto riesgo. El 4% del total del área del macrodistrito Centro está subdivididos en una sola área, identificada como:

- 1 Área que en los últimos dos años presenta deformaciones de consideración y consecuentes.

Tabla 28

N°	Nombre de la zona	Grado de riesgo	Riesgo - Causas	Observaciones
1	Santa Bárbara	Muy alto	Deslizamiento	El movimiento es constante, las deformaciones se incrementan constantemente.

### F. Macrodistrito Mallasa - 6

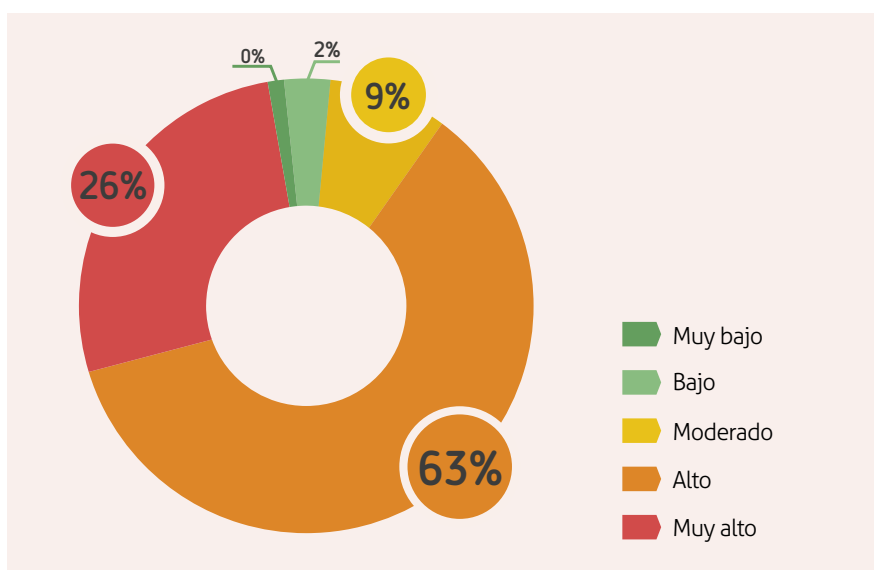


Figura 32. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistrito Mallasa - 6.

Del total del área del macrodistrito Mallasa el 26% está identificada como área de muy alto riesgo. El 26% del total del área del macrodistrito Mallasa está subdividido en tres áreas de grandes dimensiones, identificadas de la siguiente manera:

3 áreas de riesgo muy alto y subdivididas en:

- a) 1 área está controlada relativamente con movimientos de tierra.
- b) 2 áreas que en los últimos dos años presentan deformaciones de consideración, deslizamientos locales y derrumbes.





Tabla 29

a) Áreas de riesgo muy alto y controlado relativamente con movimientos de tierra en el macrodistrito Mallasa - 1

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Relleno Sanitario - Mallasa	Muy alto	Movimientos de tierra, material de relleno poco consolidado.

Tabla 30

b) Áreas de riesgo muy alto en el macrodistrito Mallasa - 6 con deslizamientos locales y derrumbes a causa de erosión de pie de talud, identificadas en los dos últimos años

N°	Nombre área - zona	Grado	Causas - Observaciones
1	Márgenes río Achocalla	Muy alto	Deslizamiento
2	Márgenes río La Paz	Muy alto	Deslizamiento

### G. Macrodistrito Max Paredes - 2

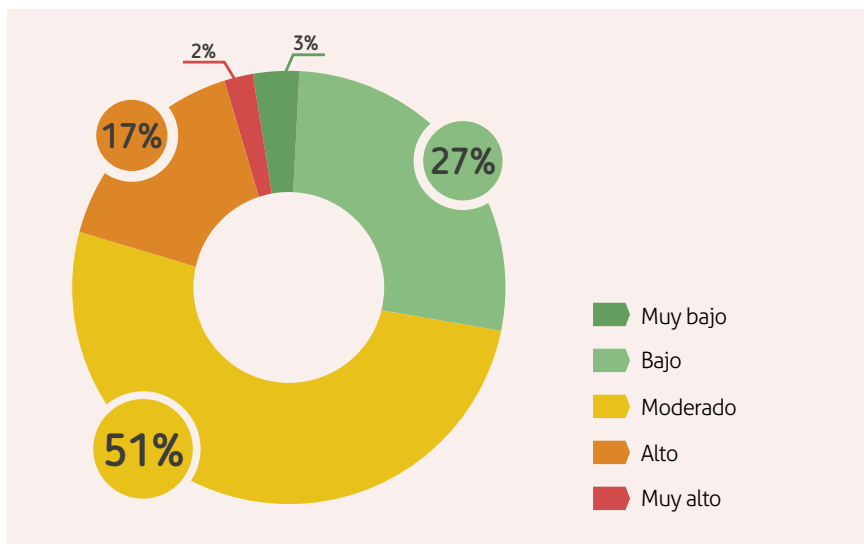


Figura 33. Distribución del riesgo en porcentaje en el macrodistrito Max Paredes - 2.

Del total del área del macrodistrito Max Paredes, el 2% está identificado como área de muy alto riesgo; en sectores pequeños y donde la vulnerabilidad es muy baja, donde muy alta. El 2% del total del área del macrodistrito Max Paredes se observa en el mapa en sectores muy pequeños y aislados y las deformaciones observadas no son de gran magnitud.

Tabla 31  
 Áreas de riesgo por macrodistrito  
 Tabla resumen

N°	Nombre de la zona	Grado	Riesgo - Causas
<b>Macrodistrito Sur (5)</b>			
1	Ciudadela Stronguista - Norte	Muy alto	Deslizamiento - suelos malos
2	23 de Marzo Achuma	Muy alto	Deslizamiento
3	Las Carmelitas	Muy alto	Deslizamiento - con obra de contención
4	CODAVISA	Muy alto	Deslizamiento
5	Flor de Irpavi	Muy alto	Deslizamiento
6	Los Lirios - Pedregal	Muy alto	Aguas subterráneas
7	Cota Cota c 32 a c 35	Muy alto	Aguas subterráneas - con obras de contención
8	Cota Cota c 25 a c 28	Muy alto	Aguas subterráneas
9	Santa Fe de Kesini	Muy alto	Alta pendiente
10	Calle 23 Bella Vista - Ventanilla	Muy alto	Deslizamiento
11	24 de Junio - Seguencoma Alto	Muy alto	Deslizamiento - con obra de contención
12	Calle 29 Las Lomas - Achumani	Muy alto	Deslizamiento
13	Calle 20 Bella Vista	Muy alto	Deslizamiento
<b>Macrodistrito San Antonio (4)</b>			
1	San Simón - San José - Santa Catalina	Muy alto	Deslizamiento, pendiente con obra de contención
2	Río Irpavi Margen derecha - Izquierda	Muy alto	Deslizamiento, pendiente, erosión, aguas subterráneas
3	Villa San Antonio	Muy alto	Deslizamientos
4	Villa Armonía - IV Centenario, Germán Jordán	Muy alto	Deslizamientos
5	Octavio Campero	Muy alto	Deslizamientos
6	San Isidro Alto	Muy alto	Deslizamientos
7	Ladera Este - Valle de las Flores - Cervecería - Metropolitana - Bajo Salome	Muy alto	Múltiples factores
8	Kupini - Plaqueta	Muy alto	Deslizamientos - con movimientos de tierra



9	Juan Sin Miedo - Tejjahuira	Muy alto	Relleno - material suelto
10	Valle Hermoso - Villa Copacabana	Muy alto	Deslizamiento - Movimientos de tierra
<b>Macrodistrito Cotahuama (1)</b>			
1	Playa Verde - Adela Zamudio	Muy alto	Deslizamiento
2	Francisco Bedregal - Cancha Figaro	Muy alto	Deslizamiento
3	Alpacoma - Llojeta	Muy alto	Deslizamiento - con movimientos de tierra
4	Final Armaza	Muy alto	Deslizamiento inactivo - movimientos de tierra
5	Cotahuma - Julio Téllez	Muy alto	Deslizamiento - movimientos de tierra
6	Relleno Sanitario - Kantutani	Muy alto	Deslizamientos - movimientos de tierra
<b>Macrodistrito Periférica (3)</b>			
1	Limanipata	Muy alto	Deslizamiento, pendiente, erosión
2	Plaza Litoral	Muy alto	Deslizamiento
3	Agua de la Vida	Muy alto	Deslizamiento - movimiento de tierra
<b>Macrodistrito Centro (7)</b>			
1	Santa Bárbara	Muy alto	Deslizamiento
<b>Macrodistrito Mallasa (6)</b>			
1	Relleno Sanitario - Mallasa	Muy alto	Deslizamiento - movimiento de tierra
2	Márgenes río Achocalla	Muy alto	Deslizamiento
3	Márgenes río La Paz	Muy alto	Deslizamiento

# Referencias bibliográficas

- **ALBERTO, JUAN A. (2005).** El Crecimiento Urbano y su Incidencia en la Vulnerabilidad Ambiental y Social, p. 1., Argentina.
- **BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVID, I. y WISNER, B. (1996).** Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. 290 p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/libros/index.html>>/. (Consulta: 06 de septiembre de 2007).
- **BARREDO, J.I. (1996).** Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ra-Ma: Madrid.
- **BARRENECHEA, GENTILE, GONZALES. (2002).** Revisión del Concepto de Vulnerabilidad; Taller sobre Vulnerabilidad. Bs. As., Argentina.
- **BIRKMANN, JÖRN. (2006).** Measuring Vulnerability to Natural Hazards. United Nations University Office at the United Nations, New York, USA. E-mail: <[unuona@ony.unu.edu](mailto:unuona@ony.unu.edu)>.
- **BOERBOOM LUC, SHARIFI. ALI. s/f.** Spatial multi-criteria evaluation to enhance governance: changes in Malaysian planning. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), The Netherlands.
- **BOSQUE SENDRA, JOAQUÍN, GARCÍA ROSA, C. (2000).** El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. Anales de Geografía de la Universidad complutense nº 20. España.
- **CEPRENAC - GLOSARIO OFICIAL** <<http://www.ceprendenac.org>>.
- **CHARDON, A.C. (1997).** La percepción del riesgo y los factores socioculturales de vulnerabilidad. Desastres y Sociedad 8: 4-34. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys08/index.html>>. (Consulta: 18 de septiembre de 2007).
- **COBURN, A.W., SPENCE, R.J.S, POMONIS, A. (1991).** Vulnerabilidad y evaluación de riesgo (1ª edición). Cambridge Architectural Research Limited. The Oast House, Maling Lane, Cambridge. PNUD, Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres, U.K.
- **DIRECCIÓN DE CUENCAS Y MANEJO DE RIESGOS - UNIDAD DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GMLP:** Política de Gestión de Riesgos del GMLP. (2005), La Paz - Bolivia.



- **DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL** - Unidad de Planificación Participativa. (2006). Plan de Desarrollo Municipal 2007-2011 Diagnóstico Municipal, Bolivia.
- **DWI WAHONO BONAVENTURA. (2010).** Applications of statistical and heuristic methods for landslide susceptibility assessments, ITC. Netherlands.
- **FLAMENT, MICHEL. (1999).** Glosario Multicriterio. <[www.unesco.org.uy-red-m\\_glosarium.htm](http://www.unesco.org.uy-red-m_glosarium.htm)>.
- **GOBIERNO MUNICIPAL DE LA PAZ. (2005).** Uso del Suelo y Patrones de Asentamiento. Bolivia.
- **LAVELL Y MANSILLA. (2003).** Vocabulario Controlado del CRID [en línea] Disponible en: <[http://www.crid.or.cr/crid/CD\\_VCD/DocsIndex.htm](http://www.crid.or.cr/crid/CD_VCD/DocsIndex.htm)>. (Consulta: 10 de mayo de 2011).
- **LAVELL, A. (1999).** Gestión de Riesgos Ambientales urbanos. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/1999/grau/index.html>>. (Consulta: 3 de mayo de 2011).
- **MASKREY, ANDREW (Coord.) DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN DE CRISIS Y DE RECUPERACIÓN. (2004).** La Reducción de Riesgos de Desastres un Desafío para el Desarrollo. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. USA.
- **MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. (2003).** Guía Metodológica para la Formulación de Planes Municipales de Ordenamiento Territorial en Municipios Predominantemente Urbanos. Bolivia.
- **P. HOFSTEE & IR M. BRUSSEL. (s/f).** Análisis de aptitud para la expansión urbana. International Institute for Geoinformation Sciences and Earth Observation (ITC), The Netherlands.
- **PNUD. (2003).** La reducción de riesgos de desastres: un desafío para el desarrollo. Definiciones oficiales del PNUD.
- **PORCEL, RONALD S. (2007).** "La identificación de áreas de riesgo para el crecimiento urbano en el Municipio de La Paz". (CLAS-ITC).
- **DOROTHEA HILHORST. (2006).** Estudio de Desastres. Universidad de Wageningen, Holanda.

- Evaluación de agencias bancarias y financieras en Arequipa. Estudio Multicliente sobre la Evaluación de agencias bancarias y financieras en Arequipa Abril 2011. <[http://www.mbsperu.com/index2.php?page=shop.product\\_details&product\\_id=90&flypage=flypage.pbv.v1.tpl&pop=1&option=com\\_virtuemart&Itemid=103](http://www.mbsperu.com/index2.php?page=shop.product_details&product_id=90&flypage=flypage.pbv.v1.tpl&pop=1&option=com_virtuemart&Itemid=103)>.
- **RED DE ESTUDIOS SOCIALES EN PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA LATINA (LA RED). (2003).** Guía metodológica de Desinventar. 38 p. [en línea]. Disponible en: <<http://www.desinventar.org/sp/metodologia/index.html>>.
- **SHARIFI ALI, VAN HERWIJNEN MARJAN AND VAN DEN TOORN. (2004).** Willem Spatial Decision Support Systems. International Institute for Geoinformation Sciences and Earth Observation (ITC), The Netherlands.
- **VAN WESTEN CEES (compiled by). (2007).** Glossary of terms related to Risk Assessment and Management. Holanda.
- **RAFAEL RICARDO GASPERI MAGO. (1984).** El Fenómeno de Sufusión en Áreas Erodadas en la Depresión de Quibor. Bioagro 2(1): 27-42.
- **SALCEDO, D. & SANCIO, R. (1989).** Guía simplificada para identificación y prevención de problemas geotécnicos en desarrollos urbanos. Logoven S.A., Filial de Petróleos de Venezuela S.A. Caracas, 27 p.
- **VARGAS & GALINDO. (2004).** Ordenamiento Territorial. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG (CLAS), Presentación.
- **AHLFELD, F. (1946).** Geología de Bolivia. Revista del Museo de La Plata (NS), 3 (19): 5-370.
- **BLES, J. L., ÁLVAREZ, A. ANZOLEAGA, O. BALLIVIAN, O. BUSTILLOS, O. HOCHSTATTER, H. MALATRAIT, A. OTAZO, N. (1977b).** Plan de Desarrollo urbano de la ciudad de La Paz. Informe geológico n° 5. Características litoestratigráficas de la cuenca de La Paz y alrededores. H. Alcaldía de La Paz, Consultoras BRGM-BCOM, Prudencio Claros y Asociados. 35 p., 3 fig. h.t., 4 anexos.
- **CALLE, A. P. (2008).** Análisis de Susceptibilidades a Movimientos en Masa del Sector Norte de la Subcuenca Irapavi. Tesis de Grado UMSA, Facultad de Ciencias Geológicas, Carrera de Ingeniería Geológica y Medio Ambiente.
- **DOBROVOLNY, E. (1962).** Geología del Valle de La Paz. Departamento Nacional de Geología, La Paz, Bolivia, Bol., v. 3, pp. 1-153.

- **DOBROVOLNY, E. (1968).** A postglacial mudflow of large volume in the La Paz Valley, Bolivia. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 600-C, pp. C130-C134.
- **FRICKE, W., Ch. SAMTLEBEN, H. SCHMIDT-KALER, H. URIBE & A. VOGES. (1964).** Geologische Untersuchungen im zentralen Teil des bolivianischen Hochlandes nordwestlich Oruro. Geol. Jb., 83: 1-30, 5 Abb, 4 Taf., Hannover.
- **GREGORY, H.E. (1913).** The La Paz, Bolivia. American Journal of Science, 36 (4) : 141-50.
- **KOSLOWSKI, R. (1923).** Ann. Paleont., 12: 1-112.
- **LAVENU, A. M.G. BONHOME, N. VATIN-PERIGON & P. DEPACHTERE. (1989).** Neogene magmatism in the Bolivian Andes between 16' S and 18" S: Stratigraphy and K/Ar geochronology. Journal of South American Earth Sciences, 2 (1) : 35-47.
- **SERVANT, M. (1977).** Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. Bulletin APEQ. Recherches Francaises sur le Quaternaire, INQUA, 1 (50). 323-327.
- **TROLL, C., & R. FINSTERWALDER. (1935).** Die Karten der Cordillera Real und des Talkessels von La Paz (Bolivien) und de Diluvialgeschichte der zentralen Anden. Petermanns Geog. Mitt., v. 81, pp. 393-455.
- **GEOBOL. (1967).** Hoja Geológica La Paz n° 5944.



# República de Chile





# ÍNDICE

## INUNDACIÓN POR TSUNAMIS

<b>1</b>	/	Carta de inundación Iquique	122
		<b>1.1.</b> Objetivo	122
		<b>1.2.</b> Ubicación geográfica	123
		<b>1.3.</b> Descripción física de la zona a evaluar	124
		<b>1.4.</b> Características generales del área geográfica a evaluar	124
		<b>1.5.</b> De la evaluación de riesgos	124
		<b>1.6.</b> Determinación de la amenaza de tsunamis para el área de Iquique	124
		<b>a.</b> Capas base para la elaboración de la CITSU Iquique	126
		<b>b.</b> Generación del área de inundación en el SIG	126
<b>2</b>	/	Carta de Inundación Valparaíso–Viña de Mar	129
		<b>2.1.</b> Objetivo	129
		<b>2.2.</b> Ubicación geográfica	130
		<b>2.3.</b> Descripción física de la zona a evaluar	131
		<b>2.4.</b> Características generales del área geográfica a evaluar	131
		<b>2.5.</b> De la evaluación de riesgos	131
		<b>2.6.</b> Determinación de la amenaza de tsunami para el área de Valparaíso–Viña del Mar	131
		<b>a.</b> Capas base para la elaboración de la CITSU Valparaíso-Viña del Mar	133
		<b>b.</b> Generación del área de inundaciones en el SIG	133



## 1. Carta de inundación Iquique

### 1.1. Objetivo

---

Elaborar una cartografía de las áreas inundables por tsunami para la ciudad de Iquique, a través de una metodología de simulación numérica, la cual pueda ser aplicada a programas locales de Protección Civil y Planificación Urbana, para facilitar el manejo de las áreas potencialmente afectadas.

Las características físicas naturales del territorio donde se emplaza la ciudad de Iquique, sumadas a la densidad poblacional y uso de su borde costero, plantean la necesidad de evaluar adecuadamente el riesgo de tsunami al que se encuentra sometida.

Frente a la necesidad de determinar las zonas vulnerables en dicha localidad, se confeccionó la Carta de Inundación por Tsunami (CITSU) Iquique (3ª edición, 2012), que presenta en forma gráfica la inundación por tsunami correspondiente a la zona urbana del borde costero de la ciudad de Iquique para el evento sísmico extremo conocido. Estos resultados se obtienen a partir de la técnica de modelación numérica, la cual integra datos topográficos, batimétricos y los parámetros de la fuente sísmica correspondiente al evento utilizado. Con esta información es posible resolver las ecuaciones teóricas involucradas en la propagación de un tsunami hacia la costa. La modelación de este evento fue desarrollada a través del software Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model 1.7 (COMCOT).





## 1.2. Ubicación geográfica

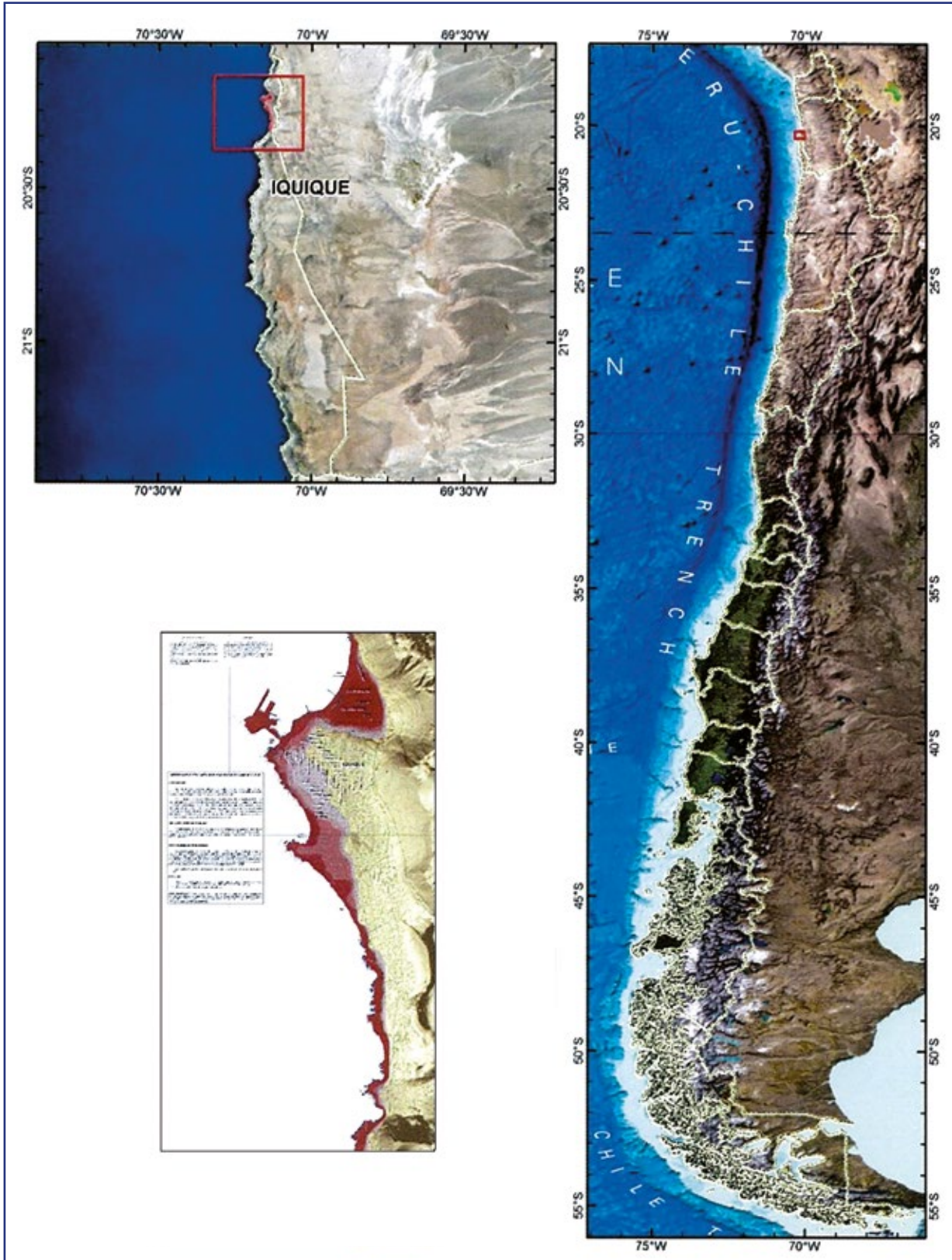


Figura 1. Localización geográfica CITSU.

### 1.3. Descripción física de la zona a evaluar

---

La bahía de Iquique se abre desde punta Piedras hacia el sur, punta Morro al este y la península Serrano hacia el oeste. La ciudad se emplaza sobre una plataforma litoral muy estrecha y enmarcada en un altísimo faldeo costero de más de 600 m. Su altitud media es de 52 msnm variando hasta los 125 m. En la línea del litoral alternan tramos rocosos bajos y algunas playas de bolsillo muy angostas alimentadas por una deriva litoral dominante de dirección norte. Su fondo es parejo, constituido por arena y fango. Hacia el sur hay piedras y rocas que solo permiten el tráfico de embarcaciones menores. Está protegida de los vientos predominantes por la cadena de altos cerros que hay al sur de ella, y que terminan en punta Gruesa y por las obras de defensa del puerto artificial.

### 1.4. Características generales del área geográfica a evaluar

---

Iquique se ubica a 1 787 km al norte de Santiago de Chile y a 310 km de la ciudad de Arica. Hacia el este, la ciudad y el territorio están limitados por la cordillera de la costa, que en el sector alcanza alturas promedio de 700 msnm, caracterizándose por presentar un corte abrupto hacia el este. Su origen es poligenético, labrado por el mar a partir de un escarpe de falla de rumbo norte-sur.

### 1.5. De la evaluación de riesgos

---

La evaluación del riesgo y sus derivados no corresponde al ámbito de este servicio, por lo que no se cuenta con dicha información. No obstante, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada elabora las cartas CITSU, las que definen las áreas potencialmente inundables en caso de que ocurriese un tsunami de grandes dimensiones.

El SHOA es el organismo técnico permanente y oficial del Estado, responsable solo del funcionamiento, operación y mantenimiento del Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM).

### 1.6. Determinación de la amenaza de tsunamis para el área de Iquique

---

La nueva carta de inundación por tsunami comprende el área costera de la ciudad de Iquique. Se utilizaron datos digitales de topografía y batimetría del área, información urbana de la ciudad y antecedentes sismológicos e históricos del evento de 1877.

Para efectos de la simulación se consideró la región comprendida entre los 202° 11' y 202° 18' 30" de latitud sur y entre los 0702° 07' y 0702° 11' de longitud este. La carta de inundación de Iquique (escala 1:15 000), está referida principalmente al área urbana costera de la ciudad de Iquique.

Para efectos de la simulación se consideró la región comprendida entre los 202° 11' y 202° 18' 30" de latitud sur y entre los 0702° 07' y 0702° 11' de longitud oeste. La carta de inundación de Iquique (escala 1:15 000) está referida principalmente al área urbana costera de la ciudad de Iquique.



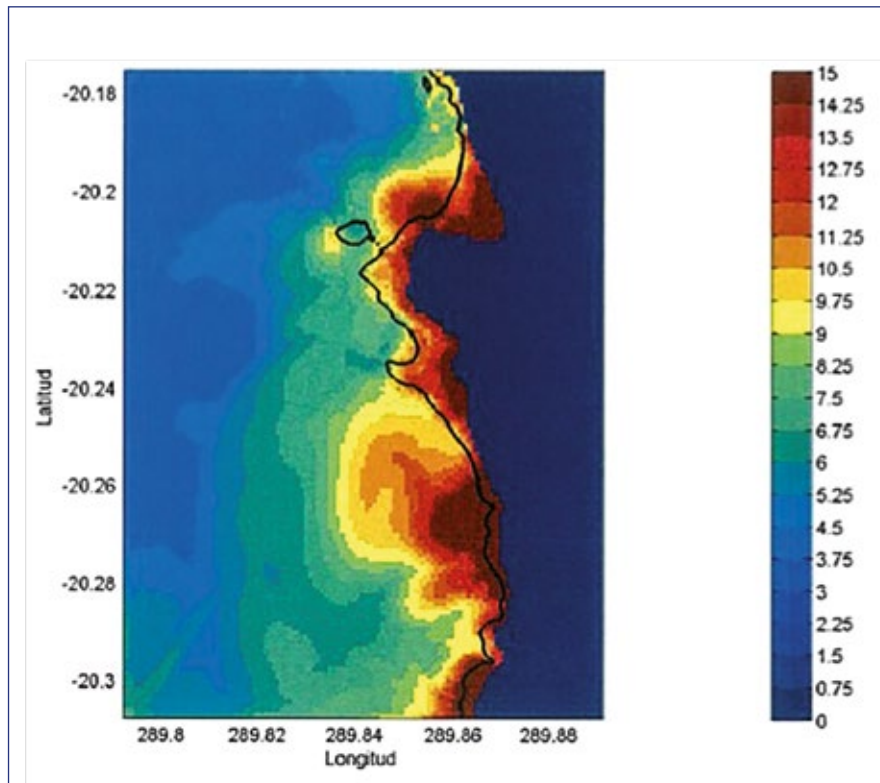


Figura 2. Alturas máximas para el evento de 1877 obtenidas por el modelo (escala en metros).

Los tsunamis de 1868 y 1877 corresponden a grandes eventos tsunamigénicos de campo cercano para la zona norte de Chile. No obstante, para la nueva edición de la CITSU de Iquique se consideró el evento extremo que pudiera generar un tsunami destructivo en dicha localidad.

Las grillas confeccionadas poseen una resolución 120", 30", 6" y 1", las cuales son ingresadas al modelo en manera conjunta, permitiendo evaluar resultados en forma parcial y global para observar un correcto anidamiento entre ellas, es decir que la transferencia de información de desnivelaciones ocurra.

Para la definición de las diferentes grillas se utilizaron datos de relieve y batimetría global tipo GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), cartas náuticas SHOA y topografía local de los sectores de Valparaíso y Viña del Mar, provenientes de planimetría de borde costero y del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea (SAF).

En una etapa posterior se utiliza el software GMT (Generic Mapping Tools), de libre acceso, para la elaboración de las grillas en coordenadas esféricas. A partir de las condiciones iniciales presentadas, el modelo COMCOT genera una variación de la superficie del mar, de acuerdo con la Teoría de Okada, que considera que el tsunami se genera por una ruptura rectangular que provoca un movimiento vertical del fondo del mar, transfiriéndose a la superficie del agua.

Se utilizan ecuaciones lineales y no lineales en el modelo. Dado que la amplitud del tsunami en aguas profundas es mucho menor que la profundidad de la capa de agua, es posible aplicar ecuaciones lineales para la propagación del fenómeno. El modelo COMCOT puede responder a las Ecuaciones No Lineales de Aguas Someras (Nonlinear Shallow Water Equations) implementadas en coordenadas esféricas en zonas cercanas a la costa, ajustándose a la información de relieve ingresado. Junto a lo anterior se considera la profundidad del agua (junto a su desnivelación), además de la fricción de fondo mediante la fórmula de Manning en direcciones X y Y.

Posterior al proceso de la modelación numérica se desarrolla la etapa de edición cartográfica, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se administran y procesan todas las capas de información geográfica que constituirán el mapa final de la Carta de Inundación por Tsunami (CITSU).

#### a. Capas base para la elaboración de la CITSU Iquique

- Topónimos.
- Planimetría urbana (ejes viales).
- Línea de costa.
- Topografía (curvas de nivel).
- Modelo de superficie (Hillshade).



Figura 3: Capas base de información geográfica, CITSU Iquique.

#### b. Generación del área de inundación en el SIG

Acción que tiende a importar Archivo XYZ.

Con el post-proceso de los resultados entregados por el modelo, se realiza la programación para obtener el área inundada en forma de "capa" para su posterior visualización en el SIG. Bajo el método anterior, se genera un documento de datos de longitud, latitud y cota de inundación para el área de Iquique.

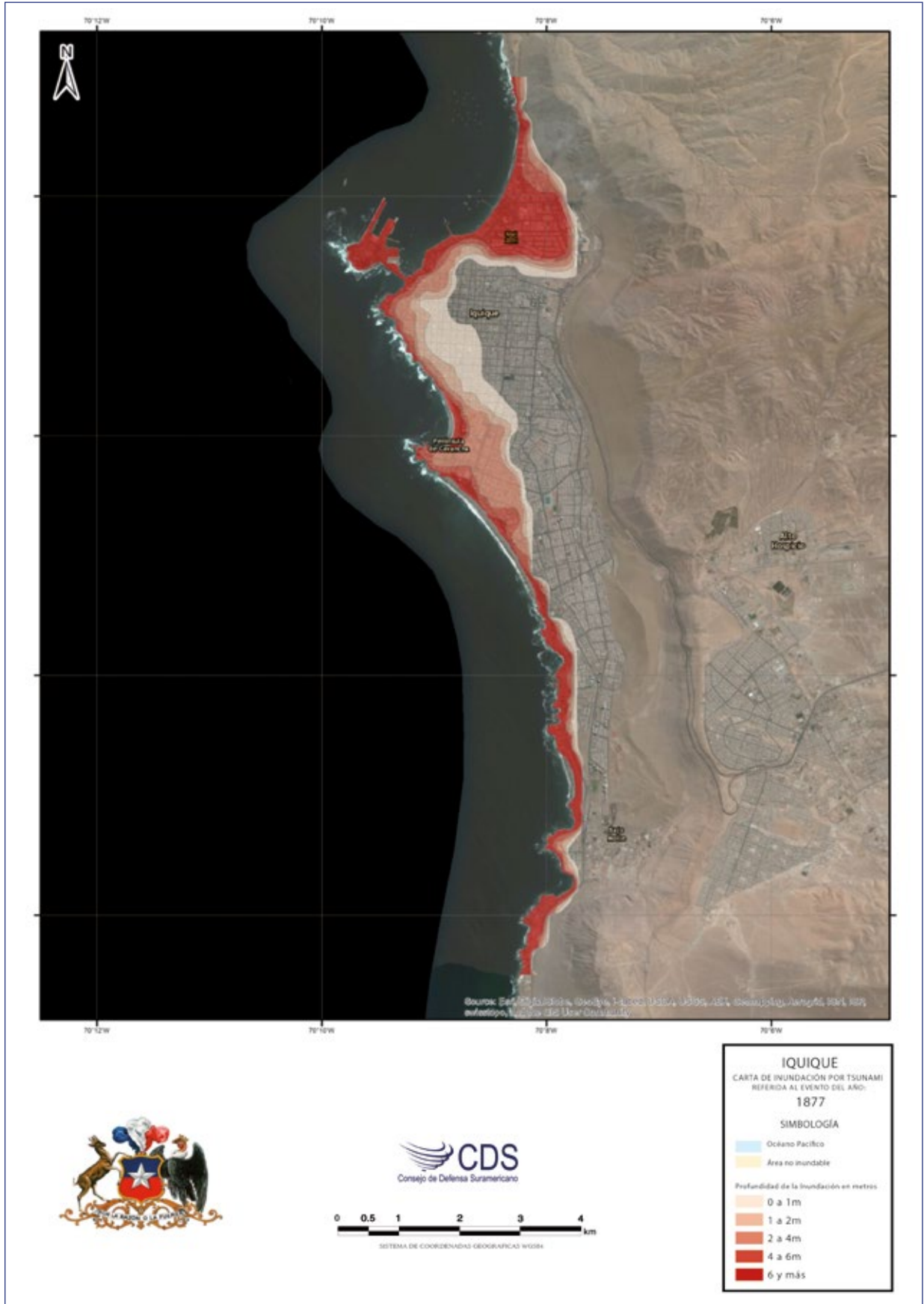


Figura 4: Detalle del archivo XYZ (resultado del modelo numérico) desplegado en SIG.



Figura 5: Detalle del archivo XYZ (resultado del modelo numérico) desplegado en SIG.

Una vez generada la capa de puntos y reorganizada la información Z, se genera una nueva capa de tipo polígono, la cual se edita en forma manual en función de los puntos obtenidos a partir de la modelación. El resultado final de este proceso es el área de inundación de la carta CITSU, compuesta por los diferentes niveles de profundidad de la inundación en metros, que se despliegan en el mapa.







## 2. Carta de Inundación Valparaíso-Viña del Mar

### 2.1. Objetivo

Las condiciones geotectónicas y morfológicas de la zona central de Chile, asociadas a su potencial sísmico, son determinantes al momento de evaluar la vulnerabilidad de la zona urbana de la bahía de Valparaíso frente a la amenaza de tsunami. La determinación de las áreas inundables por tsunami generadas por un evento sísmico extremo en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, constituye un aspecto fundamental que condiciona la efectividad de los planes locales de Protección Civil y el manejo de las áreas que potencialmente puedan ser afectadas.

Frente a la necesidad de determinar las zonas vulnerables en dichas localidades, se confeccionó la Carta de Inundación por Tsunami (CITSU) Valparaíso-Viña del Mar (2ª edición, 2012), que presenta en forma gráfica la inundación por tsunami correspondiente a la zona urbana del borde costero de la bahía de Valparaíso para el evento sísmico extremo conocido. Estos resultados se obtienen a partir de la técnica de modelación numérica, la cual integra datos topográficos, batimétricos y los parámetros de la fuente sísmica correspondiente al evento utilizado. Con esta información es posible resolver las ecuaciones teóricas involucradas en la propagación de un tsunami hacia la costa. La modelación de este evento fue desarrollada a través del software Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model 1.7 (COMCOT) .

## 2.2. Ubicación geográfica



Figura 6. Localización geográfica CITSU. Valparaíso-Viña del Mar.



### 2.3. Descripción física de la zona a evaluar

---

La bahía de Valparaíso está emplazada sobre una antigua playa de arena cubierta por relleno artificial, y su proceso de expansión urbana se ha logrado ganando terreno al mar. Especial mención merece el caso del sector Almendral, que siendo originalmente una playa, se consolidó más tarde, después de un proceso de relleno, como una parte importante del plan de la ciudad. En este mismo sentido hay que hacer mención a la ocupación gradual de las quebradas y terrazas marinas ascendentes, es decir, los cerros que rodean la bahía de oeste a este.

### 2.4. Características generales del área geográfica a evaluar

---

El área geográfica se encuentra emplazada en medio de una planicie costera en dirección Norte-Sur. Por su condición geográfica y su localización se define como una ciudad puerto de la costa sureste de América del Sur a unos 118 Kms al noreste de la ciudad capital de Santiago. Tiene una identidad propia, cuyo mayor símbolo es su entorno natural, compuesto por una bahía rodeada de una cadena montañosa de tipo cordillerano que baña sus faldas en el mar y que la convierte en un anfiteatro que mira hacia el Océano Pacífico.

### 2.5. De la evaluación de riesgos

---

La evaluación del riesgo y sus derivados, no corresponde al ámbito de este Servicio, por lo que no se cuenta con dicha información. No obstante, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada elabora las cartas CITSU, las que definen las áreas potencialmente inundables en caso que ocurriese un tsunami de grandes dimensiones.

El SHOA es el organismo técnico, permanente y oficial del Estado, responsable sólo del funcionamiento, operación y mantenimiento del Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM).

### 2.6. Determinación de la amenaza de tsunami para el área de Valparaíso- Viña del Mar

---

La nueva carta de inundación por tsunami para la bahía de Valparaíso comprende el área costera de las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar.

Se utilizaron datos digitales de topografía y batimetría del área; información urbana de la ciudad y antecedentes sismológicos e históricos del evento de 1730. Para efectos de la simulación se consideró la región comprendida entre los 33° 04' y 32° 56' de latitud sur y entre los 071° 30' y 071° 40' de longitud oeste. La carta de inundación de Valparaíso-Viña del Mar (escala 1:15 000) está referida principalmente al área urbana costera de la bahía de Valparaíso y Viña del Mar.

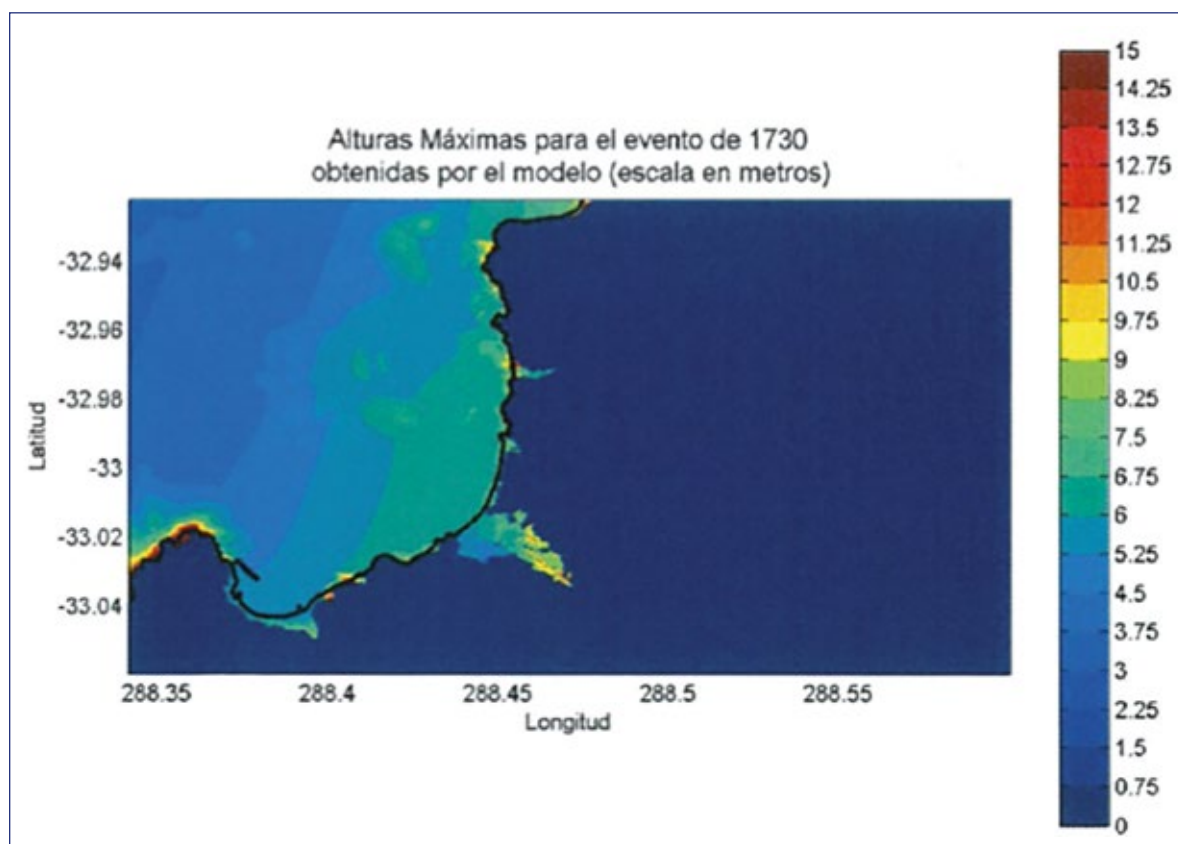


Figura 7: Alturas máximas para el evento de 1730.

Históricamente, se conoce la ocurrencia de cinco terremotos con epicentro en la región de Valparaíso que han generado tsunamis en la bahía de estudio. Las fechas de registro de estos eventos sísmicos corresponden a: 13 de mayo de 1647, 8 de julio de 1730, 19 de noviembre de 1822, 16 de agosto de 1906 y 3 de marzo de 1985. Al ser más recientes los eventos de 1906 y 1985, son los mejores documentados pero el tsunami asociado a ellos no fue el más destructivo.

Las grillas confeccionadas poseen una resolución 120", 30", 6" y 1", las cuales son ingresadas al modelo en forma conjunta permitiendo evaluar resultados en forma parcial y global para observar un correcto anidamiento entre ellas, es decir, que la transferencia de información de desnivelaciones ocurra.

Para la definición de las diferentes grillas se utilizaron datos de relieve y batimetría global tipo GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), Cartas Náuticas SHOA y topografía local de los sectores de Valparaíso y Viña del Mar, provenientes de planimetría de borde costero y del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea (SAF).

En una etapa posterior se utiliza el software GMT (Generic Mapping Tools), de libre acceso, para la elaboración de las grillas en coordenadas esféricas. A partir de las condiciones iniciales presentadas, el modelo COMCOT genera una variación de la superficie del mar, de acuerdo con la Teoría de Okada, que considera que el tsunami se genera por una ruptura rectangular que provoca un movimiento vertical del fondo del mar, transfiriéndose a la superficie del agua .

Se utilizan ecuaciones lineales y no lineales en el modelo. Dado que la amplitud del tsunami en aguas profundas es mucho menor que la profundidad de la capa de agua, es posible aplicar ecuaciones lineales para la propagación del fenómeno. El modelo COMCOT puede responder a las Ecuaciones



No Lineales de Aguas Someras (Nonlinear Shallow Water Equations) implementadas en coordenadas esféricas en zonas cercanas a la costa, ajustándose a la información de relieve ingresada. Junto a lo anterior se considera la profundidad del agua (junto a su desnivelación), además de la fricción de fondo mediante la fórmula de Manning en direcciones X y Y.

Posterior al proceso de la modelación numérica se desarrolla la etapa de edición cartográfica, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se administran y procesan todas las capas de información geográfica que constituirán el mapa final de la Carta de Inundación por Tsunami (CITSU).

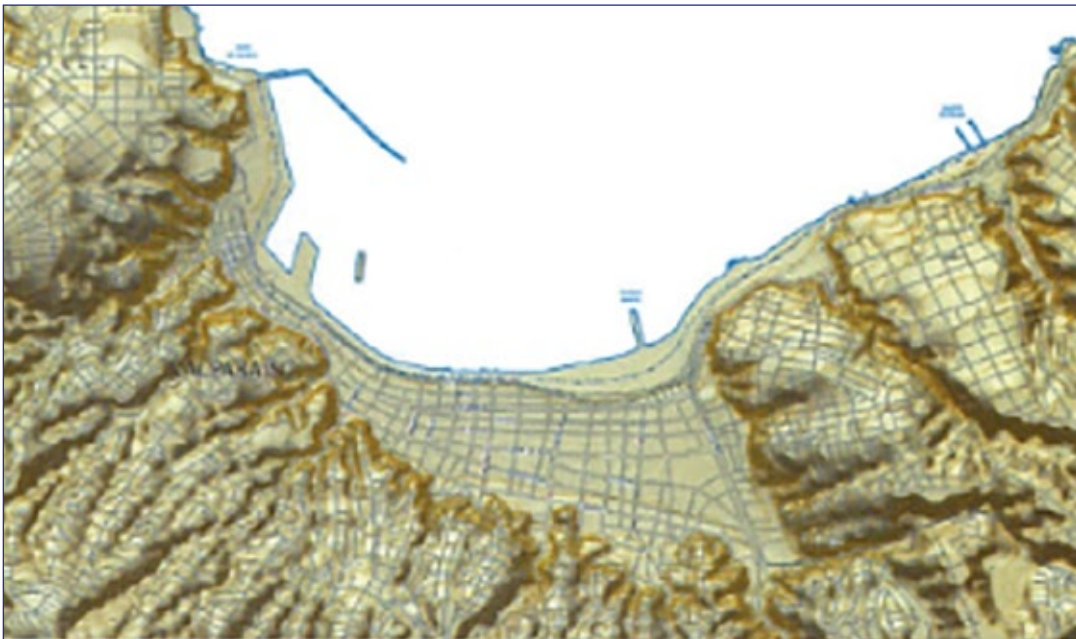


Figura 8. Capas base de información geográfica, CITSU Valparaíso-Viña del Mar.

#### a. Capas base para la elaboración de la CITSU Valparaíso-Viña del Mar

- Topónimos.
- Planimetría urbana (ejes viales).
- Línea de costa.
- Topografía (curvas de nivel).
- Modelo de superficie (Hillshade).

#### b. Generación del área de inundaciones en el SIG

Acción que tiende a importar Archivo XYZ.

Con el post-proceso de los resultados entregados por el modelo se realiza la programación para obtener el área inundada en forma de "capa" para su posterior visualización en el SIG. Bajo el método anterior, se genera un documento de datos de longitud, latitud y cota de inundación para el área de Valparaíso y Viña del Mar.

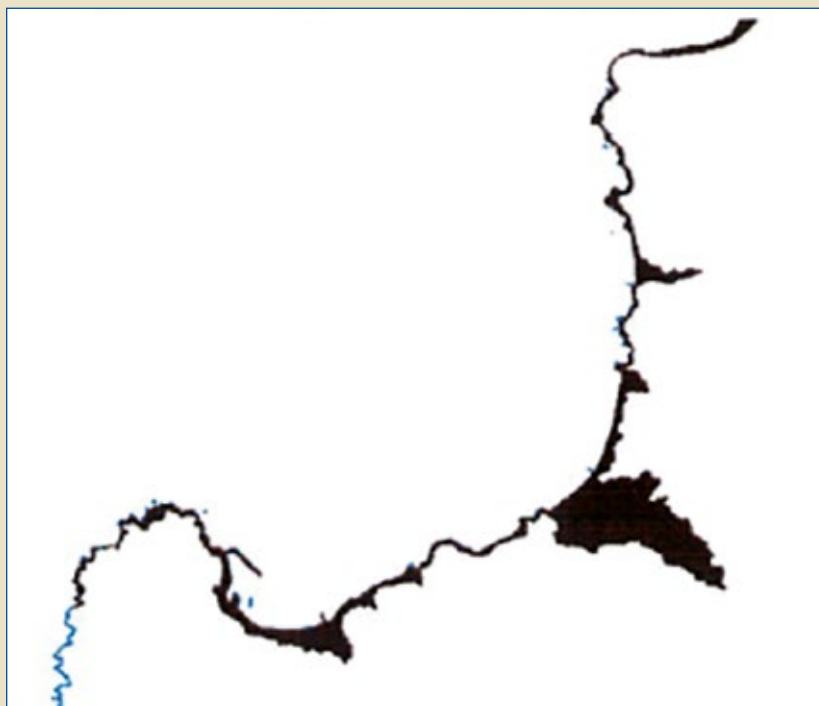


Figura 9. Archivo XYZ (resultado del modelo numérico) desplegado en SIG.

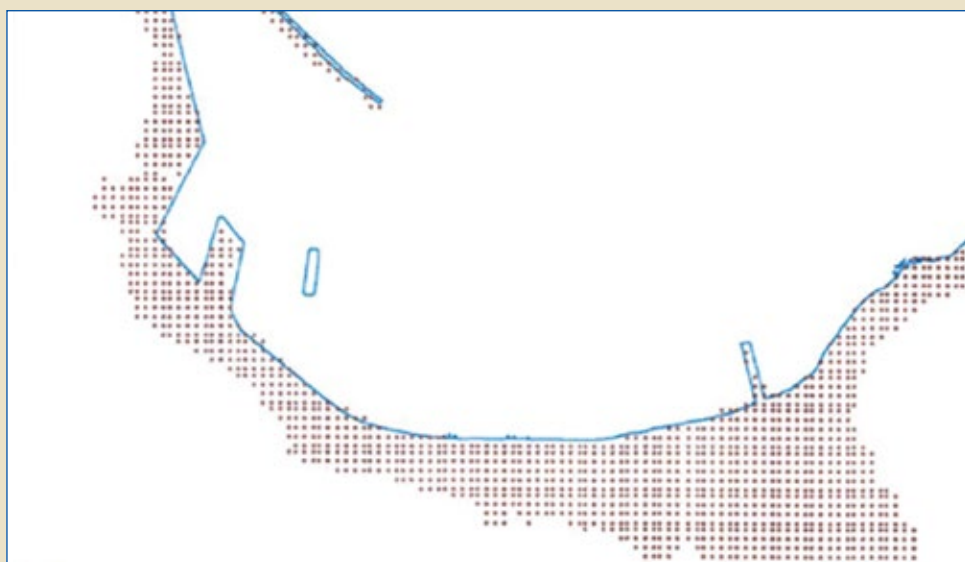


Figura 10. Detalle del archivo XYZ (resultado del modelo numérico) desplegado en SIG.



Una vez generada la capa de puntos y reorganizada la información Z, se genera una nueva capa de tipo polígono, la cual se edita en forma manual en función de los puntos obtenidos a partir de la modelación. El resultado final de este proceso es el área de inundación de la carta CITSU, compuesta por los diferentes niveles de profundidad de la inundación en metros, que se despliegan en el mapa.

La CITSU de Valparaíso representa solo la amenaza de un evento tsunamigénico conocido en particular. Esta no debe considerarse como un mapa de riesgo. Se recomienda utilizar la información como complemento para otros estudios que permitan finalmente obtener instrumentos o planes de riesgo o de planificación urbana.

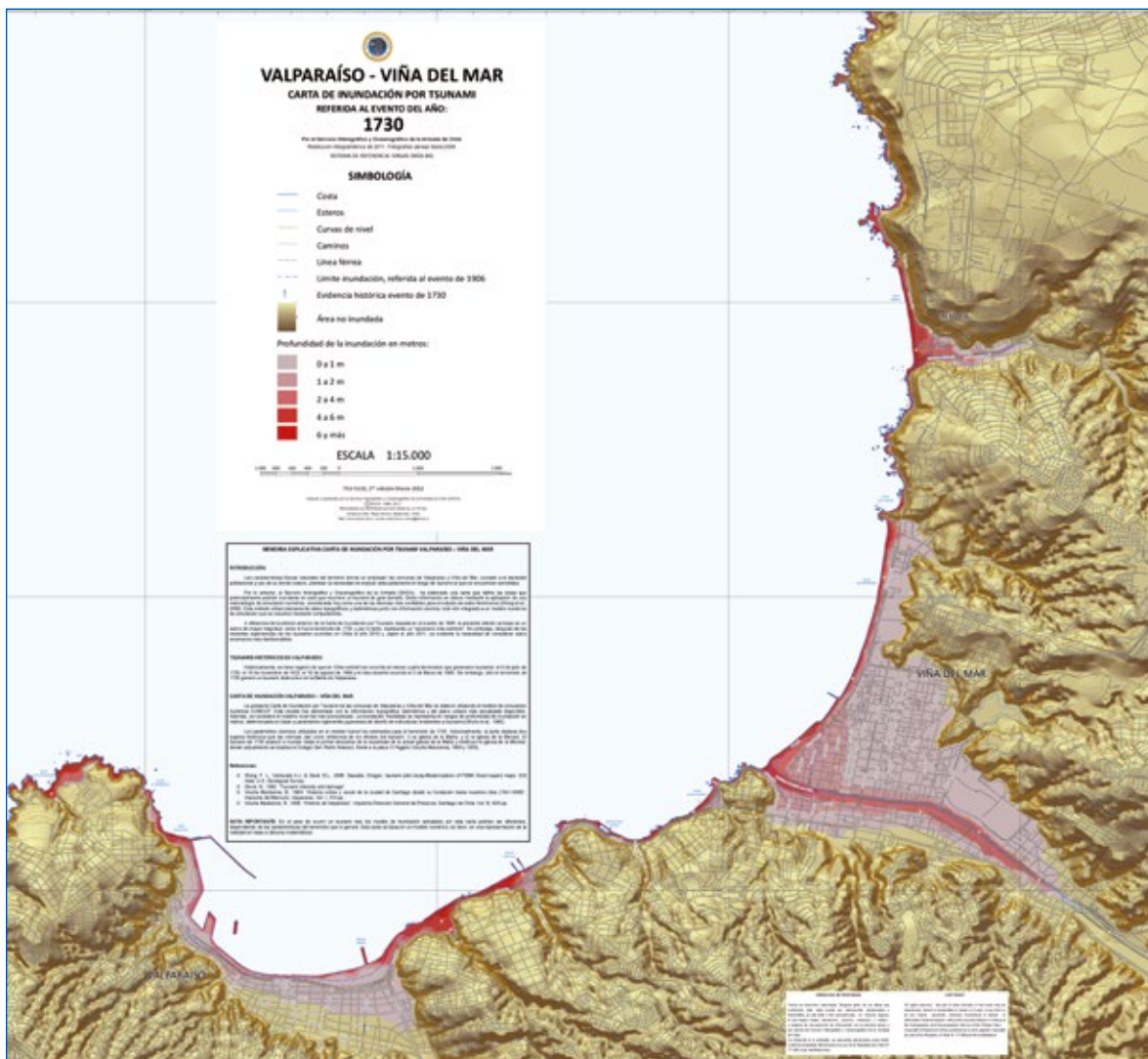


Figura 11. Carta de inundación, CITSU Valparaíso-Viña del Mar.







# República del Paraguay





# ÍNDICE

## MAPA DE INUNDACIONES

Introducción	140
Objetivo	140
<b>1</b> / Ubicación geográfica	141
<b>2</b> / Ecorregiones	141
<b>3</b> / Hidrografía	141
<b>4</b> / Histórico de los eventos extremos	141
<b>5</b> / Aspectos relevantes	142
<b>6</b> / Indicadores de los recursos hídricos	142
6.1. Agua superficial	142
6.2. Red hídrica nacional	143
6.3. Tramos del río Paraguay	143
6.4. Tipología de las inundaciones	144
<b>7</b> / Caracterización social del área de estudio: sectorización	145
<b>8</b> / Características generales del área geográfica a evaluar	147
<b>9</b> / La dependencia del ecosistema de los ríos Paraguay y Paraná	148
<b>10</b> / Los rasgos básicos de la ecología de Ñeembucú	149
<b>11</b> / Aspectos legales	152
11.1. Identificación de actores clave	153
11.2. Disposiciones generales de la Ley 2315/05	154
11.3. Dirección de Meteorología e Hidrología (DINAC)	154
11.4. Fuerzas Armadas de la Nación	154
<b>12</b> / Evaluación de riesgos	155
12.1. Determinación del nivel de peligrosidad	155
12.2. Análisis de las vulnerabilidades	161
12.3. Determinación del riesgo	166



## Introducción

Se espera que los principales impactos del cambio climático en los países en vías de desarrollo estén centrados en la disponibilidad de agua, las inundaciones, la pérdida de glaciares, la producción agrícola y el hambre, las poblaciones indígenas, los aumentos en el nivel del mar, los eventos extremos, la morbilidad y mortalidad por enfermedades como la diarrea, los procesos de desertificación y salinización del suelo y la pérdida de biodiversidad. También se sabe que las poblaciones humanas más vulnerables a estos eventos son las poblaciones más pobres, ya que las mismas no poseen la capacidad para reaccionar oportunamente y disponen de pocos ahorros ante las emergencias. Las poblaciones más pobres dependen de los bienes y servicios de los ecosistemas; son, por lo tanto, más vulnerables a su degradación, la calidad de estos bienes se pierde impactando principalmente sobre los sectores agrícolas y sobre la calidad del agua.

La capacidad para enfrentar el cambio climático depende del desarrollo económico de los pueblos. Países como el Paraguay, que poseen una economía altamente dependiente de la agricultura y la ganadería, lo hacen muy vulnerable a los cambios del clima. El nivel de deforestación del medio ambiente ha alcanzado límites intolerables, y el grado de deterioro de un ecosistema influencia su vulnerabilidad ante los cambios climáticos; además, la fragmentación de los hábitats lleva a una pérdida de biodiversidad y limita la sobrevivencia de las especies.

Los eventos extremos que se suscitan en el país corresponden a fuertes tormentas, inundaciones y sequías, que afectan las infraestructuras sanitarias y su capacidad de respuesta para apoyar a las poblaciones más desposeídas.

## Objetivo

El objetivo de la actividad es que todas las delegaciones expliquen de manera pedagógica sus experiencias en materia de riesgos, para establecer un conjunto de procedimientos técnicos y metodológicos estandarizados para la elaboración de mapas de riesgos de los países suramericanos y, al mismo tiempo, la implementación de mecanismos tecnológicos que faciliten su difusión, transferencia y acceso.

El Paraguay, como país miembro de UNASUR, presenta el siguiente trabajo relacionado con las inundaciones asociadas a intensas lluvias que conllevan, por consiguiente, la crecida de los ríos que riegan todo el territorio del país.





## 1. Ubicación geográfica

Paraguay, con 406 752 km<sup>2</sup>, limita con Bolivia, Brasil y Argentina, sin salida al mar, localizado en el centro del continente sudamericano, entre los 19° 20' y 27° 30' de latitud sur y 54° 20' y 62° 68' de longitud oeste. Se halla íntegramente en la cuenca del Plata y forma parte, a la vez, de dos grandes subcuencas de aguas superficiales: la del río Paraguay (todo el Chaco y la mitad oeste de la Región Oriental) y la del río Paraná (la parte este de esta región).

Las dos regiones en que se encuentra dividido el país son marcadas por el río Paraguay, diferenciándolas en Región Occidental o Chaco, con tres departamentos, y Región Oriental, donde se encuentran las principales ciudades, con catorce departamentos y la capital, Asunción. Es un país eminentemente joven, ya que el 62,1% de su población tiene menos de 30 años. El clima del país es tropical a subtropical, muy cálido y lluvioso e inviernos cortos, con temperaturas bajas y pocas lluvias.

## 2. Ecorregiones

La Región Oriental se divide en las ecorregiones de Aquidabán, Amambay, Alto Paraná, Selva Central, Litoral Central y Ñeembucú y la Región Occidental, como parte de la gran ecorregión del Chaco.

## 3. Hidrografía

El Paraguay se halla completamente dentro de la cuenca del Plata ocupando un vasto sector a ambos lados del río que da nombre al país, y un importante sector de la margen izquierda del río Paraná.

## 4. Histórico de los eventos extremos

En el Paraguay los eventos extremos característicos son las inundaciones y las sequías, ambos asociados al ENOS (El Niño Oscilación Sur), que cuando se manifiesta positivo provoca aumento de las precipitaciones y temperaturas más altas que las normales, este fenómeno es conocido como "El Niño". "La Niña", en cambio, está asociada a bajas precipitaciones y temperaturas medias más bajas que lo normal. Las poblaciones ribereñas, la agricultura y la ganadería son las más afectadas por los excesos hídricos de "El Niño", mientras que durante los periodos de "La Niña" se ven afectados la agricultura, la ganadería y el transporte fluvial. Los efectos de "El Niño" del 82-83, 97- 98 y de "La Niña" son los más documentados en el país. En el 82-83 superó los niveles históricos de altura del río Paraguay, inundándose toda la zona que se encuentra por debajo de la cota 60. Se han cuantificado por ese fenómeno 60 000 personas desplazadas debido a las inundaciones.

Son las poblaciones que viven en zonas inundables del litoral asunceno y en menor cuantía, en otras ciudades del litoral. Los efectos adversos se observan en la vivienda y en el asentamiento. En el periodo 97-98 hubo pérdida de vidas humanas, viviendas dañadas y familias desplazadas; además, la agricultura tuvo pérdidas millonarias.

En el periodo 1998-2000 la disminución de las lluvias ocasionó una severa y prolongada sequía causando daños importantes en los sectores productivos del país. Actualmente, los departamentos de Ñeembucu y Alto Paraguay se encuentran más afectados por las inundaciones.

## 5. Aspectos relevantes

Las inundaciones en el Paraguay adquieren relevancia en áreas urbanas a partir de la década de 1970, cuando se intensifican los procesos de ocupación del suelo vinculado a las planicies naturales de inundación de ríos y riberas de arroyos urbanos. El proceso de ocupación del territorio sin ningún tipo de regulación se ve agudizado en el país en los años 1982-1983, asociados a los efectos del fenómeno climático "El Niño", cuando la crecida del río Paraguay llega a niveles extraordinarios, con pocos antecedentes registrados hasta la fecha. En esa ocasión la población ribereña ocupa espacios más altos casi siempre vinculados a los cauces hídricos, ocasionando un impacto sobre toda la ciudad debido a la ocupación de plazas y parques, refugios improvisados en terrenos públicos y privados, entre otros, y los efectos sanitarios típicos en estos casos.

Las inundaciones urbanas no solo son consecuencia de los desbordamientos de los ríos, sino también se vinculan con la ocurrencia de tormentas severas que se registran normalmente entre los meses de octubre y abril. Este fenómeno, asociado a la concentración de población en centros urbanos y la falta de infraestructuras de evacuación de aguas pluviales, ocasionan impactos en los ámbitos sociales y económicos.

En los centros urbanos y en especial en Asunción, estos impactos se traducen en calles pavimentadas deterioradas sistemáticamente por la ausencia de redes de drenaje pluvial; ausentismo laboral y escolar, impactos sobre la salud pública ante la permanencia de agua estancada en zonas próximas a los cauces hídricos, donde generalmente se concentran la población marginal y residuos sólidos depositados en forma indebida.

Los arroyos urbanos en estos casos se convierten en los evacuadores del agua pluvial, el cual se desborda de su cauce natural arrastrando todo tipo de residuos sólidos, que finalmente se depositan en la ribera del río Paraguay ocasionando un impacto ambiental.

## 6. Indicadores de los recursos hídricos

### 6.1. Agua superficial

El Paraguay se ubica íntegramente en la cuenca del río de la Plata, con un amplio sistema hídrico conformado por los ríos Paraguay y Paraná. El río Paraguay es navegable para embarcaciones de calado mayor desde su confluencia con el río Paraná hasta Asunción, y, desde Asunción hasta Corumbá (Brasil), para embarcaciones medianas.

El río Paraná tiene una extensión de 679 km y es navegable por embarcaciones de cualquier tamaño desde su confluencia con el río Paraguay hasta la represa de Itaipú, y, desde esta hasta sus nacientes en el Brasil, por las embarcaciones menores.

El país posee 18 000 m<sup>3</sup> de recursos hídricos renovables per cápita/año y un consumo de agua dulce per cápita de 112 m<sup>3</sup>. Si bien esta disponibilidad es alta, no está uniformemente distribuida en el territorio nacional, observándose dos regiones con características hídricas bien diferenciadas:



El Chaco, con déficit hídrico durante todo el año, y la Región Oriental, con mayor disponibilidad de agua.

## 6.2. Red hídrica nacional

---

El Paraguay se inserta íntegramente en la cuenca del río de la Plata.

Dos de los principales tributarios de la cuenca están vinculados al territorio paraguayo, los ríos Paraguay y Paraná.

El río Paraguay constituye el afluente más importante del río Paraná, con el cual es considerado el segundo sistema fluvial más importante de Sudamérica; contiene en su cuenca y sistema el humedal más grande del mundo: El Pantanal, el cual abarca más de 140 000 km<sup>2</sup> en Brasil, Paraguay y Bolivia.

La cuenca del río Paraguay (42% de la cuenca del Plata) está constituida principalmente por una gran planicie con una superficie que abarca unos 1 095 000 km<sup>2</sup>, estando su nacimiento a unos 300 m sobre el nivel del mar. De acuerdo con varios autores, el río se divide en cuatro sectores: Zona 1: región del Pantanal (principalmente en Brasil); Zona 2, región entre El Pantanal y el río Apa - margen izquierda; Zona 3, región entre el Apa y el río Pilcomayo - margen derecha, y Zona 4, región entre el río Pilcomayo y el río Paraná.

En el territorio paraguayo el río tiene una extensión de 1 250 km. En su ribera se asientan centros urbanos importantes como Concepción, Pilar y Asunción, capital del país.

El régimen hidrológico del río Paraguay se caracteriza por un módulo de 3 000 m<sup>3</sup>/s, con caudales máximos del orden de 12 000 m<sup>3</sup>/s y mínimos del orden de 800 m<sup>3</sup>/s. El ciclo anual presenta picos de onda de crecidas extremas entre los meses de junio y julio, y mínimos de diciembre a febrero. Los caudales están asociados a la variabilidad de las lluvias, incrementándose fuertemente con la ocurrencia del fenómeno "El Niño".

El río Paraguay es un río de llanura, por lo que las variaciones de sus caudales son lentas a lo largo de todo el tramo de su recorrido, presentando un solo máximo y mínimo anual en todos los puntos de control.

## 6.3. Tramos del río Paraguay

---

Forma la nacimiento de la cuenca del río Paraguay. En sus primeros 50 km se conoce al río con el nombre de Diamantino, juntamente con otras cabeceras cercanas a las estribaciones del macizo de Matto Grosso (Brasil), luego de un recorrido aproximado de 270 km, forma una zona de expansión y de embalse conocida como El Pantanal, de superficie superior a los 140 000 km<sup>2</sup>. Desde su nacimiento hasta el fin El Pantanal, en territorio brasileño, el río tiene un recorrido de 1 260 km.

Corresponde a la cuenca alta del río Paraguay en territorio paraguayo, desde la confluencia del río Negro, en las cercanías de la ciudad de Bahía Negra, hasta el río Apa, con un recorrido de 350 km. Esta zona es límite entre Brasil y Paraguay, correspondiendo la margen derecha a Paraguay y la margen izquierda a Brasil.

Forma la cuenca media del río Paraguay en territorio nacional, con un recorrido de más de 500 km, desde la confluencia del río Apa hasta la confluencia del río Pilcomayo, frente a la ciudad de Asunción. Recorre enteramente el territorio paraguayo en ambas márgenes.

Se denomina cuenca baja a la zona del río Paraguay, aguas abajo de Asunción hasta la confluencia del río Paraguay con el Paraná recorriendo 400 km, rodeado de extensas zonas húmedales o zonas de anegación. El río Paraná tiene una longitud total de aproximadamente

4 000 km, de los cuales 818 km bañan costas paraguayas (687 km, límite con Argentina, y 131 km con el Brasil). Su caudal es considerable debido a las abundantes lluvias de la zona tórrida, donde se hallan las nacientes del río, zona esta que se caracteriza por la cantidad de precipitaciones pluviales (entre 1 200 y 2 200 mm por año).

La velocidad de las aguas del río Paraná no es constante. Debido a la gran velocidad de las aguas y a su cauce rocoso, se forman fuertes remolinos en todo su curso, especialmente aguas arriba de Encarnación, lo cual constituye un serio obstáculo a la navegación. El ancho del río también es muy variable en todo su curso. Se presentan varios pasos difíciles a lo largo de su recorrido que son difíciles de franquear debido a la tortuosidad del canal, fuertes pendientes del río y por lo tanto, velocidades considerables y las restingas altas próximas a la ruta de navegación. La cuenca hidrográfica del río Paraná es de aproximadamente 1 510 000 km<sup>2</sup>.

#### 6.4. Tipología de las inundaciones

---

En el Paraguay se presentan dos tipos de inundaciones: (a) inundaciones ribereñas, debido fundamentalmente a las crecidas estacionales y extraordinarias de los grandes ríos Paraná y Paraguay, y (b) inundaciones pluviales urbanas, debido a las precipitaciones intensas en las ciudades y al aumento de los efectos de la urbanización.

El origen de las crecidas ribereñas originadas por el río Paraguay se presenta como consecuencia de las precipitaciones estacionales que se acumulan en El Pantanal, debido a las características geográficas de la zona, el cual actúa como un embalse natural donde el agua de las crecientes se acumula lenta y progresivamente para luego entregarlas con regularidad al cauce del río Paraguay durante seis meses, de abril a septiembre (meses de menor volumen de precipitación en El Pantanal), constituyéndose en un regulador de su régimen hidráulico.

Este efecto regulador provoca una demora de alrededor de tres o cuatro meses en la ocurrencia del pico de crecida, ya que aguas arriba de El Pantanal (Puerto Cáceres) las crecidas tienen su pico entre los meses de febrero y marzo, mientras que aguas abajo (Corumbá), generalmente se dan en los meses de abril-junio.

En la cuenca media, sobre la margen izquierda, los tributarios más significativos son los ríos Apa, Aquidaban, Ypane, Jejui Guazu, Manduvirá, Piribebuy y Salado.

Los picos de crecidas pasan por Asunción típicamente entre los meses de mayo a julio.

Las cuencas media y baja, a diferencia de El Pantanal, aportan al río las aguas producto de las precipitaciones, en forma mucho más rápida, alterando su régimen fluvial regular. En la medida en que las lluvias sobrepasen los valores medios mensuales, estas ocasionan crecientes extraordinarias.

Las inundaciones de los afluentes no son siempre coincidentes con las crecidas del río Paraguay, la integración de las diversas contribuciones sufre grandes variaciones, tanto en tiempo como en espacio, tornando muy complejo el régimen, en conjunto, sobre todo para los trechos inferiores.

Los niveles de agua del río Paraná tienen un efecto importante de remanso aguas arriba de la confluencia del río Paraguay, por lo tanto los niveles de agua de este último no es solo función de la descarga. El efecto de remanso bajo ciertas circunstancias se observa aguas arriba, tan lejos como Formosa (Argentina) y Alberdi (Paraguay).

También se conoce que el efecto remanso es ocasionado por las crecidas de dos principales tributarios aguas abajo de Asunción. El de la margen derecha, el río Bermejo que tiene una crecida anual regular entre enero y marzo, derivado de los deshielos de los Andes. Las crecidas provenientes del río Tebicuary (margen izquierda), el cual es el tributario drenante más al sur del río Paraguay, en ciertas ocasiones duplica las descargas del Paraguay en la confluencia de los dos cursos de agua, sin embargo dichas crecidas no son de carácter estacional.





También contribuye a la formación del remanso, la diferencia en el régimen de crecidas entre el río Paraná y el río Paraguay. La onda de crecida proveniente del río Paraguay llega con un retardo de aproximadamente tres meses con respecto a la onda proveniente del alto Paraná, en Confluencia.

Esto implica que la máxima descarga del Paraguay ocurre cuando el Paraná lleva menores caudales.

En conclusión, si el río Paraguay tiene un alto aporte de la zona de El Pantanal (normalmente entre abril y septiembre) y se añaden las crecidas de las cuencas altas y medias (normalmente entre junio y agosto), se producen las inundaciones a partir de la cuenca alta. En época del fenómeno "El Niño" este periodo suele avanzar desde el mes de mayo.

La situación se agrava en la cuenca baja, cuando este evento coincide con las crecidas del río Paraná, que originan el efecto de remanso o taponamiento en el río Paraguay.

En el río Paraná, como causa de las diferencias morfológicas y climatológicas, las cuencas superior e inferior están sujetas a diferentes tipos de crecidas que ocurren en épocas distintas del año.

Las crecidas de la cuenca alta son producidas por periodos prolongados de intensas y frecuentes tormentas consecutivas que producen, en conjunto, crecidas de gran volumen y picos suavizados, principalmente en el verano y principios del otoño.

Las crecidas en la cuenca inferior son ocasionadas por precipitaciones excesivas ocurridas durante periodos de unos pocos días, generalmente en el final del otoño y el comienzo de la primavera. Los volúmenes de las crecidas son menores y sus picos más agudos que los de la cuenca superior.

El régimen general del río Paraná está determinado por su cuenca superior. La cuenca inferior, particularmente el río Iguazú, si bien tiene solamente un pequeño efecto en el derrame total anual del año, es responsable de crecidas de corta duración, pero de gran caudal de pico.

Las situaciones más críticas de crecida se producen por la superposición de fuertes picos provenientes del río Iguazú sobre caudales elevados del río Paraná.

Con relación a las inundaciones de origen pluvial, estas se dan a partir de la interacción dos situaciones específicas: (a) tormentas severas y (b) alteración de la cuenca por efecto de la urbanización descontrolada.

Normalmente se producen tormentas en Paraguay entre los meses de octubre y abril, que en ocasiones pueden generar volúmenes de precipitación superior a la capacidad de evacuación en las ciudades. Esta situación es muy común en Asunción, Villarrica, Concepción y Encarnación.

## 7. Caracterización social del área de estudio: sectorización

La sectorización fue definida a raíz de los recorridos realizados a la zona a través de visitas de reconocimiento inicial de campo, y a nivel de cada una de las familias entrevistadas durante la ejecución del registro de estructuras y la aplicación del censo familia.

Para realizar la sectorización se clasificaron los diferentes grupos de familias alojadas en las viviendas de una manera homogénea, encontrándose características socioeconómicas y modos de vida tanto semejantes como diferentes en la zona del departamento de Ñeembucú, en especial.

**Los asentamientos activos:** Se incluyen en este tipo de asentamiento aquellos sectores que presentan una ocupación territorial considerablemente más capitalizada.

Son los casos de aprovechamiento agropecuario y forestal intenso. En estos asentamientos se efectúan obras de protección contra las crecidas (endicamiento, polderización, muros de defensa costera, como también inversiones complementarias de alto valor económico: sistematización, canalización, equipos de bombeo, etc.). Si bien estas obras de protección pueden presentar una efectividad diferencial contra las crecidas, según las características técnicas de las mismas, representan un esquema de asentamiento totalmente diverso al anterior (terrenos destinados a pequeñas industrias como caleras y de cerámica). El objetivo fundamental, en estos casos, es independizar el nivel de actividad de los ciclos naturales de los ríos.

**Los asentamientos residenciales:** Son aquellas formas de ocupación de las riberas e islas cuyo propósito básico es el de alojamiento, es decir, el desarrollo de una actividad productiva autónoma. El hombre, en este caso, ocupa el espacio con fines puramente habitacionales.

Este sector tiene una inserción ocupacional netamente asalariada, no solo en el ámbito de las islas, sino además, en los centros urbanos cercanos.

Este último hecho se explica por verificarse cierta tendencia de mayores instalaciones de este tipo en las islas y riberas cercanas a los grandes centros urbanos del área.

**Zonas de islas y riberas de territorio paraguayo:** La población ribereña e isleña constituye el sector más afectado por las inundaciones. De 1965 a 1979, solo para dar un periodo de referencia, han sufrido los efectos de seis crecidas severas y del 82 al 98, de otras seis entre las más severas del siglo XX y la que actualmente se está registrando en los departamentos de Ñeembucu y Presidente Hayes.

Teniendo en cuenta la alta recurrencia de las inundaciones, es obvio que las mismas operan como un fuerte condicionante del tipo y nivel de actividad desarrollada, dependiendo ello fundamentalmente, del instrumental tecnológico utilizado por el hombre para instalarse en estas áreas.

**Características de la población isleña y ribereña:** Las características de asentamiento y áreas expuestas a inundaciones periódicas y las modalidades de actividad económica dominadas por formas productivas con escasa capacidad de generación de valor y actividades asalariadas estacionales, imprimen rasgos sociales de alta marginalidad general en la población isleña y ribereña, definidos en sus aspectos más visibles por condiciones materiales de vida de muy reducido nivel: bajos ingresos medios y condiciones habitacionales precarias (sin considerar otros indicadores de nivel de vida, como salud y educación).

**Las áreas rurales:** Elementos que definen las características del ambiente rural: en los ambientes rurales, la identificación de sectores sociales afectados por las crecidas pasa necesariamente por el análisis de las características de la estructura agraria en donde está inmersa dicha población.

Relacionando el análisis de la información ocupacional disponible con los esquemas de asentamiento de población, se podría concluir que existe un fuerte predominio de los asentamientos denominados pasivo y residencial, teniendo cierta significación el asentamiento activo.

Una estructura agraria, a su vez, está definida, entre otras cosas, por el tipo de productores rurales que la conforman. Las distintas formas productivas delimitan las condiciones y perspectivas de vida de los productores y, en definitiva, de la población rural toda.

Con objeto de determinar el tipo de productores rurales afectados se ha enunciado una tipología de productores elemental, la que tiene como criterio básico de diferenciación, aspectos que hacen a las condiciones de desenvolvimiento socioeconómico de los productores ante eventuales modificaciones de elementos que hacen a sus respectivas condiciones de capitalización y aumento de la producción; tales como movimientos de precios, política



económica general y, lo que interesa en particular en este estudio, cambios en el carácter de los recursos naturales disponibles, como puede suceder como consecuencia de las crecidas.

Con este criterio se distinguieron tres tipos de productores: minifundista, familiar capitalizado y empresarial.

**Aglomerados urbanos:** Las características recopiladas de los centros afectados indican una clara estratificación socioeconómica de los espacios urbanos. El principal elemento organizador de esta estratificación es el precio de la tierra urbana.

En este sentido, se puede afirmar que las áreas inundables (por las crecidas históricas y las recurrentes) son ocupadas principalmente por los sectores más bajos del sistema de estratificación urbano. Se trata de tierras de menor precio relativo o de tierras fiscales.

La relación entre la población urbana afectada y la población urbana total de los aglomerados tocados por los diversos tipos de crecidas, indica que las crecidas históricas o recurrentes afectan una proporción relativamente baja de estas poblaciones. Estas simples proporciones son consistentes con los comentarios referidos al tipo de sectores sociales afectados por las diversas crecidas; solo a partir de las crecidas teóricas se estaría involucrando a estratos sociales de más alto nivel socioeconómico.

**Inundaciones de origen pluvial:** lluvias intensas

El origen de las inundaciones pluviales urbanas está asociado a la ocurrencia de tormentas severas (TS) y el efecto de la urbanización creciente.

Las tormentas en Paraguay ocurren con mayor frecuencia durante el semestre de verano, de noviembre a abril, como consecuencia de las condiciones favorables de calor y humedad en la región. Estas tormentas están asociadas a sistemas meteorológicos conocidos como Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM) y líneas de turbonada, ambos bien estudiados en la región.

De esta forma, la duración promedio de los CCM es de once horas. La extensión promedio de los CCM está entre 200 000 y 500 000 km<sup>2</sup>. La mayor ocurrencia de las TS como consecuencia de los CCM se presenta en los meses de noviembre y abril, a las 9:00, hora local.

## 8. Características generales del área geográfica a evaluar

### La ecorregión de Ñeembucú, el medio físico y el biológico

#### El enfoque socioambiental

Se entiende como ecorregión de Ñeembucú a un sistema integrado por organismos vivientes y el medio físico con el cual intercambian materia y energía; este sistema tiene componentes bióticos tales como los animales, plantas y los microorganismos, y los componentes abióticos tales como el agua, el suelo, el aire y la temperatura. El estero de Ñeembucú tiene sus peculiaridades en tanto sistema de ambientes acuáticos, y en una gran extensión está formada por esteros y embalsados; este sistema está estrechamente interconectado con el lago de Ypoá.

En realidad, todos los componentes del medio físico (agua, suelo, clima) están interrelacionados, así como estos están estrechamente asociados con las plantas y animales y el medio humano; ese medio es el escenario donde se desarrolla la vida humana, los procesos sociales y también se fue enriqueciendo la cultura de sus antiguos pobladores desde la remota antigüedad. Con un enfoque socioambiental, el medio de la ecorregión es el campo en el que se busca la satisfacción de las necesidades básicas y mejorar la calidad de la vida, y en esa medida la ecorregión es también escenario de conflictos, ya que en ese espacio las propuestas de manejo

sustentable del ambiente y de los recursos que de él se extraen conducen a conflictos, pues se enfrentan a intereses, necesidades y objetivos encontrados de actores sociales que pugnan por la apropiación, uso y control de los recursos naturales.

Focalizando la atención en el agua, que modela la ecorregión, se deben tener presentes las estrechas interacciones entre el agua subterránea, el agua superficial, el agua que se precipita; la alteración de cualquier fase del ciclo del agua tiene directo impacto en las otras y en la conformación de los suelos y de las plantas y animales.

Así, el represamiento de un curso de agua influye no solo en el volumen del agua superficial, sino también en el nivel del agua subterránea y en la humedad y capacidad de uso de los suelos.

## 9. La dependencia del ecosistema de los ríos Paraguay y Paraná

La dinámica de esta ecorregión, a su vez, no puede entenderse con independencia del ecosistema constituido por los ríos Paraguay y Paraná.

En ese sentido, debe tenerse presente que la hidrovía Paraguay-Paraná comprende un área de unos 720 000 km<sup>2</sup>; el río Paraguay —que desemboca en el río Paraná— desde el puerto Descalvado, tiene una extensión de 3 282 km hasta el puerto Nueva Palmira, y constituye un medio de comunicación para Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Brasil. Aunque pareciera que el Paraná no tiene mayor influencia en la ecología de los humedales de Ñeembucú, las crecidas de este río tienen consecuencias directas en los mismos; el impacto de este río es aún mayor luego de la construcción de las represas de Itaipú y Yacyretá.

Puede suponerse que la biología acuática que se manifiesta a lo largo del río Tebycuary, y en los arroyos Montuoso, Yacaré y Ñeembucú está sufriendo los impactos de las alteraciones del río Paraná. En realidad, los problemas ambientales más críticos de los humedales de la ecorregión están estrechamente asociados al régimen hídrico de los ríos Paraguay y Paraná, que en los últimos años se han caracterizado por mayores concentraciones de caudal y periodos de bajantes más pronunciados; por otra parte se observa un mayor aporte de sedimentos que alteran la estabilidad de los cauces.

En el ciclo hidrológico del río las crecidas de otoño-invierno contrastan con las bajantes de primavera-verano, siendo el caudal medio anual de 3 734 m<sup>3</sup>.

La hidrovía Paraguay-Paraná comprende el río Paraguay desde Cáceres (km 3 442) hasta Confluencia (km 1 240) y el río Paraná desde Confluencia hasta Nueva Palmira. La parte paraguaya del río Paraguay suele ser dividida, para efectos analíticos, en tres tramos:

**Puerto Busch (km 2 524):** A unos 30 km aguas arriba de Bahía Negra, hasta el río Apa, en el Alto Paraguay.

**Río Apa - Asunción (km 1 630):** Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que fisiográficamente este tramo llega hasta Punta Itapirú a 47 km de Asunción.

**Asunción-Confluencia (km 1 240):** En el tramo Alto Paraguay hasta el río Apa el río no es sinuoso; en algunos tramos el canal de navegación varía entre 180 y 160 m y su profundidad varía entre 3 y 1,8 m.

En el Paraguay medio, entre el río Apa y Asunción, el río corre por un lecho de unos 650 m y en las crecientes desborda sobre un ancho de hasta 10 km; bancos de arena bajan de profundidad a menos de 2 m en épocas de aguas bajas. Las barrancas escarpadas en la margen izquierda constituyen una barrera estructural para las crecidas.





En el Paraguay inferior (tramo Asunción-Confluencia), en épocas de crecientes la inundación avanza entre 10 y 15 km. El lecho oscila entre 350 y 700 m; la influencia del Paraná con su efecto barrera o succionador llega hasta la altura de Formosa; la pendiente media del río llega a hasta 0,029 m por km<sup>2</sup>.

En el tramo puerto Pilcomayo (km 1 619)-Confluencia la navegación actual se ve obstaculizada por curvas de reducido radio de giro que limitan las maniobras de los convoyes. A lo señalado se suman pasos críticos con anchos y profundidades insuficientes.

En el Paraguay inferior el río recorre 344 km con un ancho medio de 700 m; los sedimentos del río son arenas finas y medias. Entre Asunción y Confluencia drenan en el río Paraguay cuatro microcuencas: la del Pilcomayo (164 531 km<sup>2</sup>) y del Bermejo (141 541 km<sup>2</sup>), en la margen derecha; en la margen izquierda drenan el Tebucuary (41 290 km<sup>2</sup>) y el Ñeembucú (2 848 km<sup>2</sup>). Las nacientes andinas de los ríos Pilcomayo y Bermejo drenan los Andes centrales y el Altiplano andino, que contienen suelos desérticos.

## 10. Los rasgos básicos de la ecología de Ñeembucú

La ecorregión de Ñeembucú tiene una superficie de 35 700 km<sup>2</sup> y comprende básicamente los departamentos de Ñeembucú, Misiones y parte de Paraguay. El clima de la ecorregión es subtropical, húmedo a subhúmedo y tiene una precipitación anual media que varía de 1 400 mm en una franja cercana al río Paraguay, y 1 500 mm, los meses más secos corresponden al periodo junio-agosto y los más húmedos van de noviembre a enero; la temperatura media anual varía entre 21 y 22 °C.

El pantanal de Ñeembucú se extiende desde el lago Ypoá, en el norte, y Ayolas en el este —donde se construye la gran represa de Yacyretá— hasta la confluencia Paraguay-Paraná, en el suroeste.

Los humedales son ecosistemas de alta productividad, ya que su biomasa tiene distintas aplicaciones (alimento para ganado, de carpinchos, etc.). Estos no solo conforman el paisaje peculiar de Ñeembucú, sino que constituyen además el hábitat de plantas y animales únicos; sobre todo, cumplen funciones esenciales en el ciclo del agua y, sin duda, sin los humedales las inundaciones serían más penosas y las épocas secas más severas; los hábitats en cuestión comprenden áreas silvestres con poca o ninguna interferencia humana, y en esa medida alimentan la biodiversidad; las aguas lénticas transparentes, con desplazamiento lento de las aguas y con plantas acuáticas, facilitan el deshove de la fauna ictícola.

Teniendo en cuenta las funciones ecológicas básicas de los humedales en tanto reguladores de los regímenes hidrológicos de las cuencas fluviales y como refugio de la vida silvestre —hábitat de una fauna y flora peculiares—, en especial las aves acuáticas, se los considera como un recurso de gran valor. Su importancia tiene alcance internacional, según se establece en la Convención de Ramsar relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, que fue ratificada por nuestro país por Ley 350/94.

Esta convención considera que los humedales constituyen “un recurso de gran valor económico, cultural, científico y recreativo, cuya pérdida sería irreparable” y se propone impedir progresivas intrusiones en los mismos y el desarrollo de cualquier actividad que los degrade; este cuerpo legal establece la obligación de las partes contratantes de conservar y usar en forma sostenible los humedales de su territorio.

La gran riqueza de la biodiversidad de la ecorregión ciertamente es el resultado de la baja presión demográfica sobre los recursos naturales que todavía se observa, pero que en ausencia de medidas protectoras puede alterarse substancialmente como resultado de procesos emergentes.

El pantanal de Ñeembucú, de unas 800 000 hectáreas, es el más extenso de las áreas húmedas del Paraguay; esto determina su importancia. El departamento de Ñeembucú, con una superficie de 12 147 km<sup>2</sup>, se caracteriza por su conformación topográfica plana y baja, el terreno con predominio de una pendiente menor al 1% está ocupado por áreas anegables por encharcamiento del suelo, originado por lluvias locales y por áreas inundables, por el agua de desbordes fluviales que provienen de lluvias muy distantes y cargadas de sedimentos y minerales de ecosistemas alejados; el mayor riesgo es el de encharcamiento es de las aguas de desbordes de los ríos Paraguay y Paraná.

Las referidas características del relieve terrestre (conformación plana y baja), así como la peculiaridades de los humedales, ligadas a la dinámica de los ríos Paraguay y Paraná que confluyen en el sureste de Ñeembucú, hacen de la región la más vulnerable a las inundaciones catastróficas del sistema Paraguay-Paraná-Plata; en realidad los procesos hídricos tienen preponderancia en la ecorregión que se subordina al régimen de los ríos Paraguay y Paraná; las inundaciones periódicas se producen cuando uno u otro río, o ambos, elevan su nivel normal; la superposición de crecientes afecta a Ñeembucú más que a otros departamentos.

Las crecientes se forman en función directa de las lluvias producidas en la cuenca superior o de lluvias regionales; en el primer caso, los niveles máximos llegan desde Ladario, cerca de El Pantanal matogrosense a Pilar con unas tres semanas de retraso. Un caso de inundación catastrófica de ese tipo se dio en 1983.

Cuando la creciente resulta de lluvias regionales el nivel máximo del río Paraguay, en el puerto de Pilar, antecede al nivel máximo en puerto Ladario, tal como se dio en 1998; ese año, Pilar superó los 9 m el 6 de mayo, mientras en Ladario sobrepasó los 4 m el 15 de mayo. En el caso del río Paraná las represas construidas aguas arriba de la confluencia cambiaron el régimen del río.

La cota del puerto de Pilar, situada a 45,62 msnm es 7,58 m más baja que la de Asunción y 18,67 m en relación con Concepción, el efecto tapón del río Paraná en momentos de crecida provoca inundaciones que son catastróficas, dependiendo del caudal del río Paraguay.

Los ecosistemas en cuestión incluyen las zonas de transición entre ambientes terrestres y ambientes acuáticos. El término humedal designa medios (lagos, riachos, lagunas, pantanos, embalsados) que tienen en común los rasgos de un ambiente acuático o húmedo de captación de aguas; la velocidad del escurrimiento determina las condiciones de vida de plantas y animales. En los ambientes lóticos o de aguas corrientes, tales como ríos, arroyos y pantanos, a menor velocidad de la corriente corresponde mayor diversidad de fauna y flora.

En los ambientes lénticos las llanuras aluvionales se cubren de agua formando lagunas que se estancan en periodos de bajante y escurren en los periodos de inundación; en los pantanos o sabanas húmedas que permanecen inundadas parte del año, la vegetación con tallo subterráneo muy desarrollado cumple diversas funciones ecológicas, que permiten al suelo la absorción del agua y la fijación de nutrientes por descomposición de materia orgánica.

Diversos son los esteros de la región; el Ñeembucú desagua en el arroyo de ese mismo nombre y desemboca en el río Paraguay, cerca de Pilar; este estero con embalsados se alimenta del estero Pikyry.

Entre los ríos que desembocan en el río Paraguay el Tebicuary es uno de los más importantes, ya que tiene una extensión de 500 km y una cuenca de 35 000 km<sup>2</sup>; el Tebicuary es el mayor tributario del río Paraguay y recorre un extenso territorio, y como tal arrastra gran cantidad de materia orgánica, pero también otros sedimentos y substancias tóxicas; su brazo oriental nace en la cordillera de Caaguazú, cruza diversos departamentos y recibe varios afluentes. El otro brazo nace en el departamento de Caazapá, entre las cordilleras de Ybyturuzú y la de San Rafael.

En el Tebicuary desembocan los arroyos Yacaré y Lima; el mismo está circundado en el suroeste por el estero Yacaremí y al norte por el lago Ypoá. Son también tributarios del río Paraguay el



arroyo Montuoso, que desemboca cerca de Pilar al norte, y el Hondo, que fluye entre Humaitá e Isla Ombú. Al sur del departamento están interconectados los esteros Ñeembucú, Piraguazú y el Pikyry. El Yabebyry y el Piraguazú, afluentes del Paraná, son canales de desagüe del estero Ñeembucú.

La dinámica de los humedales es peculiar y permanece desconocida en medida importante. En cuanto a su desplazamiento, el agua del norte del departamento escurre hacia el sur y luego hacia el oeste para desembocar en el río Paraguay. Además de las inundaciones por las crecientes de los tributarios y por las lluvias locales los ribereños refieren el *y poñy* (agua que gatea), formado por el agua liberada cíclicamente por “la esponja” de los humedales. Informantes señalan la existencia de conflictos de desagüe entre los productores que dificultan el drenaje de los humedales o, según la topografía, envían desmedidamente el agua a los vecinos.

Más del 89% de la superficie del departamento está formada por humedales, que suman más de un millón de hectáreas. Las tierras arables llegan a unas 25 mil hectáreas y las mismas se han estado reduciendo como consecuencia de problemas de drenaje de los humedales, según se verá más adelante.

El hecho de que la mayor parte de la superficie de la región esté cubierta por agua tiene implicancias diversas para la cultura del agua en Ñeembucú; el agua implica, además de oferta, demandas, usos y conflictos entre usuarios. La calidad del agua es de importancia básica para la fauna y la flora y sobre todo para las poblaciones humanas; la calidad del agua se analiza considerando parámetros organolépticos, fisicoquímicos, microbiológicos, sustancias indeseables, sustancias tóxicas y plaguicidas. En cuanto a la contaminación química, debe tenerse en cuenta que, si bien la vegetación acuática tiene una gran capacidad de depuración del agua, los contaminantes son absorbidos por plantas que almacenan las sustancias tóxicas, y con ellas interactúan poblaciones biológicas, y en algún momento entran en descomposición.

Una buena parte de la ecorregión está constituida por zonas anegadizas e inundadas debido a sus características topográficas y al desborde de los ríos Paraguay y Paraná. A pesar de la inmensa masa de agua que cubre la mayor parte de la superficie del departamento en Ñeembucú, también se dan las sequías, pero estas no implican falta de agua sino falta de lluvias que resiente la pastura, y en esa medida, la ganadería.

La ecorregión constituye en su mayor extensión una llanura de sedimentos aluvionales provenientes del cuaternario, con suelos hidromórficos formados por el arrastre de sedimentos en los cauces de los ríos y arroyos, con predominio de los tipos gley hidromórficos y aluvionales poco profundos, y gley húmico ácidos con alto contenido de materia orgánica.

Los suelos de la zona son medio ácidos (pH 4,7-6,6); la capa superficial, que llega a aproximadamente 80 cm, es de arena fina que retiene el agua, mientras la capa inferior formada por arcilla impide la penetración subterránea del agua; en lo referido a la fertilidad del suelo, los nutrientes básicos para los cultivos son en general pobres, observándose la falta de nitrógeno.

En el departamento predominan suelos del tipo VIII que por su alto riesgo de degradación solo permiten la obtención en forma controlada de productos derivados de su vegetación natural, como el manejo del bosque, o deben destinarse a protección.

También en el departamento existen manchones del suelo de tipo VI que presentan severas limitaciones, que no permiten su uso para cultivos anuales pero pueden utilizarse para la producción de cultivos perennes, forestería y pastos, ocasionalmente. En este punto es importante tener en cuenta que si bien es cierto que los estudios de suelos realizados últimamente —así como los anteriores— indican que los mismos no tienen aptitud para la producción agrícola, las prácticas de manejo tradicional permiten su uso para esos fines. Los conocimientos y prácticas tradicionales son diversos e incluyen la exportación de nutrientes de los humedales a los suelos cultivables.

En el noroeste del departamento de Ñeembucú se encuentran suelos arcillosos-finos. Los suelos de origen aluvional son de textura fina afectados por procesos de salinización, con un relieve de 0 a 3%. En las zonas bajas predominan pastizales de gramíneas. El drenaje es muy pobre y de pedregosidad nula.

Al sur de Pilar, en los distritos de Isla Ombú y Humaitá, hay suelos arenosos y arcillosos finos, los suelos son de origen sedimento aluvional, con un relieve de 0 a 3%; el drenaje es pobre y la pedregosidad o rocosidad es nula. En cambio, sobre la ribera del Paraná, en la zona de General Díaz y Cerrito, el drenaje es muy pobre. Estas características se observan en una franja paralela al río Paraná, que tiene aproximadamente un ancho de 10 km.

La información técnica presentada indica que en Ñeembucú predominan suelos con severas limitaciones para uso agrícola.

Incluso en el extremo suroeste (Isla Umbú, Desmochados, Mayor Martínez, General Díaz y Humaitá) los suelos son físicamente pobres, con estructuras poco desarrolladas, con mucha presencia de arena y muy escasa arcilla; las características señaladas se asocian al bajo contenido de materia orgánica y a la baja capacidad de retención de nutrientes.

En lo referido a áreas prioritarias para la conservación de la región del Bajo Paraguay, debe tenerse presente que según estudios de la Subsecretaría de Recursos Naturales la ecorregión de Ñeembucú, que ocupa la quinta parte de la Región Oriental, está integrada por la totalidad de los departamentos de Misiones y Ñeembucú, y parte de los departamentos de Paraguay, Itapúa y Central y tiene áreas prioritarias para preservar la vida silvestre.

Las áreas prioritarias de la ecorregión de Ñeembucú comprenden la cuenca del lago Ypoá de 950 mil ha, el estero de Ñeembucú de 800 mil ha, y el bosque Arary de 100 mil ha.

El Decreto N° 16.147 de 1993 declara un área para reserva natural en la cabecera del arroyo Yabebyry y sus esteros adyacentes, "bajo la denominación de refugio de Vida Silvestre Yabebyry", pero la Entidad Binacional Yacyretá se desentendió del asunto y el área no regularizada como área de reserva y ni siquiera delimitada, enfrenta amenazas serias de ocupación por parte de campesinos sin tierra.

De un breve repaso de las características del medio físico y biológico de la ecorregión, así como de los procesos que les afectan, se deriva que el manejo de los recursos naturales no es equitativo ni respetuoso del ambiente; debido a la ausencia o debilidad de los mecanismos de normas ambientales, con frecuencia el manejo en cuestión resultó beneficioso para empresas y depredatorio para el ambiente. Debe advertirse en este punto que el capital natural (madera, agua, ictiofauna, suelo, etc.) está en franca disminución, y en esa medida se debilita la sustentabilidad global.

En este caso, el deterioro del medio ambiente afecta negativamente la vida de las poblaciones locales y a su salud.

## 11. Aspectos legales

La Constitución de la República del Paraguay del año 1992, establece la obligación de la autoridad gubernamental para brindar protección y seguridad a la ciudadanía y al medio ambiente; así como reconoce y garantiza el derecho de los ciudadanos de solicitar a la autoridad pública, medidas para la defensa del medio ambiente.





### 11.1. Identificación de actores clave

---

El Gobierno paraguayo fue signatario del “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales.”

En 1993, el Parlamento Nacional sanciona la Ley N° 153/93 por medio de la cual se crea el Comité de Emergencia Nacional (CEN). Esta Ley atribuye al CEN objetivos amplios que cubren todas las fases y etapas del ciclo de los desastres; y le designa la misión de contrarrestar los efectos de los desastres; asimismo, promover, coordinar y orientar las actividades de las instituciones públicas, municipales y privadas destinadas a la prevención, mitigación, respuesta y rehabilitación de las comunidades afectadas por situaciones de emergencia.

En el año 2005 se deroga la Ley de creación del CEN por la Ley N° 2615/95 que crea la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN), dependiente de la Presidencia de la República, con un enfoque más moderno y orientado a la gestión del riesgo.

El objetivo de la SEN es prevenir y contrarrestar los efectos de las emergencias y los desastres originados por los agentes de la naturaleza o de cualquier otro origen, además de promover, coordinar y orientar las actividades de las instituciones públicas, departamentales, municipales y privadas destinadas a la prevención, mitigación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción de las comunidades afectadas por situaciones de emergencia o desastre.

Para cumplir con su misión, la SEN puede:

- Recabar toda información que permita conocer el comportamiento general de las condiciones meteorológicas e hidrológicas o de cualquier otro agente que pueda dar lugar a las situaciones de emergencia definidas en esta Ley;
- Identificar los riesgos previsibles y determinar su incidencia en la población, sus bienes y sus actividades económicas;
- Llevar estadísticas de las situaciones de emergencia que se hayan producido, determinando en cada caso el número de comunidades, de familias y personas afectadas;
- Registrar, con la cooperación de los ministerios del ramo, la cantidad y el valor de los daños ocasionados por cada situación de emergencia o desastre y las consecuencias que han tenido sobre la estructura económica del país.
- Reunir todos los elementos de juicio, cuyo conocimiento permita elaborar, corregir y mejorar los planes y programas de acción alternativos para los casos de emergencias o desastres;
- Dirigir y coordinar la asistencia a las comunidades que se encuentren en situación de emergencia o desastre.
- Estimular la creación y organización de estructuras de reducción de riesgos y atención de emergencias y desastres en los departamentos, ciudades y pueblos del país para permitir el fortalecimiento de la protección civil y coordinar sus actividades en respuesta a las situaciones de emergencia o de desastre definidas en esta ley.
- Formar, capacitar y adiestrar a los funcionarios públicos y a los voluntarios que integran las organizaciones dentro de los gobiernos departamentales y municipales.
- Elaborar y ejecutar programas de educación y adiestramiento que capaciten a las comunidades, a fin de que puedan enfrentar, de ser posible por sí mismas, las situaciones de emergencia, integrando efectivamente en esta tarea a la comunidad educativa nacional.

- Procurar la cooperación internacional mutua en materia de reducción de riesgos y la asistencia recíproca en materia de protección civil en casos de emergencias o desastres y participar en los organismos bilaterales o multilaterales que persigan fines similares; y,
- Realizar campañas de difusión sobre los sistemas y métodos de protección civil, basados en los informes de investigación y en los estudios realizados para reducir los riesgos que, en caso de materializarse, pueden afectar a la población y sus bienes.

En el Fondo Nacional de Emergencia se depositará el 10% (diez por ciento) de las recaudaciones fiscales provenientes del Impuesto Selectivo al Consumo que gravan las ventas de cigarrillos y bebidas alcohólicas; y las donaciones recibidas por la SEN de personas o instituciones nacionales o extranjeras.

### **11.2. Disposiciones generales de la ley 2615/05**

---

Los municipios y gobernaciones preverán recursos presupuestarios para la prevención y atención de emergencias o desastres, conforme a la siguiente escala: las gobernaciones tendrán un fondo presupuestario del 2% (dos por ciento) del Presupuesto Anual bruto para el primer año, 3% (tres por ciento) para el segundo y así sucesivamente hasta completar el 5% (cinco por ciento). Este recurso será utilizado en coordinación con la SEN.

Los municipios deberán prever recursos presupuestarios para la reducción del riesgo y atención de emergencias. Esta disponibilidad deberá ser comunicada a la SEN y a las gobernaciones jurisdiccionales.

### **11.3. Dirección de Meteorología e Hidrología (DINAC)**

---

La Dirección de Meteorología e Hidrología es una de las tres direcciones de servicio de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), creada por Ley N° 73 en el año 1990 y tiene como misión: promover el estudio y desarrollo de la meteorología e hidrología en todo el territorio nacional, en coordinación con las instituciones estatales afines a esta ciencia, además de administrar y operar la red de observatorios meteorológicos oficiales; prestar los servicios requeridos para satisfacer las necesidades de las distintas actividades dependientes de las condiciones atmosféricas, tales como la ganadería; la agricultura, el transporte terrestre, fluvial y aéreo; la generación de energía; la construcción; la industria; los asentamientos humanos; gestión de los recursos hídricos; la defensa del medio ambiente; las actividades deportivas, y las necesidades de las Fuerzas Armadas.

### **11.4. Fuerzas Armadas de la Nación**

---

Se constituye en el más fuerte brazo operativo de la SEN, a través de su intervención en los ámbitos de movilización, recursos humanos y seguridad, para brindar respuestas oportunas y eficaces a las comunidades afectadas. Por otro lado, la Dirección de Hidrología y Navegación, dependiente de la Armada, reporta diariamente las observaciones fluviométricas según escalas hidrométricas de los ríos Paraguay, Paraná e Yguazú y del lago Ypacaraí, las cuales son de vital importancia en el campo de los pronósticos de familias ribereñas a ser afectadas y la posterior planificación para la evacuación.



## **Policía Nacional**

Interviene en la primera evaluación de los eventos ocurridos, el censo de familias afectadas y determinación de accidentes. Asimismo, participa en la atención directa de personas heridas, búsqueda, rescate, evacuación e intervención en otros eventos a través de la Agrupación de Bomberos de la Policía Nacional.

## **12. Evaluación de riesgos**

### **12.1. Determinación del nivel de peligrosidad**

Peligrosidad: hace referencia a la ocurrencia potencial, en un intervalo de tiempo y un área geográfica específicos, de un fenómeno natural, que puede tener un efecto negativo sobre vidas humanas, pertenencias o actividades, hasta el punto de causar un desastre.

Los denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen múltiples campos de aplicación en el análisis y la gestión del riesgo de inundaciones fluviales, desde aspectos del estudio de la peligrosidad, como regionalización de datos de precipitación, obtención de parámetros morfométricos y de la red, discretización de parámetros hidrológicos, delimitación de áreas inundables, cartografías de riesgo integradas, etc.; hasta la adopción de medidas de mitigación de carácter predictivo, preventivo o corrector (post-desastre), que comprenden la predicción meteorológica e hidrológica, la ordenación del territorio y los sistemas de aseguramiento, y los planes de protección civil y emergencias. Su empleo supone normalmente un ahorro de tiempo, esfuerzo y una garantía de objetividad y precisión.

Recientes avances técnicos, por ejemplo en la conexión de los SIG con los modelos hidrológicos e hidráulicos y en la conexión SIG-Internet, el abaratamiento de los costes y la aparición de nuevas fuentes de información, han facilitado su utilización y les han hecho unas herramientas imprescindibles en la gestión de este riesgo natural.

#### **a. Identificación de los peligros**

La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no solo de aspectos meteorológicos, sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, magnitud de las pendientes de la cuenca, obras realizadas en los cauces, entre otros.

Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en las que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado (limpieza de los sedimentos en cursos de agua), especialmente en las desembocaduras donde se acumula el limo y la tierra arrastrada por la corriente.

Los criterios recomendados para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo; mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo (siempre y cuando esta fórmula arroje valores más altos, en términos de intensidad que la anterior).

Los umbrales entre los niveles de intensidad muy alta, alta, media y baja han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores.

En la siguiente tabla se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

Tabla 1  
Niveles de intensidad de inundaciones

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) inundaciones estáticas	Profundidad x velocidad de flujo (m <sup>2</sup> /s) inundaciones dinámicas
Muy alta	$H > 1,5 \text{ m}$	$H*V > 1,5 \text{ m}$
Alta	$0,5 \text{ m} < H < 1,5 \text{ m}$	$0,5 \text{ m} < H*V < 1,5 \text{ m}$
Media	$0,25 \text{ m} < H < 0,5 \text{ m}$	$0,25 \text{ m} < H*V < 0,5 \text{ m}$
Baja	$< 0,25 \text{ m}$	$H*V < 0,25 \text{ m}$

Tabla 2  
Niveles de intensidad de inundaciones

Nivel de intensidad	Rangos
Muy alta	$0,75 < NI < 1$
Alta	$0,50 < NI < 0,75$
Media	$0,25 < NI < 0,50$
Baja	$0 < NI < 0,25$

NI: Nivel de intensidad.

El riesgo de inundaciones es el resultado de la integración de sus tres componentes: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad; esta integración se expresa a través de la ecuación del riesgo, que combina los factores mediante un producto de ellos.

Aquí es importante mencionar que el río Paraguay presenta dos picos de crecidas anuales: uno en verano, originado por lluvias en el tramo superior, al norte de El Pantanal, y otro en primavera, por precipitaciones en los tributarios del curso inferior. Los caudales de crecida generados al norte de El Pantanal son retenidos en él, ya que actúa como un gran embalse natural y el pico de crecida tarda aproximadamente seis meses en atravesarlo. En consecuencia, en la desembocadura del Paraguay, los niveles máximos se alcanzan en junio-julio y los mínimos en diciembre-enero. Este retraso es muy importante en las crecidas del río Paraná, dado que los mayores caudales de este último se registran en verano. Cuando se producen las grandes crecientes, estas diferencias entre los regímenes se anulan sumándose los picos de las ondas de crecida del Paraguay y el Paraná.





Dada la importancia reguladora de El Pantanal, toda modificación que se produzca en este ecosistema tendría serias consecuencias aguas abajo.

Los niveles de peligro por inundación de un área dada resultan de la relación entre frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir, su profundidad o el producto de la profundidad por la velocidad).

Lo anterior se representa gráficamente en la siguiente matriz: (los valores numéricos de intensidad son para inundaciones estáticas)

**Tabla 3**  
Niveles de peligrosidad de inundaciones

<b>Intensidad</b>	<b>Muy alta</b>	<b>Peligro medio (0,25)</b>	<b>Peligro alto (0,5)</b>	<b>Peligro muy alto (0,75)</b>	<b>Peligro muy alto (1)</b>
	<b>Alta</b>	<b>Peligro bajo (0,19)</b>	<b>Peligro medio (0,38)</b>	<b>Peligro alto (0,56)</b>	<b>Peligro muy alto (0,75)</b>
	<b>Media</b>	<b>Peligro bajo (0,13)</b>	<b>Peligro medio (0,25)</b>	<b>Peligro medio (0,38)</b>	<b>Peligro alto (0,5)</b>
	<b>Baja</b>	<b>Peligro bajo (0,06)</b>	<b>Peligro bajo (0,13)</b>	<b>Peligro bajo (0,19)</b>	<b>Peligro medio (0,25)</b>
		<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Muy alta</b>
		<b>Frecuencia años</b>			

**Tabla 4**  
Niveles de peligrosidad de inundaciones

Nivel de peligrosidad	Rangos
Muy alta	$0,75 < NP < 1$
Alta	$0,50 < NP < 0,75$
Media	$0,25 < NP < 0,50$
Baja	$0 < NP < 0,25$

NP: Nivel de peligrosidad.

## b. Caracterización de los peligros

### ▪ Identificación de los elementos expuestos

Actualmente, unas 17 mil familias fueron afectadas por las inundaciones en los departamentos de Ñeembucú, Presidente Hayes y Alto Paraguay, 7 000 en Ñeembucú y los 10 000 restantes en Alto Paraguay y Presidente Hayes.

El nivel del río Paraguay sigue aumentando con las precipitaciones últimas y la situación se torna preocupante, ya que más familias pueden ser afectadas por las aguas en este distrito de Presidente Hayes y del Alto Paraguay.

Tabla 5  
**Peligrosidad integrada de inundaciones**

<b>Peligrosidad integrada</b>		Peligrosidad por desbordamientos fluviales
		Peligrosidad por precipitación en áreas endorreicas
		Peligrosidad por roturas de obras hidráulicas
		Evidencias empíricas (inundaciones históricas)
		Factores agravantes de la peligrosidad
<b>Exposición social</b>		Permanencia espacial de la población
		Exposición social total
		Permanencia temporal de la población
<b>Vulnerabilidad social</b>	<b>Vulnerabilidad individual</b>	Población especialmente vulnerable
		Infraestructura para la vulnerabilidad
	<b>Vulnerabilidad colectiva</b>	Densidad por vivienda
		Interrupción de vías
		Zonas de evacuación



### ▪ *Mapa de zonificación del nivel de peligrosidad*

Para elaborar el mapa de amenaza a escala 1:10 000 se trabaja sobre la base de ortofotomapas a escala 1:10 000, al mínimo 1:20 000 que permiten diferenciar con bastante precisión las diferentes zonas de inundación a diferentes frecuencias.

#### **Mapas a escala 1:10 000 y 1:50 000**

Existen diversas metodologías para la elaboración de mapas de amenazas por inundación, la utilización de cada una de ellas depende del objetivo del mapa y de la disponibilidad y acceso a información. En este trabajo se presenta la metodología del método geomorfológico integrado, la cual permite, con poca información, elaborar un mapa de amenazas por inundaciones de buena calidad, a escalas 1:10 000 o 1:50 000.

El procedimiento básico para la elaboración del mapa de amenaza utilizando el método geomorfológico integrado es el siguiente:

#### **Paso 1.**

Recopilación de información: recopilación de información con el fin de conocer la situación y características generales de la cuenca y del tramo de río, así como datos de caudales y datos históricos (fecha, extensión, daños, cambios en el uso del suelo, etc.). Esto puede ser realizado por medio de encuestas, documentos históricos (fotos, periódicos, documentos de las instituciones de gobierno, privadas y ONG, etc.), fotos aéreas y de radar, etc.

#### **Paso 2.**

Cartografía geomorfológica y de los datos históricos de inundaciones: esta etapa tiene como objetivo realizar el levantamiento de los datos en el terreno y su cartografía, partiendo de la utilización de diversas técnicas como son la fotointerpretación, la observación visual de los rasgos geomorfológicos y dinámica del río y las entrevistas a la población.

Los pasos a seguir son: mapeo de los datos históricos y de la inundación referencial (si se dispone); es decir, plotear en un mapa las diferentes cotas y extensiones de las inundaciones históricas y de la inundación de referencia. Cartografía geomorfológica: a partir de la fotointerpretación y comprobación en el campo de los principales rasgos geomorfológicos, plotear en el mapa la siguiente información: características del sistema fluvial: cauce del río, terrazas aluviales, canales abandonados, diques naturales, conos aluviales o de deyección.

#### **Paso 3.**

Zonificación de las zonas inundables: en esta fase se realiza la correlación de toda la información recopilada y generada en el campo, con el fin de realizar la zonificación de áreas de amenazas por inundación en función de las alturas de agua y de su periodo de retorno o frecuencia.

Mapeo de los límites y extensión de las inundaciones, según los periodos de retorno de Tr 10, Tr 50 y Tr 200:

- a) Determinación de las inundaciones que corresponden a las inundaciones de los Tr definidos;

- b) Identificación en los mapas (de datos históricos, de inundación de referencia, geomorfológico) de los puntos a donde ha llegado la inundación que corresponde a la inundación de referencia;
- c) Identificación o estimación de la cota de los puntos a donde llegó la inundación.

Ejemplos:

**Datos de extensión**

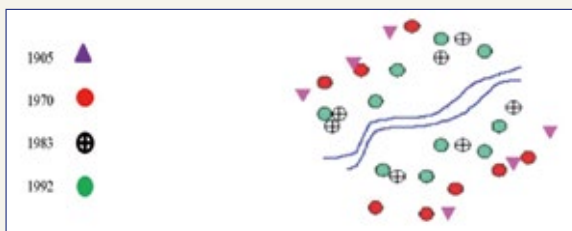


Figura 1. Cota de niveles de inundación.

**Paso 4. Zonificación de las zonas inundables:**

- a) Estimación del caudal  $Q$  correspondiente en las secciones transversales de control de cotas de agua;
- b) Conexión y extrapolación de los puntos obtenidos de la altura del agua sobre el nivel de referencia del río, de las cotas y de la morfología de la sección;



Figura 2. Nivel de referencia.

- c) Control de las extrapolaciones a partir de la comparación de los caudales en las secciones transversales de control;
- d) Se calcula el caudal para la cota propuesta en la extrapolación y se valida o ajusta con los caudales de referencia.

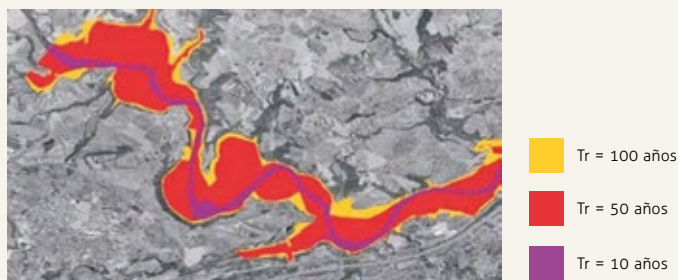


Figura 3. Comparación de caudales.





## 12.2. Análisis de las vulnerabilidades

**Vulnerabilidad:** describe el grado de pérdida de un conjunto dado de elementos como resultado de la ocurrencia de un fenómeno. Esta puede ser estructural, social, económica, ecológica, etc.

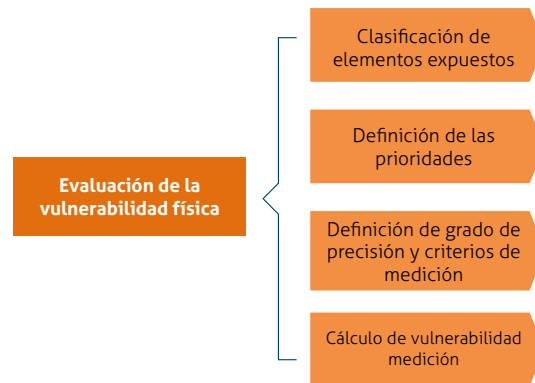


Figura 4. Evaluación de la vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad de las regiones propensas a inundaciones equivale a la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno de inundación en una zona determinada. Para un análisis de susceptibilidad, lo que se pretende determinar es cómo funcionaría una zona si existiese un fenómeno de precipitación excepcional; para ello, lo que se debe conocer son las posibles áreas propensas a inundación, y evidentemente se deben conocer las dinámicas naturales de estas zonas que permitan a planificadores e instituciones de manejo de desastres, de instrumento de análisis, evitar sucesos naturales que se conviertan en peligros que atenten contra el desarrollo humano.

El análisis de vulnerabilidad a inundación ha determinado la siguiente clasificación que constará en la capa.

### a. Clasificación de la susceptibilidad a inundación

**Zonas con vulnerabilidad muy alta:** Son aquellas que pueden inundarse en periodo prolongado y con alta recurrencia durante el año, por lo general correspondientes a bacines y depresiones, valles indiferenciados, la pendiente fluctúa de 0 a 5% y la textura de los depósitos dominantes es arcillosa. La acumulación de las aguas puede ser producto de las precipitaciones y de la crecida de los ríos en verano.

**Zonas con susceptibilidad alta:** Son aquellas que pueden inundarse en periodos cortos durante el año, por lo general correspondientes a bacines y depresiones, valles indiferenciados, la pendiente fluctúa de 0 a 5% y la textura de los depósitos dominantes es arcillosa. La acumulación de las aguas puede ser producto de las precipitaciones y de la crecida de los ríos en verano.

**Zonas con susceptibilidad media:** Son zonas en que pueden inundarse en cortos periodos pudiendo ser en los inicios de la época de verano (lluvias), las pendientes oscilan entre 0-5% y 5-12%. La acumulación de las aguas puede ser por las precipitaciones o por la crecida de los ríos que fluyen hacia las zonas internas bajas.

Tabla 6  
 Indicador de vulnerabilidad

Clase	Descripción	Indicador
5	Sin vulnerabilidad a inundación	
4	Vulnerabilidad baja a inundación	Baja
3	Vulnerabilidad media a inundación	Media
2	Vulnerabilidad alta a inundación	Alta
1	Vulnerabilidad muy alta a inundación	Muy alta

**Zonas con susceptibilidad baja:** Son zonas susceptibles a inundaciones, únicamente al producirse precipitaciones excepcionales anormales, como el fenómeno de “El Niño”, como aquellos presentados en los años 1982-1983 y 1997-1998 que produjeron grandes destrozos con pérdidas económicas y humanas. Las aguas inundan hasta las partes altas de las terrazas medias y/o indiferenciadas.

Para el caso de los mapas que servirán de base para el ordenamiento territorial, es conveniente indicar las zonas que no son susceptibles.

▪ **Análisis de la exposición**

Para ello es importante identificar los tipos de vulnerabilidad que de modo directo e indirecto están involucrados con los elementos previamente identificados y que son potencialmente vulnerables ante la ocurrencia de una inundación.

- Vulnerabilidad física
- Vulnerabilidad ambiental y ecológica
- Vulnerabilidad económica
- Vulnerabilidad social
- Vulnerabilidad educativa
- Vulnerabilidad cultural e ideológica
- Vulnerabilidad política e institucional
- Vulnerabilidad científica y tecnológica



**Tabla 7**  
**Tipos de vulnerabilidad**

Tipo de vulnerabilidad	Variables
<b>Vulnerabilidad física</b>	Localización de viviendas
	Materiales de construcción utilizados en las viviendas
	Características geológicas, calidad y tipo de suelo
	Cumplimiento de las normas técnicas vigentes de construcción
<b>Vulnerabilidad ambiental ecológica</b>	Explotación de los recursos naturales
	Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos
<b>Vulnerabilidad económica</b>	Actividad económica
	Grado de escasez (ingresos, servicios y competitividad)
<b>Vulnerabilidad social</b>	Nivel de organización
	Grado y tipo de organización e integración entre instituciones y organizaciones locales
<b>Vulnerabilidad educativa</b>	Existencia de capacitación en colegios y escuelas sobre temas de Defensa Civil
	Existencia de capacitación a la población sobre temas de Defensa Civil
	Campañas de difusión
<b>Vulnerabilidad política institucional</b>	Político y legal
	Organización y capacidad institucional
<b>Vulnerabilidad cultural e ideológica</b>	Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros
	Percepción local del riesgo
	Actitud frente al riesgo
<b>Vulnerabilidad científica y tecnológica</b>	Información y soporte técnico
	Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones

Una vez identificados los elementos expuestos al peligro, se realiza el análisis de los diferentes tipos de vulnerabilidad que, de forma directa e indirecta, se encuentran asociados ante la posible ocurrencia de una inundación; luego se procederá a identificar, evaluar y analizar los diversos indicadores que reflejarán el nivel de susceptibilidad, fragilidad y capacidades que caracterizan a una determinada condición espacio-temporal de la vulnerabilidad territorial del área en estudio.

Este análisis, por tanto, permitirá obtener una visión holística de las causas, estado y capacidades poblacionales frente al peligro en un territorio determinado.

Para realizar la capa de susceptibilidad a inundaciones, se efectúa la interpretación de las zonas de la región que se encuentran inundadas y de las zonas susceptibles a inundaciones, a través de fotografías aéreas a escala 1:20 000 de la región.

A continuación se procede al análisis de las zonas que pueden ser inundadas, para lo cual se tomará en cuenta el mapa de suelos a escala 1:20 000 donde se tomarán en cuenta las clases texturales de las unidades de suelo.

Con el campo de textura se realiza una reclasificación de acuerdo con las clases texturales de cada unidad de suelo, la cual se presenta en el siguiente cuadro:

**Tabla 8**  
**Tipos de suelos**

Texturas	
Arenoso (fina, media gruesa)	Gruesa
Arenoso franco	Gruesa
Franco arenoso (fino a grueso)	Moderadamente grueso
Franco limoso	Moderadamente gruesa
Franco	Media
Limoso	Media
Franco arcilloso (<35% de arcilla)	Media
Franco arcillo arenoso	Media
Franco arcillo limoso	Media
Franco arcillos (> 35%)	Fina
Arcilloso	Fina
Arcillo arenoso	Fina
Arcillo limoso	Fina
Arcillo (> 60%)	Muy fina

### b. Análisis de la fragilidad

Estos eventos son el resultado de fuertes o continuas lluvias que ocurren en las partes altas y/o medias de las elevaciones, las cuales sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y carga de los ríos (debido principalmente a la ocupación humana de los cauces).

Una manera de determinar, en una primera aproximación, las zonas susceptibles a inundaciones, es la interpretación de sensores remotos. Los fenómenos de las inundaciones están relacionados principalmente con las llanuras de inundación invadidas por terrenos de cultivo, urbanizaciones y asentamientos humanos. Son recurrentes en algunos sectores y se repiten anualmente con diferentes intensidades en los meses de marzo a junio.

### c. Análisis de la resiliencia

El riesgo de no prestar atención a la reducción del riesgo de desastres puede provocar serios perjuicios a la economía y los ecosistemas, además de originar una pérdida de confianza en la población y en los inversores. Los frecuentes desastres de bajo y mediano impacto y los desastres aislados pero intensos pueden perturbar seriamente los servicios básicos de la comunidad, como los sistemas de distribución de alimentos, de abastecimiento de agua, asistencia médica, transporte, eliminación de basura y comunicación, a nivel local y con el resto del mundo. Puede ser que empresas e inversores privados eviten invertir en ciudades donde se perciba cierta indiferencia por las acciones a favor de la reducción de riesgos.

Para superar la percepción de que el presupuesto para la gestión de riesgos de desastre compite por escasos recursos contra otras prioridades, la reducción del riesgo debe formar parte integral del desarrollo local. La gestión integral u holística del riesgo de desastres es más atractiva cuando responde simultáneamente a las necesidades de muchos socios participantes y de las otras prioridades competidoras. Por lo general, los incentivos son mayores cuando la gestión de riesgos de desastres contribuye de manera visible en la mejora del bienestar económico y social.





La reducción del riesgo de desastres es tarea de todos y por ser un trabajo en equipo, brinda una oportunidad única para aumentar el nivel de participación de la población.

En cada distrito, el gobierno local debe guiar las acciones, ya que su papel directivo ofrece la mejor percepción posible de las necesidades existentes a nivel local. Una evaluación de los actores participantes ayudará a los servicios públicos a identificar sus roles y responsabilidades (dentro de sus actividades de desarrollo y mecanismos de control), identificar los factores que favorecen el riesgo y adoptar medidas apropiadas para abordarlos.

Los grupos ciudadanos de zonas propensas al riesgo, como los asentamientos humanos, los negocios locales y otros grupos deberían participar en evaluaciones de riesgo y compartir los resultados entre ellos. Las ciudades se comprometerían a trabajar con institutos de investigación nacional y local y con centros de supervisión de amenazas, animándolos a que contribuyan a documentar y a evaluar amenazas pasadas, potenciales y escenarios de riesgo. Estas instituciones deberían formar parte del mecanismo de coordinación creado para tratar sobre la reducción del riesgo de desastres.

Los gobiernos locales también deben coordinar con las autoridades nacionales y viceversa, para aplicar y adaptar las políticas nacionales y la legislación a las condiciones locales existentes. Para permitirles ocupar una posición líder, tanto la responsabilidad de las actividades como la asignación y el uso de los recursos deben estar descentralizados.

Donde este no sea el caso, se recomienda aplicar un enfoque gradual. La administración municipal debe ocupar la primera fila en lo que a capacidad de respuesta y responsabilidad se refiere.

Diez aspectos esenciales para lograr ciudades resilientes:

1. Establecer la organización y la coordinación necesarias para comprender y reducir el riesgo de desastre dentro de los gobiernos locales, con base en la participación de los grupos de ciudadanos y de la sociedad civil —establecer alianzas locales—. Velar porque todos los departamentos comprendan su papel y la contribución que pueden hacer a la reducción del riesgo de desastres y a la preparación en caso de estos.
2. Asignar un presupuesto para la reducción del riesgo de desastres y ofrecer incentivos a los propietarios de viviendas, las familias de bajos ingresos, las comunidades, los negocios y el sector público para que inviertan en la reducción de los riesgos que enfrentan.
3. Mantener información actualizada sobre las amenazas y las vulnerabilidades, conducir evaluaciones del riesgo y utilizarlas como base para los planes y las decisiones relativas al desarrollo urbano. Velar por que esta información y los planes para la resiliencia estén disponibles para todo el público y que se converse acerca de estos propósitos en su totalidad.
4. Invertir y mantener una infraestructura que reduzca el riesgo, tales como desagües para evitar inundaciones y, según sea necesario, ajustarlo de forma tal que pueda hacer frente al cambio climático.
5. Evaluar la seguridad de todas las escuelas e instalaciones de salud y mejorarlas cuando sea necesario.
6. Aplicar y hacer cumplir reglamentos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo que sean realistas y que cumplan con los aspectos relativos al riesgo. Identificar terrenos seguros para los ciudadanos de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernizar los asentamientos informales.

7. Velar por el establecimiento de programas educativos y de capacitación sobre la reducción del riesgo de desastres, tanto en las escuelas como en las comunidades locales.
8. Proteger los ecosistemas y las zonas naturales de amortiguamiento para mitigar las inundaciones, las tormentas y otras amenazas a las que podría ser vulnerable. Adaptarse al cambio climático al recurrir a las buenas prácticas para la reducción del riesgo.
9. Instalar sistemas de alerta temprana y desarrollar las capacidades para la gestión de emergencias, y llevar a cabo con regularidad simulacros para la preparación del público en general, en los cuales participen todos los habitantes.
10. Después de un desastre, velar por que las necesidades de los ciudadanos se sitúen en el centro de los esfuerzos de reconstrucción, y que se les apoye y también a sus organizaciones comunitarias para el diseño y la aplicación de respuestas, lo que incluye la reconstrucción de sus hogares y sus medios de sustento.

### 12.3. Determinación del riesgo

Riesgo: El grado esperado de pérdida (de elementos vulnerables) debido a fenómenos naturales particulares (amenaza).

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta el área de estudio, y realizados los respectivos análisis de vulnerabilidad, se procede a la conjunción de estos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio; es decir, estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico (inducido por el hombre).

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y combinación de datos teórico empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia del peligro identificado, es decir, la interrelación de las condiciones espacio-temporales del área en estudio representado en las distintas dimensiones de vulnerabilidad territorial.

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo; por un lado, el analítico o matemático, y por otro, el descriptivo.

El criterio a considerar se basa fundamentalmente en la aplicación probabilística de la siguiente ecuación:

$$R: f (P, V)$$

Donde:

**R** = Riesgo

**f** = En función

**P** = Peligro

**V** = Vulnerabilidad



Esta ecuación es la referencia básica para la estimación del riesgo, donde cada una de las variables: Peligro (P), Vulnerabilidad (V) y, consecuentemente, Riesgo (R), se expresan en términos de probabilidad.

Para estratificar el nivel del riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada: matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad. Para tal efecto, se requiere que previamente se hallan determinado los niveles de intensidad y frecuencia de un determinado peligro y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

Esta matriz de doble entrada permite determinar el nivel del riesgo sobre la base del conocimiento del peligro y de las vulnerabilidades.

Con los valores obtenidos del grado de peligrosidad y el nivel de vulnerabilidad total, se interrelaciona, por un lado (vertical), el grado de peligrosidad, y por otro (horizontal), el grado de vulnerabilidad total en la respectiva matriz.

Tabla 9  
Matriz de riesgo

<b>Peligro muy alto</b> 1	<b>Riesgo medio</b> 0,25	<b>Riesgo alto</b> 0,5	<b>Riesgo muy alto</b> 0,75	<b>Riesgo muy alto</b> 1
<b>Peligro alto</b> 0,75	<b>Riesgo bajo</b> 0,19	<b>Riesgo medio</b> 0,38	<b>Riesgo alto</b> 0,56	<b>Riesgo muy alto</b> 0,75
<b>Peligro medio</b> 0,50	<b>Riesgo bajo</b> 0,13	<b>Riesgo medio</b> 0,25	<b>Riesgo medio</b> 0,38	<b>Riesgo alto</b> 0,5
<b>Peligro bajo</b> 0,25	<b>Riesgo bajo</b> 0,06	<b>Riesgo bajo</b> 0,13	<b>Riesgo bajo</b> 0,19	<b>Riesgo medio</b> 0,25
	<b>Vulnerabilidad baja</b> 0,25	<b>Vulnerabilidad media</b> 0,5	<b>Vulnerabilidad alta</b> 0,75	<b>Vulnerabilidad muy alta</b> 1

Tabla 10  
Niveles de riesgo

Nivel de riesgo	Rangos
Riesgo muy alto	$0,75 < R < 1$
Riesgo alto	$0,50 < R < 0,75$
Riesgo medio	$0,25 < R < 0,50$
Riesgo bajo	$0 < R < 0,25$

### a. Determinación de los niveles de riesgo

El conocimiento de las zonas que presentan diferentes niveles de riesgo (nivel de peligrosidad y vulnerabilidad) es utilizado en los procesos de ordenamiento y planificación territorial, por lo que estos deben representar el uso que se les puede dar y los daños potenciales a que este uso estaría expuesto.

Se definen los siguientes criterios.

Tabla 11  
 Niveles de riesgo

Nivel	Pérdidas y daños previsibles en caso de uso para asentamiento humano	Implicancias para el ordenamiento territorial
<b>Riesgo muy alto</b>	Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de la casa. Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de edificios y/o casas. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso también están en peligro todo afuera de un edificio.	Zona de prohibición, no apta para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Áreas ya edificadas deben ser reubicadas o protegidas con importantes obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.
<b>Riesgo alto</b>	Las personas están en peligro afuera de las edificaciones, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no la destrucción repentina de estos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Zona de reglamentación en la cual se puede permitir de manera restringida, la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiadas. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.
<b>Riesgo medio</b>	El peligro de las personas es regular. Las edificaciones pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Zona de sensibilización apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento ante el peligro.
<b>Riesgo bajo</b>	El peligro para las personas y sus intereses económicos es de baja magnitud, con probabilidades de ocurrencias mínimas.	Zona de sensibilización apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, muy poco probable para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas.
<b>Riesgo nulo</b>	Los indicadores de peligros son inexistentes.	Zona de asentamientos humanos e inversiones sociales y económicas, entre otros.





**Observación:** zonas en donde los análisis realizados son muy indicativos, por lo que no se pueden realizar estimaciones de frecuencias o alturas de agua o estas son muy imprecisas. Generalmente, las zonas corresponden a aquellas afectadas por eventos extremos.

Por su posible influencia en la generación de daños a personas, edificaciones o infraestructura el análisis deberá completarse con la catalogación de puntos conflictivos y la localización de las áreas potencialmente afectadas por fenómenos geológicos asociados a precipitaciones o crecidas.

Se considerarán puntos conflictivos aquellos en los que, a consecuencia de las modificaciones ejercidas por el hombre en el medio natural o debido a la propia geomorfología del terreno, pueden producirse situaciones que agraven de forma substancial los riesgos o los efectos de la inundación.

Se tendrán especialmente en cuenta los puntos de los cauces por los que, en caso de avenida, han de discurrir caudales desproporcionados a su capacidad, y aquellos tramos de las vías de comunicación que puedan verse afectados por las aguas.

#### **b. Mapa de zonificación del nivel del riesgo**

Para la elaboración del mapa definitivo de riesgo ambiental, el cual se plantea como componente fundamental, es necesaria, tal y como se hizo referencia con anterioridad, la determinación y evaluación de la distribución espacial de la "amenaza física", misma que fue obtenida a partir de la superposición de cuatro capas de información diferentes y correspondientes a las tres variables desarrolladas en la caracterización física del estudio. Así, las capas de información a utilizar son: la clinometría (pendiente), la hidrografía, el relieve y los procesos morfodinámicos.

Partiendo de estas consideraciones, las fases metodológicas que deben ser llevadas a cabo para la evaluación sistemática de la amenaza física en los departamentos afectados y conforme a las siguientes actividades, son:

**Selección de capas temáticas a utilizar en la evaluación de la amenaza:** en esta etapa solo se retomaron los mapas temáticos elaborados para la caracterización física del estudio, los cuales representarán las variables o "factores de amenaza" y servirán de base para la determinación de los indicadores específicos de la misma.

A este respecto, deben ser utilizadas las variables de clinometría, hidrografía y geomorfología, cada una de ellas con sus respectivos mapas temáticos para conformar las capas de información base a utilizar en el método de superposición de mapas.

Mapa 1  
 Zonas inundables de Alberdi







Mapa 2  
Zonas inundables de Asunción



Mapa 3  
 Zonas inundables de Concepción







# República del Perú





# ÍNDICE

## EVALUACIÓN DE RIESGOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN UBINAS

Introducción	178
<b>1</b> / Aspectos generales	179
<b>1.1.</b> Objetivo	179
<b>1.2.</b> Finalidad	179
<b>1.3.</b> Justificación	179
<b>2</b> / Metodología para elaborar el mapa de riesgo volcánico	180
<b>2.1.</b> Elaboración de mapas de peligros volcánicos	180
<b>2.2.</b> Etapas para la elaboración de mapas de peligros volcánicos	180
<b>2.3.</b> Elaboración de mapas de vulnerabilidad	200
<b>2.4.</b> Elaboración de mapas de riesgos	201
<b>3</b> / Caso Ubinas	202
<b>3.1.</b> Elaboración del mapa de peligros del volcán Ubinas	202
<b>3.2.</b> Elaboración de los mapas de vulnerabilidad	229
<b>3.3.</b> Elaboración de mapas de riesgo	242
<b>3.4.</b> Cálculo de probables pérdidas económicas ante la ocurrencia del fenómeno de vulcanismo	270



<b>4</b>	/ Conclusiones	271
<b>5</b>	/ Recomendaciones	272
<b>6</b>	/ Referencias bibliográficas	273

## **EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIONES ASOCIADAS AL FENÓMENO “EL NIÑO” 1997-1998 DE CATEGORÍA EXTRAORDINARIA EN LA CUENCA DEL RÍO CHIRA (EVALUACIÓN DE NIVELES DE PELIGROSIDAD)**

	Introducción	280
<b>1</b>	/ Aspectos generales	281
	<b>1.1.</b> Objetivo	281
	<b>1.2.</b> Justificación	281
	<b>1.3.</b> Antecedentes	281
<b>2</b>	/ Características generales del área de estudio	284
	2.1.    Ubicación geográfica	284
	<b>2.2.</b> Población	285
	<b>2.3.</b> Hidrografía	286
	<b>2.4.</b> Geomorfología	287
	<b>2.5.</b> Contexto litológico	294
	<b>2.6.</b> Clima	302
	<b>2.7.</b> Uso de suelo	309



<b>3</b>	/	Determinación del nivel de peligrosidad	311
<b>3.1.</b>		Metodología	311
<b>3.2.</b>		Parámetros para la evaluación del fenómeno	312
<b>3.3.</b>		Determinación de los niveles de peligrosidad ante inundaciones	312
		▪ Análisis de la susceptibilidad	312
		▪ Factores condicionantes	312
		▪ Factores desencadenantes	315
<b>3.4.</b>		Estratificación de peligrosidad	317
<b>3.5.</b>		Mapa del nivel de peligrosidad por inundación	318
<b>4</b>	/	Conclusiones	320
<b>5</b>	/	Recomendaciones	321
<b>6</b>	/	Referencias bibliográficas	322



## Evaluación de riesgos en el área de influencia del volcán Ubinas

### Introducción

El Estado peruano, a través de la Delegación Peruana del Consejo de Defensa Suramericano–UNASUR, suscribió en fecha 24 de octubre de 2013 el Acta del Tercer Taller de la Actividad 2.a del Plan de Acción 2013 “Continuar con el Grupo de Trabajo encargado de la elaboración de mapas de riesgo de desastres naturales a nivel de cada país suramericano”, junto con un cronograma y procedimientos técnicos para su elaboración, correspondiendo al Perú desarrollar los mapas de riesgos referidos a Erupciones Volcánicas y Fenómeno “El Niño”. En el presente informe se presenta “La metodología para elaborar mapas de riesgo volcánico”, así como un estudio de caso, que es el “Mapa de riesgo del volcán Ubinas”.

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) en el marco del cumplimiento de sus funciones establecidas en la Ley N° 29664 Ley del SINAGERD y al Oficio N°160-2014/VPD/EGE/CDS-UNASUR, participa en los compromisos asumidos como país coordinando y asesorando técnicamente a la delegación peruana de CDS-UNASUR para la obtención de los mapas de riesgo materia de los compromisos firmados en el acta del Tercer Taller de la Actividad 2.a y de acuerdo con las matrices y procedimientos técnicos adoptados por cada país miembro.

En este contexto, el CENEPRED presenta el informe de evaluación de riesgos originados por erupciones volcánicas en el ámbito geográfico de influencia del volcán Ubinas, el cual se encuentra ubicado en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, dado que es un peligro que puede afectar seriamente a la vida, la salud y el patrimonio de las poblaciones próximas al volcán.

El presente informe desarrolla la metodología establecida en el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales elaborado por el CENEPRED, el cual ha permitido, con la importante colaboración de entidades técnico–científicas del país, caracterizar cada peligro generado por erupciones volcánicas; asimismo, determinar los factores de susceptibilidad del territorio, determinar los escenarios de riesgos, los niveles de peligrosidad, la estratificación de peligro, la zonificación de peligrosidad, analizar los elementos expuestos, analizar la vulnerabilidad, los niveles de vulnerabilidad, la estratificación de la vulnerabilidad, la zonificación de la vulnerabilidad, cuantificar las posibles pérdidas y zonificar los riesgos de los centros poblados expuestos al área de influencia del volcán Ubinas.

La metodología para elaborar los mapas de peligros volcánicos, así como el mapa de peligros del volcán Ubinas, han sido desarrollados y preparados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), institución que ha



publicado los mapas oficiales de peligros de los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya-Ampato. En este trabajo también participaron el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Laboratoire Magmas et Volcans, de la Université Blaise Pascal-CNRS-IRD (Francia) y la Universidad Nacional de San Agustín, de Arequipa.

## 1. Aspectos generales

### 1.1. Objetivo

Contar con una metodología para la elaboración de mapas de riesgo volcánico en Sudamérica y, a partir de ello, elaborar el mapa de riesgo del volcán Ubinas.

### 1.2 Finalidad

El presente trabajo tiene como finalidad presentar el informe técnico que contiene los mapas de riesgo para el fenómeno de erupciones volcánicas y "El Niño", como parte de los compromisos asumidos en el Plan de Acción 2014 del CDS-UNASUR: "Elaboración del Atlas de Mapas de Riesgo de Desastres Naturales en Suramérica".

Asimismo, mostrar los procedimientos técnicos y metodológicos que cada país utiliza para la elaboración de sus mapas de riesgos, según la fenomenología seleccionada.

### 1.3. Justificación

El fenómeno vulcanológico en el Perú, en la actualidad, está marcado por la actividad de los volcanes Ubinas y Sabancaya, siendo el primero el de mayor actividad. La crisis eruptiva del volcán Ubinas se inició en el año 2006 y duró hasta diciembre de 2009. En su momento se reportaron emisiones de lava, proyectiles balísticos y caída de cenizas en zonas cercanas al volcán. Las cenizas afectaron principalmente áreas situadas a menos de 12 km del volcán, donde se encuentra casi la totalidad de pueblos del valle de Ubinas.

En el mes de setiembre de 2013 el volcán Ubinas inició un nuevo proceso eruptivo que generó entre otros fenómenos asociados, la emisión de cenizas que afectan negativamente a los pastos naturales (los cuales son fuente de alimento para camélidos, ovinos y vacunos), áreas de cultivo (papas, maíz, trigo, cebada, alfalfa, entre otros productos de pan llevar) y contaminan las fuentes de agua para uso de pobladores, ganadería y cultivos. También se ha producido emplazamiento de flujos de lodo (lahares), originados por la mezcla de ceniza y el agua provenientes de las precipitaciones. Estos flujos de lodo están afectando las principales vías de acceso al valle de Ubinas.

Las cenizas volcánicas generan problemas de salud en los seres humanos de los poblados del área de influencia del volcán Ubinas, registrándose incremento de males respiratorios, dermatitis y afecciones estomacales.

## 2. Metodología para elaborar el mapa de riesgo volcánico

### 2.1. Elaboración de mapas de peligros volcánicos

¿Qué es un mapa de riesgo volcánico?

Un mapa de riesgo volcánico es información cartográfica que se muestra el grado de peligrosidad volcánica de las áreas adyacentes a un determinado volcán. En estos mapas se representa cartográficamente la extensión probable de todos los productos que un volcán es capaz de generar durante una erupción y que pueden provocar daños en su entorno.

Un mapa de peligros debe mostrar diversas áreas que podrían ser afectadas por una erupción, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado a lo largo de su historia eruptiva, principalmente durante los últimos miles a cientos de años. Además, este mapa debe mostrar qué áreas están fuera de peligro, que pueden servir como refugios en caso de una erupción.

### 2.2. Etapas para la elaboración de mapas de peligros volcánicos

La construcción de mapas de peligros volcánicos involucra cuatro etapas principales: recopilación e interpretación de la información; estudio geológico; identificación y caracterización de peligros; definición de los niveles de peligrosidad, zonificación y edición. De forma complementaria se realiza la difusión y socialización del mapa de peligros. La Figura 1 presenta las etapas para la elaboración de los mapas de peligro volcánico.

#### ETAPA 1: RECOPIACIÓN E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN

Es normalmente una etapa previa, sin embargo puede ser actualizado durante todas las fases de construcción de un mapa de peligros volcánicos. Se realizan las siguientes acciones:

- Recopilación e interpretación de información histórica, de mitos y leyendas, en conjunto entre especialistas de las ciencias sociales, vulcanólogos y/o geólogos.
- Recopilación e interpretación de la información geológica, vulcanológica, geoquímica y de evaluación de peligros.
- Adquirir información cartográfica actualizada, preferentemente a escalas 1/25 000; 1/50 000 y 1/100 000, en formato digital.
- Adquisición de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Actualización y/o corrección de la base cartográfica, especialmente de la toponimia, curvas de nivel, redes viales existentes, red hidrográfica e infraestructura relevante.
- Elaboración de un modelo de elevación digital con buena resolución.
- Recabar información sobre el casquete glaciar, si se tuviera en el área de estudio (área, espesor, volumen, etc.).
- Implementación de una plataforma operativa de GIS, sobre el cual se trabajarán todos los mapas.
- Elaboración de una síntesis geocientífica basada en toda la información recopilada y procesada.



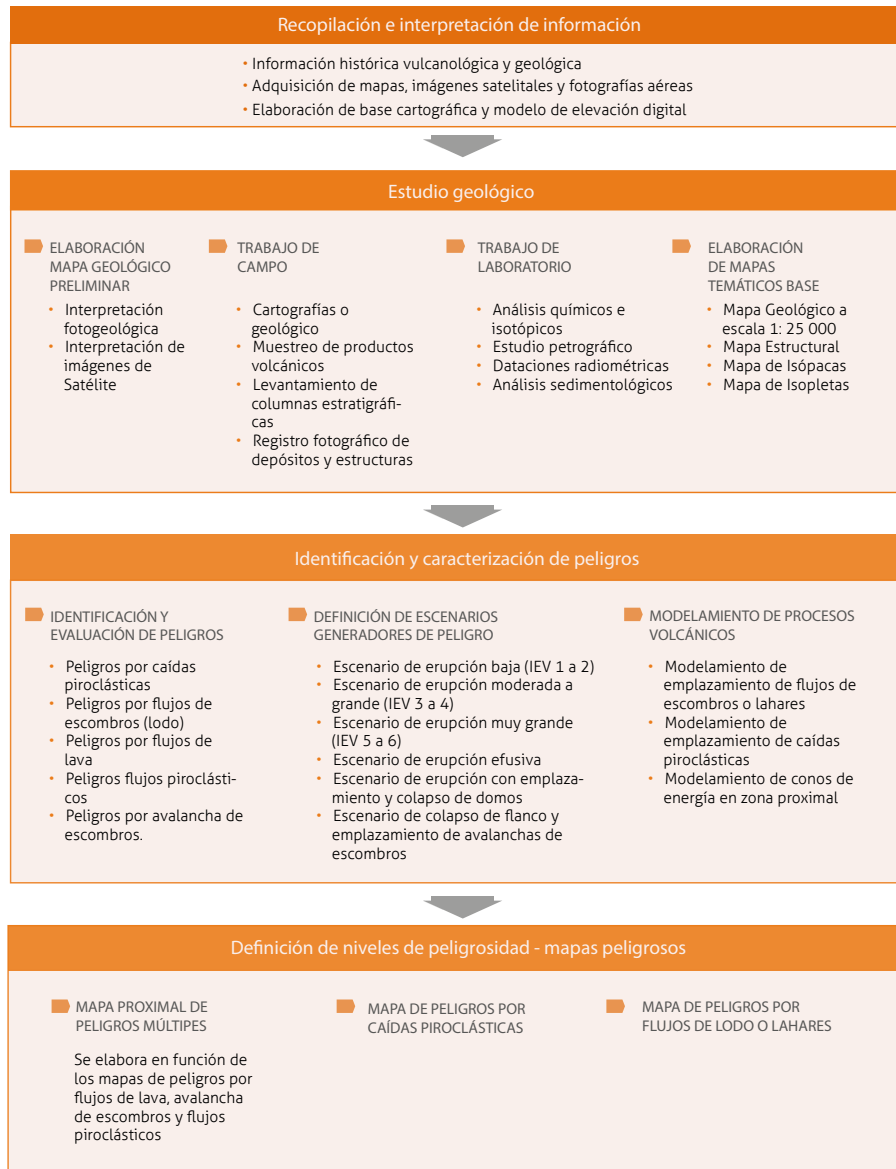


**ETAPA 2: ESTUDIO GEOLÓGICO**

Este estudio tiene por finalidad conocer la evolución del volcán, conocer los tipos de actividad eruptiva pasada, los alcances de los productos durante erupciones pasadas, la frecuencia de los eventos eruptivos, entre otros. Todos estos son insumos importantes para elaborar el mapa de peligros volcánicos.

**a. Elaboración de mapa geológico preliminar basado en interpretación fotogeológica**

Antes de salir al campo a realizar los trabajos geológicos se realiza el análisis e interpretación foto-geológica, haciendo uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales sobre una base cartográfica a escala 1/25 000. De este trabajo se elabora un mapa geológico preliminar basado en interpretación foto-geológica y que servirá para el cartografiado geológico en campo.



Fuente: Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI).

Figura 1. Etapas para la elaboración de mapas de peligros volcánicos.

## **b. Trabajos de campo**

Los trabajos de campo incluyen el reconocimiento, estudio y cartografiado de los depósitos generados durante la actividad volcánica pasada. También la descripción detallada de los depósitos emitidos por el volcán en estudio, previa georreferenciación del lugar. Sigue una descripción de acciones específicas:

### **Cartografiado geológico-vulcanológico a detalle**

Consiste en representar y graficar en un mapa topográfico a escala 1:25 000 (base cartográfica), los contactos entre las unidades litológicas, principalmente volcánicas, vulcanoclásticas u otras existentes en el volcán estudiado. Se incluyen además los depósitos superficiales de otro origen (glaciar, glaciofluvial, coluvial, etc.). El levantamiento geológico debe ser realizado con el mayor detalle posible (vulcanológico, estructural, geoquímico, geomorfológico, etc.).

Se realizan los siguientes trabajos:

- Se realiza de preferencia a escala de detalle, sobre una base topográfica (curvas de nivel, redes viales existentes, toponimia, red hidrográfica) y un DEM (Modelo de Elevación Digital).
- Representación de las estructuras geológicas observadas o inferidas en el área, donde se incluyan fallas, lineamientos, plegamientos, cicatriz de colapso, cráter, caldera, domos, etc.
- Levantamiento de columnas estratigráficas y tefroestratigráficas, previa georreferenciación del lugar con coordenadas UTM y cota. Este trabajo consiste en la descripción detallada de las características de los depósitos (espesores, tamaño de grano, litología, mineralogía, gradaciones, color, etc.).

### **Muestreo de productos volcánicos**

Se toman muestras para análisis geoquímico, estudio petrográfico, mineralógico y dataciones radiométricas Ar-Ar y K-Ar. También se recolectan muestras de turba o carbón para datación <sup>14</sup>C.

### **Descripción de los aspectos geomorfológicos e hidrológicos**

Se describen el relieve, la pendiente del terreno, el tipo de terreno, litología, etc., así como aspectos hidrológicos (forma de drenaje superficial) de la zona de estudio.

### **Registro fotográfico de los principales depósitos y estructuras volcánicas**

Se deberán obtener fotos de la morfología del terreno volcánico, depósitos, estructuras y rocas que conforman el substrato del volcán.

## **c. Trabajos de laboratorio**

Se efectúan los siguientes trabajos de laboratorio:

### **Análisis químicos e isotópicos**

Se realiza con la finalidad de conocer la composición química y características petrológicas de los productos volcánicos. Este trabajo se hace debido a que el grado de explosividad de las erupciones volcánicas, así como el tipo de erupciones, están íntimamente ligados a la composición química del magma que generan las erupciones. Estos análisis se realizan en laboratorios especializados del Perú, Europa y EE.UU.



### **Estudio petrográfico**

Para conocer la mineralogía y características texturales de los productos volcánicos.

### **Dataciones radiométricas**

Se realiza con los métodos  $^{14}\text{C}$ , K-Ar y Ar-Ar. Se realiza para conocer la edad de las erupciones pasadas, a fin de saber la frecuencia o recurrencia de las erupciones, así como la evolución e historia eruptiva. Las dataciones se efectúan en laboratorios de Europa y EE.UU.

### **Análisis sedimentológicos**

Se efectúa con la finalidad de conocer las características granulométricas de los depósitos e identificar los estilos eruptivos.

## **d. Elaboración de mapas temáticos base**

En esta etapa se elabora el mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa estructural regional y mapas de isópacas e isopletas. Estos mapas son herramientas importantes para realizar una óptima evaluación de peligros. Sigue una descripción.

### **Mapa geológico**

El mapa geológico es una representación de unidades litológicas, principalmente volcánicas, vulcanoclásticas u otras existentes en un volcán y áreas adyacentes graficadas sobre un plano topográfico. Este mapa contiene, además, unidades del sustrato, así como depósitos superficiales de origen variado (glaciar, glaciofluvial, coluvial, etc.). En este mapa se representan también las estructuras geológicas y vulcanológicas observadas o inferidas, donde se incluyen fallas, lineamientos, cicatriz de colapso, cráter, caldera, domos, etc. Se asignan unidades o formaciones por medio de distintos colores; se elabora una leyenda teniendo en cuenta la ubicación geocronológica de las unidades y también se incluye un mapa de ubicación respecto a su ámbito regional.

Este mapa se realiza en campo (cuyos pasos se explicaron antes) y se mejora y edita en gabinete. El mapa se realiza de preferencia a escala de detalle 1:25 000, sobre la base cartográfica previamente elaborada y que debe tener curvas de nivel, redes viales existentes, toponimia, red hidrográfica y un DEM (Modelo de Elevación Digital). Es la base de los mapas de peligros volcánicos, y como tal debe contener la mayor cantidad de depósitos ligados a erupciones de un volcán y edades radiométricas.

### **Mapa estructural regional**

En el mapa estructural regional se muestran estructuras como fallas, lineamientos, calderas, cráteres, domos, entre otros; existentes en el volcán pero también a nivel regional. Normalmente, este mapa se realiza sobre una base topográfica a escala 1:250 000.

### **Mapa geomorfológico**

El mapa geomorfológico representa la distribución de geoformas presentes en el edificio volcánico y alrededores. Estos mapas representan mediante colores y símbolos las características del relieve, los procesos que las generaron, sus condiciones y la evolución en el tiempo.

El mapa geomorfológico se realiza con ayuda de los mapas geológicos, la fotointerpretación y se presentan normalmente a escala 1:250 000.

### Mapa de isópacas

Un mapa de isópacas está conformado por líneas que muestran los espesores (isoespesores) de depósitos de caída piroclástica. Para ello se toman espesores de los depósitos en muchos afloramientos alrededor del volcán. Es preciso escoger un depósito de caída que esté bien preservado, ya que se requieren muchos puntos de control. La escala del mapa es variable, dependerá del área cubierta por el depósito en estudio.

A partir de los mapas de isópacas se puede estimar el volumen aproximado del depósito, la altura de la columna eruptiva y el Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de la erupción que emplazó dicho depósito.

### Mapa de isopletras

Un mapa de isopletras está conformado por líneas que muestran las dimensiones de las tefras (ceniza, lapilli, bloques, bombas). Cada línea representa una isodimensión. Para ello se mide el diámetro máximo de las tefras, normalmente entre 5 y 10 mediciones por punto. Luego se saca el promedio. Para este trabajo también es preciso escoger un depósito de caída que esté bien preservado, ya que se requieren muchos puntos de control.

A partir de los mapas de isopletras se puede estimar el volumen aproximado del depósito, la altura de la columna eruptiva y el IEV de la erupción que emplazó dicho depósito. La escala del mapa es variable, dependerá del área cubierta por el depósito en estudio.

## ETAPA 3: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS

En esta etapa se realizan los siguientes trabajos: identificación y evaluación de peligros; definición de escenarios y modelamiento de procesos volcánicos.

### a. *Identificación y evaluación de peligros*

Para realizar la identificación y evaluación de peligros, se aplican los siguientes lineamientos generales:

- El análisis del peligro se realiza por cada proceso, en forma independiente.
- Los criterios para evaluar el peligro son recurrencia y severidad, y se usa preferentemente el término posibilidad y no probabilidad, a menos que se disponga de suficientes datos para un análisis estadístico.
- El rango de tiempo utilizado para evaluar los peligros es variable en cada volcán. En algunos puede ser los últimos 50 mil años (Pleistoceno tardío-Holoceno); otros, durante el Holoceno. Se elige en función del grado de actividad actual del volcán.
- También, se analiza toda la información histórica, geológica, cronológica, geoquímica y petrológica disponibles.

Los principales peligros identificados en los volcanes del sur peruano son los generados por caídas de ceniza, lahares, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, flujos de lava y gases volcánicos. Sigue una descripción de estos peligros en el siguiente cuadro.





Tabla 1  
Tipos de peligro

Tipo de peligro	Descripción
<p><b>Peligros por caída de piroclastos y proyectiles balísticos</b></p>	<p>Las caídas de piroclastos se generan durante erupciones explosivas, cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera de forma violenta, formando una columna eruptiva que puede alcanzar varias decenas de kilómetros de altura y que posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán y se denominan bombas o bloques (&gt;64 mm), mientras que las partículas de menor tamaño, denominadas lapilli (2-64 mm) y ceniza (&lt;2 mm) son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros o centímetros de espesor (Walker, 1971). Las partículas pueden afectar extensas áreas, de varias centenas de km<sup>2</sup> (Cas y Wright, 1987).</p> <p>Los proyectiles balísticos siguen trayectorias que no son afectadas por la dinámica de la columna eruptiva o la dirección del viento. Son expelidos a decenas o centenares de metros por segundo y típicamente se hallan restringidos a un radio de 5 km del centro de emisión (Tilling &amp; Beate, 1993); sin embargo, en erupciones plinianas pueden alcanzar mucha más distancia. El peligro de impacto es grande cerca al cráter, y decrece conforme se incrementa la distancia (Walker, 1971).</p> <p>Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, colapsar los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros (Tilling &amp; Beate, 1993).</p>
<p><b>Peligros por flujos y oleadas piroclásticas</b></p>	<p>Los flujos piroclásticos son masas calientes (300 °C a 800 °C) conformados por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a ras de la superficie y a grandes velocidades comprendidas entre 100 y 300 m/s (Hoblitt <i>et al.</i>, 1995). Poseen normalmente una parte inferior densa, que se encauza y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y otra superior menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza que con facilidad salen del valle, sobrepasan relieves importantes y afectan una mayor área. Estos flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso (Tilling &amp; Beate, 1993).</p>
<p><b>Peligros por flujos de escombros (lahares)</b></p>	<p>Los flujos de escombros o lahares, denominados también en este estudio como flujos de barro, son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas originados en los volcanes. Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica (Tilling &amp; Beate, 1993). El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve, ríos o lagunas cratéricas.</p> <p>Los lahares viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces en los abanicos de inundación, como ocurrió con los lahares que destruyeron la ciudad de Armero, en Colombia, luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985 (Naranjo <i>et al.</i>, 1986; Thouret, 1990). El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo a su paso, pueden alcanzar grandes distancias (&gt;200 km) e incluso generar inundaciones cerca del cauce de ríos (Tilling &amp; Beate, 1993).</p>

**Tipo de peligro**

**Descripción**

**Peligros por flujos de lava**

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros de distancia, pero raramente llegan a más de 8 km del centro de emisión (Francis, 1993). En los volcanes de la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC), las lavas son viscosas y normalmente se enfrían en la zona del cráter formando domos o recorren algunos kilómetros de distancia. Por ejemplo, en el volcán Sabancaya, la mayoría de flujos de lava alcanzaron entre 3 y 6 km de distancia (Mariño *et al.*, 2012), en el volcán Ubinas recorrieron entre 3 y 5 km de distancia.

Los flujos de lava calcinan y destruyen todo a su paso, sin embargo no representan un alto peligro para las personas debido a su baja velocidad (Tilling & Beate, 1993).

**Peligros por avalanchas de escombros**

Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte importante de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes o la intrusión de material volcánico en el edificio volcánico. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia, pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia y se desplazan a gran velocidad; así, por ejemplo, en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h (Glicken, 1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo del flanco norte del monte St. Helens. La avalancha de escombros tuvo un volumen estimado de 2,5 km<sup>3</sup> y recorrió alrededor de 23 km de la fuente (Brantley & Glicken, 1986; Glicken, 1996).

Las avalanchas de escombros entierran y destruyen todo lo que encuentran a su paso. Adicionalmente, pueden generar lahares y crecientes a partir del desagüe de agua represada por la avalancha (Tilling & Beate, 1993).

**Peligros por gases volcánicos**

Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua; pero también dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor (Hoblitt *et al.*, 1995).

Los gases volcánicos se diluyen y dispersan rápidamente; sin embargo, pueden alcanzar concentraciones altas en las zonas bajas o depresiones muy cercanas al volcán, lo que puede generar intoxicación y muerte de personas y animales. Los gases también pueden formar compuestos químicos que se adhieren a las partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que generan corrosión, daños en los cultivos, así como contaminación de aguas y suelos. Frecuentemente, los efectos nocivos están restringidos a un radio menor a 10 km (Tilling & Beate, 1993).



## Factores condicionantes de los peligros volcánicos

En los siguientes cuadros se muestran los factores condicionantes de cada uno de los peligros volcánicos. Los valores ponderados presentados se obtienen utilizando el Análisis Jerárquico de Tomas Satty (1980):

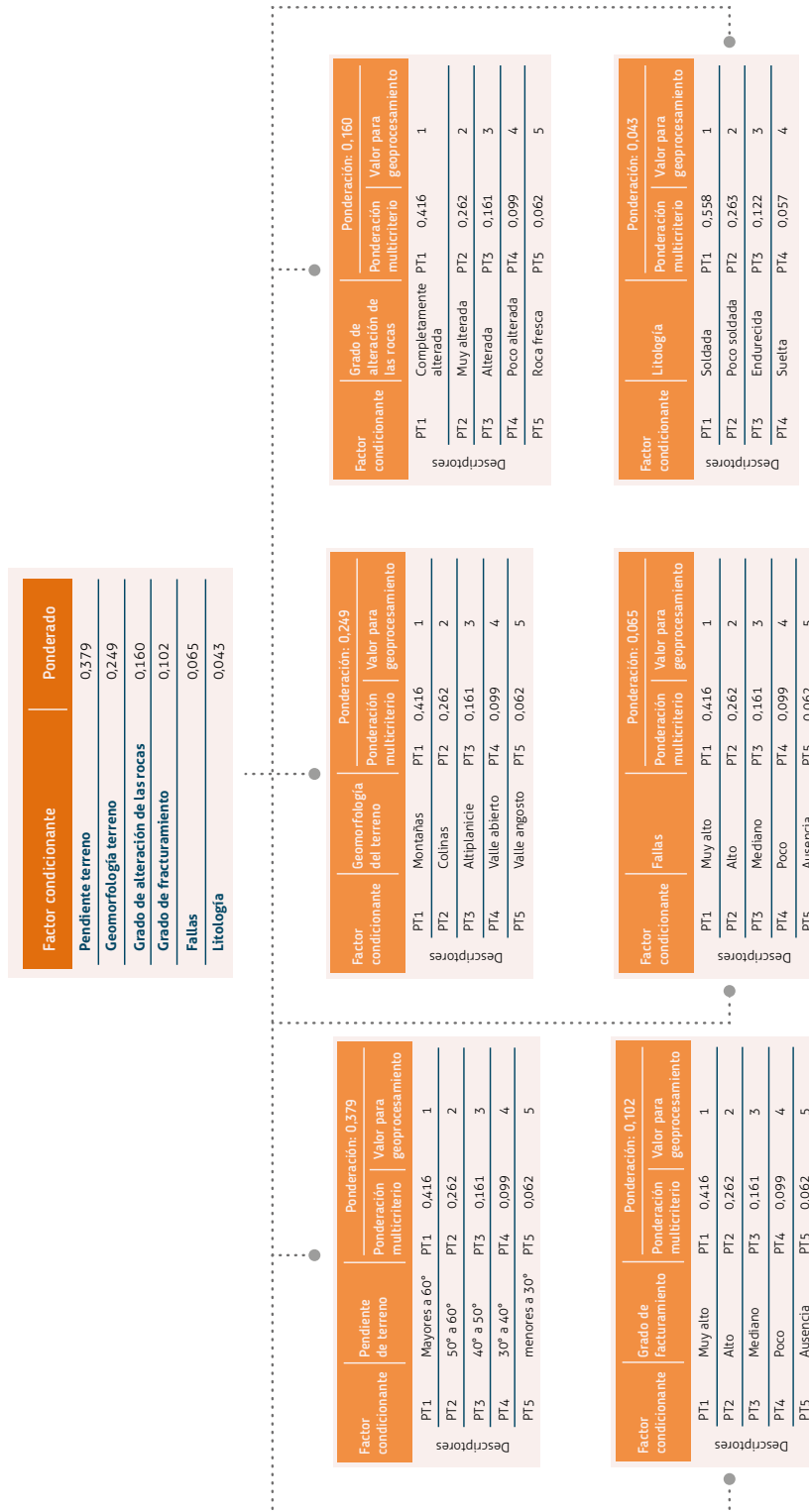


Figura 2. Factores condicionantes de avalancha de escombros.



Figura 3. Factores condicionantes de caída de tefras.



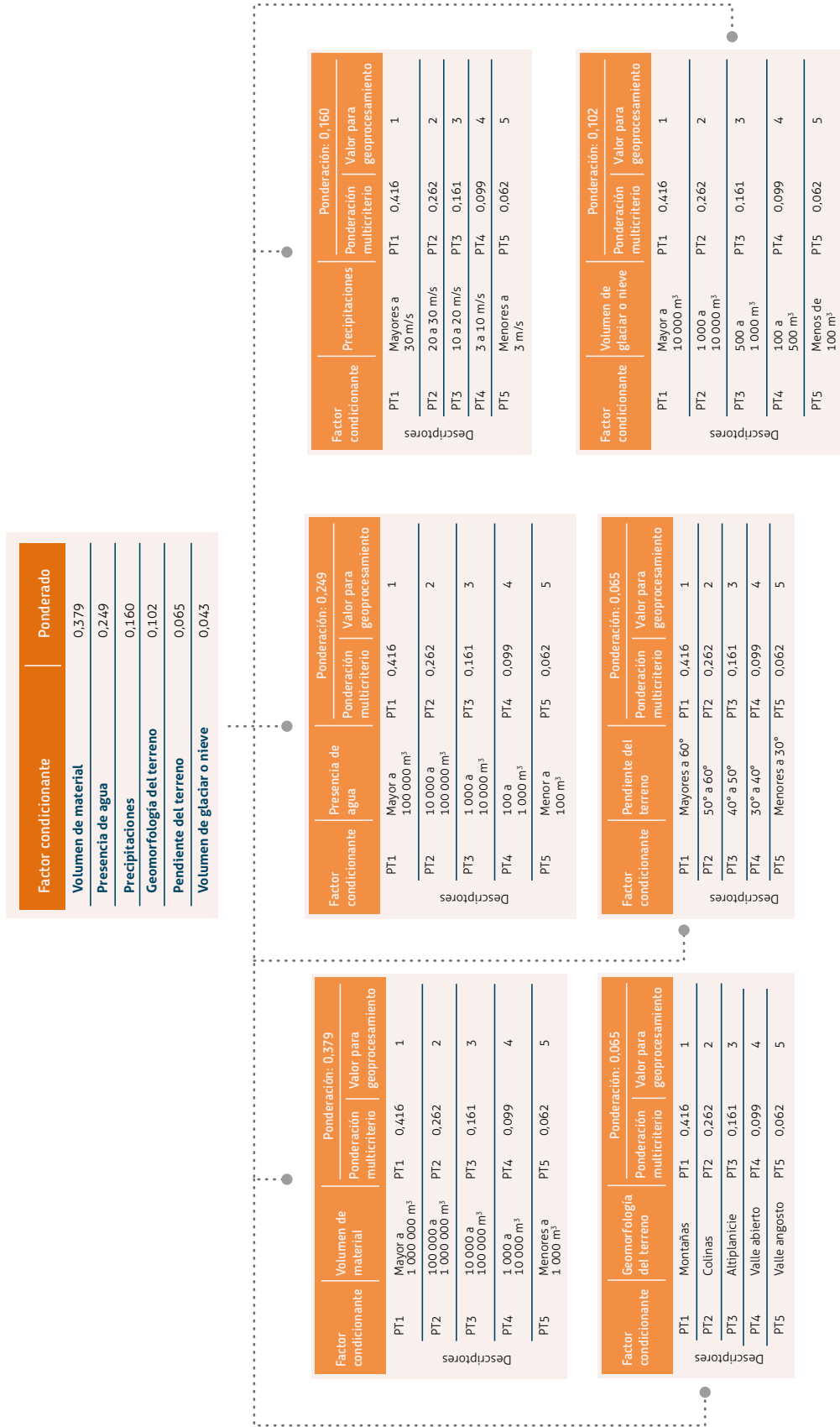


Figura 4. Factores condicionantes de flujos de lodos o lahares.

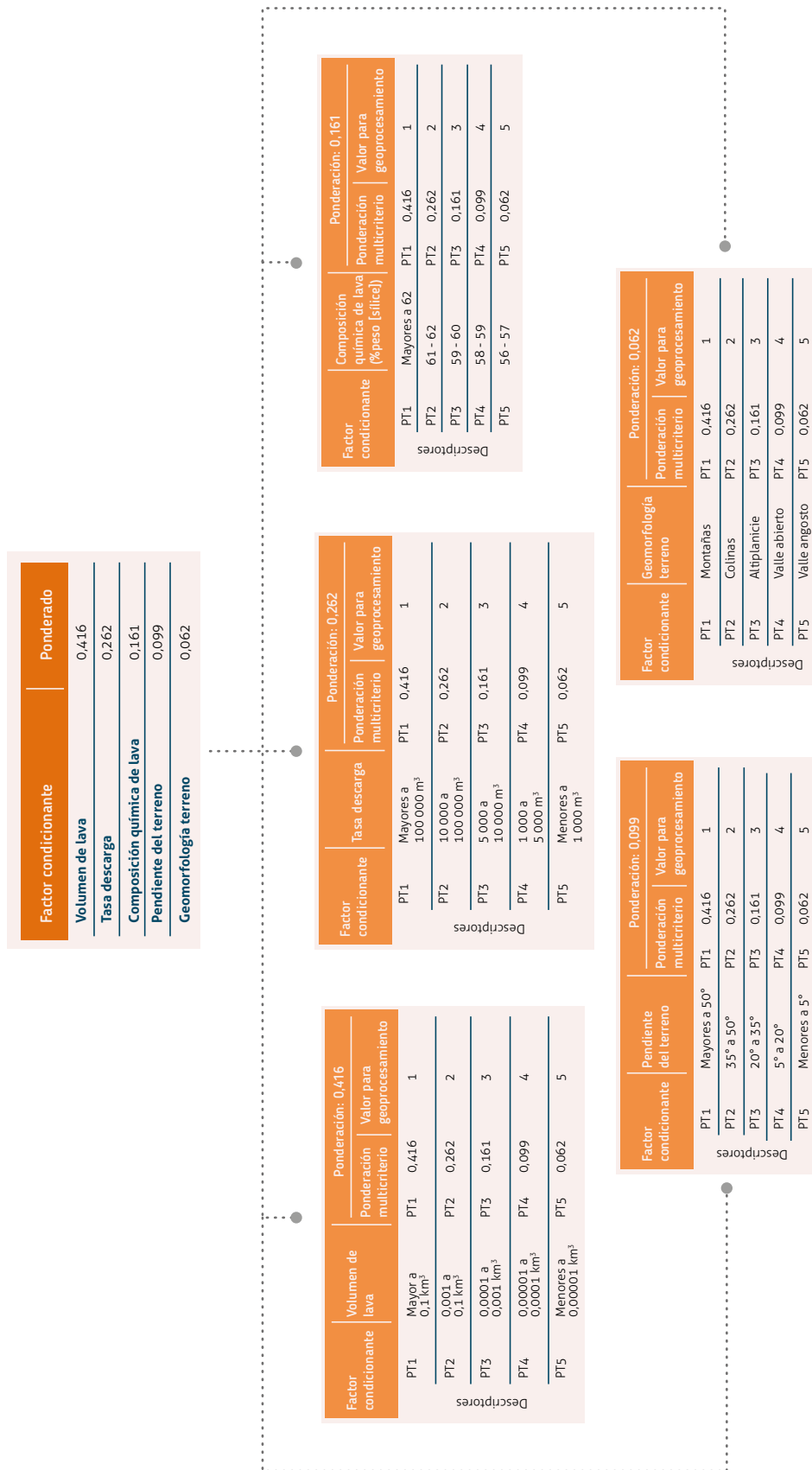


Figura 5. Factores condicionantes de flujos de lava.

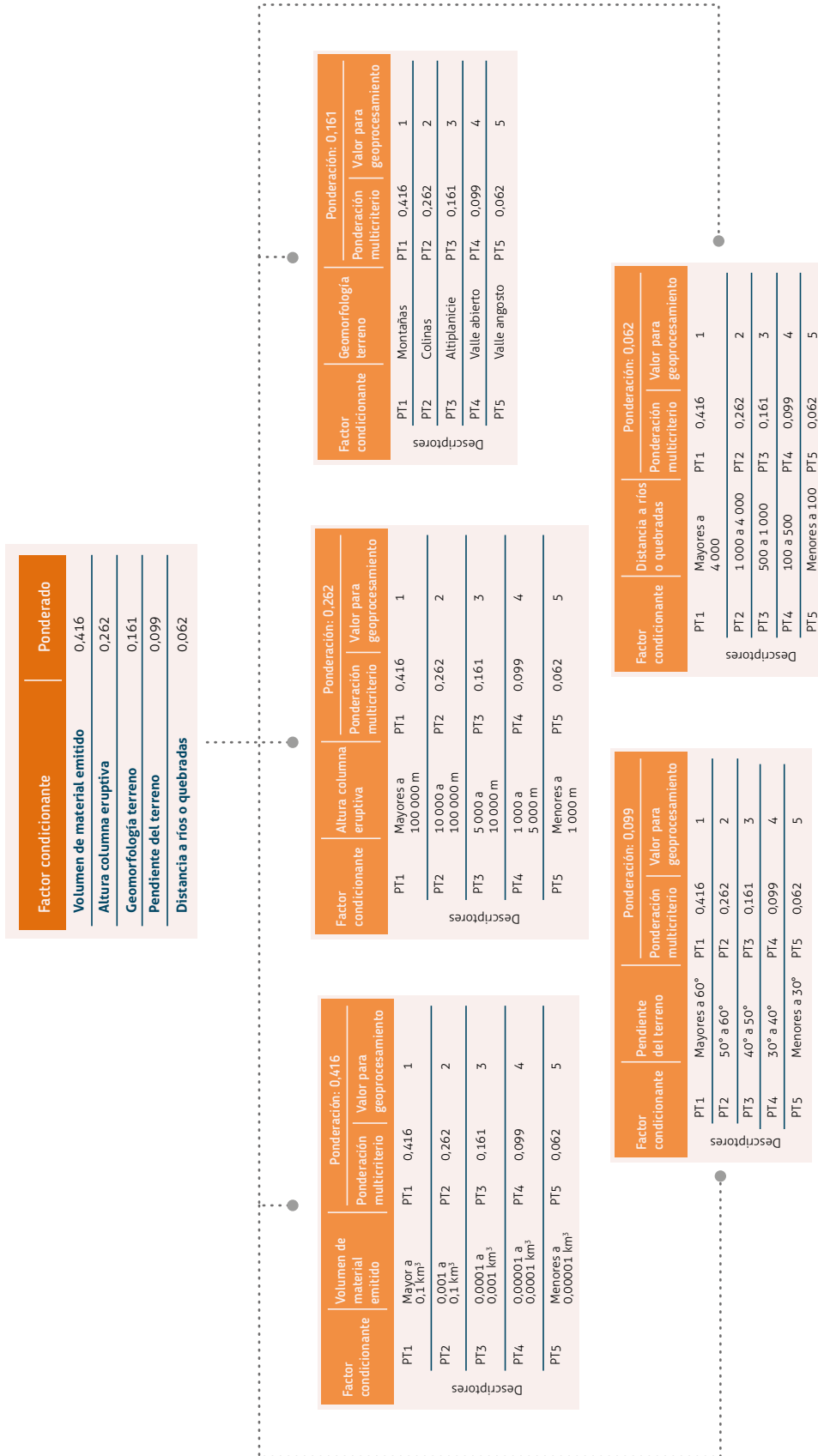


Figura 6. Factores condicionantes de flujos piroclásticos.

## Factores desencadenantes de los peligros volcánicos

En los siguientes cuadros se muestran los factores desencadenantes de los fenómenos volcánicos (peligros):

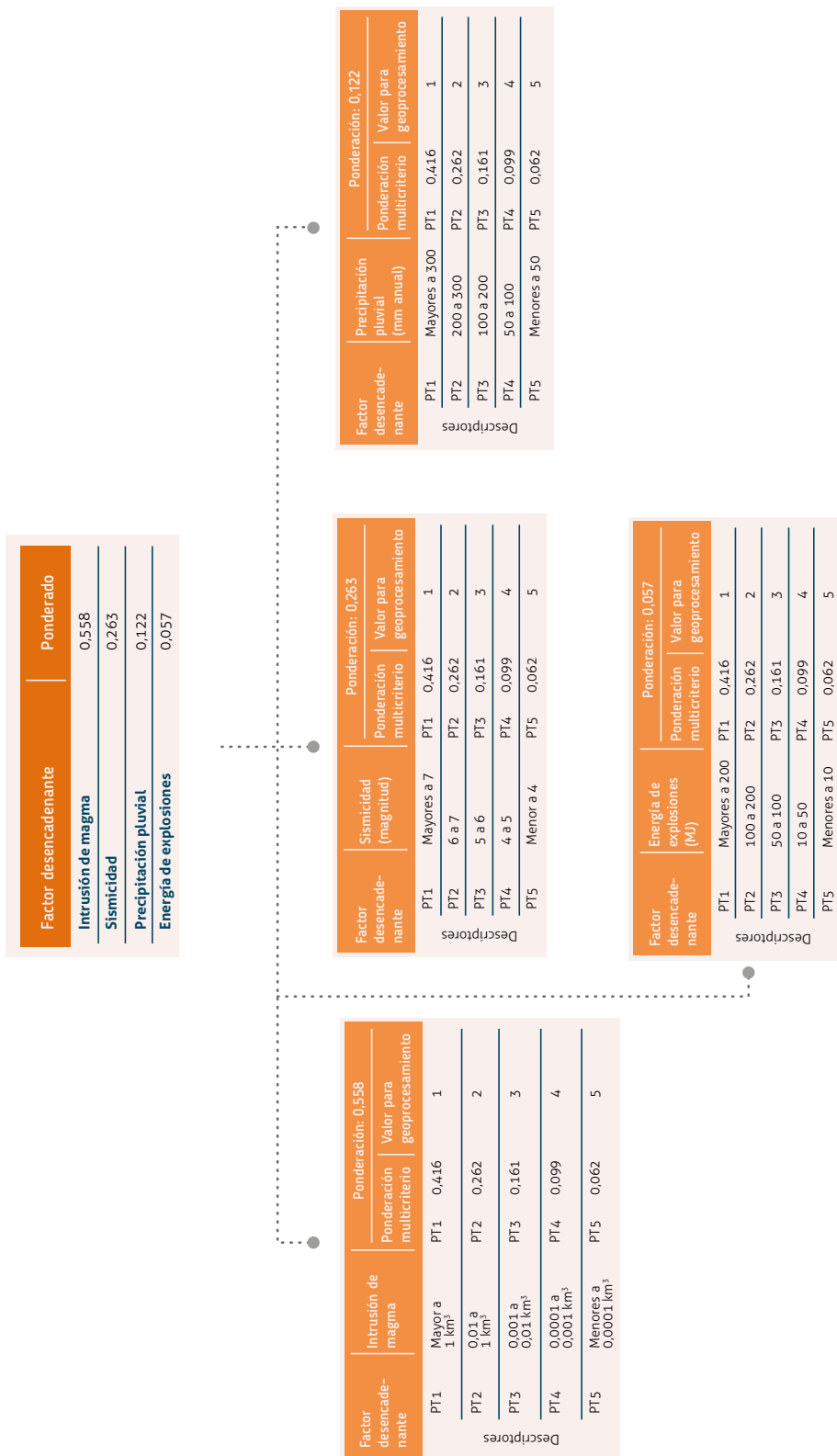


Figura 7. Factores desencadenantes de avalancha de escombros.





Figura 8. Factores desencadenantes de caída de tefras.

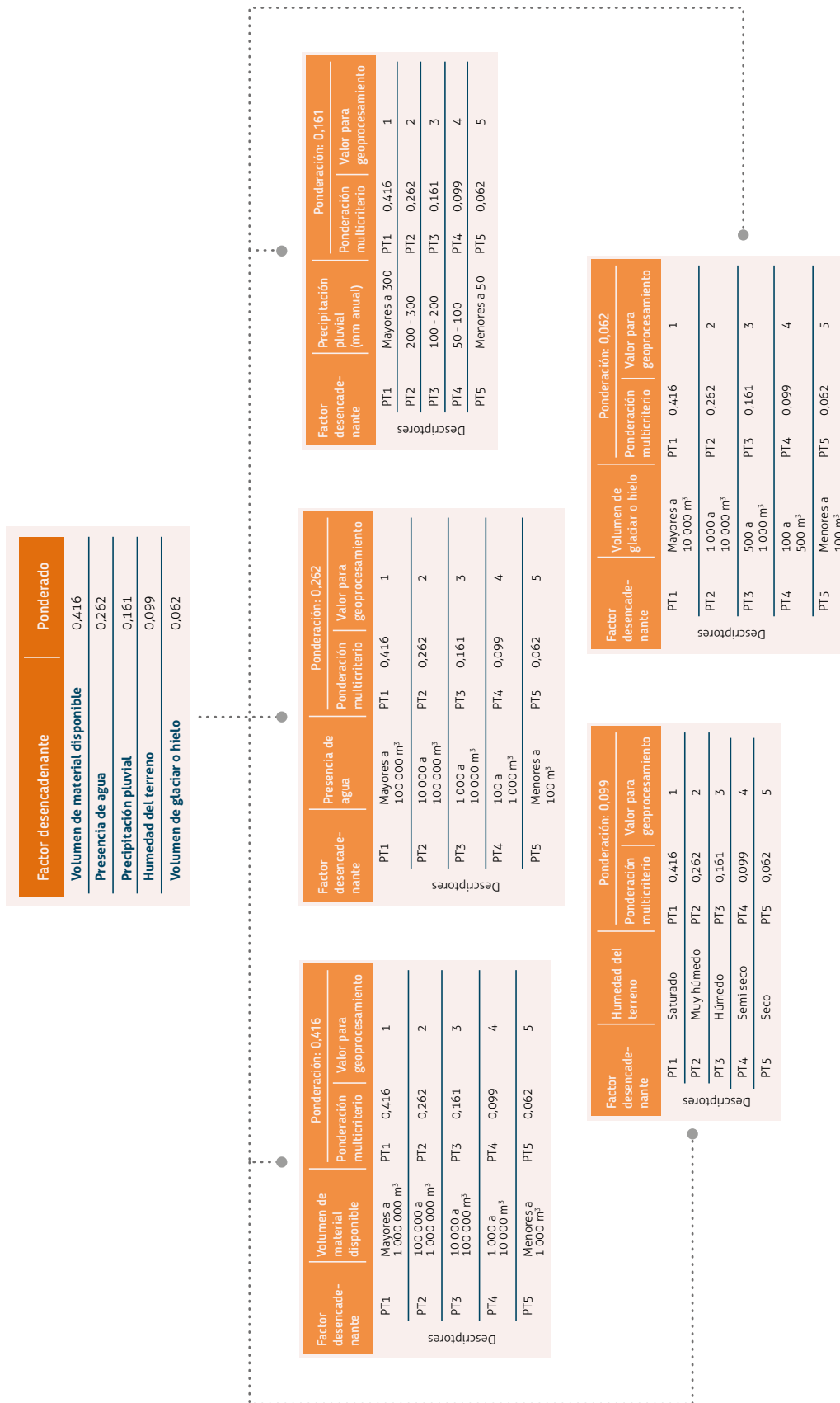


Figura 9. Factores desencadenantes de flujos de lodos o lahares.

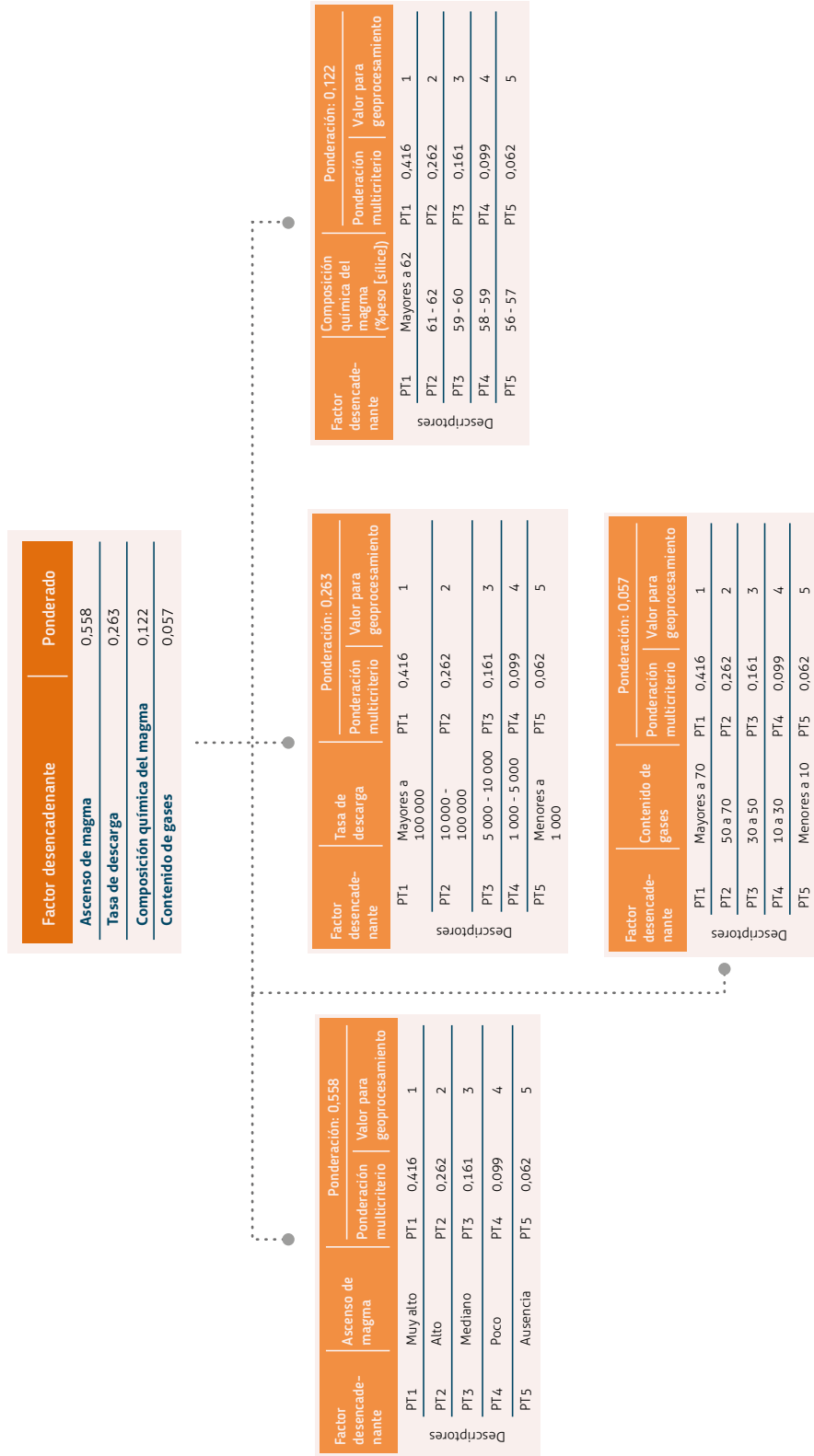


Figura 10. Factores desencadenantes de flujos de lava.

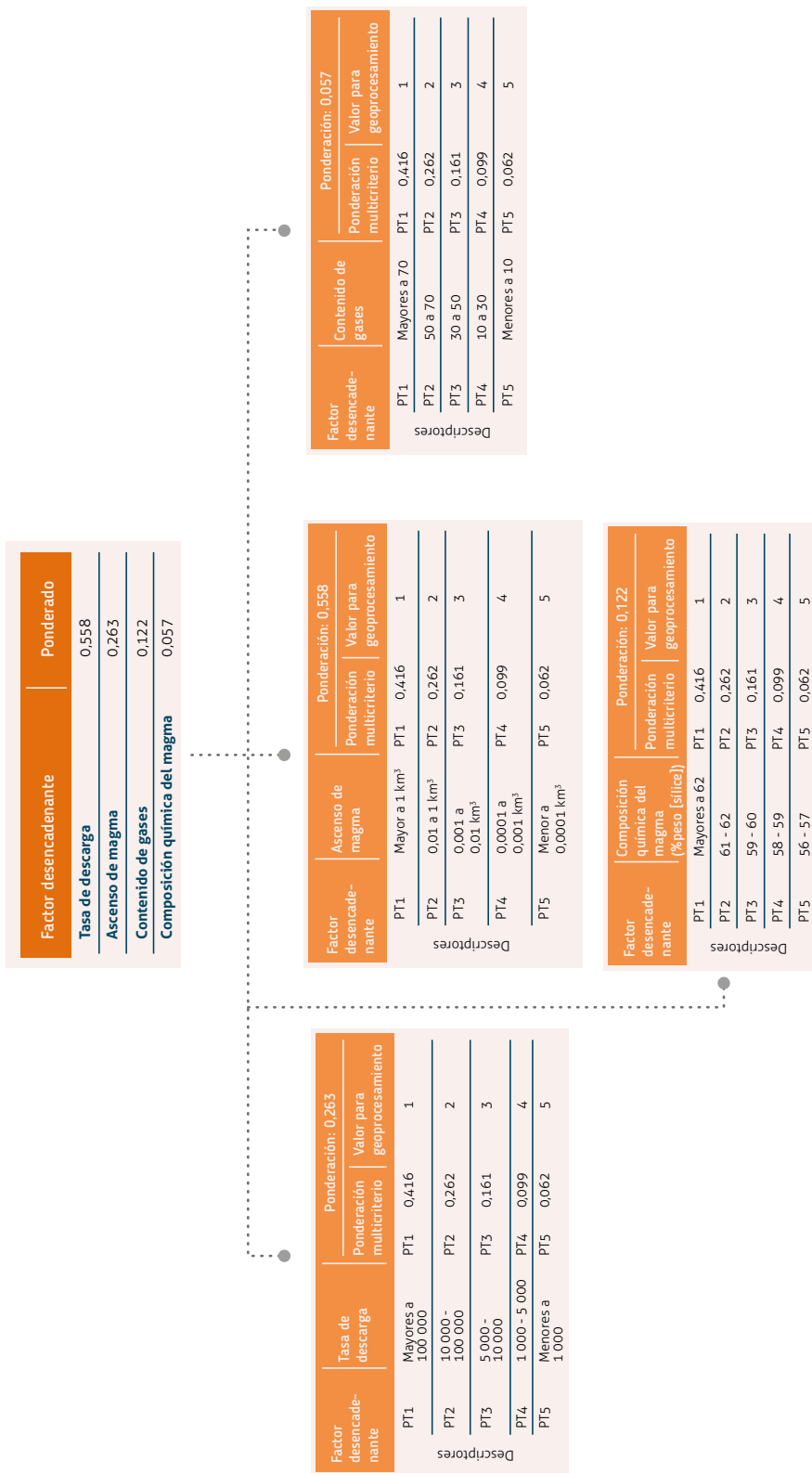


Figura 1.1. Factores desencadenantes de flujos piroclásticos.





### b. Definición de escenarios

Para la elaboración de los escenarios eruptivos generadores de peligros se consideran los siguientes aspectos:

- Los dinamosmos eruptivos, es decir los tipos de erupciones que podrían darse en el volcán.
- La magnitud de las erupciones, establecida en función del trabajo de campo y de la distribución de los productos volcánicos.
- El comportamiento de otros volcanes peruanos, considerados como “análogos”.
- La presencia de casquete glaciar en las partes altas de los volcanes.

Los principales escenarios identificados en los volcanes del sur del Perú son:

- Escenario de erupción vulcaniana con VEI 1-2.
- Escenario de erupción vulcaniana o sub-pliniana con VEI 3.
- Escenario de erupciones plinianas con VEI 4-6.
- Escenario de erupciones efusivas.
- Escenario de erupciones con emplazamiento y colapso de domos.
- Escenario con colapso de flanco y emplazamiento de avalanchas de escombros.

Más adelante se describen estos escenarios generadores de peligros.

### c. Modelamiento de procesos volcánicos

Para darle un mayor grado de precisión a los límites de las zonas de peligro, es necesario realizar el modelamiento numérico de los procesos con ayuda de programas informáticos especializados. Hasta la fecha se ha modelado el emplazamiento de lahares, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros.

#### Modelamiento con LAHARZ

El LAHARZ es utilizado para modelar el emplazamiento de lahares (Iverson *et al.*, 1998; Schilling, 1998). Este programa correlaciona el volumen de un evento lahárico y el área planimétrica y en sección transversal inundadas por un lahar. Para ello se vienen utilizando volúmenes de agua de 1, 5, 10 y 20 millones de m<sup>3</sup>.

#### Modelamiento de cono de energía

Para la delimitación del alcance de los flujos piroclásticos se utiliza la metodología denominada “cono de energía” (Malin y Sheridan, 1982) para definir las zonas de peligro proximales alrededor de un volcán. Este trabajo también se puede realizar de forma automatizada con el uso del LAHARZ.

## ETAPA 4: DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD Y EDICIÓN DEL MAPA DE PELIGROS

La zonificación de peligros está basada en el tipo de actividad pasada del volcán, en las áreas afectadas en erupciones pasadas, en las características morfológicas del área circundante al volcán y la pendiente del terreno. Para una mejor visualización, los mapas de peligros preferentemente deben presentarse en un solo formato. En él debe distinguirse un mapa

principal para peligros múltiples, los mapas de peligros por caídas piroclásticas y/o un mapa de peligros por lahares distales.

Previamente se deben identificar los principales escenarios eruptivos, estableciendo tres niveles de peligro principales: alto, moderado y bajo; estas categorías de peligrosidad son representadas en los mapas de peligros volcánicos con los colores rojo, anaranjado y amarillo, respectivamente.

Para elaborar el mapa de peligros se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos generales:

- Cada mapa debe ser autosuficiente, es decir debe ser entendido por los usuarios con base en el contenido gráfico y de texto presente en dicho mapa.

Los mapas deben ser simples, adecuados para ser fácilmente comprendidos por planificadores y tomadores de decisiones.

- Se debe incluir el nombre de los autores del mapa y la institución de procedencia.
- Es importante incluir un glosario básico, explicativo de los tipos de peligros volcánicos.
- Todos los datos de la base cartográfica deben estar claramente especificados, tales como georreferenciación, proyección, datum, fecha de levantamiento, escala, simbología y/o leyenda, etc.
- El mapa debe tener un título claro que guarde una relación precisa con su contenido.
- En cuanto sea posible se debe combinar el DEM y la topografía. Esta última debe mostrar líneas maestras y cotas principales que ayuden a una mejor visualización o ubicación, en la medida que la escala lo permita.
- Que tenga señalado el Norte.
- La leyenda debe tener un lenguaje simple, entendible, buen tamaño de letras y una extensión adecuada, de modo que exista un balance entre la extensión del texto y las figuras.
- Incluir infraestructuras importantes, ciudades, puntos importantes, toponimia, etc., con el detalle que permita el mapa.
- Todo símbolo del mapa debe estar en la leyenda.
- Se deben adaptar los términos científicos a la terminología local, en cuanto sea posible.
- Incorporar las referencias bibliográficas más importantes que permitieron o aportaron en la elaboración del mapa.

Se elaboran tres tipos de mapas: mapa proximal de peligros múltiples, mapa de peligros por caídas piroclásticas y mapa de peligros por lahares distales.



### a. Mapa proximal de peligros múltiples

El mapa proximal de peligros múltiples presenta las zonas de alto (color rojo), moderado (color anaranjado) y bajo peligro (color amarillado) determinadas para el emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de lava, proyectiles balísticos, lahares y avalanchas de escombros. El alcance de estos fenómenos se estima con base en la aplicación del concepto de cono de energía (Malin y Sheridan, 1983), el cual relaciona el alcance horizontal alcanzado por un flujo (L) con la diferencia de alturas (H) entre el punto de generación de flujo y el punto de depósito. La escala de este mapa es 1:50 000. En la tabla siguiente se detallan las características de cada zona.

Tabla 2

#### Descripción de los niveles de peligrosidad del mapa proximal de peligros múltiples.

Zonas	Color	Descripción
Zona de bajo peligro	Amarillo	La zona de bajo peligro (amarillo) se proyecta a las áreas más distales respecto al volcán. Esta zona comúnmente puede ser afectada por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, flujos de barro, pero solo en caso de que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV $\geq 4$ ). En resumen, la zona de bajo peligro (amarillo) debe ser considerada como una zona donde la probabilidad de ocurrencia de erupciones muy explosivas (por ejemplo plinianas) es muy baja.
Zona de moderado peligro	Naranja	Es la zona colindante con la zona de alto peligro y se representa en color anaranjado. Esta zona involucra áreas que pueden ser cubiertas por depósitos más voluminosos ligados a erupciones muy explosivas, con VEI 3, principalmente por flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, avalanchas de escombros y excepcionalmente proyectiles balísticos y/o flujos de lava.
Zona de alto peligro	Rojo	Es la más propensa a ser afectada por cualquiera de los procesos o eventos ligados a una erupción, incluso durante erupciones con VEI 1 a 2. La zona de alto peligro comprende un área establecida alrededor del cráter que a veces involucra diversas quebradas y valles que drenan el volcán, las cuales pueden ser afectadas por la ocurrencia de flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, proyectiles balísticos y/o flujos de lava. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud. La probabilidad de ocurrencia de erupciones de este.

### **b. Mapa de peligros por caídas piroclásticas**

Este mapa muestra el grado de peligrosidad frente a caídas de ceniza, lapilli y pómez. Es elaborado teniendo en cuenta como mínimo dos escenarios: erupciones explosivas leves a moderadas y erupciones muy explosivas (plinianas). La base topográfica con escalas menores a 1:100 000.

Para delimitar las zonas con diferentes grados de peligrosidad se deben utilizar mapas de isópacas. Para la construcción de este mapa también se consideran las direcciones y velocidades predominantes de los vientos a diferentes alturas, según características del volcán y escenarios eruptivos. Los vientos controlan la dispersión de las tefras.

Se incluyen tres zonas de peligros: zona de alto peligro (rojo), zona de moderado peligro (naranja) y zona de bajo peligro (amarillo). La descripción de cada una de estas zonas difiere de acuerdo con cada volcán.

### **c. Mapa de peligros por lahares**

Muestra el grado de peligrosidad frente al emplazamiento de lahares (flujos de barro de origen volcánico). Es elaborado con base en mapas topográficos con escalas mayores a 1:100 000. La delimitación de las áreas de peligrosidad se realiza con el apoyo del LAHARZ.

## **2.3. Elaboración de mapas de vulnerabilidad**

---

En el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N° 048-2011-PCM) se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

El crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, las tendencias en la ocupación del territorio, el proceso de empobrecimiento de importantes segmentos de la población, la utilización de sistemas organizacionales inadecuados y la presión sobre los recursos naturales, han hecho aumentar en forma continua la vulnerabilidad de la población frente a una amplia diversidad de fenómenos de origen natural.

En la elaboración de los mapas de vulnerabilidad se contó con la participación de profesionales del Gobierno Regional de Moquegua, INGEMMET, INDECI, Municipalidad de Ubinas.

Para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad se tienen en consideración las siguientes etapas:

- a)** Análisis de elementos expuestos en zonas susceptibles
- b)** Análisis de exposición (social, económica, ambiental)
- c)** Análisis de elementos expuestos susceptibles y desestimados
- d)** Análisis de fragilidad y resiliencia
- e)** Análisis de vulnerabilidad (social, económica, ambiental)
- f)** Elaboración del mapa de niveles de vulnerabilidad

El gráfico a continuación muestra el flujograma de la secuencia de dicho proceso:



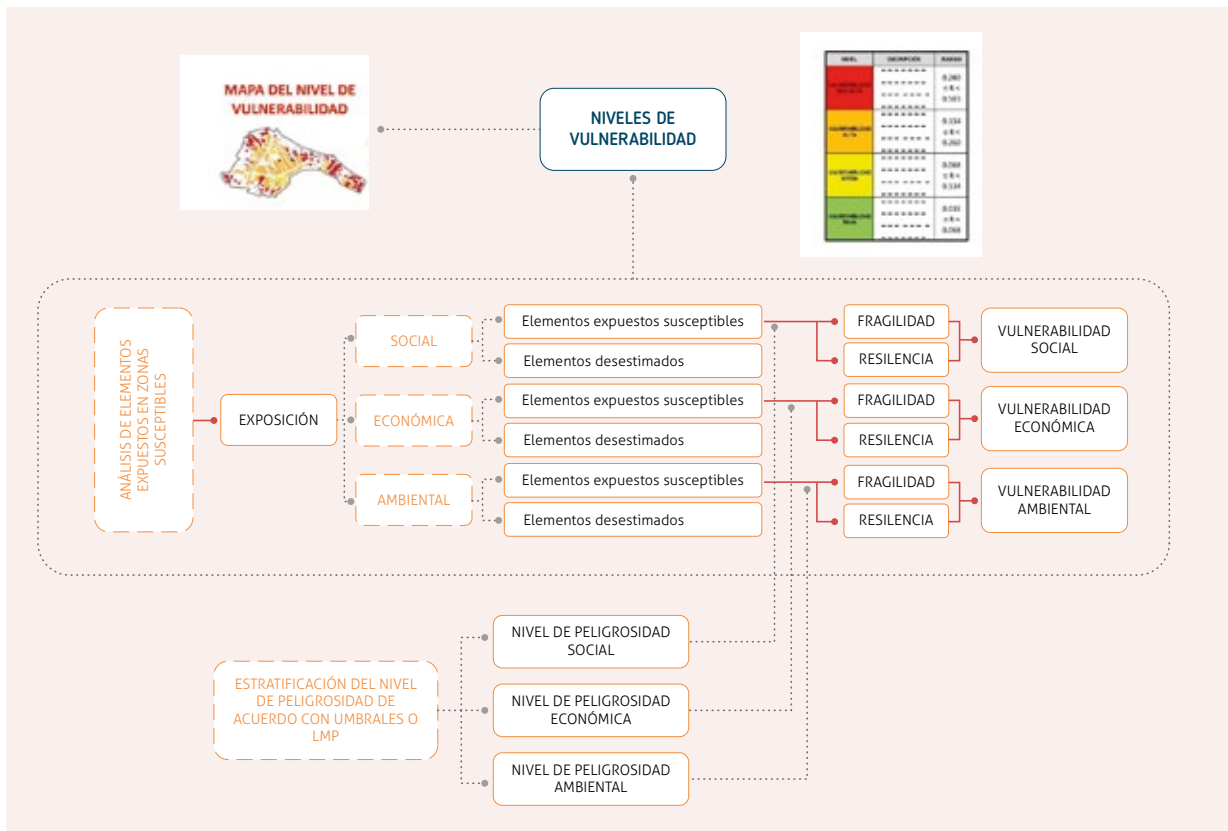


Figura 12. Flujo para la generación del mapa de niveles de vulnerabilidad.

## 2.4. Elaboración de mapas de riesgos

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesto el ámbito geográfico de estudio mediante la evaluación establecida por las entidades técnico-científicas (INGEMMET) y el nivel de susceptibilidad ante los fenómenos de origen natural, y realizado el respectivo análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad explicada por la exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar, se procede a la conjunción de estos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio.

El riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada (Carreño *et al.*, 2005).

El cálculo del riesgo está fundamentado en la ecuación adaptada a la Ley N°29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función  $f()$  del peligro y la vulnerabilidad.

$$R_{ie|_t} = f(P_i, V_e)|_t$$

Donde:

**R** = Riesgo

**f** = En función

**P<sub>i</sub>** = Peligro con la intensidad mayor o igual a<sub>i</sub> durante un periodo de exposición<sub>t</sub>

**V<sub>e</sub>** = Vulnerabilidad de un elemento expuesto<sub>e</sub>

### 3. Caso Ubinas

#### 3.1. Elaboración del mapa de peligros del volcán Ubinas

##### a. Introducción

Los resultados de los estudios geológicos y vulcanológicos permiten reconocer y diferenciar las distintas estructuras, depósitos y geoformas volcánicas formados durante la historia eruptiva del volcán Ubinas, las cuales, dependiendo de sus parámetros y efectos, son indispensables en la evaluación de los peligros.

Para evaluar los peligros volcánicos del Ubinas se estableció un registro estratigráfico de los productos emitidos a lo largo de su historia eruptiva y se determinó en forma relativa la extensión de sus depósitos y el modo de depositación de tales productos. Asimismo, se hicieron estudios mineralógicos, petrológicos, y geoquímicos de los productos para ver el comportamiento pasado de dicho volcán. Finalmente, se evaluó la morfología del volcán y de las áreas aledañas. Desde luego, se supone que una próxima erupción no diferirá mucho de las anteriores en sus características y que el área afectada también será similar. Todo lo expuesto referente a los peligros del volcán Ubinas se refleja en el mapa de peligro volcánico presentado en este estudio.

##### b. Ubicación

El volcán Ubinas se localiza en el extremo norte de la región Moquegua, aproximadamente a 95 y 70 km de distancia de las ciudades de Moquegua y Arequipa, respectivamente. Los principales poblados ubicados dentro del radio de influencia directa del volcán se localizan al sur, sureste y noroeste (Figura 13).

Políticamente, el volcán Ubinas y los pueblos localizados en sus inmediaciones pertenecen a la región Moquegua, provincia General Sánchez Cerro, distrito de Ubinas. Al sur y sureste del volcán se localizan los principales poblados donde habitan alrededor de 3 000 personas, entre ellos Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacuaya, San Miguel, Huatahua, Anascapa, Huarina y Escacha. Las distancias aproximadas de los poblados aledaños al volcán, en línea recta son: Ubinas 6,5 km al SE; Tonohaya 7,2 km al SE; San Miguel 10 km al SE; Huatahua 11,8 km al SE, Escacha 8,5 km al SE, Anascapa 10 km al S, Sacohaya 5 km al S, Querapi 4 km al S, Huarina 14 km al SE, Matalaque 17 km al SE y Logén 17 km al SO (Figura 13).

##### c. Geología del volcán Ubinas

Los estudios estratigráficos, cartografiado geológico y dataciones radiométricas Ar/Ar, C14, efectuados por Rivera (1998), Rivera *et al.* (1998) y Thouret *et al.* (2005), muestran que el volcán



Ubinas se construyó en dos periodos: el primer periodo entre ~800 000 y 370 000 años, cuando se formó el cono inferior denominado "Ubinas I", y el segundo periodo ocurrido desde 370 000 años hasta la actualidad, cuando se formó el cono superior llamado "Ubinas II" (Figura 14).

#### **Ubinas I (~800 000–370 000 años)**

Durante este periodo se emplazaron coladas de lava andesítica que conforman la base del volcán (Figura 14). Posteriormente se produjo el colapso de gran parte del flanco sur del edificio volcánico "Ubinas I" generando depósitos de avalanchas de escombros de ~2,8 km<sup>3</sup> de volumen, que fueron canalizados en los valles de Ubinas y Para. Seguidamente se produjo el emplazamiento de depósitos de flujos de pómez y cenizas, que llegaron a más de 5 km al sur del volcán. Estos depósitos piroclásticos tienen alrededor de 120 m de espesor.

#### **Ubinas II (370 000 a tiempos históricos)**

Este periodo está dividido en dos fases (Figura 14):

- c.1)** En una primera fase, denominada "Cono de la Cumbre", se emplazaron coladas de lava que conforman el cono superior del volcán, cuyas pendientes tienen  $\geq 40^\circ$  (Figura 14). Estas lavas se encuentran sobre los 4 900 msnm y han sido datadas entre 370 000 y 142 000 años (Thouret *et al.*, 2005). Posteriormente se produjo el crecimiento de un domo de lava en el flanco sur del Ubinas, datado en 251 000 años (Thouret *et al.*, 2005). Este domo se destruyó produciendo flujos de bloques y cenizas que fueron depositados en el fondo del valle del río Ubinas, a 8 km al sureste del volcán.
- c.2)** En la segunda fase, denominada "Caldera de la Cumbre" (14 000 años hasta la actualidad), se emplazaron varios tipos de depósitos ligados principalmente a erupciones explosivas, visibles a 9 km al sur del volcán Ubinas (Figura 15). En esta zona, en la base se distingue una capa de lapilli pómez de 3,8 m de espesor emplazado poco antes de 14 000 años (Thouret *et al.*, 2005). Encima de estos depósitos se encuentra una capa de pómez de 1,2 m de espesor datada en  $7\,480 \pm 40$  años y que probablemente está ligado a la formación de la caldera actual del volcán Ubinas. La última erupción de gran magnitud del volcán Ubinas ocurrió hace  $980 \pm 60$  años y emplazó depósitos de pómez que poseen 4,5 km<sup>3</sup> de espesor a 6 km al sureste del cráter y posee un volumen mínimo de 2,8 km<sup>3</sup>. Este depósito fue dispersado principalmente hacia el sureste, a una distancia mayor de 40 km. Asimismo, existen depósitos de avalanchas de escombros que yacen al pie del flanco sur, justamente sobre los cuales se asienta el poblado de Querapi. Estos depósitos se emplazaron hace  $3\,670 \pm 60$  años como producto de un segundo derrumbe del flanco sur del volcán y llegaron a 6 km al sur.



Figura 13. Ubicación del volcán Ubinas y poblados aledaños. En el cuadro de la página siguiente se presenta la cadena volcánica cuaternaria del sur peruano.



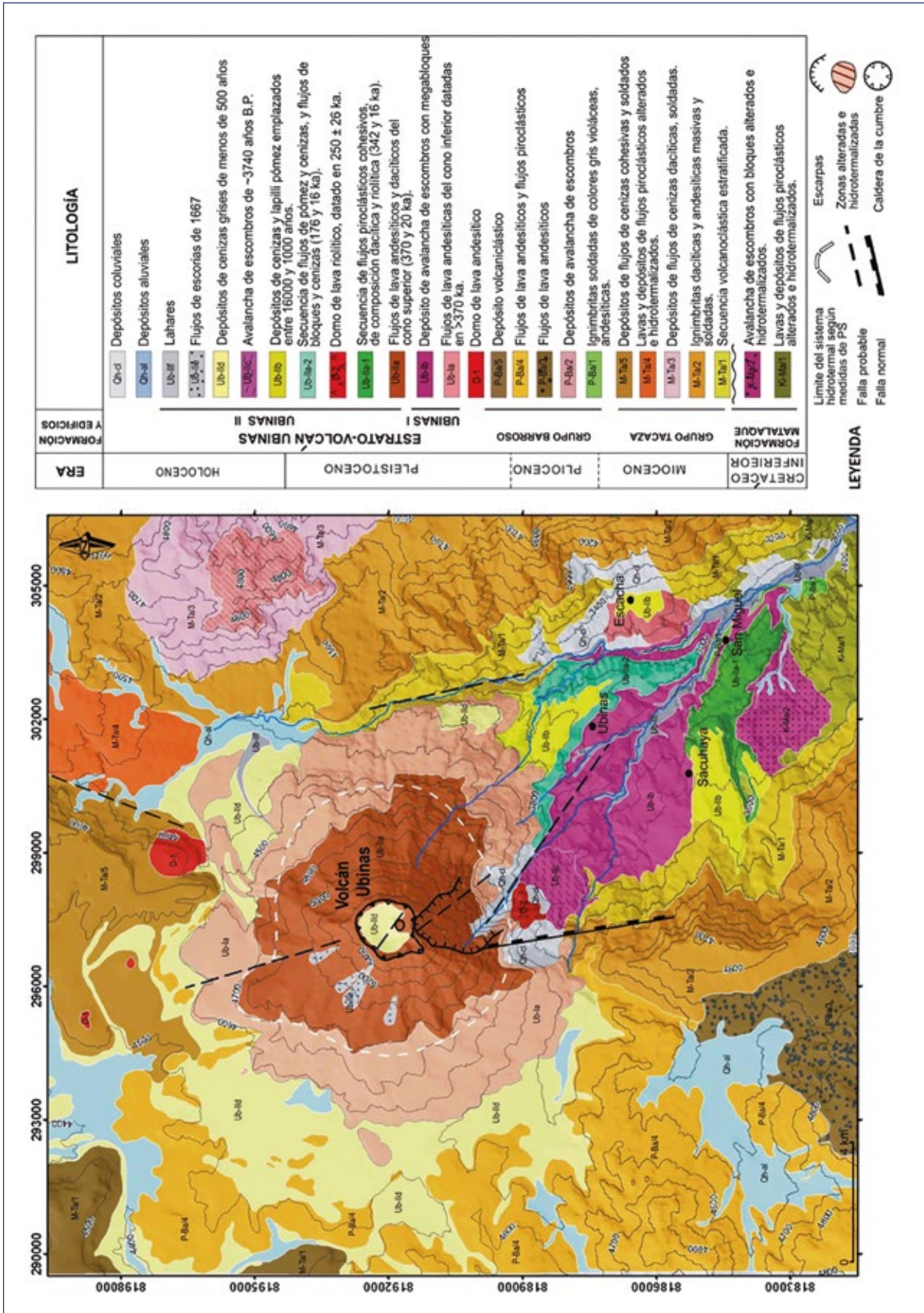


Figura 14. Mapa geológico del volcán Ubinas (tomado de Rivera, 2010).

#### d. Actividad histórica del volcán Ubinas

Relatos históricos y datos geológicos muestran que el volcán Ubinas presentó al menos 23 crisis volcánicas desde 1550 hasta 1995-96 (Rivera, 1998), referidas a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas, con una recurrencia de 1 a 6 episodios por siglo. Los eventos registrados sucedieron en los años 1550, 1599, 1662, 1667, 1678, 1784, 1826, 1830, 1862, 1865, 1867, 1869, 1906, 1907, 1912-1913(?), 1923-1925(?), 1936, 1937, 1951, 1956, 1969, 1995-1996, 2006. Estos eventos causaron daños en centros poblados y terrenos de cultivos localizados en áreas aledañas al volcán. Los daños ocasionados fueron principalmente por lluvias de cenizas y emisiones de gases.

Datos históricos refieren que algunas de las erupciones presentadas por el Ubinas fueron moderadas a altas. Dichas erupciones son comparables con la erupción de tipo Vulcaniana o tipo Saint Vincent del año 1662, que alcanzó un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 3, o la del año 1677 que tuvo IEV 2. Según Simkin & Siebert (1994), estas erupciones depositaron un flujo piroclástico de cenizas y escoria de color gris de 1 m de espesor, a 1 km al oeste del cráter. En áreas distales, este depósito de flujo está sobre las cenizas y pómez del volcán Huaynaputina, que hizo erupción en el año 1600 d.C.

Durante el siglo XX el Ubinas presentó al menos diez eventos eruptivos, caracterizados por intensas emisiones de gases y cenizas, ligados a eventos de tipo freático y freatomagmático. Las caídas de cenizas causaron daños considerables en terrenos de cultivo y poblados situados alrededor del volcán, provocando la muerte de algunas personas y de ganado a consecuencia de epidemias desconocidas. Frecuentemente, las cenizas se mezclaron con el agua y se transformaron en flujos de barro que discurrieron por el fondo del valle de Ubinas, destruyendo diversos cultivos (diario *El Pueblo*, 1936, 1937, 1951, 1969; Mariño *et al.*, 2012).

En el cuadro a continuación se presenta un resumen de la actividad del volcán Ubinas en épocas históricas, antes del año 2006.

Tabla 3  
 Resumen de la actividad histórica del volcán Ubinas

Año	Inicio	Final	Tipo de actividad	IEV	Observaciones
1550			Erupción central y explosiva	3(?)	
1599	07 feb.	22 feb.	Erupción explosiva moderada	2	Cenizas grises cayeron cerca de Arequipa.
1600			Erupción explosiva		
1662			Erupción explosiva	2(?)	Las cenizas viajaron hasta las pampas de Sama y Locumba.
1677			Erupción explosiva de gran magnitud	3	Probablemente cayeron cenizas y flujos piroclásticos de escorias encontradas al NW y N del volcán (hasta 1 km del cráter).
1778			Erupción explosiva		
1784			Erupción central y explosiva	2	Alta actividad fumarólica y emisión de cenizas.



Año	Inicio	Final	Tipo de actividad	IEV	Observaciones
1826			Erupción central y explosiva	2	
1830			Erupción central y explosiva	2	
1862			Erupción central y explosiva	2	
1865			Erupción central y explosiva	2	Emisión de cenizas grises.
1867	24 may	28 may	Erupción central y explosiva	2	
1869		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1906		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1907		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1912 - 1913 (?)			Erupción central y explosiva	2	Cenizas cayeron sobre Ubinas, Chojata y Yalahua; afectó tierras de cultivo y murieron ganados por epidemias desconocidas generadas por las cenizas.
1923 - 1925 (?)			Erupción explosiva		Cenizas grises cayeron cerca de la ciudad de Arequipa.
1936	03 ene	Julio	Erupción explosiva y fumarólica	2	En el valle de Ubinas las cenizas afectaron áreas importantes de cultivo.
1937	Mayo	Julio	Erupción central y explosiva	2	Las cenizas destruyeron terrenos de cultivo y generaron epidemias en el valle de Ubinas.
1951	Mayo	21 oct.	Erupción central y explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas causaron serios daños.
1956	Junio		Erupción explosiva y fumarólica	2	Emisión de cenizas causaron daños en los terrenos de cultivo y en poblados del valle de Ubinas.
1969	Mayo	Dic. (?)	Erupción explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas destruyeron los cultivos y afectaron a la población.
1995 - 1996	Dic.	Abril (?)	Alta actividad fumarólica	1	Esta actividad alarmó a la población del valle de Ubinas.

IEV: Índice de Explosividad Volcánica: es una escala de magnitud de una erupción que va de 0 a 8. Describe el tamaño de las erupciones volcánicas basada, entre otros factores, en el volumen de material emitido, altura de la columna eruptiva, etc.

Tomado de Rivera, 1998.

## **e. Tipos de peligros reconocidos en el volcán Ubinas**

### **e.1. Peligros por caídas de tefras**

Según la estratigrafía estudiada, se distinguen dos casos:

- 1)** Emisiones de cenizas de moderado volumen ( $<1 \text{ km}^3$ ), y materiales balísticos productos de erupciones vulcanianas que podrían cubrir un área mayor o igual a  $60 \text{ km}^2$ .
- 2)** Emisiones de lapilli pómez producto de erupciones sub-plinianas y plinianas que podrían cubrir los flancos del volcán, hasta una distancia mayor de 30 km alrededor del cráter.

### **e.2) Peligros por flujos de barro o lahares**

Durante los meses de diciembre a marzo, en la parte alta de la cumbre (5 000 a 5 672 msnm) se acumula el hielo y la nieve en un promedio de 60 cm de espesor y cubre un área de 5 a 7  $\text{km}^2$  (que hace un volumen de  $0,003 \text{ km}^3$ , aproximadamente). Una erupción explosiva vulcaniana, sub-pliniana o crecimiento y colapso de domo genera flujos piroclásticos y/o tefras calientes, estos pueden interactuar y a la vez fundir el hielo y la nieve, para luego generar flujos de barro o lahares, los cuales se desplazarían desde la parte alta por las diversas quebradas que drenan el volcán, sobre todo por aquellos ubicados al sur y SE del volcán. Estos flujos de barro conforme se desplazan, van acumulando gran cantidad de materiales sueltos como cenizas, lapilli y bloques esparcidos en los flancos.

El peligro por flujos de barro radica en los diversos depósitos que se encuentran en las quebradas de los flancos sur, SE y E (quebrada El Infiernillo, quebrada Chillón y río Ubinas; figura 16). Estos fueron transportados y depositados con la ayuda del agua proveniente de los periodos de lluvia y/o debido a la fusión de la nieve que permanece en la parte alta del volcán. La posibilidad de ocurrencia de este proceso es muy alta, aun sin actividad eruptiva o también después de cualquier erupción (erupciones de 1923 y 1969, y la ocurrida en febrero de 2007).

### **e.3) Peligros por flujos piroclásticos**

Una erupción explosiva moderada a alta (tipo vulcaniano, sub-pliniano o pliniano) puede generar flujos piroclásticos. El volumen dependerá del tipo y magnitud de la erupción, así como de la composición del magma. Estos flujos piroclásticos calientes (300 a  $\sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ) podrían canalizarse por las diversas quebradas que surcan el estrato-cono, sobre todo por las quebradas orientadas hacia los valles de Ubinas y Para (Figura 15). Durante su recorrido causarían destrucción por enterramiento e incineración de todo lo que encuentren a su paso (tierras de cultivo y poblados). Dependiendo del tipo de erupción, esta puede recorrer más de 6 km del cráter, calculada a partir de la metodología propuesta por Crandell (1988), Scott (1989), y Siebert (1987), para flujos piroclásticos, y también basada en la presencia de flujos de cenizas que yacen encima de depósitos de avalanchas de escombros que afloran en la quebrada El Infiernillo y en la parte baja del valle de Ubinas, poblados de Tonohaya y San Miguel.

### **e.4) Peligros por avalanchas de escombros**

El flanco SE del volcán Ubinas es inestable por tres razones: (1) dicho flanco es semi-vertical, mide entre 1,2 y 1,4 km de altura, (2) se encuentra alterado e hidrotermalizado y (3) muestra una red de fracturas verticales y dos fallas de rumbos  $30^\circ$  y  $35^\circ$  NO. Además, este flanco ha colapsado al menos dos veces durante la historia del Ubinas.

La ocurrencia de un sismo de magnitud mayor a 5, de una erupción violenta (pliniana, sub-pliniana) o del crecimiento de un domo de lava dentro del cráter, podría provocar el colapso o derrumbe total o parcial de la pared sur, generando la formación de avalanchas de escombros.



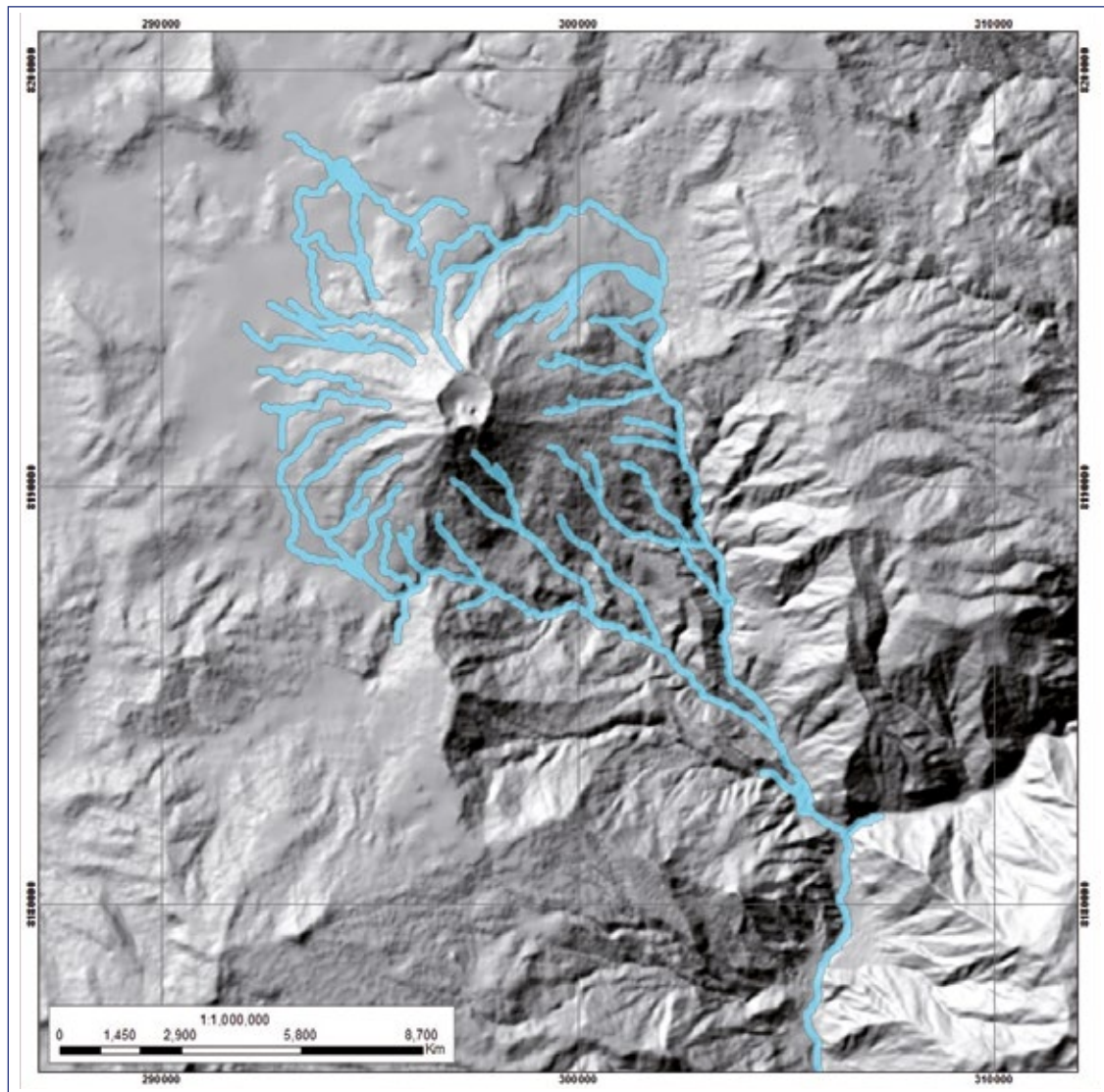


Figura 15. Alcance de flujos piroclásticos asociados al volcán Ubina.

Estas avalanchas se canalizarían por las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón y prolongarse hasta la parte baja del valle de Ubina, a una distancia mayor a 8 km del volcán, para convertirse luego en lahares y canalizarse en el río Tambo. La hipótesis sobre la generación de avalanchas de escombros está basada en la existencia de:

- Avalanchas de escombros del Pleistoceno superior (>340 000 años) que actualmente ocupan todo el valle del río Ubina y parte baja del valle de Para hasta la confluencia del río Tambo (10 km al SE del cráter). Estas avalanchas poseen un volumen aproximado de 1,6 km<sup>3</sup>.
- Avalanchas de escombros recientes de hace un poco más de 3 670 ± 60 años B.P. (Thouret *et al.*, 2005), depositadas al pie de la pared sur del edificio volcánico, en forma de colinas cónicas (hummocks), que afloran a 4,5 km al sureste del cráter, sobre el cual se asientan caseríos como Querapi y Sacuhaya. Estas avalanchas poseen un volumen aproximado de 0,4 km<sup>3</sup>.

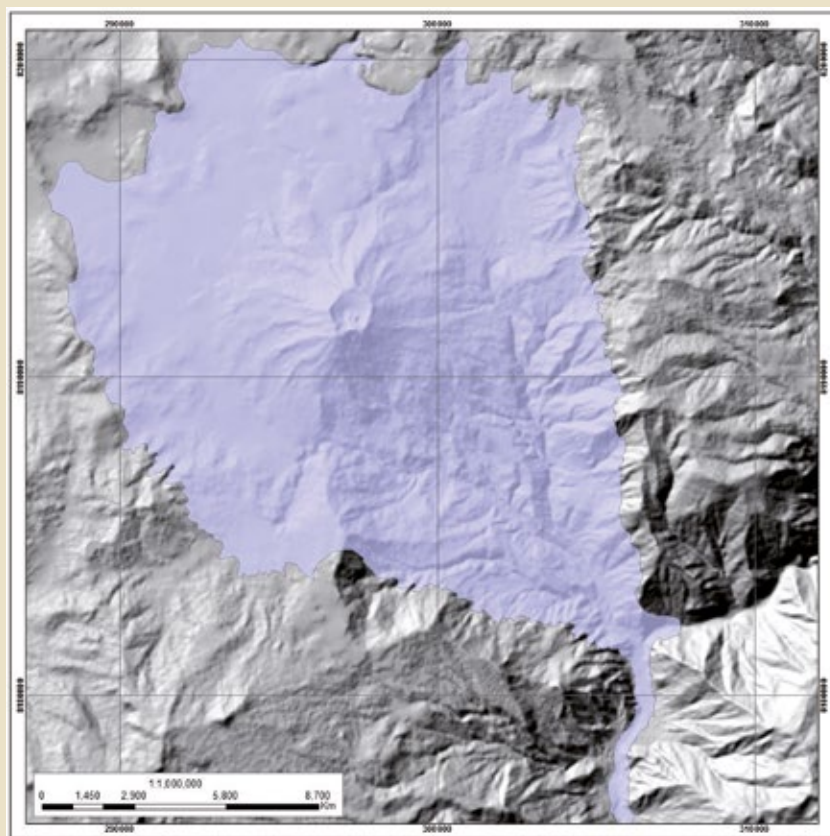


Figura 16. Alcance de lahares asociados al volcán Ubina.

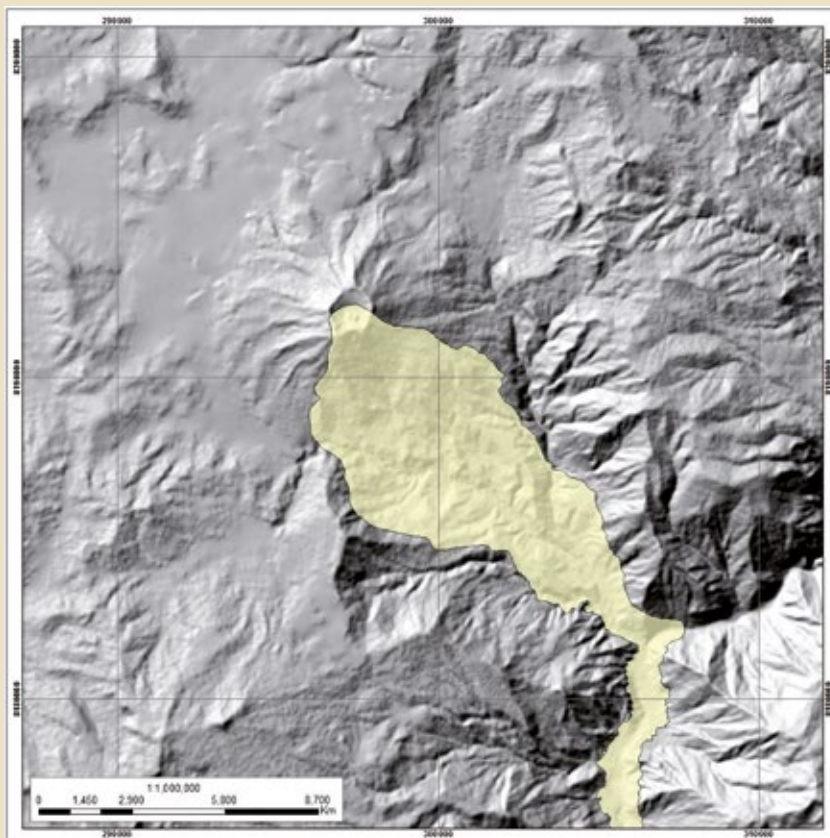


Figura 17. Alcance de avalanchas de escombros asociadas al volcán Ubina.



### e.5) Peligros por gases volcánicos

El volcán Ubinas puede emitir gases similares representando un peligro para los ojos y el sistema respiratorio de personas y animales. La acumulación de gases venenosos como SO<sub>2</sub> y CO en las depresiones topográficas de los flancos este y SE provocarían la muerte casi instantánea de personas y animales que habitan en las partes bajas de dichos flancos por asfixia e intoxicación. Además, los gases pueden envenenar las fuentes naturales y artificiales de agua, con grave riesgo para la salud humana, la agricultura y la ganadería.

### f. Escenarios eruptivos generadores de peligros en el volcán Ubinas

Se describen los distintos escenarios eruptivos con los respectivos peligros latentes que podría presentar el Ubinas en caso de una reactivación. Para la elaboración de los escenarios eruptivos se ha considerado lo siguiente:

- Los tipos de depósitos volcánicos emitidos por el Ubinas y descritos en los estudios geológicos.
- Características morfológicas actuales del volcán Ubinas.
- Los dinamismos eruptivos presentados por el Ubinas, y los tipos de erupciones que podrían darse en el volcán Ubinas.
- La magnitud de las erupciones pasadas, establecida en función del trabajo de campo y de la distribución de los productos volcánicos.
- El comportamiento de otros volcanes peruanos, considerados como “análogos” al Ubinas.

Se han establecido seis escenarios eruptivos posibles generadores de amenaza y de riesgo, teniendo en cuenta que un escenario concierne a una erupción específica con sus distintos tipos de peligros asociados. Los escenarios establecidos también toman en cuenta modelos existentes sobre la dispersión de tefras (Carey y Sparks, 1986), extensión de flujos piroclásticos (Hayashi y Self, 1992), flujos de barro y avalanchas de escombros (Malin y Sheridan, 1982), en caso de erupciones de volcanes andesíticos. También se tuvieron en cuenta los ejemplos de erupciones volcánicas recientes ocurridas al norte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales: volcanes Misti (Thouret *et al.*, 2001; Rivera, 2010), Huaynaputina (Thouret *et al.*, 2002; De Silva *et al.*, 2008), Sabancaya (Thouret *et al.*, 1994; Gerbe y Thouret, 2004).

#### f.1) Escenario de erupción vulcaniana con VEI 1-2

Una erupción vulcaniana consiste en una serie de explosiones discretas que tienen lugar con intervalos de minutos u horas. A menudo, el material expelido corresponde a fragmentos despedazados de un tapón de lava solidificada en el conducto de emisión o cráter (Morrisey y Mastin, 2000). La erupción es debida a la presión generada por exsolución del magma a profundidad (Francis, 1993). Este tipo de erupción presenta los siguientes peligros:

##### **Peligros por caídas de tefras**

Existe una gran posibilidad de que la próxima actividad eruptiva del Ubinas sea de tipo moderado, es decir vulcaniano, la cual generaría caídas de ceniza, ya que este fenómeno se ha dado en los últimos 500 años y durante su actividad reciente, 2006-2009; 2013. Durante una erupción vulcaniana se generan materiales de caída y desde luego, viajan en mayor proporción hacia el oeste, en época lluviosa (diciembre a marzo), y al NE, S y SE en época seca (abril a noviembre), influenciados por la dirección y la velocidad de los vientos que prevalecen en esas zonas. La distancia recorrida para las caídas de ceniza sobrepasaría los 20 km (incluye la zona

roja del mapa de peligros por caída). Las cenizas y demás productos asociados a erupciones vulcanianas pueden contaminar el agua destinada al consumo humano y terrenos de cultivos. Asimismo, las cenizas pueden contaminar los pastos del ganado. En caso de una importante actividad las cenizas podrían afectar las represas El Frayle y Aguada Blanca, cuyas aguas abastecen a la ciudad de Arequipa.

Parte de los depósitos de caída de tefras conformados por cenizas finas y bloques con fracturas radiales que afloran en la caldera del volcán, sobre los flancos del volcán y en los sectores de Corohuayo y Sacohaya, corresponden a depósitos generados por erupciones vulcanianas del Ubinas. Incluso, las cenizas generadas en la actividad 2006-2009 fueron producidas por una erupción vulcaniana.

Los datos sobre erupciones históricas muestran que las emisiones de cenizas son los productos más comunes en el volcán Ubinas; algunas veces se ha reportado transformación de caída de cenizas en flujos de lodo o barro, debido a la ocurrencia de lluvias fuertes durante un proceso eruptivo (ejemplo, 17 de febrero de 2007). En la actividad eruptiva 2006-2009 se registraron caídas de ceniza en la ciudad de Arequipa, localizada a una distancia de 65 km al oeste del volcán.

### ***Peligros por flujos piroclásticos***

Durante una erupción explosiva leve a moderada la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas es de baja a moderada. La zona de mayor peligro que podría ser afectada por estos flujos comprende un área aproximada de 60 km<sup>2</sup>, con un radio de 4 a 5 km alrededor del cráter (zona roja del mapa de peligros por peligros múltiples). Desde luego, a partir de esta zona los flujos piroclásticos pueden canalizarse por las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón, El Infiernillo, con dirección a los valles de Ubinas y Para.

### ***Peligros por flujos de barro o lahares***

En el volcán Ubinas pueden generarse flujos de barro con o sin erupción (periodo de lluvias), ya que durante diciembre y marzo presenta hielo y nieve en la cumbre sur. Este hielo y nieve puede fusionarse y convertirse en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar.

Los flujos de barro generados durante una erupción vulcaniana (VEI 1-2) pueden recorrer más de 10 km de distancia por las quebradas que descienden de los flancos del volcán, sobre todo con dirección a los ríos Volcanmayo y Ubinas, debido a la mayor pendiente, para luego desembocar en el río Tambo. Los lahares durante su recorrido irían incorporando fuentes adicionales de agua que harían que se desplazaran a mayor distancia. El peligro por flujos de barro está basado en los diversos depósitos que se encuentran en las quebradas de los flancos sur, SE y E (quebrada El Infiernillo, quebrada Chillón y río Ubinas). La posibilidad de ocurrencia de este proceso es muy alta, aun sin actividad eruptiva o también después de cualquier erupción (erupciones de 1923 y 1969, y la ocurrida en febrero de 2007).

Desde el punto de vista de peligros y riesgos generaría destrucción de las propiedades que encontrara a su paso. Están sujetos a este tipo de peligro terrenos agrícolas, carreteras y viviendas de los poblados de Ubinas, Tonohaya, San Miguel y Huatahua, situados cerca de las márgenes de la quebrada Chillón y río Ubinas. Los lahares también pueden afectar tramos de la carretera Ubinas-Arequipa, así como canales de agua, entre otros.





### **f.2) Escenario de erupción vulcaniana o sub-pliniana VEI 3**

Durante las erupciones de tipo vulcaniano o subpliniano (VEI 3), las columnas eruptivas pueden sobrepasar los 15 km de altura sobre la cima del volcán, y emplazar caídas de ceniza y flujos piroclásticos.

El registro estratigráfico muestra que el Ubinas presentó una erupción de tipo vulcaniano (VEI 3) en el año 1667 d.C. (Simkin y Siebert, 1994; Rivera *et al.*, 1998; Thouret *et al.*, 2005) cuyos depósitos fueron formados por caídas de ceniza y flujos de escorias, visibles en la parte superior del cono volcánico (flancos norte y oeste).

#### ***Peligros por caídas de tefras***

En caso de una erupción vulcaniana o sub-pliniana del Ubinas se generarán materiales de caída y, desde luego, viajarán en mayor proporción hacia el E, NE y SE del volcán, en época seca (diciembre a marzo) y hacia el oeste en época de lluvia (abril a noviembre), influenciados por la dirección y la velocidad de los vientos que prevalecen en esas zonas. La distancia recorrida para las caídas de cenizas sobrepasaría los 30 km (zona naranja y amarilla del mapa por peligro múltiple). Las cenizas y demás productos pueden contaminar el agua destinada al consumo humano y a la agricultura de todo el valle de Ubinas.

#### ***Peligros por flujos piroclásticos***

Los flujos piroclásticos producidos por una actividad vulcaniana del Ubinas son poco abundantes. Solamente han sido reconocidos flujos de escorias poco voluminosos generados por una actividad similar. Este flujo de 0,8 m de espesor emplazado en el año 1667 aflora en el flanco NE, a 3 km del cráter.

Durante un evento explosivo moderado la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas es de alta a moderada, la zona de mayor riesgo por estos flujos comprende un área aproximada de 80 km<sup>2</sup>, con un radio de 7 km alrededor del cráter, pudiendo canalizarse por las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón, El Infiernillo, la cabecera del valle de Ubinas y del valle de Para (zona de alto y moderado peligro en el mapa de peligros múltiples).

### **f.3) Escenario de erupción pliniana VEI 4-5**

La erupción ocurrida en el volcán Huaynaputina (Moquegua) en febrero de 1600 d.C. representa un ejemplo clásico de erupción pliniana ocurrida en el sur peruano en tiempos históricos. Los productos de esta erupción cubrieron un área que sobrepasa los 210 000 km<sup>2</sup>, afectando gran parte del sur del Perú, norte de Chile y Bolivia (Thouret *et al.*, 1999; Adams *et al.*, 2001; Thouret *et al.*, 2002). Esta erupción causó la muerte de más de 1 500 personas y sepultó más de siete poblados aledaños al volcán y, a la vez, tuvo efectos climáticos globales.

Para el volcán Ubinas, la ocurrencia de este tipo de erupción en un corto o mediano plazo (años a decenas de años) tiende a ser poco probable.

#### ***Peligros por caídas de tefras***

Una erupción pliniana del volcán Ubinas generaría tefras (principalmente pómez) que desde luego caerían en áreas aledañas y lejanas al volcán (>40 km). La dirección y distancia a recorrer por las caídas de pómez estaría en función de la dirección y velocidad de los vientos de altura

(alturas mayores a 10 km). Según las estaciones del año, en época lluviosa (diciembre a marzo), las tefras tenderían a viajar al oeste, mientras que en la época de seca (abril a noviembre), las tefras tenderían a viajar hacia el este.

Dependiendo de la magnitud de la erupción, las tefras depositadas formarán una capa encima del terreno de varios decímetros a metros de espesor hasta un radio de 30 km alrededor del volcán, aproximadamente. Asimismo, los espesores serán del orden de varios centímetros a algunos decímetros entre los 30 y 50 km de distancia del volcán; y habrá algunos centímetros de espesor de ceniza a más de 50 km del volcán (ver mapa de peligros por caída de tefras). Estos datos están basados en la erupción pliniana (VEI 5) de hace 2 000 años del volcán Misti. Asimismo, esta hipótesis está basada en fenómenos similares ocurridos en el Holoceno, descritos en la estratigrafía. La última erupción pliniana del Ubinas ocurrió hace 980 años, cuyos depósitos cubrieron un área de 800 km<sup>2</sup> y su eje máximo se prolongó a más de 40 km en dirección este-sureste, donde el espesor del depósito alcanzó 25 cm.

Desde el punto de vista de peligros y riesgos, las tefras (lapilli de pómez, bloques y cenizas) expelidas por dicha erupción pueden causar daños a la propiedad y víctimas por impacto de los materiales que caen sobre estas. La acumulación de las tefras puede causar que las construcciones (viviendas, colegios, centros médicos, etc.) colapsen, rompan las líneas de transmisión y afecten la agricultura, ganadería y fuentes de agua para consumo humano. La tefra suspendida en el aire puede causar serios problemas respiratorios, dañar las maquinarias, perturbar el tráfico vehicular y el transporte aéreo.

En el mapa de peligro se han definido tres zonas: alto, moderado y bajo peligro, con posibilidad de acumulación y depósito de tefras, influenciados por las direcciones de los vientos.

### ***Peligros por flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas***

Los flujos piroclásticos voluminosos generados por erupciones plinianas del Ubinas son productos poco abundantes. Estos ocurrieron entre 14 000 y 240 000 AP (Rivera, 2010) y fueron distribuidos en el valle de Ubinas: sectores de Sacohaya y reservorio de agua de Ubinas. En una posible ocurrencia, los cálculos efectuados sobre la distancia que recorrerían están basados en coeficientes de correlación propuestos por Scott (1989), Crandell (1988) y Siebert *et al.* (1987), quienes proporcionaron coeficientes de relación entre altura o desnivel (H) y distancia de viaje (L). Según este resultado, la distancia mínima a recorrer sería de 9 km, igual a la producida anteriormente. En caso de producirse en el volcán Ubinas una erupción pliniana la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos es de baja a moderada. La zona de alto peligro por flujos piroclásticos radica en un área de 180 km<sup>2</sup>, con un radio hasta de 10 km alrededor del cráter. Desde luego, la morfología de los valles hará que los flujos lleguen a mayor distancia al pie de los flancos sur y SE del volcán. Esta zona abarca las zonas alto, moderado y bajo peligro del mapa de peligros múltiples. Dentro de esta área se consideran las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón, El Infiernillo y los ríos Ubinas y Para (S y SE del volcán Ubinas), por donde se canalizarían.

Una erupción pliniana también puede generar oleadas piroclásticas. Estas están conformadas por cenizas y gases calientes, las cuales pueden resultar ser más movibles con respecto a los flujos piroclásticos antes descritos. Inicialmente emitidos se mueven a velocidades de 20 y 50 m/s. Las oleadas son flujos diluidos de baja densidad, pueden traspasar barreras topográficas y cubrir altos cerros o cumbres (Francis, 1993). Aunque son pocos los depósitos de oleadas del Ubinas, en una eventual erupción pliniana generada por este volcán es relativamente probable que se generen oleadas piroclásticas; estas, al igual que los flujos de pómez y ceniza, recorrerían distancias mayores a 10 km y luego se canalizarían por las diversas quebradas que surcan el estrato-cono.



### **Peligros por flujos de barro o lahares**

Como se ha manifestado anteriormente, en el volcán Ubinas pueden generarse flujos de barro con o sin erupción (periodo de lluvias). En caso de ocurrir una erupción en época de lluvia (diciembre y marzo), fecha durante la cual gran parte de la cumbre se halla cubierta de hielo y nieve. El hielo y nieve pueden fusionarse y convertirse en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar. Los lahares voluminosos se desplazarían por las quebradas Volcanmayo, Sacuhaya y Chillón, con dirección al río Tambo. La presencia de depósitos de flujos de barro antiguos y recientes en los cauces de los ríos Ubinas y Para, y en las quebradas El Infiernillo, Secuaya y Chillón, indican que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento ante cualquier erupción volcánica, es alta.

#### **f.4) Escenario de colapso de flanco y generación de avalanchas de escombros**

El volcán Ubinas presenta una morfología característica de colapsos (caldera de avalancha en forma de herradura) en el flanco sureste, que indica que hubo dos colapsos de flanco, uno en el Pleistoceno superior y otro hace más de 3 670 años.

Efectuando los cálculos de coeficientes de correlación propuestos por Scott (1989), Crandell (1988) y Siebert *et al.* (1987), al igual que para flujos piroclásticos, se puede estimar la distancia que pueden recorrer futuras avalanchas de escombros en caso del derrumbe del flanco sur del Ubinas. En efecto, tomando los valores de coeficientes de relación entre altura o desnivel (H) del edificio volcánico y la distancia (L) recorrida por los depósitos de avalanchas pre-existentes:  $>1 \text{ km}^3$  y  $<1 \text{ km}^3$  que fue hasta 6 km del volcán. Los resultados muestran que la distancia mínima a recorrer sería de 4 km y la distancia máxima sería de 11 km, aproximadamente (zona de moderado y bajo peligro del mapa de peligros múltiples).

Por consiguiente, si se produce un sismo de gran magnitud el crecimiento de un domo y/o una erupción explosiva de gran magnitud provocarían el colapso de una parte del edificio y/o del flanco sur de la estructura, provocando avalanchas de escombros a lo largo del valle de Ubinas. Suponiendo que ocurriera una erupción explosiva moderada: vulcaniana o sub-pliniana con VEI 2-3, se generarían avalanchas de escombros de menos  $1 \text{ km}^3$  que viajarían de 3 a 6 km de distancia por el valle del río Ubinas. Suponiendo que se produjera una erupción explosiva: pliniana con  $\text{VEI} = \geq 4$ , se generarían avalanchas de escombros y viajarían más de 8 km del cráter.

#### **f.5) Escenario de explosiones laterales dirigidas**

Las explosiones laterales dirigidas ("blast") son fenómenos complejos que comparten características de flujos piroclásticos y oleadas. Se tratan separadamente por cuanto tienen un componente inicial de ángulo bajo y pueden afectar amplios sectores de un volcán de hasta  $180^\circ$  alrededor del cráter y alcanzar distancias de decenas de kilómetros. Un ejemplo de ellos ocurrió en 1980 en el Mont St. Helens (Decker y Decker, 1989), donde un cuerpo magmático estuvo en crecimiento dentro del volcán, el cual provocó el "hinchamiento del volcán", y un sismo generó avalancha de escombros, consecuentemente se despresurizó el cuerpo magmático produciéndose una explosión lateral dirigida. Los depósitos de avalancha y los flujos piroclásticos generados por dicha explosión viajaron alrededor de 28 km de distancia del cráter.

Aunque en la historia eruptiva del volcán Ubinas no se ha registrado tal evento, en un futuro puede producirse, el cual se generaría por el colapso sectorial del flanco sureste y por la intrusión de un domo, por ejemplo, ya que dicho flanco se encuentra alterado hidrotermalizado y, a la vez, debilitado por fenómenos de colapso. Los flujos piroclásticos recorrerían los flancos sur, SE y este, cubriendo las lomas y laderas localizadas al pie del Ubinas, para luego canalizarse

por los cauces de los ríos y quebradas de los valles Ubinas y Para, hasta una distancia mayor de 10 km del volcán (zona de moderado y bajo peligro en el mapa de peligros múltiples).

#### **f.6) Escenario de erupción efusiva**

Una erupción efusiva consiste en la emisión pasiva de flujos de lava. En nuestro medio son principalmente de composición andesítica, cuyas velocidades de efusión no superan los metros cúbicos por segundo, y los flujos raramente se prolongan más de 8 km de la fuente (Francis, 1993).

Aunque el volcán Ubinas ha emitido gran cantidad de flujos de lava durante su historia eruptiva, hasta hace aproximadamente 20 000 años (Rivera, 2010), en una próxima actividad, es poco probable que ocurra tal evento. Esto se sustenta en los diversos depósitos de caída y flujos piroclásticos recientes encontrados sobre los afloramientos lávicos que alegan que la actividad durante el holoceno y la época histórica fue de tipo explosivo.

Actualmente, si se produjera una erupción efusiva o extrusiva, las lavas serían similares a las emplazadas en épocas anteriores de composición andesítica. Estas lavas tendrían que rellenar la caldera para poder desplazarse por los flancos. Para que ocurra este proceso, las lavas deberían sobrepasar un volumen mayor a 1 km<sup>3</sup> y, desde luego, no recorrerían mucha distancia a partir del cráter (menos de 6 km), pudiéndose predecir su curso (zona de alto y moderado peligro en el mapa por peligro múltiple). Además, es necesario mencionar que el emplazamiento de lavas dentro del cráter y la caldera del Ubinas puede propiciar el colapso del flanco sur del volcán, el cual es débil y poco resistente al embalse de la lava. Si las lavas logran rebalsar la caldera, estas tenderían a recorrer las quebradas de los flancos norte, NO y NE. Los flujos de lava causarían graves daños por incendio, impacto e incineración, y consecuentemente enterrarían todo lo que encontraran a su paso. El área amenazada por este fenómeno se estima que no sobrepasa los 20 km<sup>2</sup>. En cualquier caso los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores, porque les daría tiempo para evacuar la zona.

Asociado a cualquier erupción efusiva puede presentarse el descongelamiento de la nieve que se asienta eventualmente entre los meses de diciembre a marzo en la cumbre del volcán, y en consecuencia puede dar lugar a la formación de flujos de barro. Estos flujos de barro, al recorrer las partes bajas, serían más peligrosos que las lavas.

Por otro lado, es probable la formación de un domo de lava. El domo se forma cuando la lava por extrusión de una chimenea es demasiado viscosa para fluir más de unas decenas o cientos de metros (Francis, 1993). Durante el crecimiento, los extremos suelen ser inestables y pueden dar lugar a la formación de flujos piroclásticos que pueden ser originadas por explosiones volcánicas o por el crecimiento y colapso del domo. La mayor amenaza asociada a domos de lava radica en los flujos piroclásticos producidos por explosiones o colapsos. Estos flujos pueden producirse sin previo aviso y desplazarse a velocidades mayores de 50 m/s y mayores a 10 km de su fuente (Miller, 1989).

El escenario que describe una futura erupción generada por el colapso de un domo de lava, y la consecuente formación de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas, está basado en los depósitos de flujos de bloques y cenizas que se encuentran distribuidos en la parte baja del valle de Ubinas (sector de Corohuayo, localidad de Tonohaya y la quebrada El Infiernillo). Estos depósitos pueden compararse con los depósitos recientes producidos por colapsos de domos de los volcanes Unzen y Redoubt, ocurridos en el Japón en mayo de 1991 y en Alaska en enero de 1990, respectivamente (Brantley *et al.*, 1993). Ambos volcanes extrujeron domos que colapsaron y produjeron flujos piroclásticos (Figura 10), acompañados por oleadas de cenizas en la parte superior, lateral y en frente de dichos flujos.





### g. Descripción del mapa de peligros del volcán Ubinas

El mapa que se presenta en este estudio toma en cuenta diversos peligros y escenarios eruptivos descritos anteriormente. Este mapa muestra diversas áreas que incluyen terrenos agrícolas, carreteras y poblados que podrían ser afectados por una actividad eruptiva del volcán Ubinas que tenga como foco de emisión el cráter actual, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado a lo largo de su historia eruptiva, principalmente durante los últimos 1 000 años, durante el cual presentó erupciones vulcanianas, sub-plinianas y plinianas.

En la elaboración del mapa también se tomaron en cuenta los datos de alturas y direcciones de vientos que predominan en áreas aledañas al volcán Ubinas, proporcionados por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú), que al inicio de la crisis volcánica (abril y mayo, 2006) lanzaron globos aerostáticos al espacio, al oeste del volcán Ubinas, con el fin de determinar la dirección y velocidad de los vientos que influirían en la dirección y alcance de las cenizas que emitiría el Ubinas durante una importante erupción. Asimismo, se tomaron datos del IGP sobre direcciones y velocidades de vientos prevalecientes en la zona.

En el mapa existen líneas que limitan las zonas sujetas a un grado de peligro. Por la naturaleza del mapa, no implican que inmediatamente por fuera de ella se esté absolutamente exenta del peligro y riesgo o que al interior de las mismas necesariamente tenga que haber afectación.

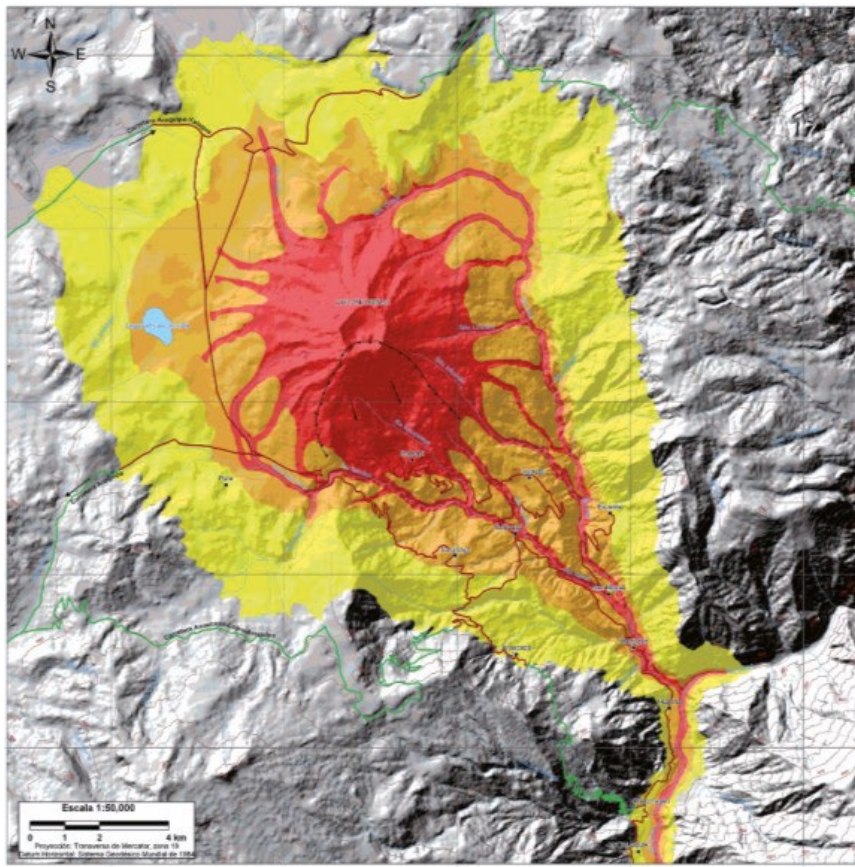


Figura 18. Mapa proximal de peligros múltiples del volcán Ubinas.

### **g.1) Mapa proximal de peligros múltiples**

En el mapa principal de peligros se diferenciaron tres zonas en función de su grado de peligrosidad: alto, moderado y bajo peligro (Figura 18), cuyos límites fueron trazados considerando el alcance máximo de los productos emitidos en erupciones pasadas y con base en cálculos matemáticos aplicados en vulcanología (por ejemplo, cálculo de líneas de energía).

Para la delimitación del alcance de los flujos piroclásticos en los flancos del complejo volcánico se empleó la metodología denominada "cono de energía" (Malin y Sheridan, 1982), que ha sido bastante utilizado para definir las zonas de peligro proximales alrededor de un volcán. Este método postula que el alcance horizontal (L) de un flujo piroclástico está en función de la diferencia de alturas (H) entre el punto de generación del flujo y el punto de depósito. La relación H/L es un indicador de la movilidad del flujo; así, para una relación H/L cercana a 0,1 los flujos poseen gran movilidad y por tanto alcanzan mayor distancia, mientras que para una relación H/L cercana a 0,3 poseen poca movilidad. Los alcances de los flujos piroclásticos se determinaron con el programa LAHARZ.

Para realizar el modelamiento con el software LAHARZ se deben introducir previamente dos parámetros: el coeficiente H/L y una altura  $H_0$ , este último es la altura en metros sobre el cráter desde donde descienden los flujos piroclásticos.

La zonificación de peligros del mapa principal se realizó para peligros múltiples, es decir para el emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de lava, proyectiles balísticos, avalanchas de escombros y lahares. El mapa tiene una escala 1:50 000.

#### **Zona de alto peligro (rojo)**

Para delimitar la zona de alto peligro (Figura 18) se consideró el área que cubrirían los flujos piroclásticos generados durante erupciones leves a moderadas (VEI 1-2: Escenario 1); esto, corroborado con el valor 0,35 para la relación H/L y 450 para el valor de  $H_0$ . Estos valores son frecuentes para flujos piroclásticos de escoria de volumen pequeño, generados durante erupciones explosivas leves con VEI 1 a 2. Se consideró este escenario, ya que la probabilidad de ocurrencia de erupciones vulcanianas es bastante alta en este volcán, debido a que ocurrió de manera recurrente durante la época histórica así como también recientemente (actividad 2006-2009; 2013; 2014).

Los límites de los flujos piroclásticos se encuentran en un radio promedio de 6 km alrededor del cráter. Las mayores distancias se encuentran en los flancos sur y sureste del Ubinas. Esto se explica por la morfología del volcán. Estos alcances bajos son frecuentes en erupciones vulcanianas pequeñas. Por ejemplo, durante la erupción del volcán Reventador, de 1976, se generaron flujos piroclásticos que se emplazaron sobre el fondo del anfiteatro, recorriendo pocos kilómetros de distancia (Aguilera *et al.*, 1988).

Los límites de la zona de alto peligro obtenidos, también coinciden con el alcance de un gran número de flujos de lavas del Ubinas, que se encuentran hasta los 6 km de distancia desde su punto de emisión. Por otro lado, los proyectiles balísticos generados durante erupciones vulcanianas (IEV 1-2), han alcanzado distancias limitadas a las zonas muy proximales al cráter, típicamente menores a 3 km, en varios volcanes del sur del Perú. Por ejemplo, durante la erupción del volcán Ubinas 2006-2008, el alcance máximo de proyectiles balísticos fue cercano a 2 km (Rivera *et al.*, 2010).

En resumen, la zona de alto peligro (rojo) puede ser afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones pequeñas a moderadas con VEI 1-2, por flujos de barro (lahares), flujos



piroclásticos, proyectiles balísticos, flujos de lava e incluso, colapso del flanco sur. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud, como las ocurridas desde el año 1550 hasta 1969 (VEI 1-2). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja (VEI 1-2) es alta, aproximadamente uno a seis eventos cada 100 años.

### **Zona de moderado peligro (naranja)**

Para delimitar la zona de moderado peligro (Figura 18) se consideró la zona cubierta por flujos piroclásticos generados durante erupciones sub-plinianas (VEI 3), flujos de lavas, proyectiles balísticos, lahares y/o avalanchas de escombros emplazadas anteriormente. El límite coincide con el valor 0,30 para la relación H/L y 750 el valor de  $H_0$ . Valores frecuentes para flujos piroclásticos de escoria de tamaño mediano, generados durante erupciones con IEV 3. En este escenario se consideró como centro de emisión el cráter del volcán Ubinas.

Se consideró este escenario ya que se encontraron depósitos de flujos piroclásticos de escoria al norte y noroeste del volcán Ubinas, ligados a su erupción del año 1667 d.C. (VEI 3, Rivera *et al.*, 1998).

Los límites de la zona de moderado peligro también coinciden con los máximos alcances de algunos flujos de lava emitidos por el volcán Ubinas, que se encuentran a alrededor de 6 km de distancia desde su punto de emisión. Por otro lado, el alcance máximo de proyectiles balísticos están dentro de un radio menor a 4 km (Blong, 1984). Esta distancia se halla dentro de los límites de la zona de moderado peligro.

En resumen, la zona de moderado peligro (naranja) puede ser afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones sub-plinianas con VEI 3, por flujos de lavas voluminosas o que poseen mayor movilidad; por proyectiles balísticos, lahares y/o avalanchas de escombros. Esta zona se extiende desde ~5,0 km hasta una distancia máxima de 12 km del cráter. Esta zona involucra cauces de quebradas y valles localizados al pie del volcán. Asimismo, comprende la parte de la altiplanicie volcánica (sectores oeste, norte y noreste del Ubinas).

### **Zona de bajo peligro (amarillo)**

Para delimitar la zona de bajo peligro (Figura 18) se consideró la zona cubierta por flujos piroclásticos generados durante erupciones plinianas (VEI 4-5), lahares y/o avalanchas de escombros emplazadas anteriormente, así como posibles erupciones "extremas" que el Ubinas no ha presentado en el pasado: depósitos de blast (erupción lateral dirigida). El límite máximo coincide con el valor 0,2 obtenido para la relación H/L y 750 el valor de  $H_0$ . Valores cercanos a 0,2 del coeficiente H/L son frecuentes para flujos piroclásticos de pómez y ceniza, originados durante erupciones plinianas (VEI 4-5). Este escenario presenta el Ubinas entre 14 000 y 260 000 años AP, durante el cual se habrían emplazado depósitos de flujos piroclásticos de pómez ligados a erupciones plinianas.

En consecuencia, la zona de bajo peligro (amarillo) se proyecta a más de 10 km alrededor del cráter. Esta zona puede ser afectada por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, avalanchas de escombros y/o flujos de barro, en caso de que la erupción sea de alta magnitud (VEI 4-5).

### **g.2) Mapa de peligros por caídas piroclásticas**

El mapa de peligros, además, presenta dos mapas de caídas piroclásticas (Figuras 19 y 20) a escala regional donde se muestran áreas de peligros que serían afectadas por caída de tefras (cenizas, pómez, escoria) del Ubinas. Estos mapas corresponden a dos escenarios: para erupciones leves a moderadas con VEI 1-3 (vulcaniana y sub-pliniana) y erupciones importantes con VEI 4-5 (pliniana).



Para la elaboración del mapa también se tuvieron en cuenta las direcciones predominantes de vientos, ya que estas controlan la dispersión de las cenizas. Las direcciones de vientos fueron determinadas mediante el análisis de datos NCEP/NCAR, para el periodo 1979-1998, por especialistas del Instituto Geofísico del Perú (Yamina Silva, IGP, 2007). Para el escenario explosivo leve a moderado con VEI 1-3 se utilizaron direcciones de vientos a 5 865, 9 690 y 10 960 msnm, y para el escenario pliniano (IEV 4-5), se utilizaron direcciones de vientos a 12 445, 16 645, 20 662 y 26 415 msnm. Durante el año se tienen dos direcciones preferentes, entre abril y octubre se dirigen hacia el este, sureste y noreste, y entre noviembre y marzo se dirigen principalmente hacia el suroeste y oeste.

**Mapa de peligros por caídas de ceniza para erupciones leves a moderadas con IEV 1-3**

Este mapa (Figura 19) prevé dos zonas hacia donde preferentemente pueden viajar las cenizas: hacia el oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el NE, E y/o SE en la época seca (abril a noviembre). Existe una zona de mayor peligro (zona roja), próxima al cráter, la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de una mayor actividad (VEI 2 -3). El área afectada está basado en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (VEI 1-3) presentada por el Ubinas durante los últimos 500 años.

**Mapa de peligros por caídas de ceniza para erupciones importantes con VEI 4-5**

Este mapa (Figura 20) muestra un área extensa que podría ser afectada por caída de ceniza y de lapilli de pómez en caso de una erupción altamente explosiva (sub-pliniana, pliniana).

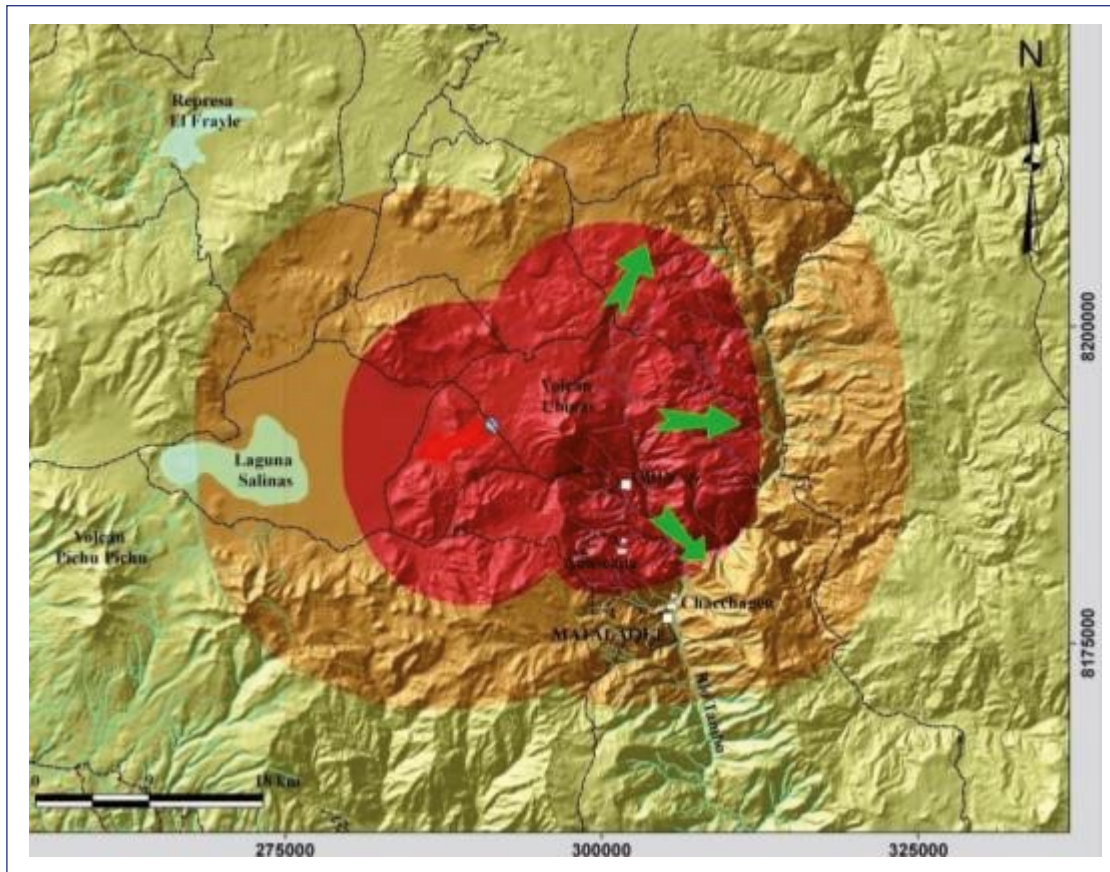


Figura 19. Mapa de peligros por caídas de ceniza para erupciones leves a moderadas con VEI 1-3.





Dependiendo de la magnitud de la erupción, las tefras depositadas formarán una capa encima del terreno, de varios decímetros a metros de espesor, hasta un radio de 30 km alrededor del volcán. Asimismo, los espesores serán del orden de varios centímetros a algunos decímetros entre los 30 y 50 km de distancia del volcán, y habrá algunos centímetros de espesor de ceniza a más de 50 km del volcán. Esta hipótesis está basada en el área cubierta durante las erupciones plinianas ocurridas hace 7 000 y 980 años AP del volcán Ubinas (Thouret *et al.*, 2005; Rivera, 2010).

Los vientos pueden influir en la distribución de la caída de pómez. En efecto, en caso de la ocurrencia de una erupción pliniana las tefras tenderán a viajar hacia el oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el este en la época seca (abril a noviembre). Existe una zona de mayor peligro (zona roja), próxima al cráter, la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de una mayor actividad.

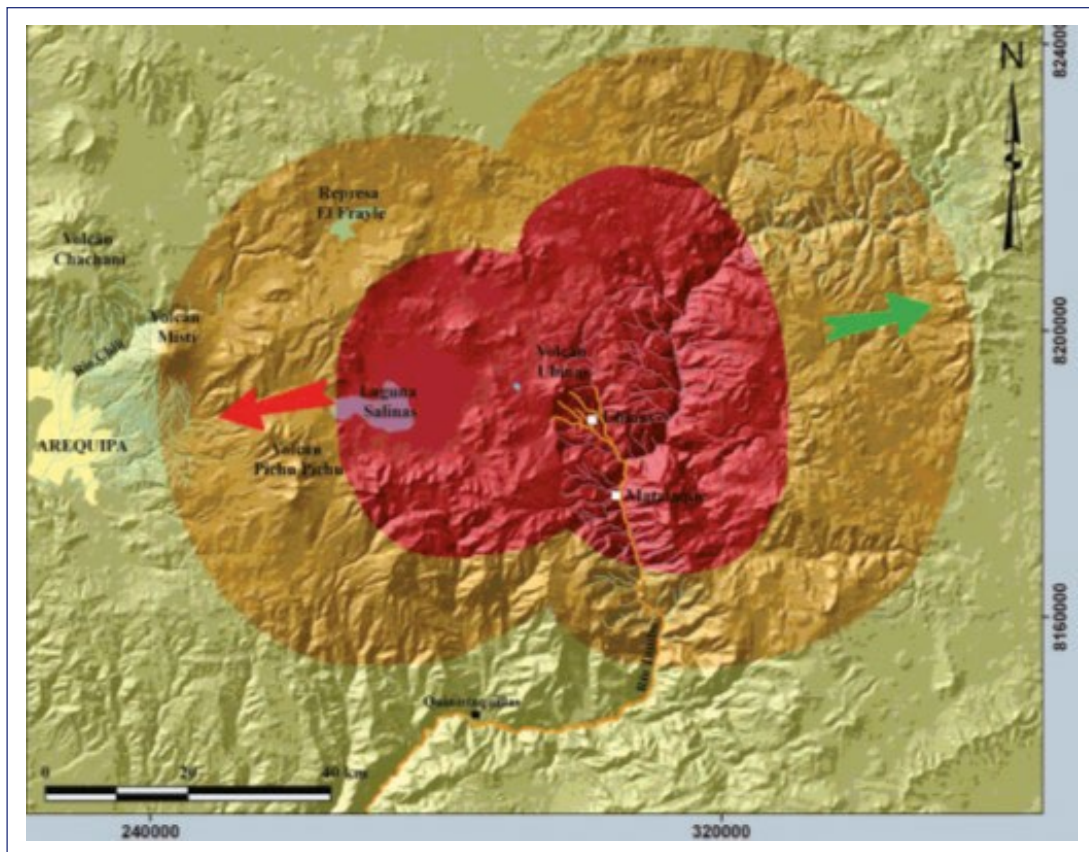


Figura 20. Mapa de peligros por caídas de ceniza para erupciones importantes con VEI 4-5.

## h. Definición de los niveles de peligrosidad

Nuevos rangos de peligrosidad realizados para esta publicación en coordinación CENEPRED-INGEMMET.

- **Peligros por avalancha de escombros**

Tabla 4

NIVEL	RANGO
Muy alto	$0,264 \leq R \leq 0,422$
Alto	$0,161 \leq R < 0,264$
Medio	$0,099 \leq R < 0,161$
Bajo	$0,061 \leq R < 0,099$

- **Peligros por caída de tefras**

Tabla 5

NIVEL	RANGO
Muy alto	$0,264 \leq R \leq 0,427$
Alto	$0,160 \leq R < 0,264$
Medio	$0,098 \leq R < 0,160$
Bajo	$0,059 \leq R < 0,098$

- **Peligros por flujos de lodos o lahares**

Tabla 6

NIVEL	RANGO
Muy alto	$0,264 \leq R \leq 0,419$
Alto	$0,162 \leq R < 0,264$
Medio	$0,100 \leq R < 0,162$
Bajo	$0,062 \leq R < 0,100$



- ***Peligros por flujos de lava***

Tabla 7

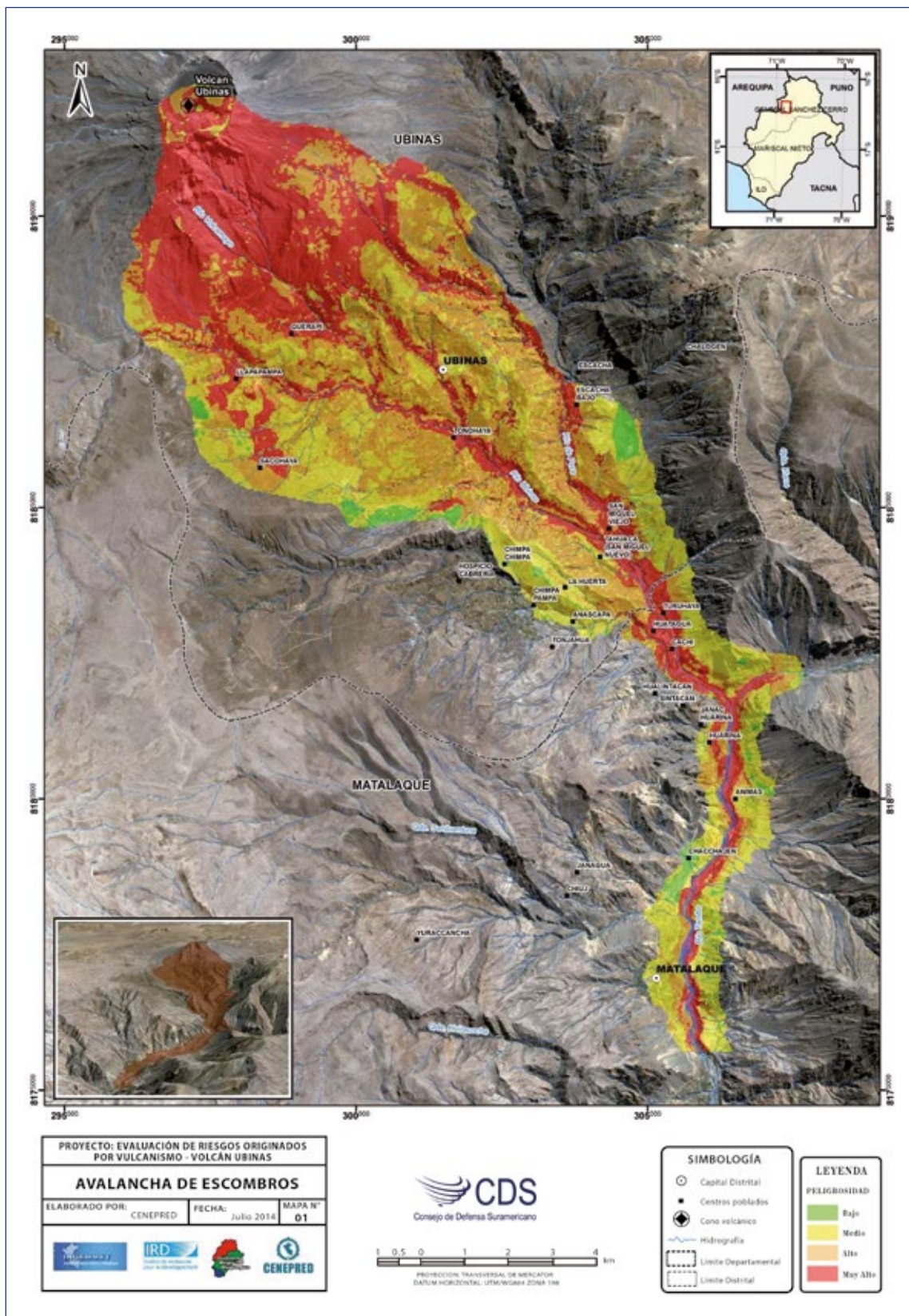
NIVEL	RANGO
Muy alto	$0,262 \leq R \leq 0,416$
Alto	$0,161 \leq R < 0,262$
Medio	$0,099 \leq R < 0,161$
Bajo	$0,062 \leq R < 0,099$

- ***Peligros por flujos piroclásticos***

Tabla 8

NIVEL	RANGO
Muy alto	$0,262 \leq R \leq 0,416$
Alto	$0,161 \leq R < 0,262$
Medio	$0,099 \leq R < 0,161$
Bajo	$0,062 \leq R < 0,099$

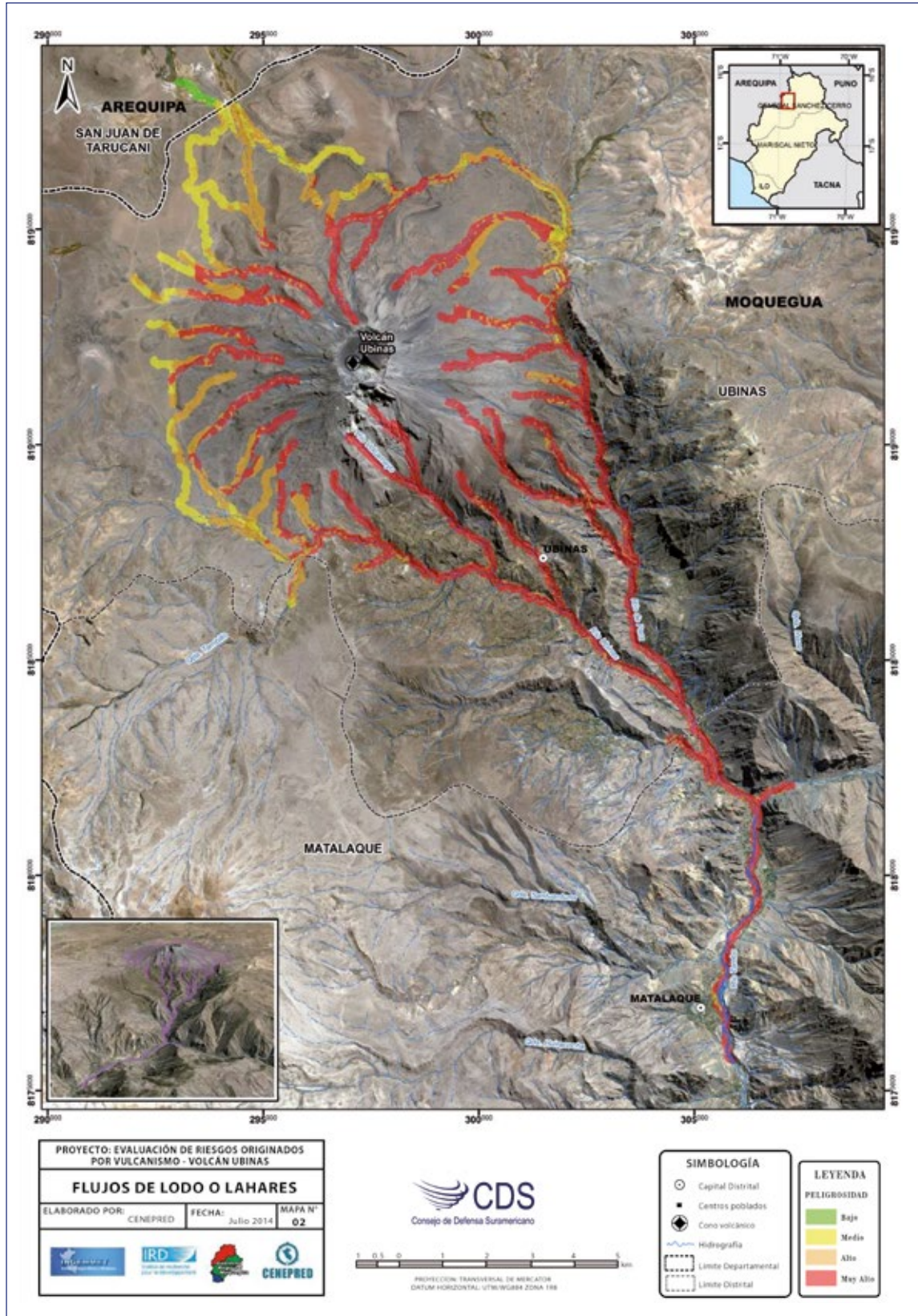
Mapa 1  
Niveles de peligrosidad ante avalancha de escombros





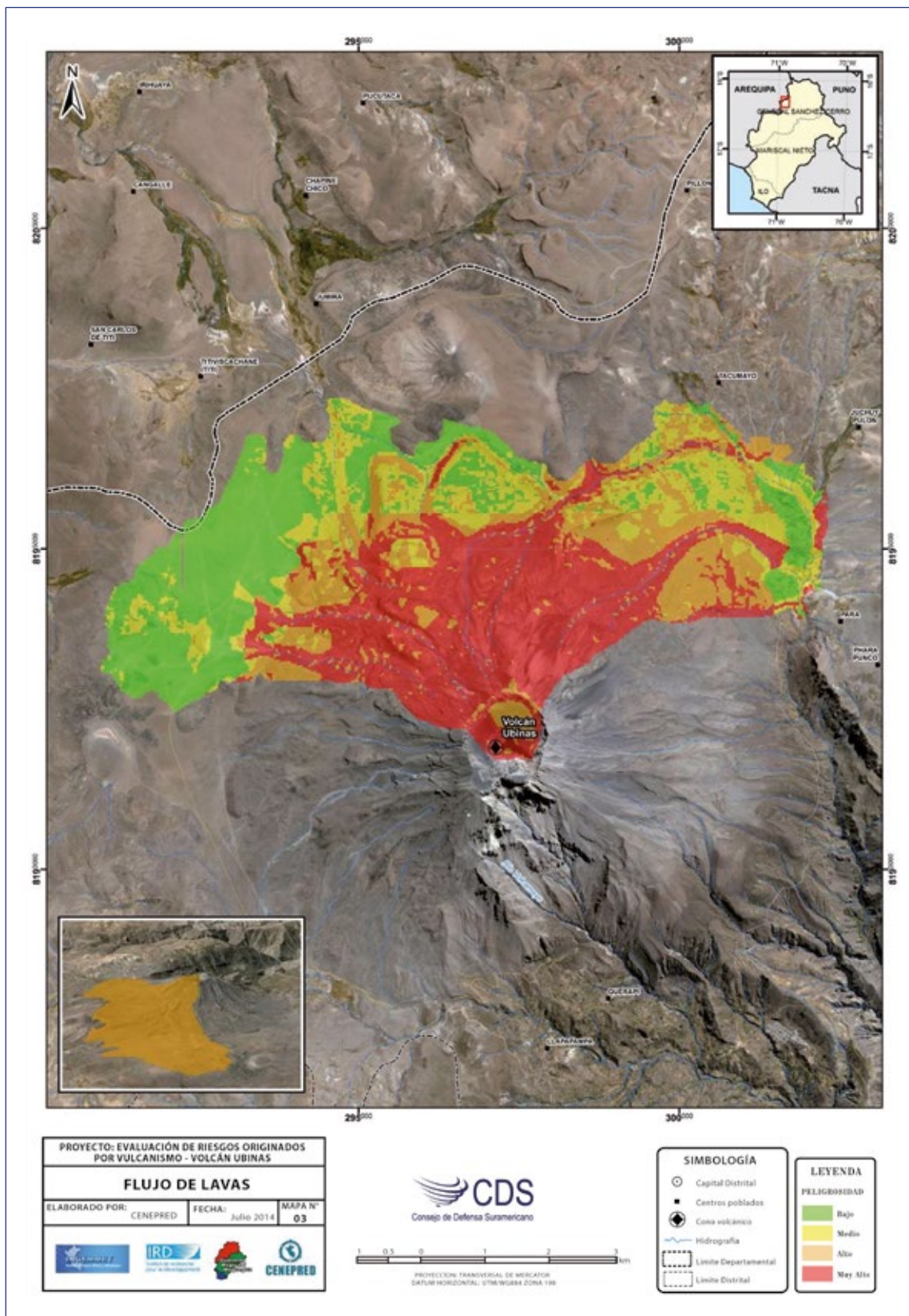


Mapa 2  
Niveles de peligrosidad ante flujos de lodos o lahares





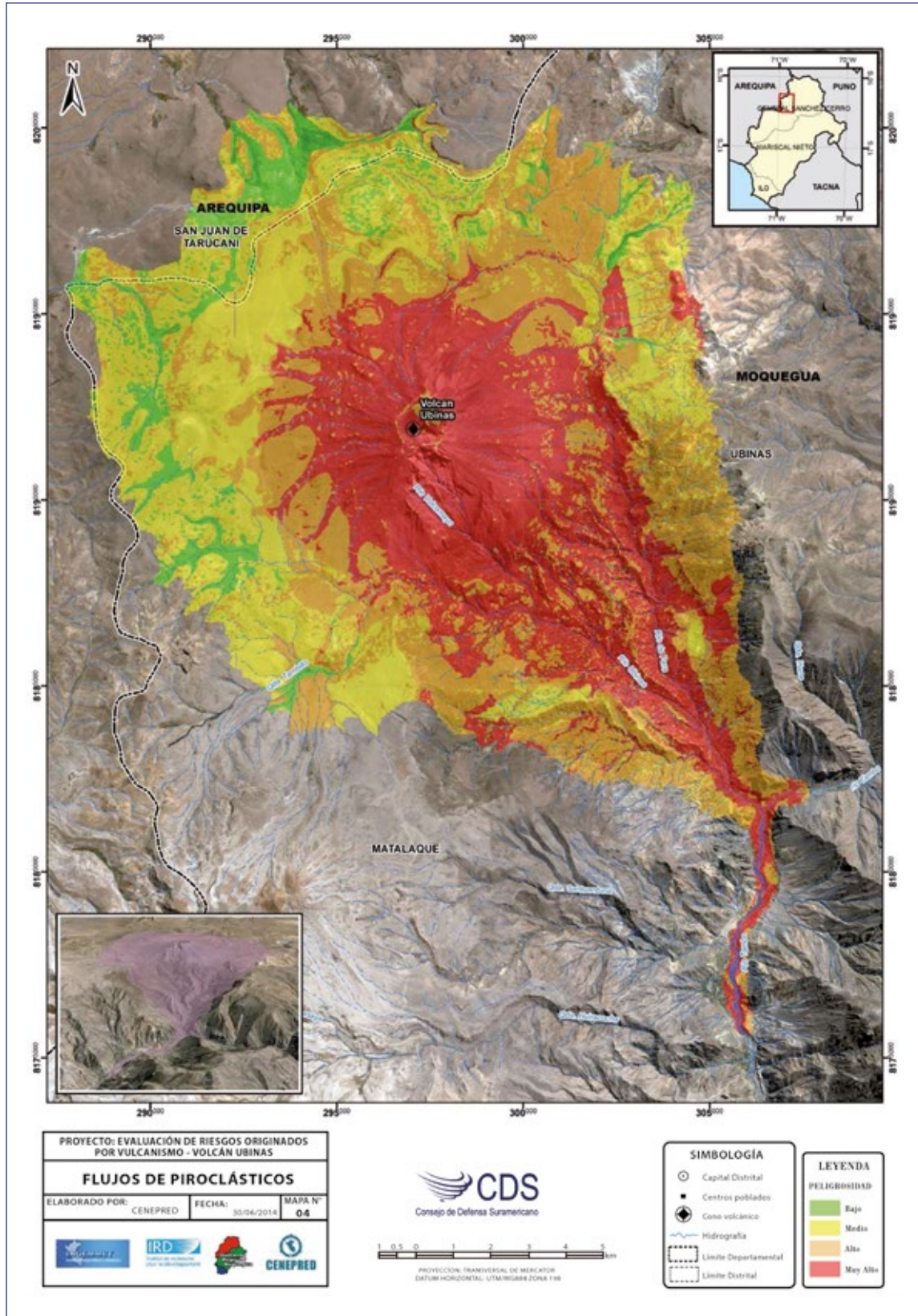
Mapa 3  
Niveles de peligrosidad ante flujos de lava







Mapa 4  
Niveles de peligrosidad ante flujos piroclásticos









### 3.2. Elaboración de los mapas de vulnerabilidad

El análisis de elementos expuestos ayudó a identificar los centros poblados expuestos a los peligros asociados a un escenario de erupción volcánica del Ubinas (flujos piroclásticos, flujos de lava, flujos de lodo o lahares, avalancha de escombros y caída de tefras). Los centros poblados para la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad son: Querapi, San Miguel, Tonohaya y Huatagua. Esta selección se fundamenta en las conclusiones del informe técnico N° A6641 denominado: "Evaluación de peligros geológicos en el valle de Ubinas", de marzo de 2014, elaborado por el INGEMMET. A continuación se desarrolla el procedimiento técnico para cuatro de los centros poblados de los cuales se pudo obtener información para este análisis.

Se muestra el flujograma general de trabajo y los parámetros considerados para el análisis de la vulnerabilidad.

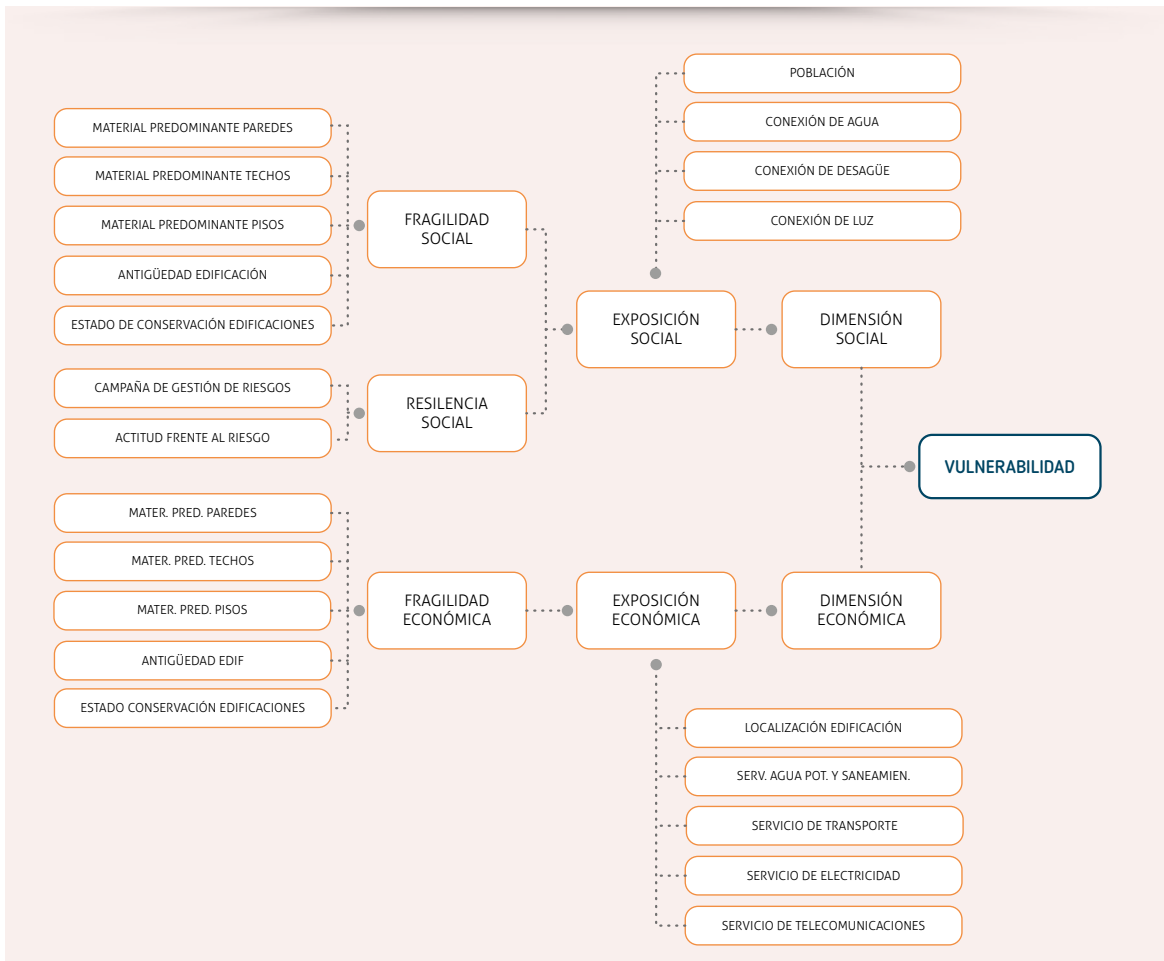


Figura 21. Flujograma general del análisis de la vulnerabilidad de los centros poblados.

### a. Dimensión social

El análisis de la dimensión social ayuda a identificar las características intrínsecas a los centros poblados, y la contribución de esta dimensión al análisis de la vulnerabilidad. Se identificaron y seleccionaron parámetros de evaluación agrupados en las componentes de exposición, fragilidad y resiliencia.

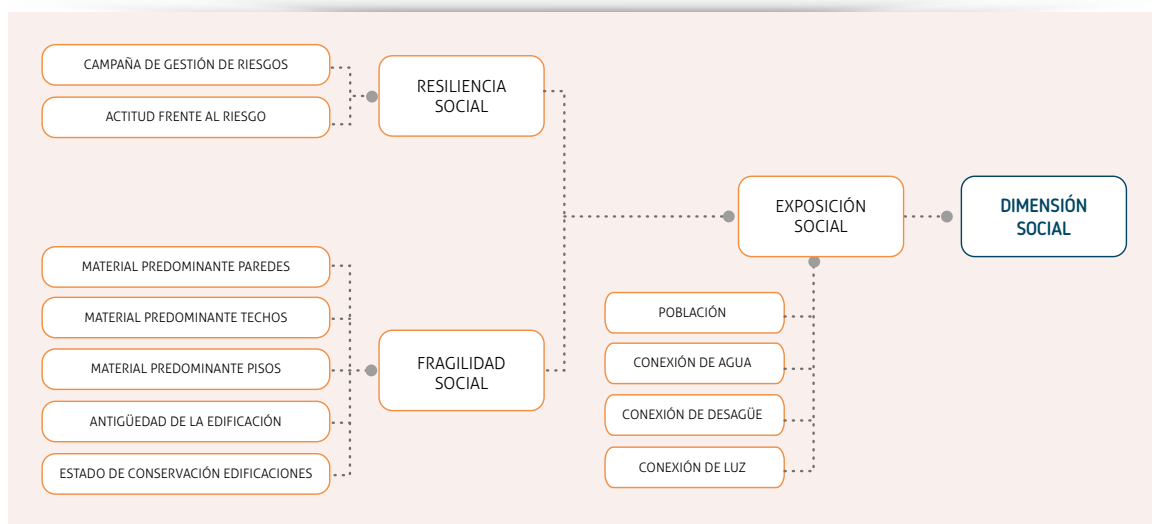


Figura 22. Flujograma de análisis de la dimensión social de los centros poblados.

#### a.1. Exposición social:

Los parámetros considerados para la exposición social son: población, conexión de agua, conexión de desagüe y conexión de luz. Estos parámetros son considerados en el análisis multicriterio (método de Saaty). Según lo establecido por el método de Saaty, para una matriz de 4x4 (número de parámetros utilizados) el resultado numérico de la relación de consistencia debe ser menor al 8% ( $RC < 0,08$ ), lo que indica que los criterios utilizados para la comparación de pares son los más adecuados. Los parámetros ponderados se muestran en el cuadro a continuación.

Tabla 9  
 Parámetros ponderados para la exposición social

Descriptor	Peso ponderado
Población	0,627
Sin conexión a la red de agua	0,197
Sin conexión a la red de desagüe	0,129
Sin conexión a la red de luz	0,049



### a.2. Fragilidad social:

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad social son: estado de conservación de la edificación, material predominante en paredes, material predominante en techos, antigüedad de la edificación y material predominante en pisos. Los parámetros ponderados se muestran en el cuadro a continuación.

Tabla 10  
Parámetros ponderados para la fragilidad social

Descriptor	Peso ponderado
Estado conservación edificación	0,479
Material predominante paredes	0,231
Material predominante techos	0,166
Antigüedad de edificación	0,088
Material predominante pisos	0,036

### a.3 Resiliencia social:

Los parámetros considerados para el análisis son: campañas de capacitación en gestión del riesgo y actitud frente al riesgo.

Tabla 11  
Parámetros ponderados para la resiliencia social

Descriptor	Peso ponderado
Campañas de capacitación en gestión de riesgos de desastres	0,300
Actitud frente al riesgo	0,700

## b. Dimensión económica

El análisis de la dimensión económica ayudó a identificar los servicios (agua, sistema de transporte, luz y telecomunicaciones) y características de las viviendas (dan una idea aproximada de las condiciones económicas de la población) expuestas a los fenómenos asociados a la erupción volcánica del Ubinas.

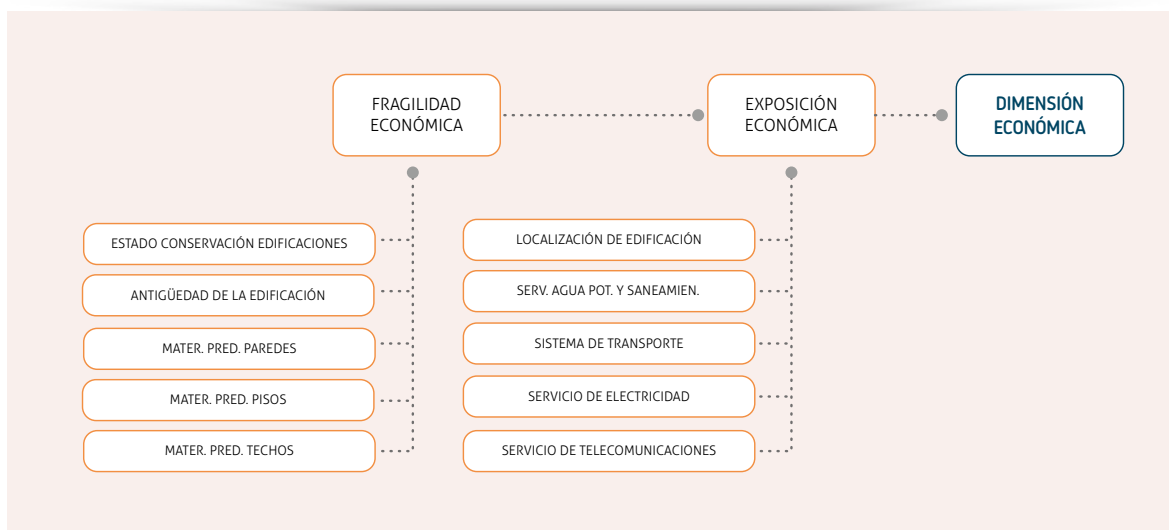


Figura 23. Flujograma de análisis de la dimensión económica de los centros poblados.

### b.1. Exposición económica:

Los parámetros considerados para la exposición social son: localización de edificaciones, servicio de agua, sistema de transporte, servicio de electricidad o luz y servicio de telecomunicaciones. Los parámetros ponderados se muestran en el cuadro a continuación.

Tabla 12  
Parámetros ponderados para la exposición económica

Descriptor	Peso ponderado
Localización de la edificación	0,479
Servicio de agua	0,231
Sistema de transporte	0,166
Servicio de luz o electricidad	0,088
Servicio de telecomunicaciones	0,036





## b.2. Fragilidad económica:

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad social son: estado de conservación de la edificación, material predominante de paredes, material predominante en techos, antigüedad de edificación y material predominante en pisos. Los parámetros ponderados se muestran en el cuadro a continuación.

Tabla 13  
Parámetros ponderados para la fragilidad económica

Descriptor	Peso ponderado
Estado de conservación de edificaciones	0,479
Material predominante en paredes	0,231
Material predominante en techos	0,166
Antigüedad en edificaciones	0,088
Material predominante en pisos	0,036

### Definición de niveles de vulnerabilidad

Para la determinación de los niveles de vulnerabilidad se utilizaron las ponderaciones de parámetros y descriptores, y la aplicación de fórmulas sencillas que se automatizaron en la base de datos mediante el uso del software para georreferencia. Se muestra la aplicación del procedimiento de cálculo para una fila de la base de datos.

#### Dimensión social

$$Valor = \sum_{i,j}^{n,m} Parametro_i \cdot Descriptor_j$$

Tabla 14  
Exposición Social

Exposición social						Valor
Conexión de agua		Conexión de desagüe		Conexión de luz		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0,557	0,253	0,320	0,495	0,123	0,495	0,360

Tabla 15

Fragilidad social										Valor
Estado conservación edificación		Material predominante paredes		Material predominante techos		Antigüedad de edificación		Material predominante pisos		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0,479	0,495	0,231	0,495	0,166	0,495	0,088	0,156	0,036	0,061	0,450

Tabla 16

Resiliencia social				Valor
Campaña gestión de riesgo		Actitud frente al riesgo		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0,300	0,253	0,700	0,061	0,119

$$Valor = Exposición.Peso + Fragilidad.Peso + Resiliencia.Peso$$

Tabla 17  
Vulnerabilidad social

Exposición social		Fragilidad social		Resiliencia social		Vul. Social
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	
0,360	0,343	0,450	0,082	0,119	0,575	

Dimensión económica

$$Valor = \sum_{i,j}^{n,m} Parámetro_i \cdot Descriptor_j$$

Tabla 18  
Exposición económica

Exposición económica										Valor
Localización de edificación		Servicio de agua potable y saneamiento		Sistema de transporte		Servicio de electricidad		Servicio de telecomunicaciones		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0,479	0,495	0,231	0,495	0,166	0,495	0,088	0,495	0,036	0,495	0,495



Tabla 19

Fragilidad económica										Valor
Estado conservación edificación		Material predominante paredes		Material predominante techos		Antigüedad de edificación		Material predominante pisos		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0,479	0,253	0,231	0,495	0,166	0,253	0,088	0,253	0,036	0,156	0,305

$$Valor = Exposición.Peso + Fragilidad.Peso + Resiliencia.Peso$$

Tabla 20  
Vulnerabilidad económica

Exposición económica		Fragilidad económica		Vul. económica
Valor	Peso	Valor	Peso	
0,495	0,500	0,305	0,500	0,400

c. Cálculo del valor de la vulnerabilidad

$$Vulnerabilidad = Vul.Social \times Peso + Vul.Económica \times Peso$$

Tabla 21  
Vulnerabilidad social

Vul. social		Vul. económica		Vulnerabilidad
Valor	Peso	Valor	Peso	
0,229	0,500	0,400	0,500	0,315

Tabla 22  
Nivel de vulnerabilidad para centros poblados

Nivel	Rango
Muy alto	0,253 ≤ R ≤ 0,495
Alto	0,156 ≤ R < 0,253
Medio	0,061 ≤ R < 0,156
Bajo	0,034 ≤ R < 0,061



d. Estratificación de la vulnerabilidad

Tabla 23  
Estratificación de la vulnerabilidad

Matriz de vulnerabilidad	
<b>Muy alto</b>	Vivienda de estera, madera o cartón, estado de construcción: en ruinas; con pozo ciego o sin servicio de desagüe; sin conexión a agua potable, agua procedente de río, acequia, manantial o similar; con habitantes sin conocimiento de gestión de riesgos sin difusión, con actitud fatalista, conformista y con desidia, escasamente previsora, sin medidas de prevención.
<b>Alto</b>	Vivienda de adobe o quincha, estado de construcción: inconclusa, con estado de conservación: malo; con servicio de luz por motor propio, con pozo séptico, con agua de pilón de uso público, con difusión parcial y poco frecuente en gestión del riesgo, parcialmente previsora sin implementar medidas para prevenir.
<b>Medio</b>	Vivienda de ladrillo, estado de construcción: bueno y en construcción; con servicio de luz fuera de vivienda; con conexión a desagüe fuera de vivienda; con conexión a agua potable fuera de vivienda; con habitantes con conocimiento de gestión de riesgos con difusión masiva y poco frecuente, parcialmente previsora, con escasas medidas de prevención.
<b>Bajo</b>	Vivienda de concreto, estado de construcción: muy bueno y terminado; con servicio de luz dentro de vivienda; con conexión a desagüe dentro de vivienda; con conexión a agua potable dentro de vivienda; con habitantes con conocimiento de gestión de riesgos por difusión masiva, previsora, con medidas de prevención.

e. Niveles de vulnerabilidad para los centros poblados

- Centro poblado Querapi

Tabla 24  
Niveles de vulnerabilidad

Nivel	Rango
Muy alto	$0,253 \leq R \leq 0,495$
Alto	$0,156 \leq R < 0,253$
Medio	$0,061 \leq R < 0,156$
Bajo	$0,034 \leq R < 0,061$





- *Centro poblado San Miguel*

Tabla 25  
Niveles de vulnerabilidad

Nivel	Rango
Muy alto	$0,262 \leq R \leq 0,416$
Alto	$0,161 \leq R < 0,262$
Medio	$0,099 \leq R < 0,161$
Bajo	$0,062 \leq R < 0,099$

- *Centro poblado Huatagua*

Tabla 26  
Niveles de vulnerabilidad

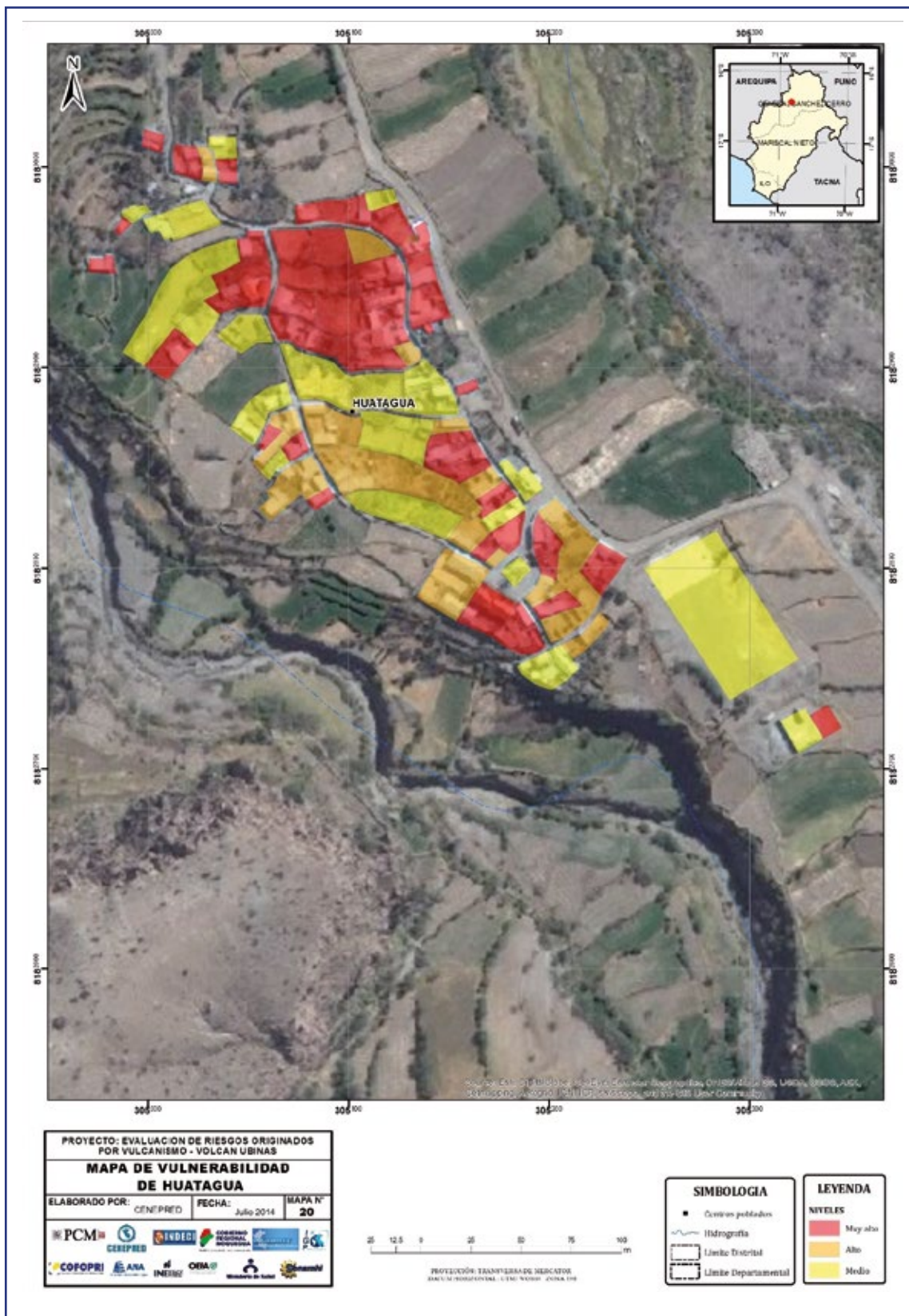
Nivel	Rango
Muy alto	$0,253 \leq R \leq 0,495$
Alto	$0,156 \leq R < 0,253$
Medio	$0,061 \leq R < 0,156$
Bajo	$0,034 \leq R < 0,061$

- *Centro poblado Tonohaya*

Tabla 27  
Niveles de vulnerabilidad

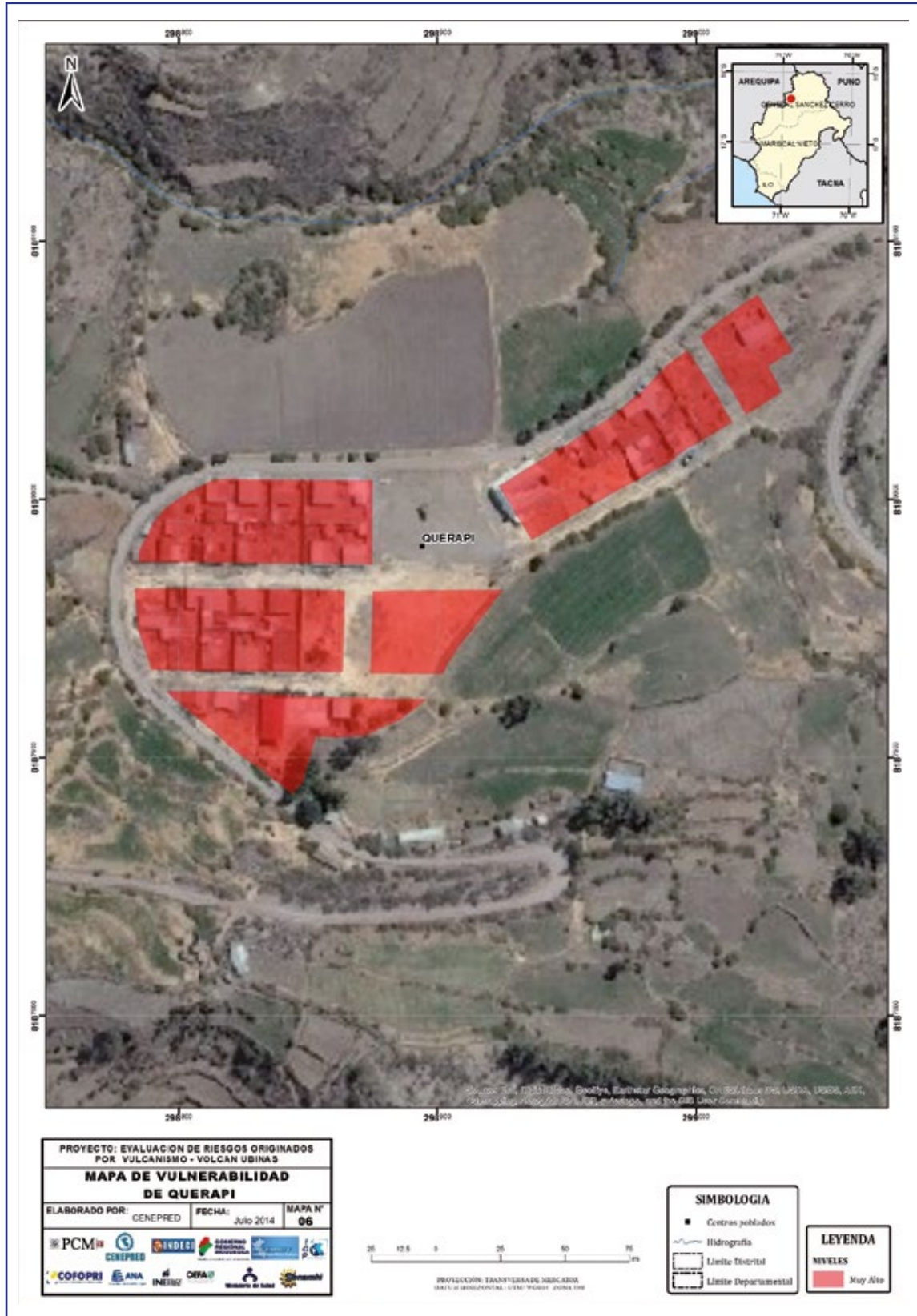
Nivel	Rango
Muy alto	$0,262 \leq R \leq 0,416$
Alto	$0,161 \leq R < 0,262$
Medio	$0,099 \leq R < 0,161$
Bajo	$0,062 \leq R < 0,099$

Mapa 6  
 Zona de vulnerabilidad de Huatagua



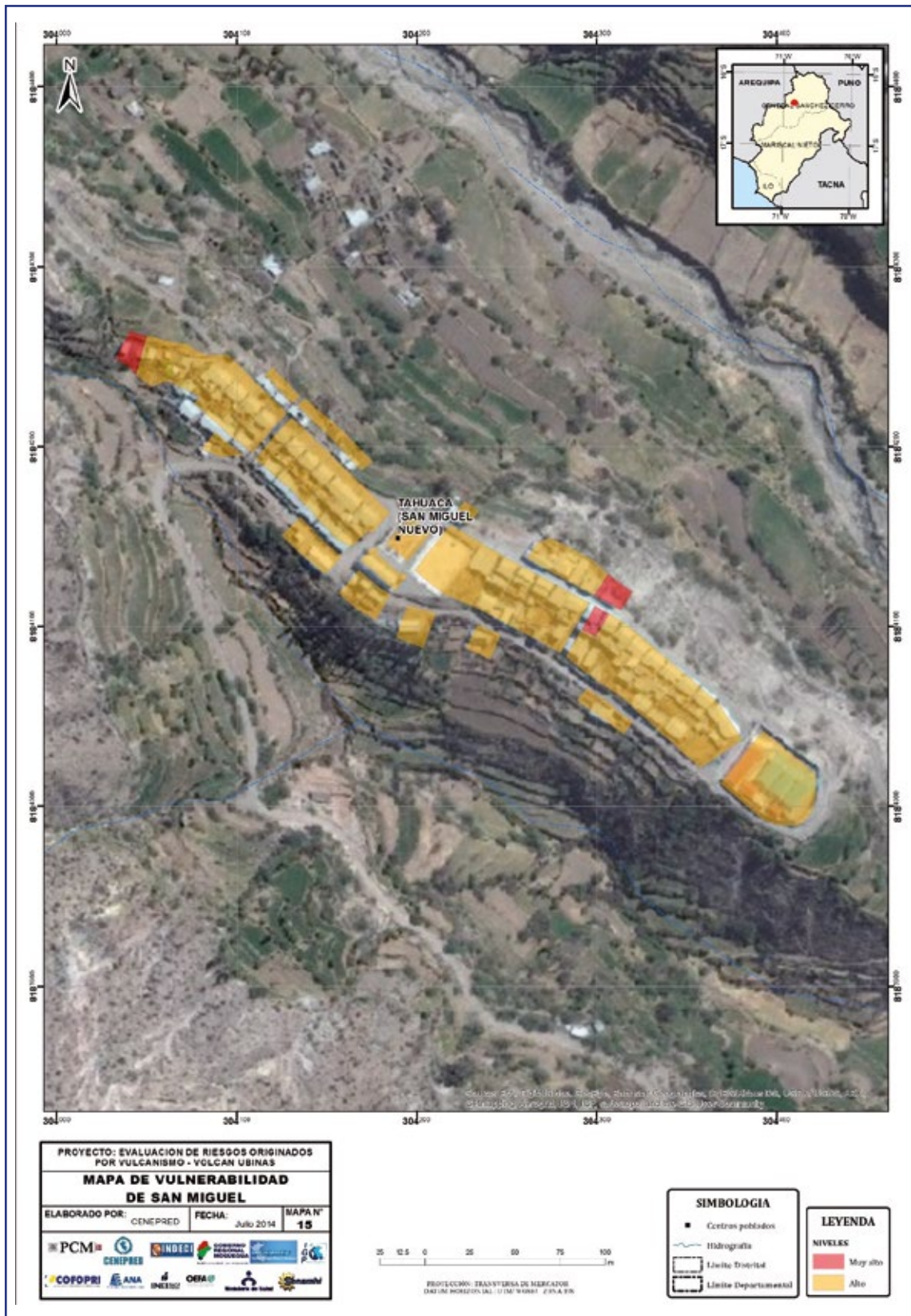


Mapa 7  
Zona de vulnerabilidad de Querapi





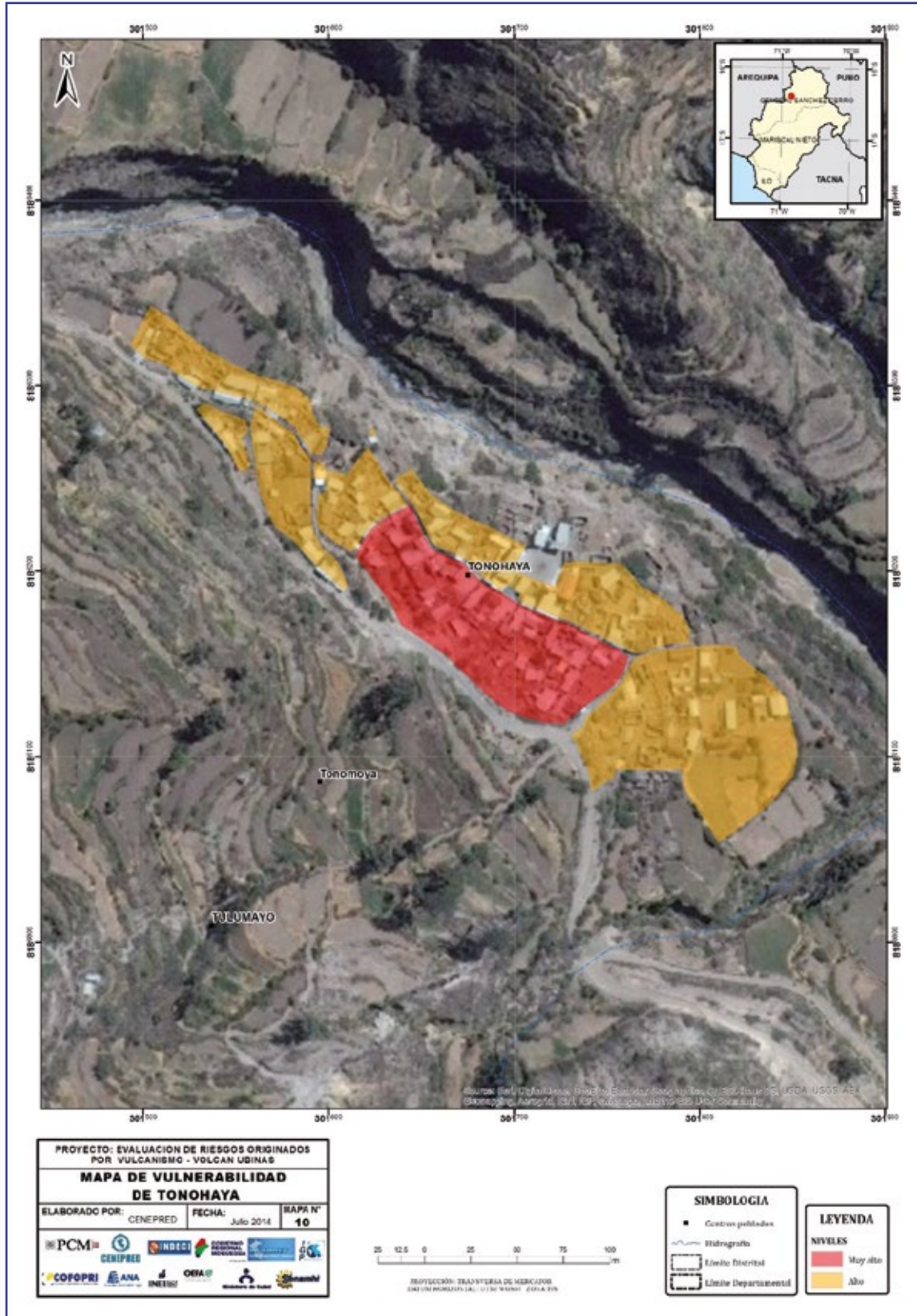
### Mapa 8 Zona de vulnerabilidad de San Miguel







Mapa 9  
Zona de vulnerabilidad de Tonohaya



### 3.3. Elaboración de mapas de riesgo

Se realizó el cálculo de los niveles de riesgos para los centros poblados de Querapi, San Miguel, Tonohaya y Huatagua, realizando el producto de los niveles de peligrosidad y los niveles de vulnerabilidad correspondiente.

En función a nuevas ponderaciones de los parámetros sugeridos por el INGEMMET, se han calculado los valores de riesgo que se presentan para esta publicación.

#### Mapas de riesgos para avalancha de escombros

- Centro poblado Querapi

Tabla 28  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,067 \leq R \leq 0,209$
Alto	$0,025 \leq R < 0,067$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 29  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,026	0,066	0,107	0,209
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,067	0,131
	Medio	0,161	0,010	0,025	0,041	0,080
	Bajo	0,099	0,006	0,015	0,025	0,049
			0,061	0,156	0,253	0,495
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
			Vulnerabilidad			



▪ *Centro poblado San Miguel*

Tabla 30  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,176$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

Tabla 31  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,042	0,068	0,111	0,176
	Alto	0,264	0,026	0,043	0,069	0,110
	Medio	0,161	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,099	0,010	0,016	0,026	0,041
			0,099	0,161	0,262	0,416
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
			Vulnerabilidad			

▪ *Centro poblado Huatagua*

Tabla 32  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,067 \leq R \leq 0,209$
Alto	$0,025 \leq R < 0,067$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 33  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,026	0,066	0,107	0,209
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,067	0,131
	Medio	0,161	0,010	0,025	0,041	0,080
	Bajo	0,099	0,006	0,015	0,025	0,049
			0,061	0,156	0,253	0,495
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				

- Centro poblado Tonohaya

Tabla 34  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,176$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

Tabla 35  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,042	0,068	0,111	0,176
	Alto	0,264	0,026	0,043	0,069	0,110
	Medio	0,161	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,099	0,010	0,016	0,026	0,041
			0,099	0,161	0,262	0,416
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				

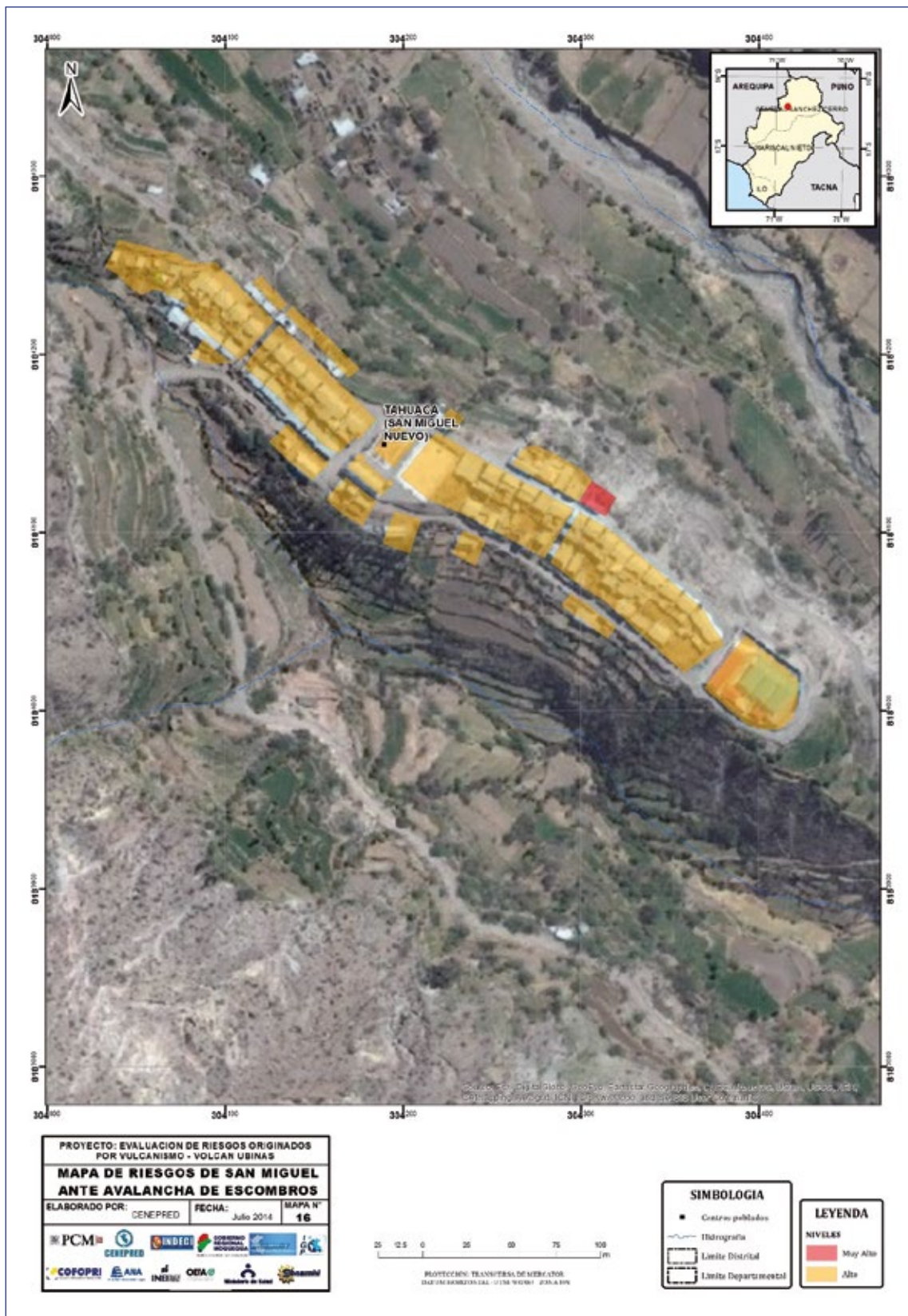




Mapa 10  
Riesgos ante avalancha de escombros de Querapi



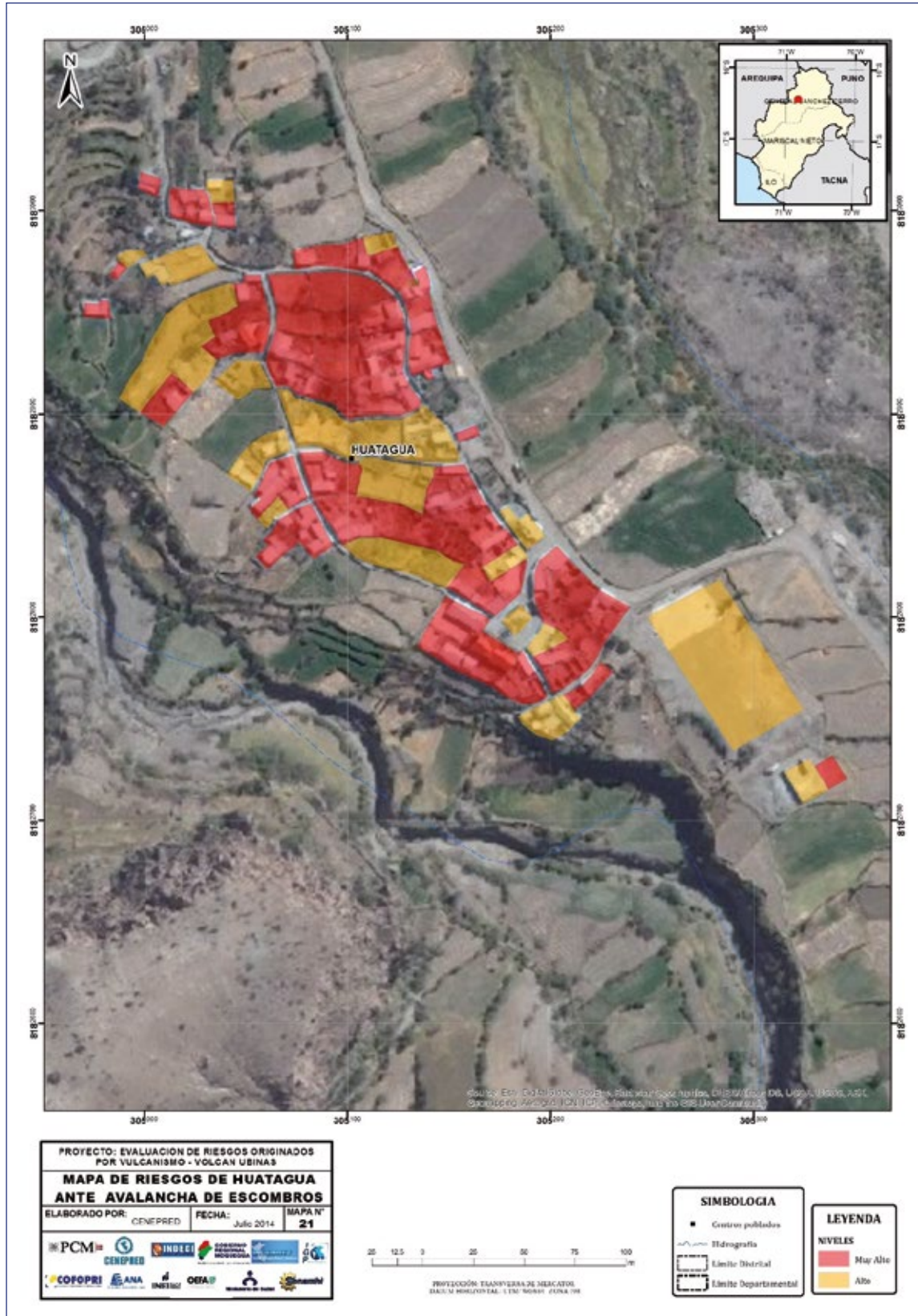
Mapa 11  
 Riesgos ante avalancha de escombros de San Miguel



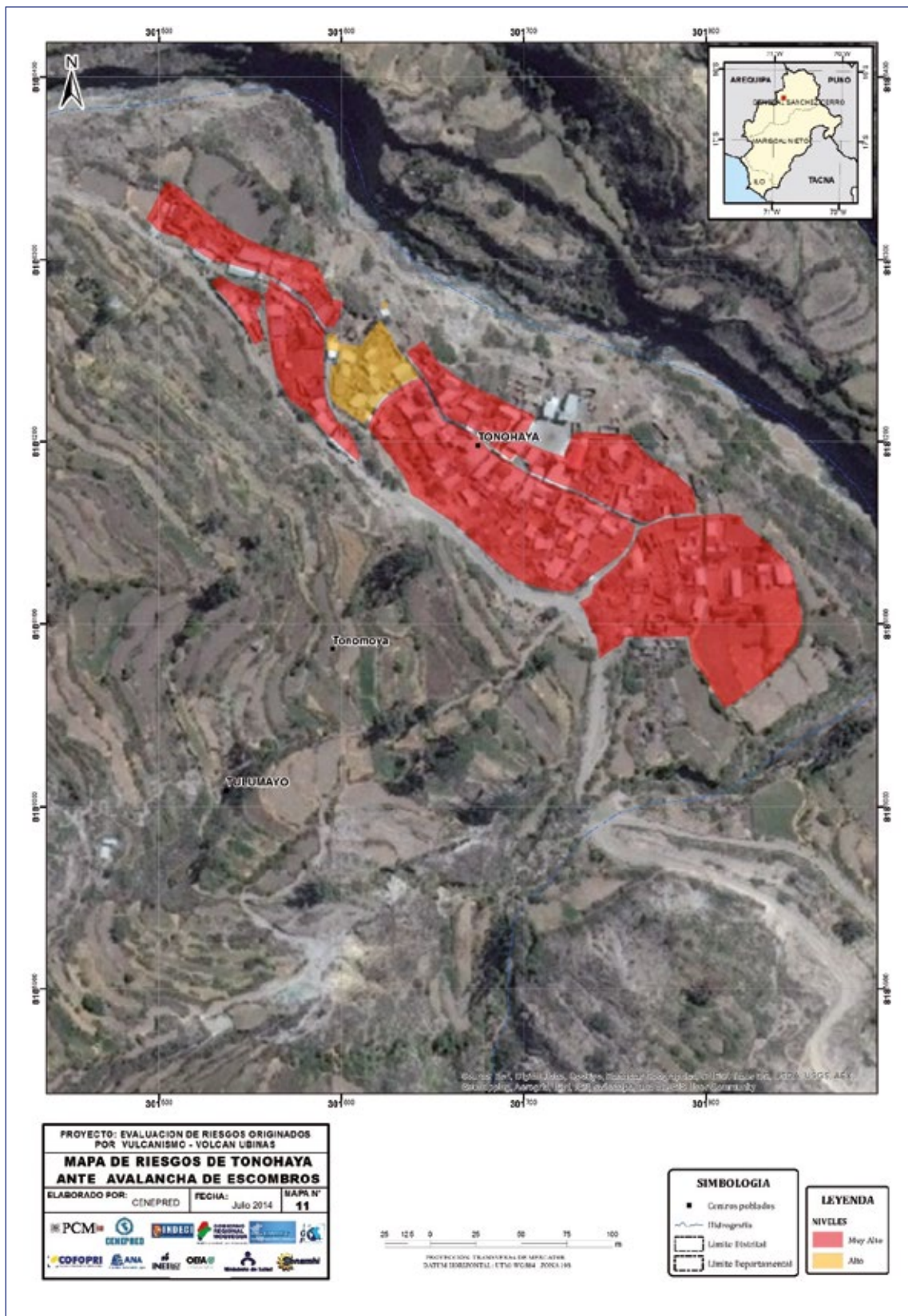




Mapa 12  
Riesgos ante avalancha de escombros de Huatagua



Mapa 13  
Riesgos ante avalancha de escombros de Tonohaya







**Mapas de riesgos para caída de tefras**

- **Centro poblado Querapí**

**Tabla 36**  
**Niveles de riesgos**

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,067 \leq R \leq 0,211$
Alto	$0,025 \leq R < 0,067$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

**Tabla 37**  
**Matriz de riesgos**

<b>Peligrosidad</b>	<b>Muy alto</b>	<b>0,427</b>	<b>0,026</b>	<b>0,067</b>	<b>0,108</b>	<b>0,211</b>
	<b>Alto</b>	<b>0,264</b>	<b>0,016</b>	<b>0,041</b>	<b>0,067</b>	<b>0,131</b>
	<b>Medio</b>	<b>0,160</b>	<b>0,010</b>	<b>0,025</b>	<b>0,040</b>	<b>0,079</b>
	<b>Bajo</b>	<b>0,098</b>	<b>0,006</b>	<b>0,015</b>	<b>0,025</b>	<b>0,049</b>
			<b>0,061</b>	<b>0,156</b>	<b>0,253</b>	<b>0,495</b>
		<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>	
		<b>Vulnerabilidad</b>				

▪ Centro poblado San Miguel

Tabla 38  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,178$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

Tabla 39  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,427	0,042	0,069	0,112	0,178
	Alto	0,264	0,026	0,043	0,069	0,110
	Medio	0,160	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,098	0,010	0,016	0,026	0,041
		0,099	0,161	0,262	0,416	
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				



▪ **Centro poblado Huatagua**

Tabla 40  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,067 \leq R \leq 0,211$
Alto	$0,025 \leq R < 0,067$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 41  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,427	0,026	0,067	0,108	0,211
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,067	0,131
	Medio	0,160	0,010	0,025	0,040	0,079
	Bajo	0,098	0,006	0,015	0,025	0,049
			0,061	0,156	0,253	0,495
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
			Vulnerabilidad			

▪ **Centro poblado Tonohaya**

Tabla 42  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,178$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

Tabla 43  
Matriz de riesgos

<b>Peligrosidad</b>	<b>Muy alto</b>	<b>0,427</b>	<b>0,042</b>	<b>0,069</b>	<b>0,112</b>	<b>0,178</b>
	<b>Alto</b>	<b>0,264</b>	<b>0,026</b>	<b>0,043</b>	<b>0,069</b>	<b>0,110</b>
	<b>Medio</b>	<b>0,160</b>	<b>0,016</b>	<b>0,026</b>	<b>0,042</b>	<b>0,067</b>
	<b>Bajo</b>	<b>0,098</b>	<b>0,010</b>	<b>0,016</b>	<b>0,026</b>	<b>0,041</b>
			<b>0,099</b>	<b>0,161</b>	<b>0,262</b>	<b>0,416</b>
		<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>	
		<b>Vulnerabilidad</b>				

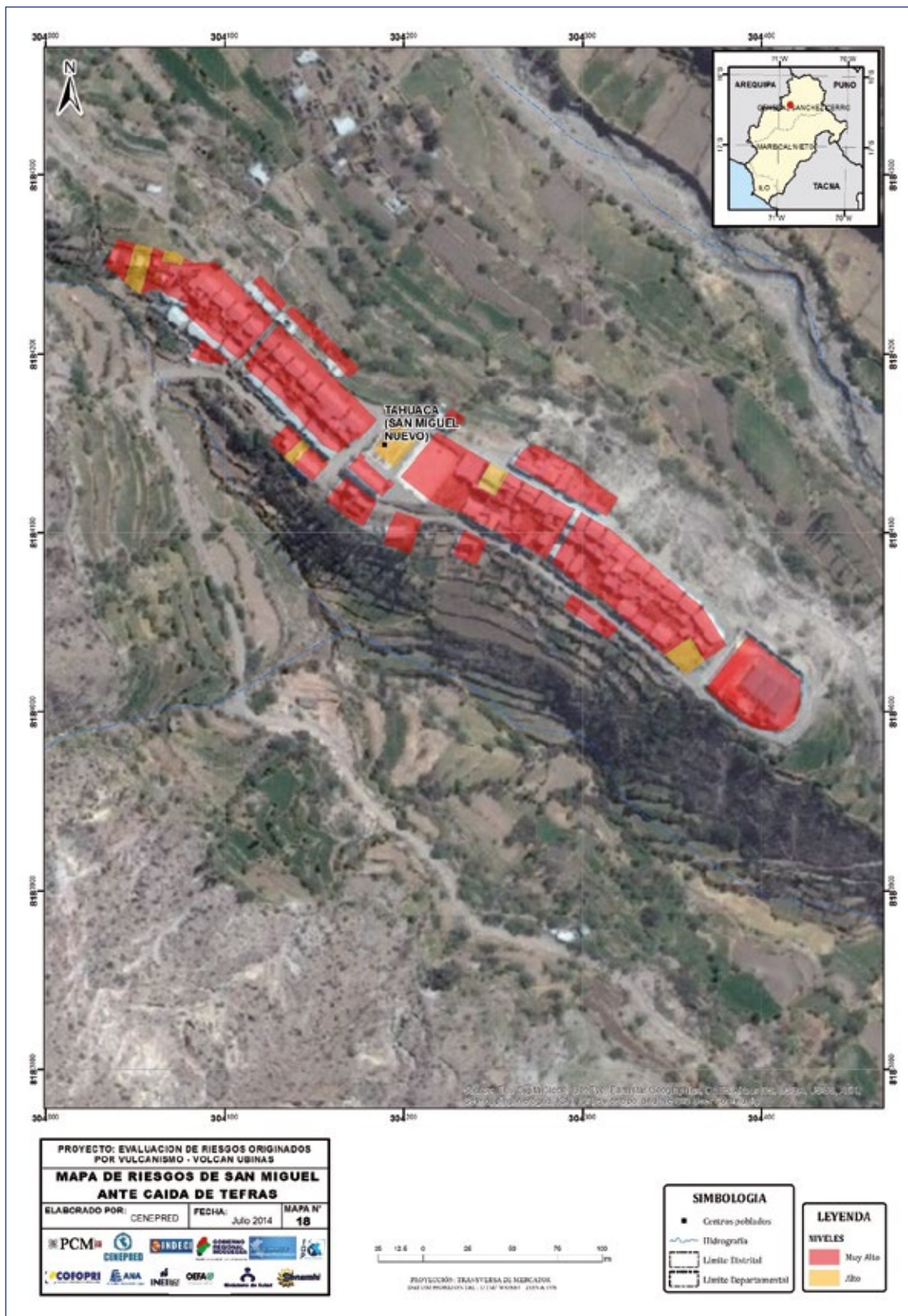




Mapa 14  
Riesgos ante caída de tefras de Querapi



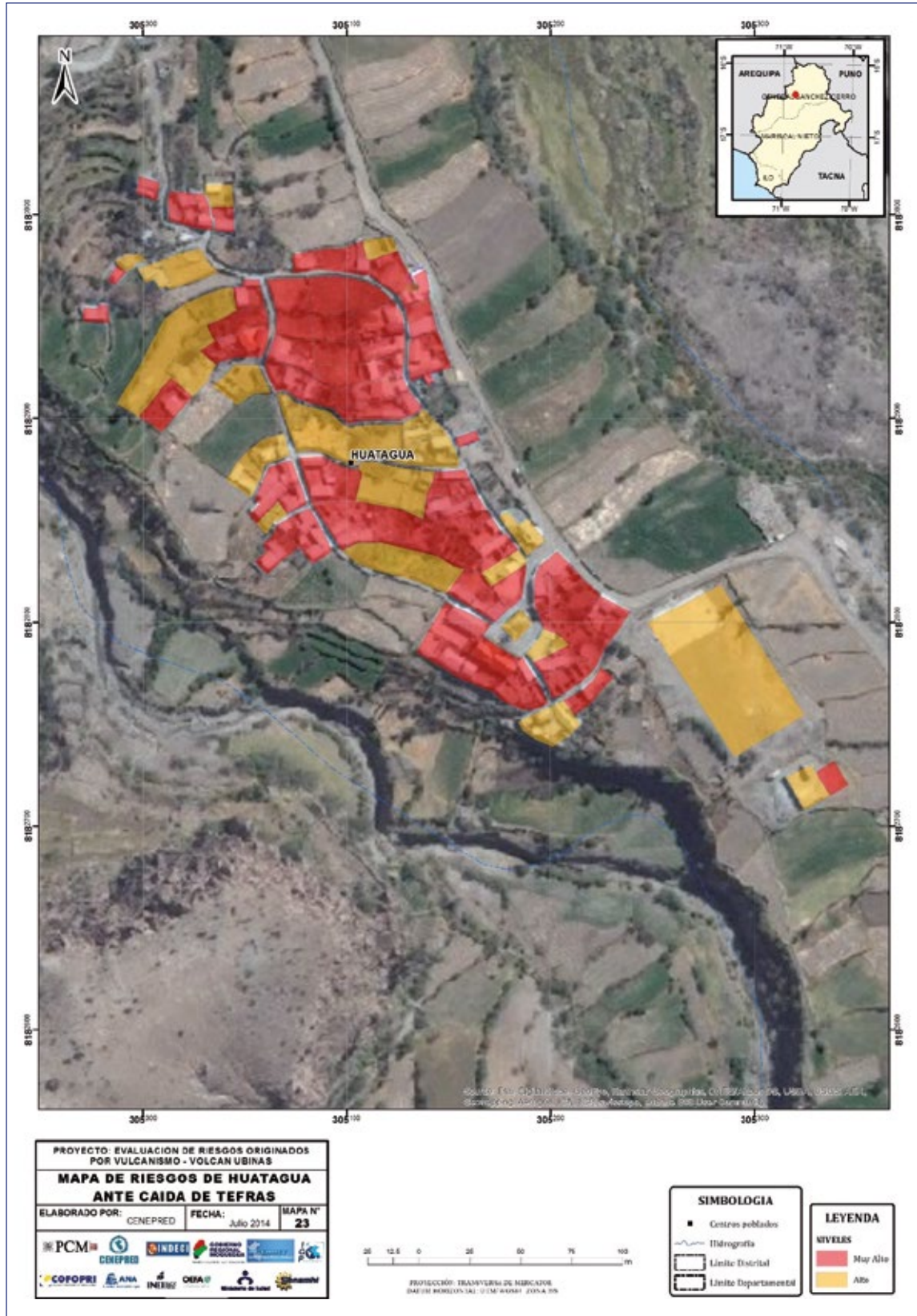
Mapa 15  
Riesgos ante caída de tefras de San Miguel



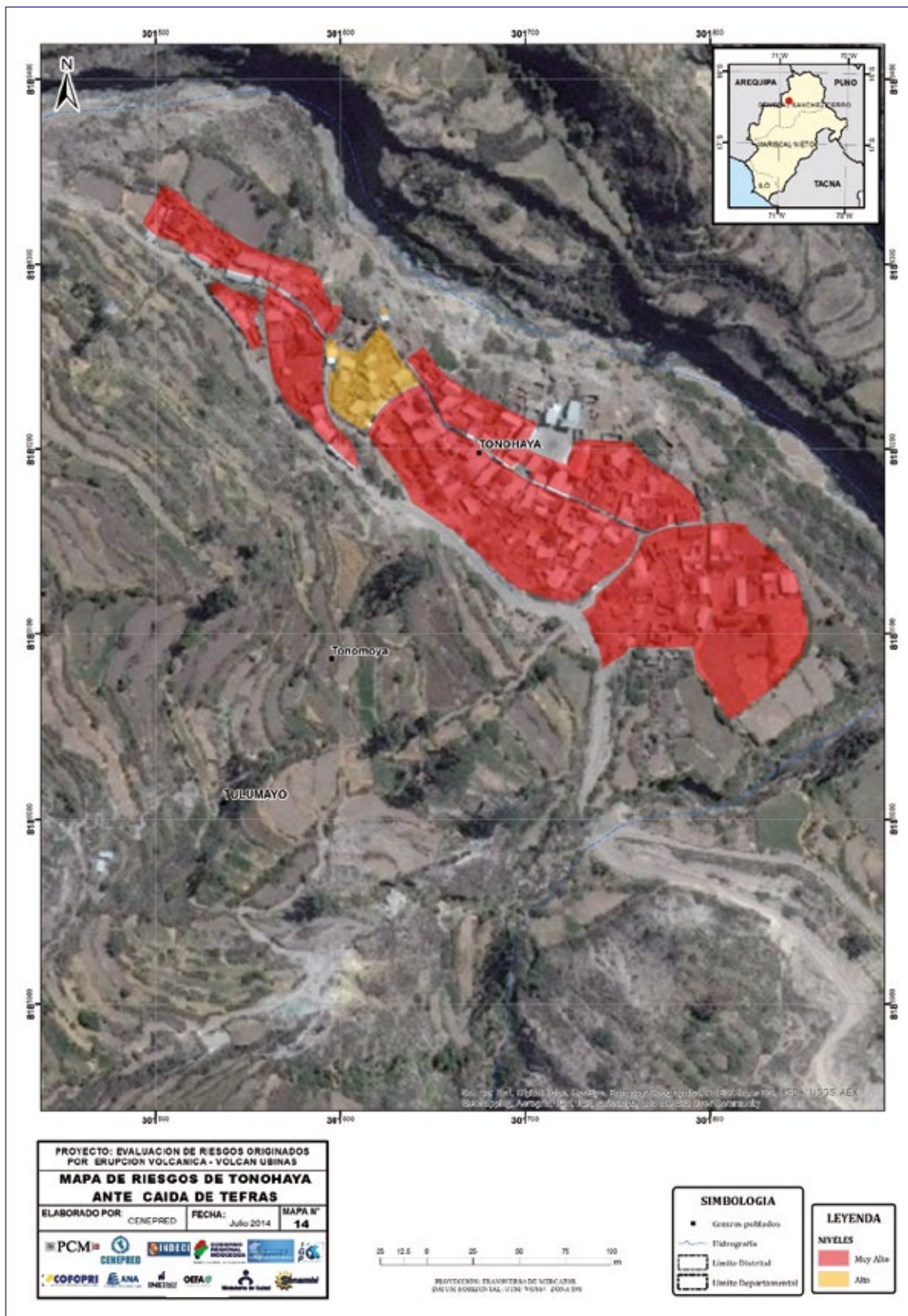




Mapa 16  
Riesgos ante caída de tefras de Huatagua



Mapa 17  
Riesgos ante caída de tefras de Tonohaya







Mapas de riesgos para flujos de lodo o lahares

- Centro poblado Huatagua

Tabla 44  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,067 \leq R \leq 0,207$
Alto	$0,025 \leq R < 0,067$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 45  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,419	0,026	0,065	0,106	0,207
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,067	0,131
	Medio	0,162	0,010	0,025	0,041	0,080
	Bajo	0,100	0,006	0,016	0,025	0,050
			0,061	0,156	0,253	0,495
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
			Vulnerabilidad			

▪ Centro poblado Tonohaya

Tabla 46  
Niveles de riesgos

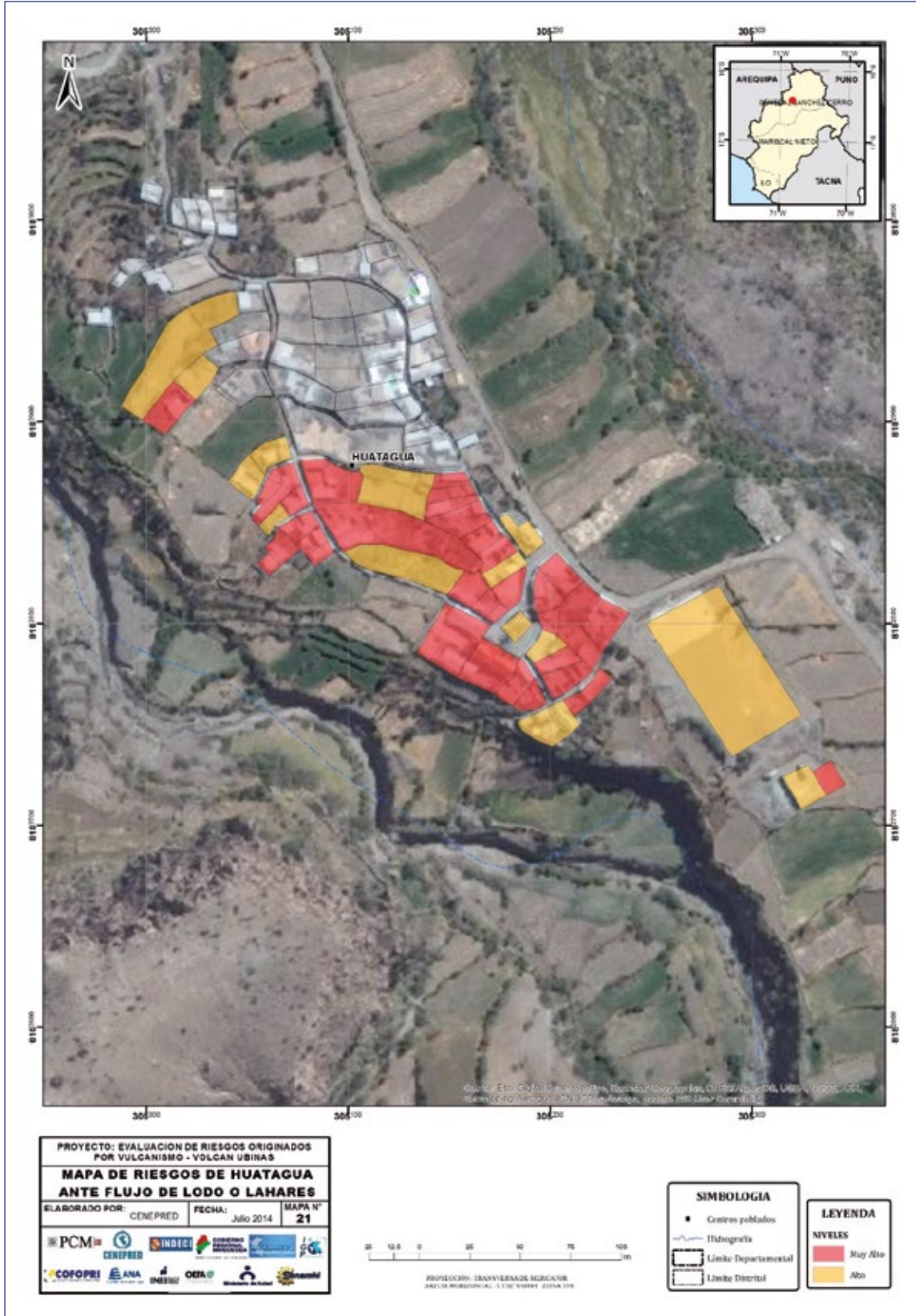
Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,174$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

Tabla 47  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,419	0,041	0,067	0,110	0,174
	Alto	0,264	0,026	0,043	0,069	0,110
	Medio	0,162	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,100	0,010	0,016	0,026	0,042
		0,099	0,161	0,262	0,416	
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				

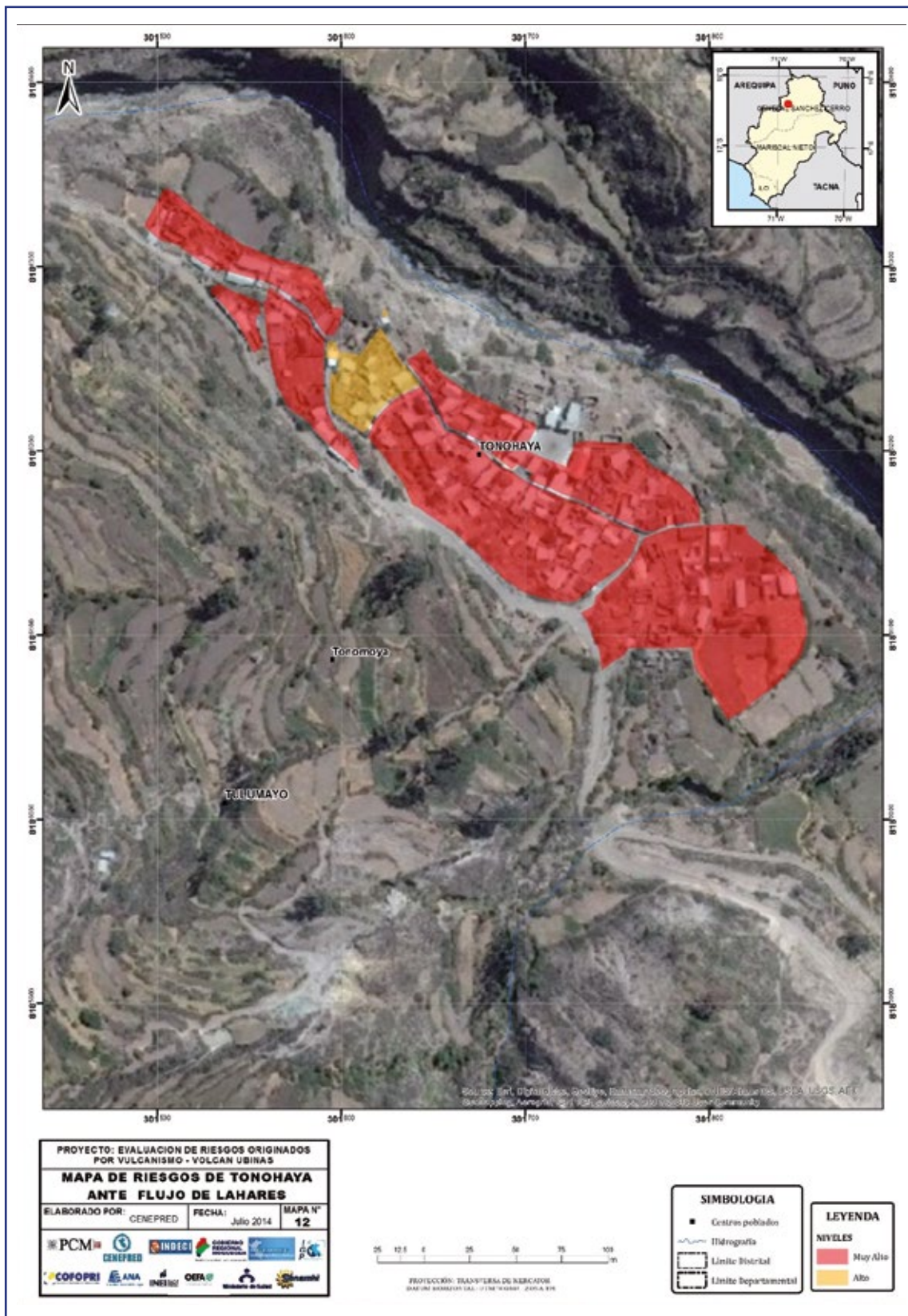


Mapa 18  
Riesgos ante flujos de lodo o lahares de Huatagua





Mapa 19  
Riesgos ante flujos de lodo o lahares de Tonohaya







Mapas de riesgos para flujos piroclásticos

- Centro poblado Querapí

Tabla 48  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,066 \leq R \leq 0,209$
Alto	$0,025 \leq R < 0,066$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 49  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,025	0,065	0,105	0,206
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,066	0,130
	Medio	0,161	0,010	0,025	0,041	0,080
	Bajo	0,099	0,006	0,015	0,025	0,049
			0,061	0,156	0,253	0,495
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
			Vulnerabilidad			

Centro poblado San Miguel

Tabla 50 Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,066 \leq R \leq 0,209$
Alto	$0,025 \leq R < 0,066$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 51 Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,041	0,067	0,109	0,173
	Alto	0,264	0,026	0,042	0,069	0,109
	Medio	0,161	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,099	0,010	0,016	0,026	0,041
		0,099	0,161	0,262	0,416	
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				



▪ **Centro poblado Huatagua**

Tabla 52  
Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,066 \leq R \leq 0,209$
Alto	$0,025 \leq R < 0,066$
Medio	$0,006 \leq R < 0,025$
Bajo	$0,002 \leq R < 0,006$

Tabla 53  
Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,025	0,065	0,105	0,206
	Alto	0,264	0,016	0,041	0,066	0,130
	Medio	0,161	0,010	0,025	0,041	0,080
	Bajo	0,099	0,006	0,015	0,025	0,049
			0,061	0,156	0,253	0,495
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				

Centro poblado Tonohaya

Tabla 54 Niveles de riesgos

Nivel	Rango
Muy alto no mitigable	$0,069 \leq R \leq 0,173$
Alto	$0,026 \leq R < 0,069$
Medio	$0,010 \leq R < 0,026$
Bajo	$0,004 \leq R < 0,010$

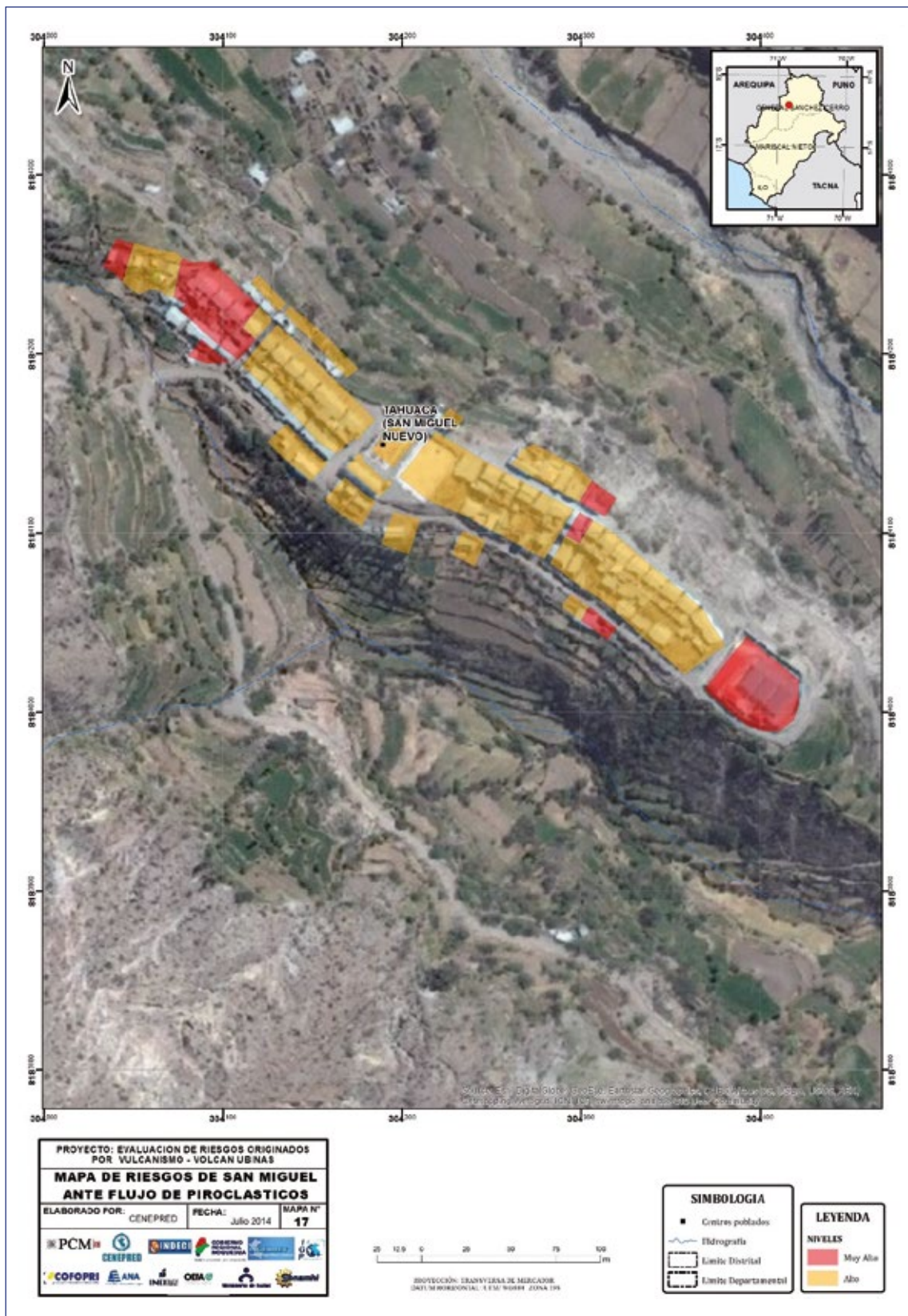
Tabla 55 Matriz de riesgos

Peligrosidad	Muy alto	0,422	0,041	0,067	0,109	0,173
	Alto	0,264	0,026	0,042	0,069	0,109
	Medio	0,161	0,016	0,026	0,042	0,067
	Bajo	0,099	0,010	0,016	0,026	0,041
		0,099	0,161	0,262	0,416	
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
		Vulnerabilidad				





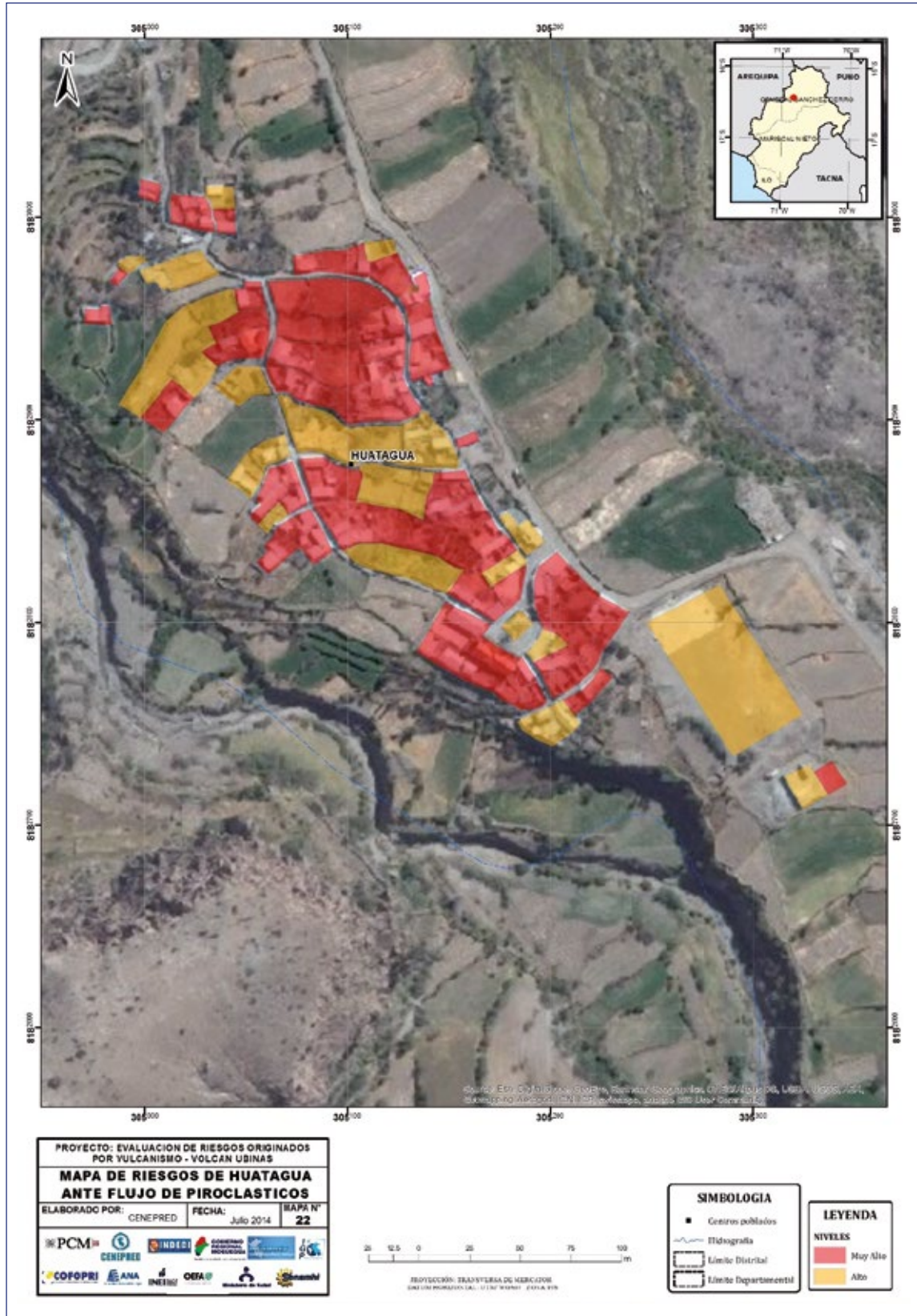
### Mapa 21 Riesgos ante flujos piroclásticos de San Miguel







Mapa 22  
Riesgos ante flujos piroclásticos de Huatagua



Mapa 23  
Riesgos ante flujos piroclásticos de Tonohaya

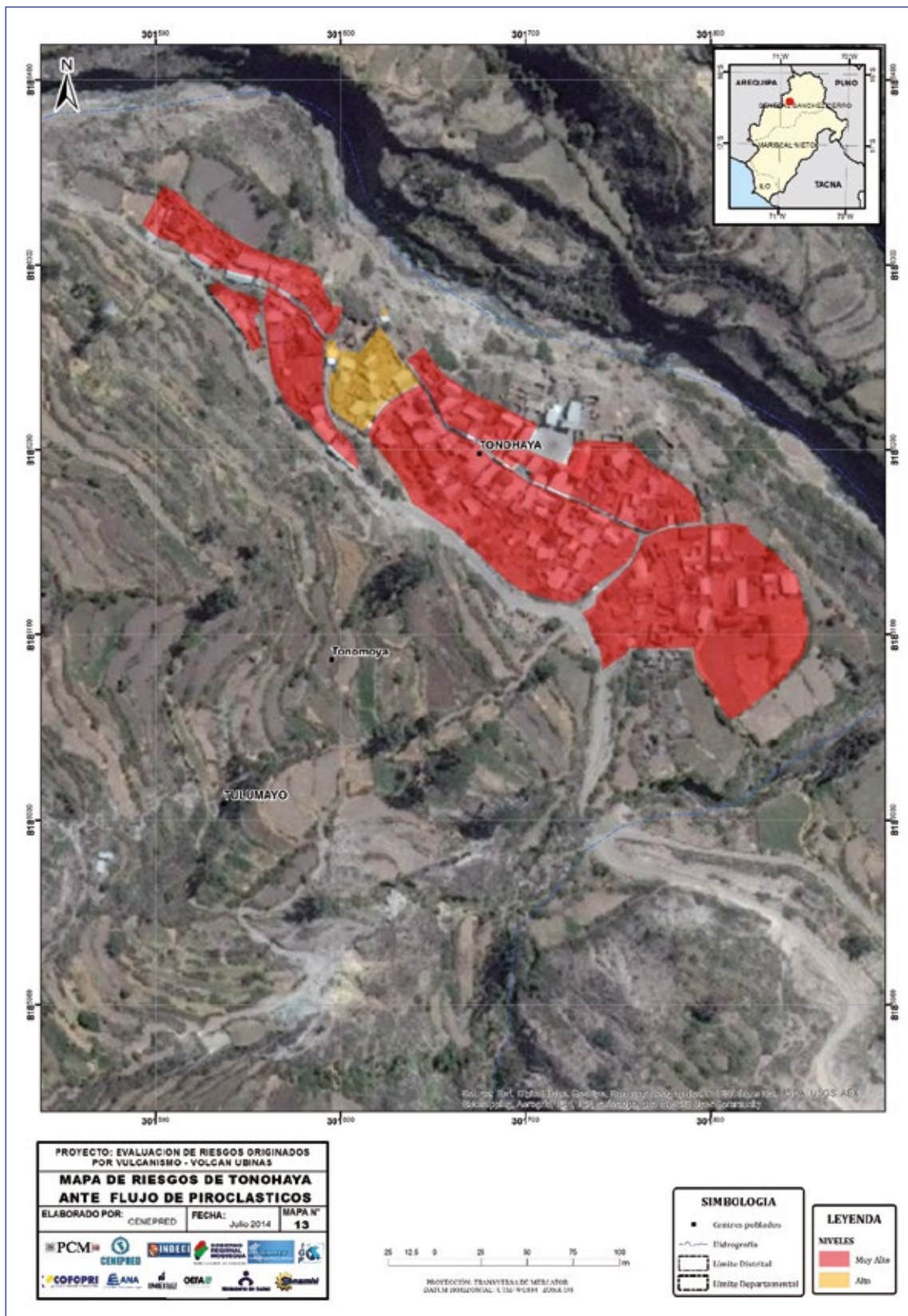






Tabla 56  
Estratificación del riesgo

Estratificación de riesgos	
<b>Muy alto</b>	<p>Para flujos piroclásticos y avalancha de escombros: pendiente de terreno es mayor a 50°. La geomorfología del terreno caracterizada por ser montañosa. La litología corresponde a presencia de depósitos de piroclásticos. La hidrogeología en el terreno está formada por grandes acuitardos. La sismicidad tiene una magnitud mayor a 7. Para caída de tefras: Severamente afectados por caída de ceniza hasta 3 cm de grosor durante una erupción volcánica. Con direcciones de vientos noreste predominantes de abril a noviembre y con direcciones de vientos suroeste predominantes de diciembre a marzo. Vivienda de estera, madera o cartón, estado de construcción: en ruinas; con pozo ciego o sin servicio de desagüe; sin conexión a agua potable, agua procedente de río, acequia, manantial o similar; con habitantes sin conocimiento de gestión de riesgos sin difusión, con actitud fatalista, conformista y con desidia, escasamente previsoras, sin medidas de prevención.</p>
<b>Alto</b>	<p>Para flujos piroclásticos y avalancha de escombros: La pendiente de terreno está entre 35 y 50°. La geomorfología del terreno caracterizada por ser colinas. La litología corresponde a compuestos volcánicos. La hidrogeología en el terreno está formada por acuitardo sedimentario. La sismicidad tiene una magnitud entre 6 a menor a 7. Para caída de tefras: Moderadamente afectados por caída de ceniza de más de 1 cm de grosor durante una erupción volcánica. Con direcciones de vientos noreste predominantes de abril a noviembre y con direcciones de vientos suroeste predominantes de diciembre a marzo. Vivienda de adobe o quincha, estado de construcción: inconclusa, con estado de conservación: malo; con servicio de luz por motor propio, con pozo séptico, con agua de pilón de uso público, con difusión parcial y poco frecuente en gestión del riesgo, parcialmente previsoras sin implementar medidas para prevenir.</p>
<b>Medio</b>	<p>Para flujos piroclásticos y avalancha de escombros: La pendiente de terreno está entre 20 y 35°. La geomorfología del terreno caracterizada por ser altiplanicie. La litología corresponde a intrusivos. La hidrogeología en el terreno está formada por grandes acuitardos. La sismicidad tiene una magnitud entre 5 a menor a 6. Para caída de tefras: Ligeramente afectados por caída de ceniza de menos de 1 cm de grosor durante una erupción volcánica. Con direcciones de vientos noreste predominantes de abril a noviembre y con direcciones de vientos suroeste predominantes de diciembre a marzo. Vivienda de ladrillo, estado de construcción: bueno y en construcción; con servicio de luz fuera de vivienda; con conexión a desagüe fuera de vivienda; con conexión a agua potable fuera de vivienda; con habitantes con conocimiento de gestión de riesgos con difusión masiva y poco frecuente, parcialmente previsoras, con escasas medidas de prevención.</p>
<b>Bajo</b>	<p>Para flujos piroclásticos y avalancha de escombros: La pendiente de terreno está entre 5 y 20°. La geomorfología del terreno caracterizada por ser valle abierto. La litología corresponde a depósitos cuaternarios, bofedales y otros. La hidrogeología en el terreno está formada por acuitardo volcánico y en zona de alteración. La sismicidad tiene una magnitud menor a 4. Para caída de tefras: Ligeramente afectados por caída de ceniza de menos de 1 cm de grosor durante una erupción volcánica. Con direcciones de vientos noreste predominantes de abril a noviembre y con direcciones de vientos suroeste predominantes de diciembre a marzo. Vivienda de concreto, estado de construcción: muy bueno y terminado; con servicio de luz dentro de vivienda; con conexión a desagüe dentro de vivienda; con conexión a agua potable dentro de vivienda; con habitantes con conocimiento de gestión de riesgos por difusión masiva, previsoras, con medidas de prevención.</p>

### 3.4. Cálculo de probables pérdidas económicas ante la ocurrencia del fenómeno de vulcanismo

Las probables pérdidas económicas ante la ocurrencia de una erupción volcánica trascenderían aproximadamente a S/ 30 305 566,47

Tabla 57  
Resumen

Resumen de probables pérdidas económicas por influencia del volcán Ubinas	S/
Área urbana e infraestructura de servicios	1 889 003,05
Área con predios agrícolas y pastizales	1 511 363,42
Vías de comunicación (la mayoría son carreteras afirmadas y sería destruido un limitado número de km)	26 738 400,00
Estaciones de monitoreo	150 000,00
Postes de alumbrado público y cableado	6 800,00
Total	30 305 566,47

# Conclusiones

1. Los centros poblados de Querapi, San Miguel, Huatagua, Tonohaya y demás ubicados en el área de influencia del volcán Ubinas, se encuentran expuestos a los peligros por flujos piroclásticos, flujos de lodos o lahares, caída de tefras y avalancha de escombros, siendo considerados como zonas de muy alto riesgo.
2. De acuerdo con el cálculo de posibles pérdidas económicas y sociales, y la capacidad tecnológica para afrontar el fenómeno de vulcanismo en los centros poblados de Querapi, Huatagua y Tonohaya, no se justifica ninguna inversión en infraestructura de reducción de riesgos en dichas zonas, debiendo dichos centros poblados ser considerados de muy alto riesgo no mitigable.
3. El peligro que se viene manifestando en el área de influencia del volcán Ubinas es la caída de tefras, la cual tiene una muy alta frecuencia de emisión de cenizas volcánicas que por su nivel de acumulación, vienen contaminando el agua, suelo y aire, superando los límites máximos permisibles para la salud humana, sanidad animal y sanidad vegetal.
4. Ante el peligro por flujos de lodos o lahares en el área de influencia del volcán Ubinas, se encuentran expuestos seis centros poblados, aproximadamente 200 habitantes, 90 viviendas, dos instituciones educativas, un centro de salud, 283 249 hectáreas de predios rurales.
5. Ante el peligro por flujos de lava en el área de influencia del volcán Ubinas, no existen centros poblados expuestos ni actividades sociales, ni económicas, debido a que la lava discurriría por zonas no habitadas; solamente estarían expuestas dos estaciones de monitoreo vulcanológico del Instituto Geofísico del Perú y dos estaciones del INGEMMET.
6. Las vías de comunicación expuestas a los fenómenos de flujos piroclásticos, flujos de lodos o lahares, caída de tefras y avalancha de escombros constituyen aproximadamente 191,32 km: 64,72 km de carreteras afirmadas, 59,88 km de carreteras no afirmadas y 66,72 km de trochas.
7. Se calcula que las posibles pérdidas de los elementos expuestos (instituciones educativas, puestos de salud, viviendas, vías de comunicación, predios rurales, estaciones de monitoreo, entre otros), ubicados dentro del área de influencia del volcán Ubinas, llegarían al monto aproximado de S/ 30 305 566,47.

# Recomendaciones

- El Gobierno Regional de Moquegua, en coordinación con la Municipalidad Provincial de General Sánchez Cerro y las municipalidades distritales de Ubinas y Matalaque, deberán reasentar progresivamente a los centros poblados de Querapi, Tonohaya y Huatahua ubicados en zonas de muy alto riesgo no mitigable ante el fenómeno de vulcanismo, debiendo aplicarse la Ley N° 29869, Ley de reasentamiento poblacional para zonas de muy alto riesgo no mitigable y su reglamento.
- El INGEMMET, IGP y SENAMHI deberán continuar con el monitoreo de la actividad volcánica de manera permanente del volcán Ubinas con relación a los peligros asociados ante el fenómeno de vulcanismo, con la finalidad de informar oportunamente a las autoridades encargadas de la gestión de riesgo a nivel regional y local, las cuales deberán comunicar a las poblaciones expuestas al fenómeno de vulcanismo.
- El Gobierno Regional de Moquegua, en coordinación con los gobiernos locales y con la asistencia técnica del CENEPRED, deberán realizar de manera prioritaria estudios y/o informes de evaluación de riesgos ante el fenómeno de vulcanismo a los centros poblados de: Escacha, Sacohaya, Anascapa, Ubinas, Huarina y Matalaque, dado que se encuentran en el área de influencia del volcán Ubinas con un nivel muy alto de peligrosidad al fenómeno de vulcanismo, aplicando la metodología desarrollada en el presente informe.
- El INGEMMET, IGP, SENAMHI y las entidades involucradas en la generación de información, deberán realizar estudios, muestreos y levantamiento de información a detalle en los centros poblados indicados en el párrafo anterior, lo cual permitirá: reducir el porcentaje de incertidumbre para futuros estudios, determinar sus respectivos niveles de riesgo y propiciar una adecuada toma de decisiones.
- El ANA, OEFA, DIGESA, SENASA, MINAGRI y el Ministerio de Salud deberán continuar con el análisis de concentraciones químicas de elementos químicos peligrosos en agua, material particulado y gases tóxicos en aire por influencia de las cenizas volcánicas; asimismo, deberán realizar investigación científica sobre el efecto acumulativo de ingestión de elementos químicos y material particulado PM10 en el ser humano, así como en la sanidad animal y vegetal, dentro del área de influencia del volcán Ubinas.



# Referencias bibliográficas

- **ADAMS, N.K.; DE SILVA, S.L.; SELF, S.; SALAS, G.; SCHUBRING, S.; PERMENTER, J.L.; ARBESMAN, K. (2001).** The physical volcanology of the 1600 eruption of Huaynaputina, southern Peru. *Bulletin of Volcanology* 62, 8, 493-518.
- **BRANTLEY, S.; SCOTT, W. (1993).** The Danger of Collapsing Lava Domes: Lessons fir Mount Hood, Oregon. *Earthquakes and Volcanoes*, volume 24, number 6, U.S. Geological Survey, pp. 240-269.
- **BRANTLEY, S.; GLICKEN, H. (1986).** Volcanic Debris Avalanches. *Earthquakes & Volcanoes*, v. 18, n. 5, pp. 195-206.
- **CAREY, S.; SPARKS, R.S.J. (1986).** Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruptions columns: *Bulletin of Volcanology*, v. 48, pp. 109-126.
- **CAS, R.; WRIGHT, J. (1987).** Volcanic sucesions, modern and ancient, Allen & Unwin, London, 528 pp.
- **CRANDELL, D.R. (1988).** Deposits of pre-1980 pyroclastic flow and lahars from Mount St. Helens, Washigton, U.S. Geol. Serv. Prof. Paper 1444, 91 pp.
- **DECKER, R.; DECKER, B. (1989).** Volcanoes; (revised and updated edition). W.H. Freeman and Company, 285 pp.
- **FRANCIS P.W. (1993).** Volcanoes a Planetary Perspective, Oxford University Press Inc.; New York, 443 pp.
- **GLICKEN, H. (1996).** Rockslide-Debris Avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington. USGS Open-File Report, pp. 96-677.
- **HAYASHI, J.; SELF, S. (1992).** A comparison of pyroclastic flow and debris avalanche mobility. *Journal of Geophysical Research*, 97, pp. 9063-9071.
- **HOBLITT, R.; WALDER, J.; DRIEDGER, C.; SCOTT, K.; PRINGLE, P.; VALLANCE, J. (1995).** Volcano Hazards from Mount Rainier, Washington: U.S.G.S. Open-File Report 95-273.
- **IVERSON, R.M.; SCHILLING, S.P.; VALLANCE, J.W. (1998).** Objective delineation of lahar-inundation hazard zones: *Geological Society of America Bulletin* 110, 8, 972-984.
- **MALIN, M.C.; SHERIDAN, M.F. (1982).** Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science* 217, 637-640.
- **MARIÑO, J.; RIVERA, M.; MACEDO, O.; MASÍAS, P.; ANTAYHUA, Y.; THOURET, J.C. (2012).** Gestión de la crisis eruptiva del volcán Ubinas, 2006-2008. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 45, 188 pp.

- **MILLER, C. (1989).** Potencial Hazards From Future Volcanic Eruptions in California. U.S. Geological Survey Bulletin: 1847, United States, 17 pp.
- **MORRISEY, M.M.; MASTIN, L.G. (2000).** Vulcanian eruptions. In Sigurdsson, H. et al., (eds) Encyclopedia of volcanoes. Academic Press, San Diego, pp. 463-475.
- **NARANJO, J.; SIGURDSSON, H.; CAREY, S.; FRITZ, W. (1986).** Eruption of the Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, on 13 November 1985: Tephra Fall and Lahars, Science, vol. 233, pp. 961-963.
- **RIVERA, M.; THOURET, J.C.; GOURGAUD, A. (1998).** Ubinas, el volcán más activo del sur del Perú desde 1550: Geología y evaluación de las amenazas volcánicas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 88; 53-71.
- **RIVERA, M.; THOURET, J.C.; MARINO, J.; BEROLATTI, R.; FUENTES, J. (2010).** Characteristics and management of the 2006-2008 volcanic crisis at the Ubinas volcano (Peru). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 198, 19-34.
- **RIVERA, M. (2010).** Genèse et évolution des magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (Sud du Pérou). Thèse Docteur, Université Blaise Pascal-Clermont Ferrand II, 407 pp.
- **SAATY, T. L. (1980).** The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- **SCHILLING, S. (1998).** LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.
- **SCOTT, W. (1989).** Volcanic-hazards zonation and long-term forecasts and volcanic and related hazards. Compiled by Tilling, 1989, Volcanic Hazard-Short Course in Geology: 28 th International Geological Congress, Washigton D.C. pp. 9-49.
- **SIEBERT, L.; HARRY G.; TADALIDE U. (1987).** Volcanic hazards from Bezymianny and Bandai-type eruptions, Bull. Volcal., 49 pp. 435-459.
- **SIMKIM, T.; SIEBERT, L. (1994).** Volcanoes of the World-A Regional Directory, Gazeteer and chronology of volcanism during the last 10,000 year. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Washington D.C.
- **THOURET, J.-C.; DÁVILA, J.; EISSEN, J.P. (1999).** Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano. A.D. 1600, southern Peru, Geology, v. 27. pp. 435-438.
- **THOURET, J.-C.; FINIZOLA, A.; FORNARI, M.; LEGELEY-PADOVANI, A.; FRECHEN, M. (2001).** Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru: Geological Society of America Bulletin, v. 113, n. 12, pp. 1593-1610.

- **THOURET, J.-C.; JUVIGNE, E.; MARIÑO, J.; MOSCOL, M.; LOUTSCH, I.; DÁVILA, J.; LEGELYE-PADOVANI, A.; LAMADON, S.; RIVERA, M. (2002).** Late Pleistocene and Holocene Tephro-Stratigraphy and Chronology in Southern Peru. *Bol. Soc. Geol. Peru* v. 93, 45-61.
- **THOURET, J.-C.; RIVERA, M.; WORNER, G.; GERBE, M.; FINIZOLA, A.; FORNARI, M.; GONZALES, K. (2005).** Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. *Bulletin of Volcanology* 67; 557-589.
- **TILLING, R.; BEATE, B. (1993).** Los peligros volcánicos. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos (WOVO). California, USA.
- **WALKER, G. (1971).** Grain-size characteristics of pyroclastic deposits: *Jour. Geology*, v. 79, p. 696714.

# Glosario

- **BLOQUES O BOMBAS.** Fragmentos de lava de tamaño superior a 64 mm, arrojados por una erupción volcánica.
- **CALDERA.** Gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, cuyo diámetro puede tener decenas de kilómetros, formada por grandes erupciones volcánicas.
- **CÁMARA MAGMÁTICA.** Es la zona donde se produce y almacena el magma y que posteriormente es expulsado a la superficie. La cámara magmática se comunica con el cráter del volcán a través de un conducto conocido como chimenea.
- **CENIZA VOLCÁNICA.** Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 mm expulsados a la atmósfera durante erupciones explosivas.
- **COLUMNA ERUPTIVA.** Se forma durante las erupciones explosivas. Está constituida por grandes cantidades de gases calientes, ceniza, fragmentos líticos, pómez (o escoria), de distintos tamaños.
- **CRÁTER.** Abertura situada en la superficie terrestre, por donde el volcán expulsa los materiales volcánicos durante una erupción. Normalmente posee forma circular, con un diámetro de menos de 2 km.
- **ERUPCIÓN EXPLOSIVA.** Se produce cuando el magma que asciende a la superficie acumula más presión de la que puede liberar. Las burbujas en su interior crecen, el magma se fragmenta y los productos volcánicos son expulsados violentamente. Estas erupciones son frecuentes en volcanes con alto contenido de gases, o cuando se produce una interacción del magma con agua meteórica.
- **ERUPCIÓN VOLCÁNICA.** Es el producto del ascenso del magma y su posterior expulsión sobre la superficie de la tierra. Los materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.
- **FUMAROLA.** Emanación de gases y vapor de agua, generalmente a altas temperaturas, que sale de fracturas o grietas de la superficie de un volcán. La mayor parte de los gases emitidos son vapor de agua; sin embargo, se encuentran otros gases como CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, HCl, etc.
- **ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV).** Es una escala para describir el tamaño de las erupciones volcánicas y se basa, entre otros factores, en el volumen de material emitido y la altura de la columna eruptiva. La escala IEV varía entre 0 y 8. Una erupción con un IEV de 0 denota una erupción no explosiva, sin importar el volumen de productos emitidos. Las erupciones con un IEV de 5 o más son consideradas "muy grandes" y ocurren raramente alrededor del planeta (aproximadamente una erupción cada década). La erupción del volcán Ubinas entre los años 2006 y 2008 tuvo un IEV 2.
- **LAPILLI.** Fragmento de roca volcánica de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, emitido durante una erupción explosiva.
- **LLUVIA ÁCIDA.** Mezcla del agua atmosférica con gases magmáticos emitidos durante una erupción volcánica. Estos gases forman ácidos fuertemente corrosivos que caen a la superficie en forma de lluvia.



- **MAGMA.** Roca fundida, en estado líquido o parcialmente líquido en el interior de la tierra. Los magmas generalmente se forman a profundidades mayores a los 60 km, tienen temperaturas entre 500 y 1 200 °C y tienen componentes en estado sólido, líquido y gaseoso. Cuando el magma llega a la superficie y se solidifica, da origen a las rocas volcánicas. Los magmas pueden también enfriarse y solidificarse en el interior de la tierra dando origen a las rocas plutónicas.
- **MONITOREO GEODÉSICO.** Consiste en registrar y conocer los procesos de deformación del edificio volcánico. En un volcán, cuando el magma asciende, ejerce una presión desde el interior sobre el edificio volcánico causando su deformación. Para poder cuantificar dicha deformación se utilizan instrumentos de medición adecuados
- **(GPS, EDM, Estación Total, etc.)** que miden variaciones en parámetros tales como longitud, ángulos, elevaciones y coordenadas alrededor del volcán.
- **MONITOREO GEOQUÍMICO.** Consiste en registrar y conocer las variaciones de la composición química y de los parámetros físico-químicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica) de las fuentes de agua y fumarolas asociadas a un determinado volcán. Dichas variaciones podrían indicar un incremento de la actividad volcánica y pueden ser precursores de una erupción volcánica.
- **MONITOREO SÍSMICO.** Consiste en registrar y conocer la dinámica del volcán a partir de los diferentes tipos de sismos asociados al fracturamiento de rocas (volcano tectónicos), ascenso, acumulación y traslado de magma, gases y agua (largo periodo, tremor, explosión) que ocurren en el interior del edificio volcánico. El monitoreo sísmico se realiza mediante la instalación de sismómetros sobre y alrededor del edificio volcánico. El incremento y/o disminución de los sismos volcánicos, la forma de su registro y su frecuencia, podrían ser premonitores de una probable actividad eruptiva.
- **MONITOREO VISUAL.** Este tipo de monitoreo es directo y se realiza utilizando videocámaras, binoculares y cámaras fotográficas. Permiten registrar la hora y magnitud cualitativa de las explosiones volcánicas, inicio y duración de las emisiones, altura y dirección de dispersión de la columna eruptiva, entre otros parámetros.
- **MONITOREO VOLCÁNICO.** Implementación de técnicas geofísicas, geoquímicas y geodésicas, de forma continua y permanente, que tienen como objetivo detectar oportunamente condiciones anómalas precursoras de un proceso eruptivo, a partir del cual se pueden emitir las alertas tempranas correspondientes, lo que permitirá a la sociedad implementar con antelación planes de evacuación y reducir el impacto negativo de una erupción.
- **PELIGRO O AMENAZA VOLCÁNICA.** Se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica pueda presentarse en un área o región particular del entorno del volcán, en un intervalo de tiempo dado y que puede causar destrucción o daño.
- **PELIGRO POR AVALANCHAS DE ESCOMBROS.** Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte voluminosa de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia. Bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentran a su paso.

- **PELIGRO POR FLUJOS DE BARRO O LAHARES.** Los flujos de barro son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizadas por el agua, que fluyen rápidamente (20-60 km/h). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica.

El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve. Estos flujos viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces. El área afectada depende del volumen de agua y de los materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo a su paso y pueden alcanzar grandes distancias, incluso mayores a 200 km.

- **PELIGRO POR FLUJOS DE LAVA.** Los flujos de lava son corrientes de roca fundida que son expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros, pero en los volcanes peruanos normalmente se enfrían en la zona del cráter (domos) o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen todo a su paso, sin embargo, no representan un peligro alto para las personas debido a su baja velocidad.
- **PELIGRO POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS.** Los flujos piroclásticos son masas calientes (300 °C a 800 °C) conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a ras de la superficie y a grandes velocidades, entre 200 y 300 m/s. Poseen normalmente una parte inferior densa, que se encauza y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y otra superior, menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza que con facilidad salen del valle, sobrepasan relieves importantes y afectan una mayor área. Estos flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso.
- **PELIGRO POR GASES VOLCÁNICOS.** Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua; pero también dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor. Estos gases se diluyen y dispersan rápidamente, sin embargo, pueden alcanzar concentraciones altas en las zonas bajas o depresiones muy cercanas al volcán, donde pueden generar intoxicación y muerte de personas y animales. Los gases también pueden condensarse y adherirse a partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que generan corrosión, daños en los cultivos, así como contaminación de aguas y suelos.
- **PELIGRO POR LLUVIAS DE CENIZA Y PIEDRA PÓMEZ.** Las lluvias de ceniza y piedra pómez se generan cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera violentamente, formando una columna eruptiva alta y que posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán, mientras que las partículas de menor tamaño son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros y centímetros de espesor. Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, causar el colapso de los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros.
- **PIEDRA PÓMEZ.** Roca volcánica de color claro, llena de cavidades que la hacen muy poco densa. Generalmente tiene una composición dacítica a riolítica. Las cavidades se forman por la expansión de los gases volcánicos durante la salida hacia la superficie.

- **PIROCLASTOS.** Fragmentos de roca volcánica fracturada emitidos durante una erupción explosiva. Incluyen piedra pómez, ceniza, escoria y otros fragmentos de roca.
- **SISMÓGRAFO.** Instrumento que sirve para registrar el movimiento del suelo producido por un sismo. El registro obtenido se denomina sismograma.
- **SISMOS ASOCIADOS A EXPLOSIONES.** En ellos se distingue una entrada de la onda primaria y una amplitud máxima asociada a la onda sonora.
- **SISMOS HÍBRIDOS.** Son una combinación entre un LP y un VT.
- **SISMOS LARGO PERIODO (LP).** Llamados también de baja frecuencia, originados a poca profundidad, mayormente menores a 1 km. Se encuentran asociados a procesos de desgasificación del magma.
- **SISMOS VOLCANOTECTÓNICOS (VT).** Poseen características similares a las de origen tectónico. Tienen frecuencias altas, se pueden diferenciar las fases de la onda primaria (P) y la secundaria (S). Son sismos asociados a rompimiento de rocas o apertura de grietas.
- **SISMOS VOLCÁNICOS.** Sacudidas de la superficie terrestre originadas por el paso de los fluidos dentro del edificio volcánico.
- **SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA.** Conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por un peligro se preparen y respondan de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.
- **TEFRA.** Término general que comprende cualquier material sólido emitido durante una erupción volcánica explosiva. Puede ser ceniza, lapilli, bloques y bombas volcánicas, piedra pómez, escoria, entre otros.
- **TREMOR VOLCÁNICO.** Señal sísmica continua y rítmica que generalmente precede o acompaña a las erupciones volcánicas. El tremor volcánico está asociado al movimiento de magma o de otros fluidos magmáticos.
- **VISCOSIDAD.** Medida de la resistencia de un material a fluir en respuesta a un esfuerzo. Mientras más alto sea el contenido de sílice en las lavas, más alta es su viscosidad.
- **VOLCÁN.** Lugar situado sobre la superficie terrestre por donde se produce una expulsión de material magmático, total o parcialmente fundido, formando una acumulación que por lo general toma una forma aproximadamente cónica alrededor del punto de salida. Con el tiempo y a causa de repetidas erupciones, dichas acumulaciones rocosas pueden volverse muy grandes y formar diversos tipos de montañas, también conocidas como volcanes o edificios volcánicos. Por ejemplo, el Misti, el Ubinas y el Chachani.
- **VOLCÁN ACTIVO.** Un volcán se considera activo si ha tenido por lo menos una erupción durante el tiempo histórico (últimos 500 o 600 años), o incluso durante el Holoceno (últimos 10 mil años). Debido a que los procesos volcánicos se dan en la escala del tiempo geológico, el potencial de producir nuevas erupciones es alto.



## Evaluación de riesgo por inundaciones asociadas al fenómeno “El Niño” 1997-1998 de categoría extraordinaria en la cuenca del río Chira

### Introducción

Este informe presenta los resultados de la evaluación de riesgo por inundaciones asociadas al fenómeno “El Niño” 1997-1998 de categoría extraordinaria en la zona baja de la cuenca del río Chira. Para su realización se ha contado con los valiosos aportes técnicos especializados del Comité Multisectorial encargado del Estudio del fenómeno “El Niño” (ENFEN) en lo referido a la caracterización física del Fenómeno El Niño y del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en la elaboración del mapa de peligrosidad por inundación asociada al evento evaluado; contribuciones que serán incorporadas a la metodología del CENEPRED para la evaluación del riesgo por inundaciones en la cuenca del río Chira.

Los trabajos para la obtención de los mapas de riesgo por fenómeno “El Niño” se enfocan de manera especial en el evento “El Niño” de los años 1997-1998, clasificado como El Niño costero extraordinario según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), establecido por el Comité ENFEN. El evento produjo intensas lluvias en la costa norte de Perú, incluyendo la zona baja y media de la cuenca del río Chira, en Piura, sobre la que se focaliza el presente estudio.

Debido a que los eventos “El Niño” costero extraordinarios de 1982-83 y 1997-98 han presentado diferencias sustanciales en su desarrollo, así como en sus impactos hidrológicos, incluso a nivel de las sub-cuencas del Chira, el presente escenario servirá como una referencia valiosa para su conocimiento y sobre todo, en la prevención de desastres asociados a este tipo de eventos.

El proceso de elaboración del presente informe tuvo como marco de desarrollo el cumplimiento de funciones del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) establecidas en la Ley N° 29664 Ley del SINAGERD y el Oficio N° 160-2014/VPD/EGE/CDS-UNASUR, donde se participa en los compromisos asumidos como país, coordinando y asesorando técnicamente a la delegación peruana de CDS-UNASUR para la obtención de los mapas de riesgos, compromisos firmados en el acta del Tercer Taller de la Actividad 2.a correspondiendo a Perú desarrollar los mapas de riesgos referidos a erupciones volcánicas y fenómeno “El Niño”.





## 1. Aspectos generales

### 1.1. Objetivo

Identificar los niveles de peligrosidad por inundación asociado a un fenómeno “El Niño” costero de categoría extraordinaria en la cuenca del río Chira, del departamento de Piura, tomando como referencia el evento de 1997-1998.

### 1.2. Justificación

“El Niño” es un fenómeno recurrente y aperiódico. Los eventos “El Niño” extraordinarios, que afectan severamente la costa norte peruana, se asocian a procesos físicos particulares que hacen incierta la estimación de su periodo de recurrencia (Takahashi *et al.*, 2011; Takahashi y Dewitte, 2015), aunque existen indicaciones de que este fenómeno podría presentarse con mayor frecuencia debido al cambio climático (Cai *et al.*; 2014).

Una de las regiones más impactadas por el evento El Niño ha sido Piura, en especial la cuenca baja del río Chira, donde se concentran poblaciones importantes, y los valles de San Lorenzo y el Chira, zonas productoras y exportadoras con rendimientos altos de producción agrícola. Los movimientos en masa son considerados como una de las causas más comunes de la ocurrencia de desastres dentro de los límites de la cuenca del río Chira, afectando poblaciones, vías de comunicación, infraestructura hidráulica, entre otros, y generando altos costos de recuperación de las zonas afectadas, además de las pérdidas económicas y comerciales que afectan al país por ser la región norte una de las despensas agrícolas a nivel nacional (Vilchez *et al.*, 2006).

Por ello, es importante estimar los riesgos ante los procesos activados por el fenómeno El Niño extraordinario en la cuenca del río Chira, porque de esta manera las autoridades regionales y locales podrán implementar acciones que permitan prevenir y reducir las pérdidas económicas y humanas asociadas a este tipo de eventos.

281

### 1.3. Antecedentes

La costa peruana se caracteriza por presentar tierras áridas, registrándose precipitaciones que fluctúan de 100 a 150 mm/año, en promedio. El régimen de las lluvias se altera cada cierto tiempo, desde hace 7 000 años, trayendo consigo excesos de lluvia que provocan anomalías de hasta 7 000% al año. Esta anomalía es causada por el fenómeno El Niño, que trastoca totalmente el escenario hídrico de las tierras secas de la costa norte del Perú (4°S – 7°S) (Torres, G. y Gonzales, 2000).

Se denomina fenómeno El Niño a la presencia de aguas anormalmente cálidas (más de 0,5 °C por encima de lo normal) en la costa occidental de Suramérica por un periodo mayor a tres meses consecutivos. Actualmente es considerado como un evento ocasional, irregular, aperiódico y de grandes repercusiones socioeconómicas en el mundo. Se presenta con variada intensidad, siendo los episodios de 1982-1983 y 1997-1998 los de mayor impacto en el siglo XX. En otras ocasiones ocurre el fenómeno opuesto.

Los vientos alisios del sur se intensifican frente a las costas suramericanas y provocan un mayor afloramiento de aguas frías, las cuales cubren la superficie del Pacífico desde Suramérica hasta un poco más allá del centro del océano. Por sus características contrarias a El Niño, este fenómeno es conocido como “La Niña”. Se destacan los episodios de 1988-1989 y 1998-2000 por su intensidad, duración y efecto climático (Díaz *et al.*, 2014).

Las primeras publicaciones científicas sobre El Niño parecen haberse dado en Perú a fines del siglo pasado, refiriéndose a la “Corriente de El Niño” como un fenómeno anual que se produce

en las costas del norte de Perú y sur de Ecuador. Los marinos peruanos, desde el puerto de Paita, al norte del Perú, quienes frecuentemente navegaban a lo largo de la costa en pequeñas embarcaciones, ya fuera al norte o al sur de Paita, nombraron a esta corriente El Niño, sin duda debido a que es la más notable y sentida después de Navidad (Carrillo, 1892).

El geógrafo peruano Pezet (1895) sostenía: “la existencia de esta contracorriente ‘El Niño’ es un hecho conocido y lo que se desea ahora es que se emprendan estudios apropiados y definitivos, investigaciones y observaciones con el fin de llegar al fondo de esta interrogante y para descubrir todo lo referente a esta contracorriente y a la influencia que pareciera ejercer en las regiones donde su acción se siente con mayor intensidad” (Pezet, 1895, citado por Glantz, 1996).

Hoy, el término “Fenómeno El Niño” se refiere al evento anómalo y no al anual. Fue así que a partir de 1960 los avances científicos permitieron conocer que El Niño puede manifestarse en todo el Pacífico tropical, y entonces se empezó a hablar del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés; por ej. Enfield, 1987). Por otro lado, también se reconoció que la relación entre El Niño y la Oscilación del Sur no es necesariamente estrecha y que hay eventos El Niño que ocurren sin necesidad de la contraparte atmosférica (Dezer y Wallace, 1987). En la actualidad, la comunidad científica especializada reconoce la existencia de varios tipos de eventos El Niño (Capotondi *et al.*, 2014), caracterizados en primera aproximación por donde se observa el calentamiento superficial, de manera que en algunos de estos nuevos tipos de El Niño no se observa en la costa de Perú (por ej. Takahashi *et al.*, 2011).

Entre los años ochenta y noventa se produjeron avances sustanciales en la teoría básica del fenómeno ENSO (Neelin *et al.* 1998), los cuales integraron la física de la atmósfera y el océano en el Pacífico ecuatorial. En particular, la respuesta atmosférica al calentamiento superficial en el océano Pacífico ecuatorial se caracteriza por el debilitamiento de los vientos del este (fase negativa de la Oscilación Sur), lo cual resulta en ondas Kelvin que luego producen el calentamiento en el Pacífico oriental, pero a su vez resulta en ondas Rossby oceánicas que producen enfriamiento, meses después. Esto lleva al sistema de regreso a su estado inicial. Sin embargo, en la última década se han identificado otros mecanismos relevantes al fenómeno, por lo cual no se cuenta aún con un modelo teórico que incluya todas las posibilidades.

Se le confiere la categoría de “El Niño extraordinario” con base en características robustas que permiten su estudio de forma separada, particularmente en el calentamiento desproporcionadamente alto en el Pacífico oriental que estaría asociado a un proceso de retroalimentación amplificado gracias a la activación de la convección atmosférica en esta región normalmente árida (Takahashi y Dewitte, 2015). Además de altas temperaturas y lluvias, El Niño extraordinario también se asocia a un aumento en el nivel del mar. Por ejemplo, en el evento de 1982-1983, las anomalías mensuales excedieron los 40 cm. (Wyrтки, 1985), produciendo grandes daños en todos los puertos norteños y en el balneario de Colán.

Estos cambios en la temperatura del mar también influyen en la profundidad de las aguas oceánicas frías y con nutrientes, así como en su salinidad, alterando las condiciones ambientales del ecosistema marino. Los cambios en la circulación atmosférica alteran el clima global, con lo que se afectan la agricultura, los recursos hídricos y otras actividades económicas importantes en extensas áreas del planeta (Figura 1).

En Perú, para el monitoreo de El Niño, el comité ENFEN estableció el índice costero El Niño (ICEN, ENFEN, 2012), el cual le permite establecer la presencia de El Niño y La Niña en la costa peruana, así como las magnitudes de los eventos. Este índice se basa en la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región denominada 1+2 (90° W-80° W, 10° S-Ec.). Además, recientemente el ENFEN ha implementado el sistema de alerta (ENFEN, 2014) que le permite advertir oportuna y oficialmente en caso de que haya probabilidades de ocurrencia de El Niño o La Niña costeros sin tener que esperar a que el criterio basado en el ICEN se haya cumplido.

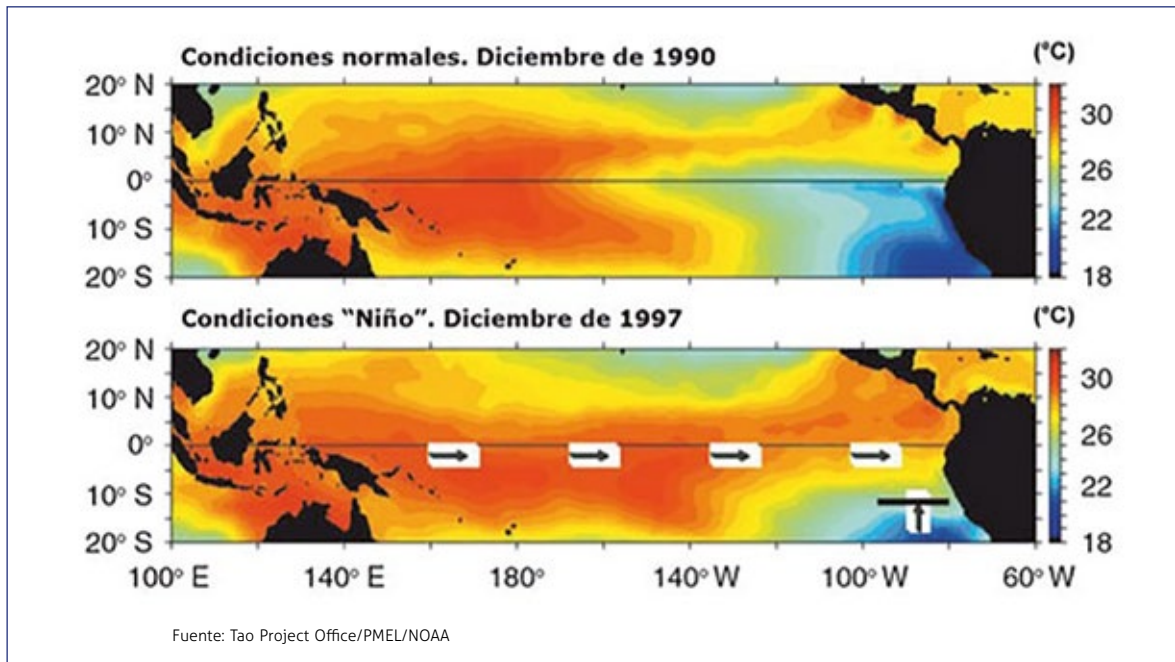


Figura 1: Temperatura superficial del mar en condiciones normales y "El Niño" en el Pacífico ecuatorial.

En Perú, además del efecto directo que tiene el calentamiento costero sobre las lluvias en la costa, también se experimentan impactos en las precipitaciones como respuesta a anomalías de TSM remotas en el Pacífico, particularmente una tendencia a la reducción/aumento en la región andina-amazónica durante El Niño/La Niña en el Pacífico central (Lagos *et al.*, 2008; Lavado y Espinoza, 2014). Debido a esto, el monitoreo y pronósticos del ENFEN incluyen a El Niño tanto en la costa como en el Pacífico central.

Varios investigadores han encontrado que existe una relación significativa entre la ocurrencia de El Niño-Oscilación Sur (ENSO) y la hidrología de los países de la cuenca del océano Pacífico (Waylen, Caviedes, 1986; Ropelewski, Halpert, 1987, 1989; Hastenrath, 1990; Mechoso, 1992; Dracup, 1994; Piechoso, 1997, entre otros), en particular con la precipitación.

Aunque la relación entre descargas de los ríos y la precipitación no es absolutamente lineal, sí se puede esperar que eventos extremos en la precipitación estén correlacionados con similares eventos en las descargas.

En los últimos treinta años, en 1982-1983 y 1997-1998, Perú sufrió los efectos de dos eventos "El Niño costero" extraordinarios (ENFEN, 2012). Si bien ambos eventos produjeron fuertes perturbaciones climáticas, también presentaron diferencias sustanciales tanto en su desarrollo como en sus impactos. El primero tuvo lugar entre julio de 1982 y noviembre de 1983, mientras que el segundo fue entre marzo de 1997 y setiembre de 1998 (ENFEN, 2012). Debido a esto, las lluvias intensas en la costa norte iniciaron más temprano en el año 1997 que en 1982 (CAF, 2000; León, 2014), pero esto permitió que el evento de 1997-98 fuera más fácil de pronosticar, ya que el calentamiento precedió varios meses más la temporada lluviosa. Por ejemplo, dentro de la misma cuenca del Chira, El Niño 1982-83 produjo mayores tasas de erosión en la subcuencas de Puente Internacional, Aliviaredo, Sullana, Ejidos, mientras que en El Niño 1997-98 fueron mayores en las subcuencas de Ardilla y puente Sánchez Cerro (Morera, 2014ab).

El impacto económico a nivel nacional de El Niño extraordinario es alto. Según CAF (2000), los eventos de 1982-83 y 1997-98 habrían producido pérdidas equivalente al 7 y 4,5% del PBI

de esos años, respectivamente. Estos impactos son particularmente intensos en la costa norte, donde están principalmente asociados a las extensas inundaciones (Galarza y Kamiche, 2012; Machuca, 2014; Machuca *et al.*, 2014).

Sin embargo, los eventos naturales no constituyen un único factor determinante, pues el impacto de los FEN depende de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos y de la infraestructura en general, así como también del valor económico de los bienes expuestos y la capacidad de respuesta local para mitigar o prevenir los efectos destructivos, y a la vez para aprovechar los impactos positivos (Ferradas, 2000).

En la Figura 2 se muestra la relación antes mencionada, en donde se aprecia el impacto en el PBI de los ENOS más recientes. En el caso del ENOS 1982-83, el impacto fue mayor que en el ENOS 1997-98, aunque se puede apreciar que el shock negativo y abrupto se produce en ambos casos.

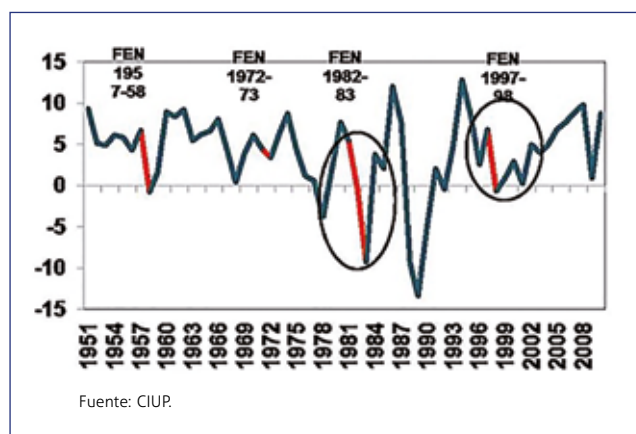


Figura 2: El PBI durante los eventos "El Niño/Oscilación Sur".

## 2. Características generales del área de estudio

### 2.1. Ubicación geográfica

En Perú, la cuenca del río Chira ocupa una superficie de 10 534,76 km<sup>2</sup> y está ubicada en las coordenadas 04° 07'-5° 08' latitud sur y 79° 10'-81° 07' longitud oeste, que se extiende desde el litoral del océano Pacífico hasta el flanco occidental de la región andina.

Sus límites son: por el norte, las cuencas Fernández y Tumbes; por el sur, la cuenca del río Piura; por el este, la cuenca Huancabamba en Perú y las cuencas de Macará y Chinchipe en Ecuador y por el oeste, las intercuenas 1379 y 1391 y su desembocadura en el océano Pacífico.

Políticamente, la cuenca del río Chira comprende cinco provincias del departamento de Piura: provincia de Ayabaca (distritos Sicchez, Suyo, Sapillica, Frías, Ayabaca, Pacaipampa, Lagunas, Montero, Paimas y Jilili); provincia de Piura (distritos de Las Lomas y Tambogrande); provincia de Sullana (distritos de Lancones, Sullana, Querecotillo, Salitral, Marcavelica, Bellavista, Ignacio Escudero y Miguel Checa); provincia de Paita (distritos de Tamarindo, La Huaca, Pueblo Nuevo de Colán, El Arenal, Vichayal y Amotape) y provincia de Talara (distrito de La Brea) (Figura 3).



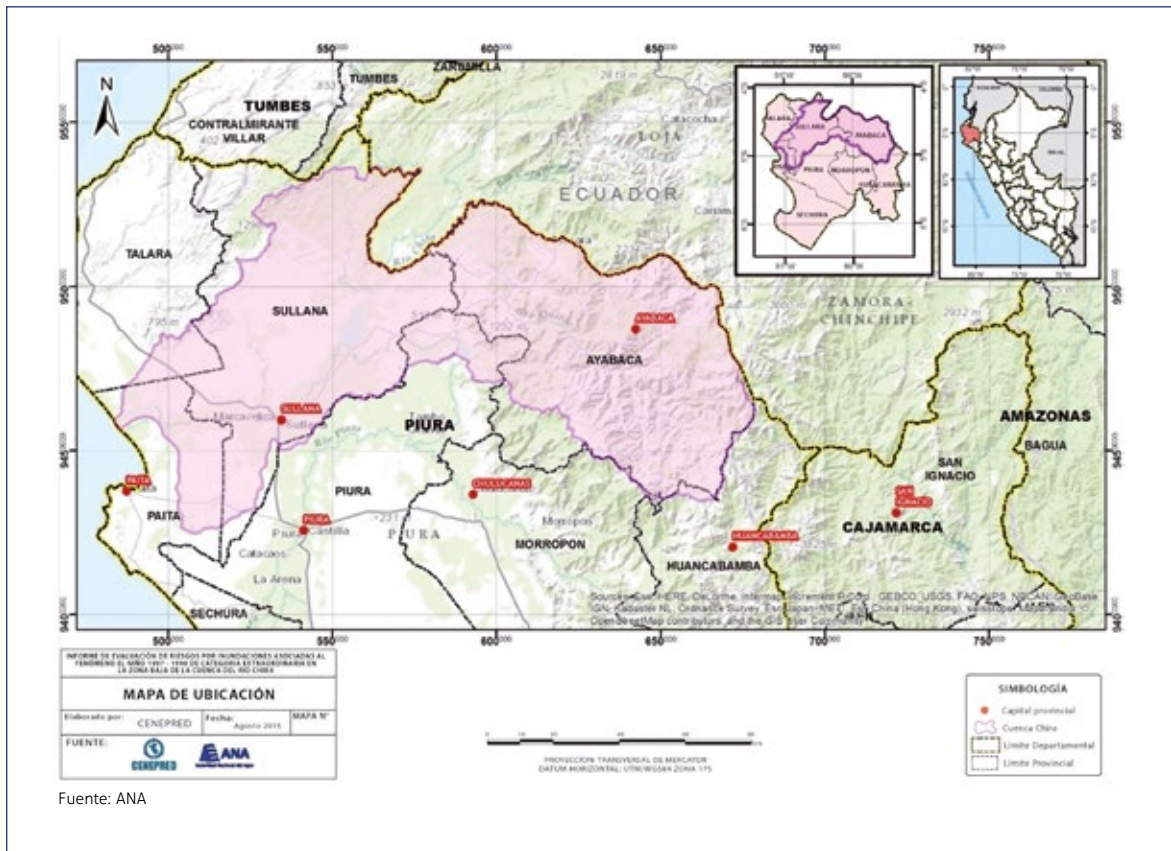


Figura 3: Mapa de ubicación de la cuenca del Chira.

## 2.2. Población

La población de la cuenca del río Chira se encuentra asentada principalmente en los centros poblados y ciudades de cuatro provincias del departamento de Piura (Tabla 1).

Tabla 1  
Población por distritos de la cuenca del río Chira

Provincia	Distritos	Viviendas	Varones	Mujeres	Población total
Ayabaca	Ayabaca	9 229	19 458	18 922	38 450
	Frías	819	1 780	1 694	3 474
	Jilili	728	1 568	1 388	2 956
	Lagunas	1 387	3 340	3 285	6 625
	Montero	1 769	3 790	3 547	7 337
	Pacaipampa	6 060	12 422	12 338	24 760
	Paimas	2 245	4 958	4 680	9 638
	Sapillica	2 598	5 720	5 407	11 127

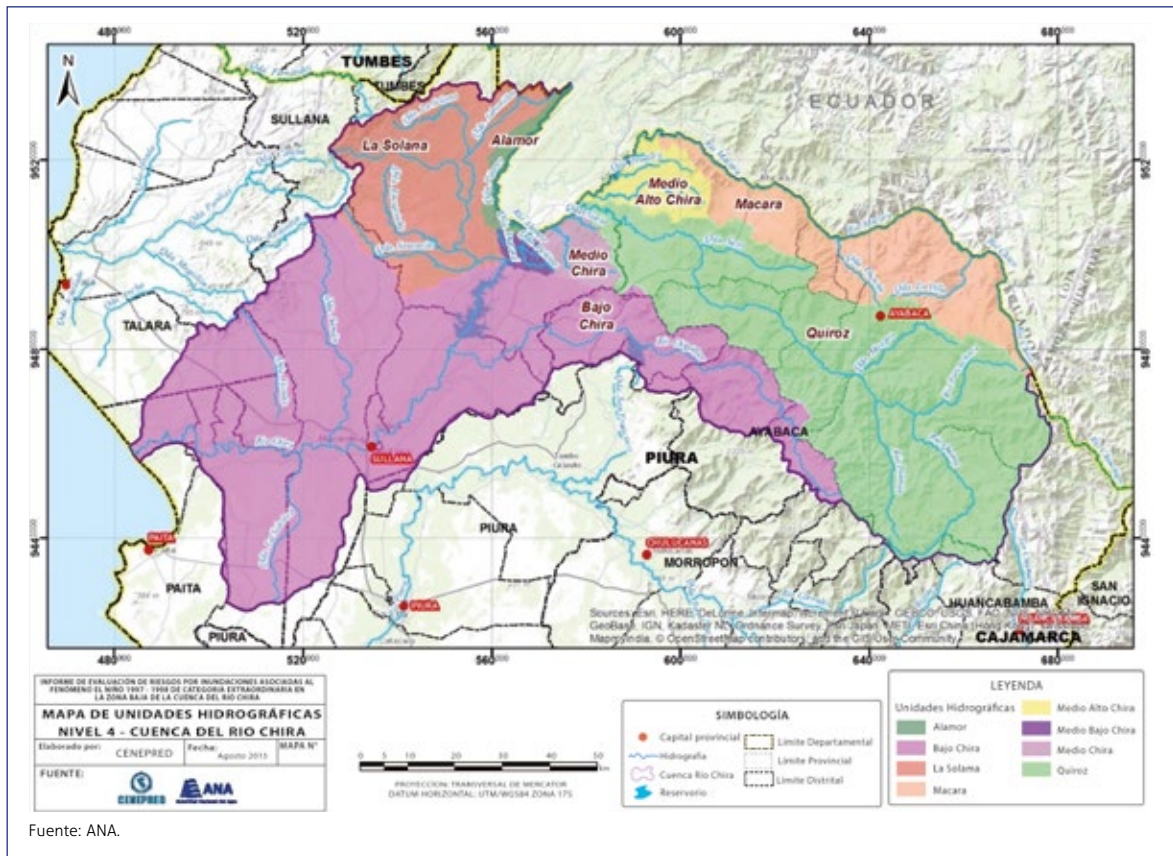
Provincia	Distritos	Viviendas	Varones	Mujeres	Población total
	Sicchez	592	1 160	1 114	2 274
	Suyo	3 119	6 424	5 527	11 951
<b>Paita</b>	Amotape	589	1 210	1 095	2 305
	Arenal	322	538	554	1 092
	La Huaca	2 679	5 664	5 203	10 867
	Tamarindo	1 192	2 263	2 139	4 402
	Vichayal	1 367	2 658	2 357	5 015
	<b>Piura</b>	Las Lomas	5 994	12 552	11 456
<b>Sullana</b>	Ignacio Escudero	4 258	9 156	8 706	17 862
	Lancones	3 624	6 949	6 170	13 119
	Marcavelica	6 610	13 227	12 692	25 919
	Miguel Checa	1 740	3 807	3 625	7 432
	Querecotillo	6 182	12 361	12 091	24 452
	Salitral	1 579	3 072	3 025	6 097
	Sullana	36 174	75 934	80 667	156 601
<b>Totales</b>		<b>100 856</b>	<b>210 011</b>	<b>207 752</b>	<b>417 763</b>

Fuente: Tabla generada a partir de información censal de centros poblados. Censo Nacional de Población y Vivienda - INEI 2007.

### 2.3. Hidrografía

La cuenca está conformada por las subcuencas Alamor, Bajo Chira, La Solana, Macara, Medio Alto Chira, Medio Bajo Chira, Medio Chira y Quiroz (Figura 4).

El río Chira tiene sus orígenes en la unión del río Catamayo con el río Macará, en la frontera entre Perú y Ecuador; recorre 50 km entre ambos países hasta la quebrada de Alamor, donde ingresa en territorio peruano. La longitud total del río Catamayo-Chira, eje principal de la cuenca binacional Catamayo-Chira, hasta su desembocadura en el océano Pacífico, es de 315 km, de los cuales 119 km se encuentran en suelo peruano. Sus límites son: por el norte, las cuencas Fernández y Tumbes; por el sur, la cuenca del río Piura; por el este, la cuenca Huancabamba en Perú y las cuencas de Macará y Chinchipe en Ecuador y por el oeste, las intercuenas 1379 y 1391 y su desembocadura en el océano Pacífico.



Fuente: ANA.

Figura 4: Mapa de unidades hidrográficas del nivel 4 - Cuenca del Chira.

## 2.4. Geomorfología

Para la descripción morfoestructural del área de estudio se han tomado como fuente las unidades geomorfológicas estudiadas y documentadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en la región Piura,<sup>1</sup> principalmente las comprendidas dentro del ámbito de la cuenca del río Chira (Figura 5), las cuales se describen a continuación.

### Por su origen de carácter tectónico-degradacional y erosional

#### Unidad de montañas (Foto 1)

##### a) Relieve montañoso en rocas volcánicas (RM-rv)

Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas (tobas, tufos, derrames lávicos andesíticos y brechas), sus elevaciones alcanzan los 3 850 msnm. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

<sup>1</sup> Tomado de: Vélchez, M.; Luque, G.; Rosado, M. (2013). Riesgos geológicos en la región Piura. INGEMMET, Boletín 52 serie C. del Capítulo V. Aspectos geomorfológicos. pp. 59-77.



Foto 1

Montañas modeladas en rocas volcánico-sedimentarias en Pacaipampa, Piura.

(Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET. 2013. Riesgo geológico en la región Piura).

**b) Relieve montañoso en rocas volcánico-sedimentarias (RM-rvs)**

Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del Cretáceo y Paleógeno, como el volcánico Lancones, las formaciones Chignia y Zapallal, el volcánico Llama y el Grupo San Pedro. Presentan crestas altas e irregulares, con pendientes que pueden superar los 30°, sus elevaciones alcanzan los 3 400 msnm. También se tienen montañas con laderas empinadas y cimas redondeadas.

**c) Relieve montañoso en rocas metamórficas (RM-rm)**

Corresponde a cadenas montañosas antiguas expuestas en el lado oriental y occidental de la región Piura. Litológicamente corresponden al Complejo Olmos, Complejo Marañón, Complejo Basal de la Costa, las formaciones Río Seco, Salas y Cerro Negro. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, de cumbres redondeadas y alargadas. Se presentan muy erosionadas, asociadas a procesos de erosión en cárcavas y flujos de detritos (huaycos). Sus elevaciones alcanzan los 3 450 msnm.

**d) Relieve montañoso en rocas sedimentarias (RM-rs)**

Corresponde a afloramientos de rocas sedimentarias afectados por procesos tectónicos y erosivos, conformados por rocas de tipo conglomerado, areniscas, lutitas, limolitas, lodolitas, calizas y cuarcitas del Cretáceo. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

**e) Montaña estructural (Me)**

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria; estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con el buzamiento de las capas de roca que controlan la pendiente de las laderas; generalmente asociadas a colinas estructurales, su distribución es reducida.





### Unidad de colinas y lomadas (Foto 2)

#### a) Relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri)

Corresponde a afloramientos de rocas intrusivas de tipo dioritas, granitos, monzogranitos, tonalitas y gabros; se disponen como stocks y batolitos, de formas irregulares y alargadas, con cimas algo redondeadas en algunos casos, y laderas de pendientes bajas a medias.

#### b) Relieve de colinas y lomadas en rocas sedimentarias (RCL-rs)

Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas de baja a moderada pendiente.

#### c) Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánicas (RCL-rv)

Corresponde a afloramientos de rocas volcánicas (tobas, tufos y derrames lávicos), litológicamente corresponden al volcánico La Bocana, presentan formas irregulares, cimas agudas y laderas con pendientes medias a altas.

#### d) Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánico-sedimentarias (RCL-rvs)

También conformadas por afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del Cretáceo, perteneciente al volcánico Lancones. Presentan crestas irregulares con pendientes medias.

#### e) Colinas estructurales (Ce)

Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, que se presentan en la zona de estudio con un alineamiento en dirección suroeste-noreste. El drenaje de esta geoforma es paralelo y su disposición está controlada por la estructura geológica conformada por pliegues y fallas. La inclinación de las laderas es controlada por el buzamiento de las capas. También se presentan espinazos.

Foto 2

Colinas y lomadas volcánico-sedimentarias en Lagunas, Ayabaca, Piura.

(Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET. 2013. Riesgo geológico en la región Piura).



**f) Montes islas (Mi)**

Son remanentes no reducidos de cordilleras que configuran cerros aislados o pequeños grupos de cerros de corta longitud, conformados por rocas de tipo volcánico sedimentario (volcánico Lancones), rocas metamórficas de tipo pizarras, filitas y cuarcitas (Formación Salas) y rocas sedimentarias (Grupo Goyllarisquizga). También se forman los montes islas por procesos de meteorización y erosión desigual de rocas. Resaltan por su forma y elevación dentro de la planicie que los rodea.

**g) Altiplanicie o meseta andina (Mes)**

Se encuentra conformando un terreno plano-ondulado constituido por afloramientos de rocas intrusivas (tonalitas y dioritas Pambarumbe), las cuales han sufrido un intenso proceso de meteorización y erosión, que modeló el terreno. Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas, con avance retrogresivo y ensanchándose por medio de derrumbes y deslizamientos pequeños hacia sus márgenes; también se presentan procesos de reptación de suelo y flujos de tierra.

**Por su origen de carácter tectónico deposicional y agradacionales**

**Unidad de pie de montes (Foto 3)**

**a) Piedemonte Aluvial (P-a)**

Son planicies inclinadas, constituidas por una sucesión de abanicos aluviales o deluviales que descienden de las colinas y montañas. Estos abanicos están constituidos por material inconsolidado, consistente en grava mezclada con finos de limo y arena; es muy poroso. El material se encuentra distribuido caóticamente.

**b) Piedemonte aluvio-torrencial(P-at)**

Es una planicie inclinada, extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, asociados usualmente al fenómeno El Niño.

Foto 3

Piedemontes aluvio-torrenciales en el sector Totorá, La Brea, Talara, Piura.

(Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET. 2013. Riesgo geológico en la región Piura).



**c) Piedemonte coluvio-deluvial (P-cd)**

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; son depósitos de corto recorrido relacionados con las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

**d) Abanicos de piedemonte (Ab)**

Son conos o abanicos de baja pendiente hacia el valle (2°-15°), están formados por acumulaciones de material acarreado por flujos excepcionales en la desembocadura de quebradas y ríos tributarios; muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas, que se activan excepcionalmente con la presencia del fenómeno El Niño, que es cuando acarrean y depositan material.

**e) Morrenas (Mo)**

Esta unidad comprende geoformas convexas suaves y alargadas producidas por la acumulación de materiales depositados por acción glaciaria durante el Pleistoceno-Holoceno.

Existen varios tipos de morrenas de acuerdo con su posición frente a un glaciar: morrena de fondo es la que se sitúa debajo, en contacto con el lecho; morrena lateral, cuando se sitúa en las orillas o bordes del lecho glaciario; morrena central, formada por la unión de morrenas laterales en la confluencia de dos glaciares en un mismo valle, y morrena frontal o terminal, cuando se sitúa en la zona de deshielo del glaciar.

**Unidad de planicies y depresiones** (Foto 4)**a) Valle fluvial y terrazas indiferenciadas (VT-i)**

Valles tributarios de cauce angosto que discurren cortando la cordillera occidental de los Andes, donde no ha sido posible diferenciar el fondo de valle, las terrazas y llanuras de inundación debido a la escala de trabajo.

**b) Llanura aluvial o cauce inundable (Lli)**

Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y al mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos de material no consolidado y removible.

**c) Llanura o planicie costera (LI)**

Son geoformas que se extienden desde el borde litoral hasta los piedemontes y estribaciones andinas, poseen un relieve plano a plano-ondulado cuya pendiente es menor a 5°. Están conformadas por acumulaciones de grava, arenas y limos inconsolidados a semi-consolidados (en los tablazos), son muy susceptibles a la erosión pluvial; la planicie posee una vegetación de tipo bosque seco con áreas denudadas. Las quebradas secas que se observan en este relieve han sido labradas por la acción pluvial en cada evento de El Niño; existen también zonas depresionadas donde se forman anegamientos. En eventos tipo El Niño, las torrenteras secas que cortan esta unidad se activan y por ella discurren flujos de lodo y gravilla.

**d) Llanura disectada (LI-d)**

Conformada por un terreno plano, de edad Pleistoceno (tablazo Mancara), localizada a una altitud de aproximadamente 200 msnm, constituida por una secuencia de conglomerados y areniscas finas y gruesas, bioclásticas, con fragmentos de conchas, lumaquelas y coquinas, dentro de una matriz areniscosa y salina.

Esta llanura ha sido sometida a un intenso proceso de erosión pluvial, donde por concentración de escorrentía superficial se produce el desgaste e incisión del terreno; se presentan algunas formas de movimientos en masa en las márgenes de las torrenteras o quebradas que se han formado, las cuales han cambiado la morfología original subdividiendo la llanura en porciones menores separadas por valles o disectadas por una intensa red de drenaje. Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas, las cuales presentan un desarrollo retrogresivo y lateral por medio de derrumbes, deslizamientos y movimientos complejos.

**e) Mantos de arena (Ma)**

Geoforma conformada por la acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, los cuales se encuentran cubriendo terrenos planos de la planicie costera; dentro de estos mantos se pueden encontrar pequeñas dunas. Estos depósitos, durante su avance, pueden cubrir terrenos de cultivo, viviendas y carreteras.

**f) Terrazas aluviales (Ta)**

Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río. A mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Sobre estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas.

**g) Islas (Is)**

Esta unidad corresponde a superficies planas a semiplanas que resultan de la acumulación a manera de islas del material suelto acarreado por la corriente de los ríos; se ubican en medio de los cauces. Geomorfológicamente están asociadas a las llanuras de inundación y lecho del río. Son susceptibles a procesos de erosión fluvial.

Foto 4

Terrazas aluviales  
del río Chira,  
Piura.

(Tomado de:  
Vilchez *et al.*,  
INGEMMET. 2013.  
Riesgo geológico  
en la región Piura).







Foto 5

Vaso de la presa San Lorenzo, Las Lomas, Piura.

(Tomado de: Vélchez *et al.*, INGEMMET. 2013. Riesgo geológico en la región Piura).

### Unidad de cuerpos de agua

#### a) Lagunas, embalses de agua y cuerpos de agua (Lag)

Dentro de esta unidad se reúne a todos los cuerpos de agua de origen natural (lagunas) y artificial (represamientos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo.

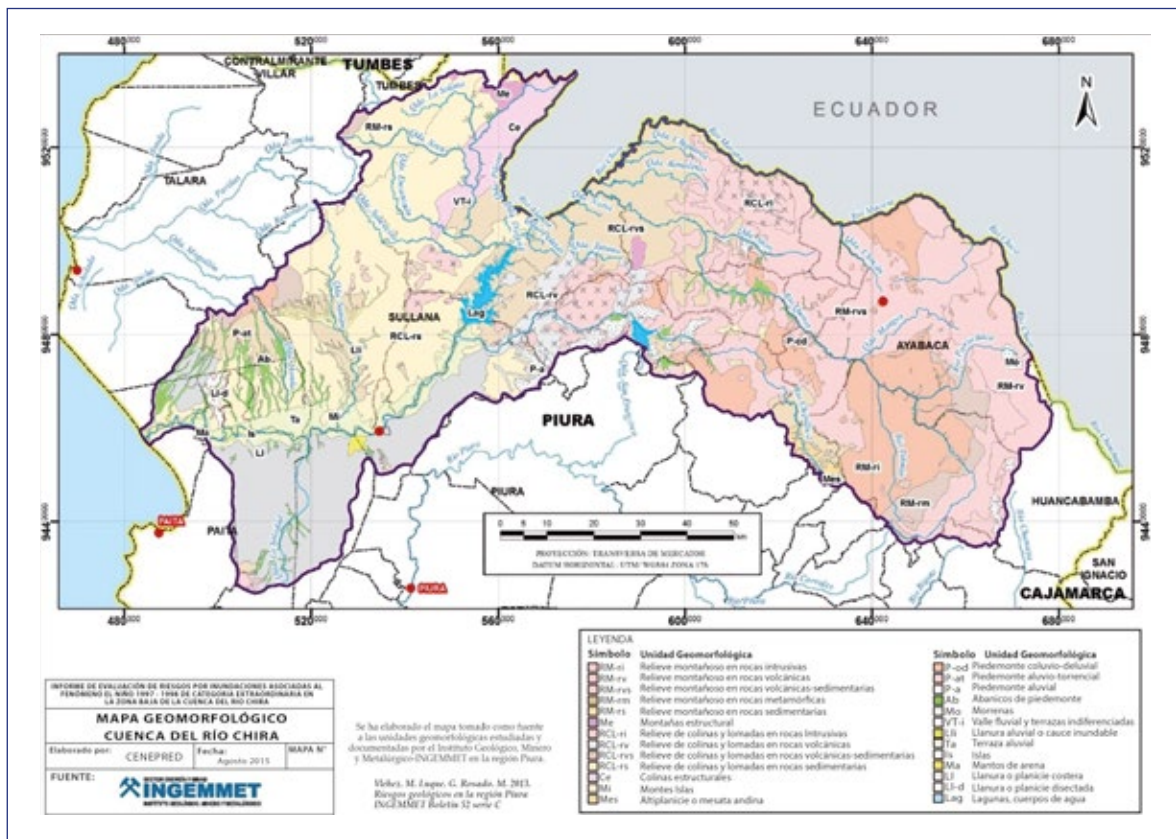


Figura 5. Mapa de unidades geomorfológicas en la cuenca del río Chira (Tomado de: Vélchez *et al.*, INGEMMET, 2013).

## 2.5. Contexto litológico

En la cuenca del río Chira se han diferenciado seis unidades litológicas que han sido denominadas como sedimentos modernos, rocas intrusivas, rocas volcánicas, rocas volcano-sedimentarias, rocas sedimentarias y rocas metamórficas, algunas de ellas con algún subtipo. Se muestran en la Tabla 2 y en las fotos 6 a 16.

Tabla 2  
 Unidades litológicas de la cuenca Chira

Formación	Unidad	Subunidad	Descripción
Superficial	I: SEDIMENTOS MODERNOS	I1: Materiales poco consolidados (Foto 6)	<p><b>Depósitos fluviales:</b> Acumulación de material a lo largo de valles y llanuras de inundación por corrientes fluviales; están constituidos por conglomerados, arenas y limoarcillas.</p> <p><b>Depósitos lacustres:</b> Conformados por antiguas marismas y llanuras de inundación que se encuentran en estado de colmatación con arena eólica.</p>
		I1: Materiales poco consolidados (Foto 6)	<p><b>Depósitos marinos:</b> Acumulaciones de cantos, arena y limos del borde litoral así como las fajas playeras inundables.</p> <p><b>Depósitos aluviales:</b> Se encuentran en las estribaciones andinas de la Cordillera Occidental y en los flancos de los grandes cursos fluviales, los materiales que los constituyen son conglomerados con una matriz arenosa o limoarcillosa.</p> <p><b>Depósitos glaciares:</b> Se encuentran por encima de los 3 600 msnm, están constituidos por brechas inconsolidadas en matriz microbrechosa o arenácea.</p>
Superficial	I: SEDIMENTOS MODERNOS		<p><b>Tablazo Lobitos:</b> Depósito marino cuaternario de edad pleistocénica; es una secuencia conglomerádica poco consolidada, con rodados angulosos y matriz bioclástica o areniscosa.</p>
		I2: Acumulaciones de arena (Foto 7)	<p><b>Depósitos eólicos:</b> Constituidos por acumulaciones de arena acarreadas por el viento, cubren los tablazos y secuencias más antiguas.</p>
		I3: Materiales consolidados (Foto 8)	<p><b>Tablazo Talara:</b> Plataforma pleistocénica más alta de la llanura desértica, en forma de costra sedimentaria con grosor de 3 m en promedio, está constituido por conglomerados lumaquéllicos o lumaquelas y coquiníferos o coquinas.</p> <p><b>Tablazo Máncora:</b> Se compone litológicamente de conglomerados, arenas finas o gruesas, bioclásticas, con contenido de fragmentos de conchas lumaquelas y coquinas.</p>

<sup>2</sup> Tomado de: Vílchez, M. Nuñez, S.; Valenzuela, G. (2006). Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira. INGEMMET, Boletín 31 serie C. del Capítulo VI. Contexto Litológico Estructural. pp. 49-58.



Formación	Unidad	Subunidad	Descripción	
<b>Substrato rocoso</b>	II: ROCAS INTRUSIVAS	II1: Rocas intrusivas (Foto 9)	<p>Complejo plutónico Las Lomas: Alrededor del poblado de Las Lomas; conformado por gabros, dioritas, granodioritas y los monzogranitos.</p> <hr/> <p>La tonalita Altamisa: Toma el nombre de la localidad de Altamisa, ubicada a 8 km del poblado de Chalaco; tiene coloración gris clara, de grano medio.</p> <hr/> <p>La tonalita-diorita Pambarumbe: Plutón que aflora en la localidad del mismo nombre en Morropón, es una roca gris clara de grano medio.</p> <hr/> <p>La granodiorita-tonalita de Suyo: Cuerpo plutónico en los alrededores del poblado de Suyo; es una roca de grano grueso, color gris claro.</p> <hr/> <p>El granito Paltashaco: Plutón más importante y de mayor distribución geográfica en la región.</p> <hr/> <p>El granito Higuierón: Cuerpo intrusivo de dimensión regional, muy fracturado y meteorizado por el clima húmedo.</p>	
		II: ROCAS INTRUSIVAS	II2: Rocas intrusivas poco meteorizadas (Foto 10)	En esta subunidad se encuentran rocas graníticas del Paleozoico superior, está constituida por un stock granítico de tonalidad blanquecina, también se hallan rocas intrusivas de edad mesozoica.
		III: ROCAS VOLCÁNICAS (foto 11)	El volcánico Huaypira:	Formación de edad plioleostocénica, situado a lo largo de la falla Huaypira; está constituido por andesitas piroclásticas.
			El volcánico Ereo:	Lavas andesíticas, brechas piroclásticas, lavas félsicas y derrames básicos.
			El volcánico Purculla:	Tobas andesíticas, riolíticas e ignimbritas.
	Volcánico Shimbe:		Andesitas lávicas y metaandesitas.	
	Volcánico Llama:		Brechas piroclásticas, andesitas, tobas.	
	Formación Sacapalca:		Lavas andesíticas y piroclastos.	
	Volcánico Pisayambo:		Flujos de lava y piroclastos de composición andesítica a riolítica.	
	Volcánico Saraguro:	Lavas andesíticas, riolíticas, piroclastos.		
IV: ROCAS VOLCANO-SEDIMENTARIAS (Foto 12)	Volcánico Lanco-	Constituido por una intercalación de areniscas, brechas piroclásticas, lutitas, conglomerados.		
	Grupo Copa Sombrero:	Constituido por lodolitas negras nodulares intercaladas con areniscas y brechas piroclásticas.		
	Volcánico La Bocana:	Secuencia inferior: Lavas andesíticas, lavas félsicas y delgados niveles lenticulares de limolitas y calizas. Secuencia intermedia: Dacitas y andesitas con intercalaciones locales de rocas piroclásticas y sedimentos volcanoclásticos. Secuencia superior: Rocas piroclásticas y andesitas almohadilladas.		

Formación	Unidad	Subunidad	Descripción
		Formación San Pedro:	Secuencias volcano-sedimentarias, areniscas silicificadas de grano fino a medio, cherts, limoarcillitas silicificadas, niveles de coladas lávicas presentando ocasionalmente lavas almohadilladas.
	V: ROCAS SEDIMENTARIAS	V1: Conglomerados, areniscas, lutitas, limolitas, lodolitas (Foto 13)	<p>Formación Chira: Constituida por secuencias de lutitas, areniscas, conglomerados y limolitas.</p> <p>Formación Verdún: Constituida por areniscas, lutitas y conglomerados.</p> <p>Formación Cerro Prieto: De edad paleozoica, constituida por metalutitas, areniscas, conglomerados.</p> <p>Formación Talara: Conformada por lutitas, conglomerados y areniscas.</p> <p>Formación Talara: Conformada por lutitas, conglomerados y areniscas.</p>
	V: ROCAS SEDIMENTARIAS	V1: Conglomerados, areniscas, lutitas, limolitas, lodolitas (Foto N° 13)	<p>Formación Jahuay Negro: Constituida por lutitas, limolitas, conglomerados y areniscas.</p> <p>Formación Tortuga: Constituida por conglomerados, lutitas, lodolitas y areniscas.</p> <p>Formación Encuentros: Constituida por lutitas, areniscas y conglomerados.</p> <p>Formación Huasimal: Conformado por lutitas y areniscas.</p> <p>Formación Tambo Grande: Constituida por intercalaciones de areniscas, lodolitas y microconglomerados.</p> <p>Formación Quilanga: Constituida por areniscas, conglomerados y limoarcillitas.</p> <p>Formación Cazaderos: Constituida por areniscas conglomerados y lutita.</p> <p>Formación Zapotillo: Constituida por lutitas y grauwacas.</p>
		V2: Areniscas, conglomerados (Foto N° 14)	<p>Formación Miramar: Constituida por secuencias de areniscas y conglomerados.</p> <p>Formación Gigantal: Constituida por conglomerados.</p> <p>Formación Yapatera: Conformada por conglomerados con rodados de cuarcita y arenisca arcósica.</p> <p>Formación Tablones: Constituida por secuencias de conglomerados y areniscas.</p>
		V3: Calizas, areniscas calcáreas, calcilutitas, lutitas, limolitas, conglomerados (Foto N° 15)	<p>Formación Muerto: Constituida por la intercalación de calcilutitas, calizas, lutitas, areniscas calcáreas y limonitas.</p> <p>Formación Pananga: Constituida por calizas y areniscas</p>

**Substrato rocoso**





Formación	Unidad	Subunidad	Descripción
VI: ROCAS METAMÓRFICAS (Foto 16)		Complejo Olmos:	Constituido por esquistos de clorita y muscovita, esquistos cuarzosos.
		Formación Chaleco de Paño:	Constituida por cuarcitas, areniscas cuarcíticas y limolitas gris verdosas.
		Formación Río Seco:	Constituida por cuarcitas, se intercalan filitas tobáceas y pizarras.
		Formación Cerro Negro:	Conformada por esquistos micáceos, cornubianitas, esquistos manchados, cuarcitas oscuras y pizarras negras.
		Grupo Salas:	Constituido por filitas, tobas pizarrosas y cuarcitas.

Fuente: INGEMMET (2006).



Foto 6

Material aluvial de fondo del cauce de la quebrada Copa Sombrero, Sullana, Piura. (Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo 2013).



Foto 7

Dunas que afectan viviendas en el balneario de Colán, provincia de Paíta, Piura. (Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo 2013).



Foto 8

Depósitos modernos consolidados formando los tablazos de Talara y Máncora, Colán, Paita, Piura. (Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).



Foto 9

Roca intrusiva muy meteorizada, que aflora en la zona de Ayabaca, Piura (Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).



**Foto 10**

Roca intrusiva con meteorización esferoidal, que presenta una capa de color rojizo, Lancones, Sullana, Piura.

**Foto 11**

Cabeceras de la cuenca Chira-Catamayo, constituidas de rocas volcánicas en la zona de las Huaringas, Ayabaca, Piura. (Tomado de: Vilchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).





Foto 12

Unidad de rocas volcansedimentarias en la carretera Las Lomas-Suyo, Piura.

(Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).

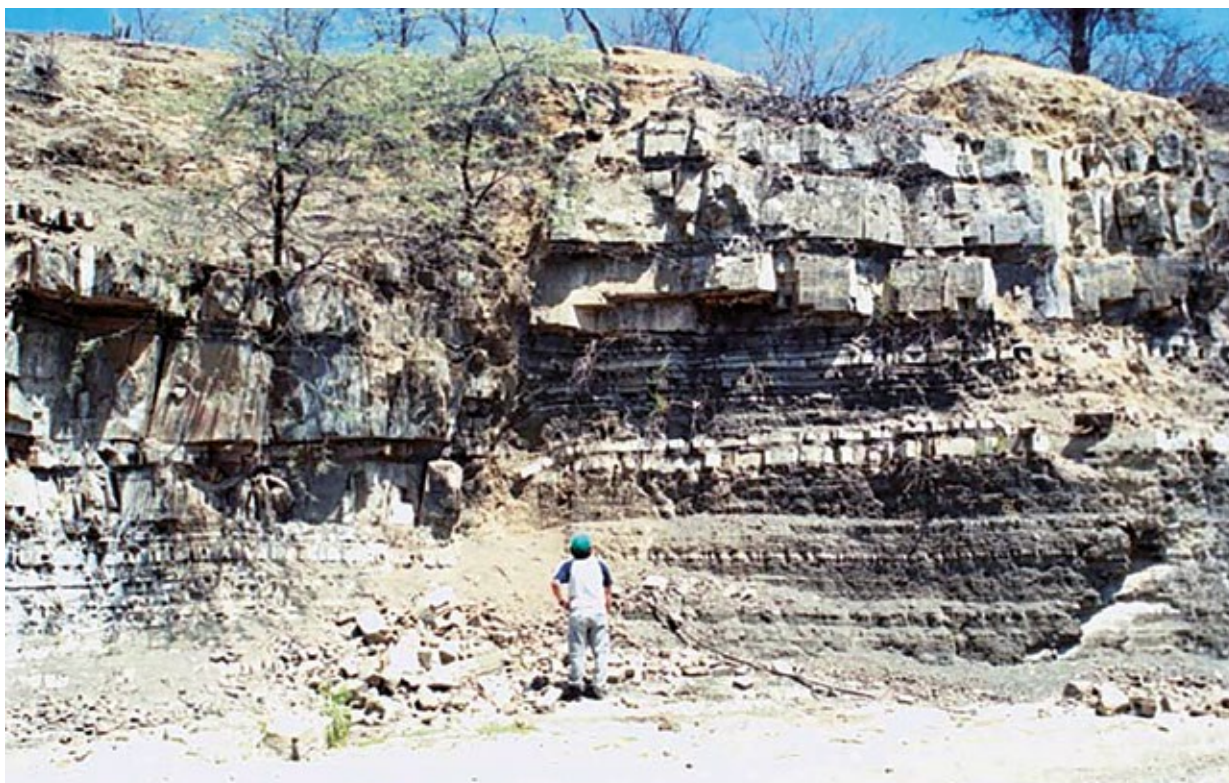


Foto 13

Unidad de rocas sedimentarias constituidas por secuencias de conglomerados, areniscas, lutitas, limolitas y lodolitas, afloran en la quebrada Algarrobillo, Sullana. (Tomado de: Vílchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).





Foto 14

Unidad de rocas sedimentarias constituidas por areniscas de la formación Miramar en el cerro San Francisco, Querecotillo, Sullana, Piura. (Tomado de: Vélchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).

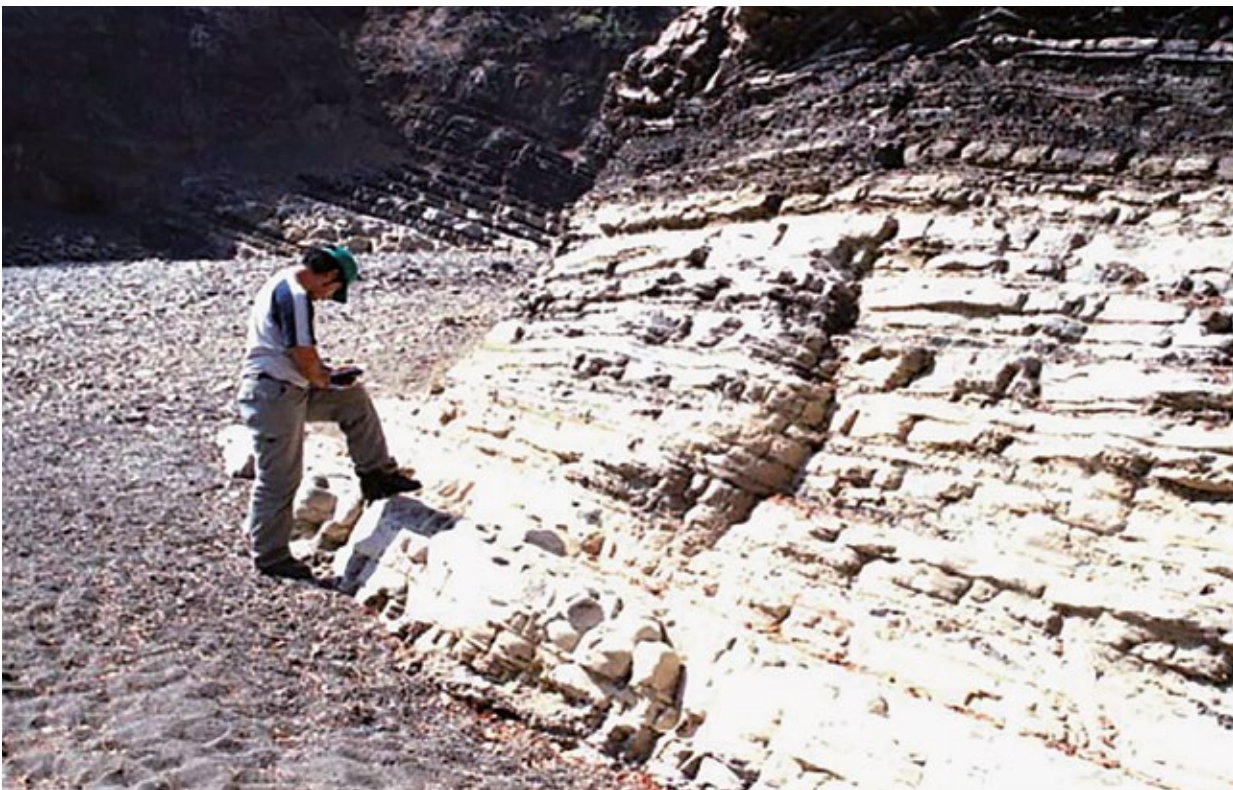


Foto 15

Unidad de rocas sedimentarias constituidas por calizas, areniscas calcáreas, lutitas, limolitas y conglomerados, en la quebrada Huatería, Lancones, Sullana, Piura. (Tomado de: Vélchez *et al.*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).

Foto 16

Rocas metamórficas tipo filitas y esquistos, que afloran en el sector de "Silla de Paíta", provincia de Paíta, Piura. (Tomado de: Vilchez *et al*, INGEMMET, 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chira-Catamayo, 2013).



## 2.6. Clima

La climatología de la cuenca del Chira describe el comportamiento medio climático de la temperatura máxima y mínima del aire y de la precipitación, a escala mensual, para el periodo 1981-2010, a fin de conocer el comportamiento medio de la zona de estudio (Figura 6).

Asimismo, con la finalidad de evaluar los impactos del comportamiento climático del evento El Niño, se analiza el comportamiento de la precipitación durante El Niño del periodo diciembre 97-abril 98.

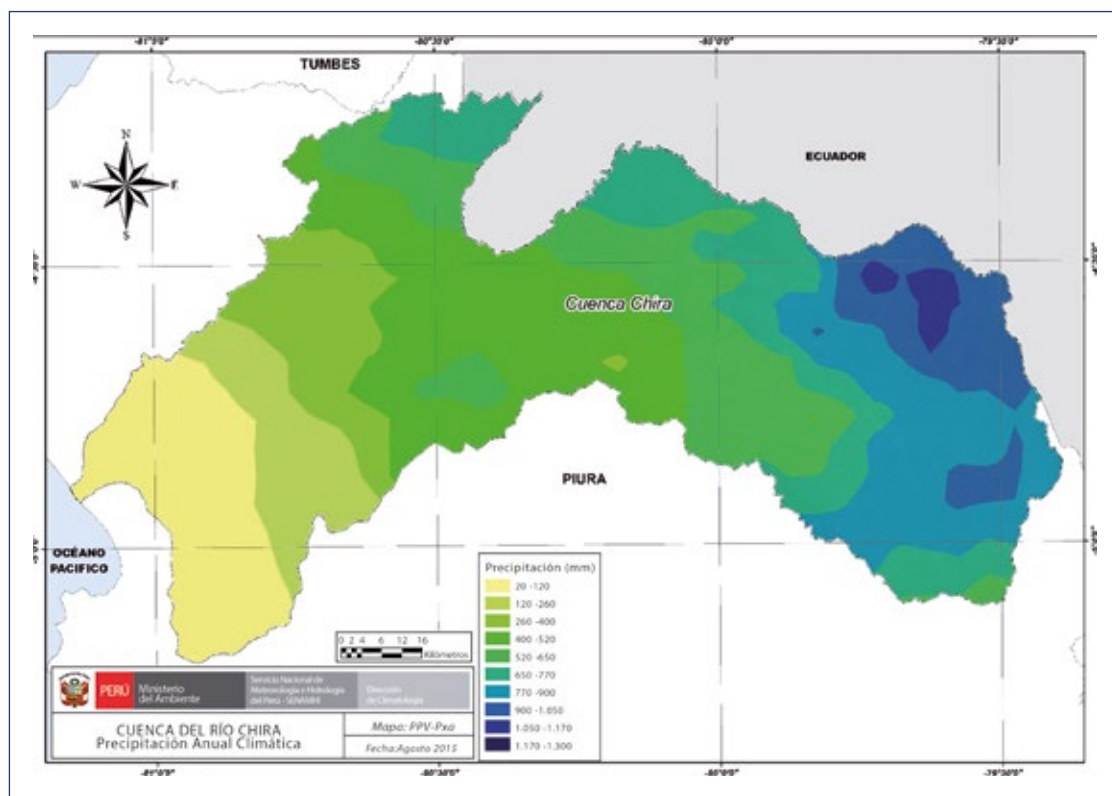


Figura 6. Mapa de precipitación anual climática de la cuenca del río Chira.  
 Fuente: SENAMHI.





En la zona baja de la cuenca, representada por las estaciones meteorológicas de La Esperanza y Mallares, en promedio la temperatura máxima anual presenta valores comprendidos entre 28 y 31 °C, en tanto la temperatura mínima registra valores entre 19 y 20 °C; respecto a las lluvias, estas durante el año acumulan la cantidad de 130 a 250 mm.

Para el verano (diciembre-marzo), el comportamiento de la temperatura máxima registra valores de 28 a 33 °C, y la mínima entre los valores 19 a 23 °C; por otro lado las lluvias, durante estos meses, presentan acumulados que fluctúan de 72 a 171 mm, siendo el 50% respecto al acumulado anual (Figuras 7 y 8).

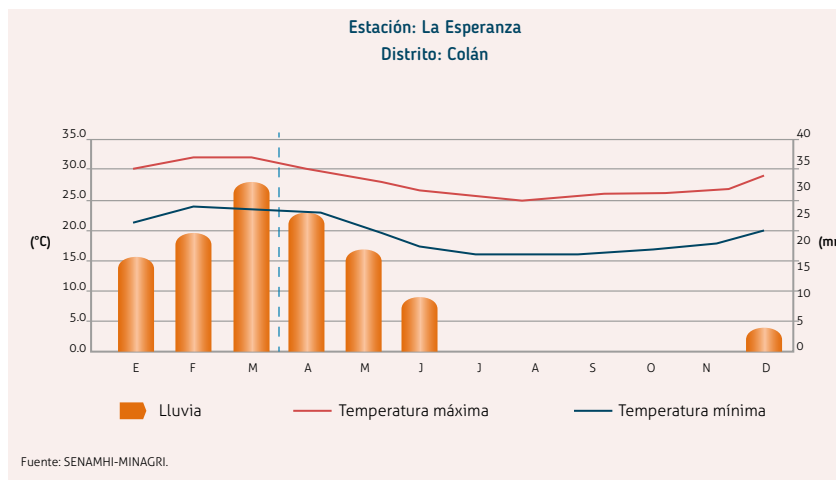


Figura 7. Precipitación y temperatura–Estación La Esperanza.

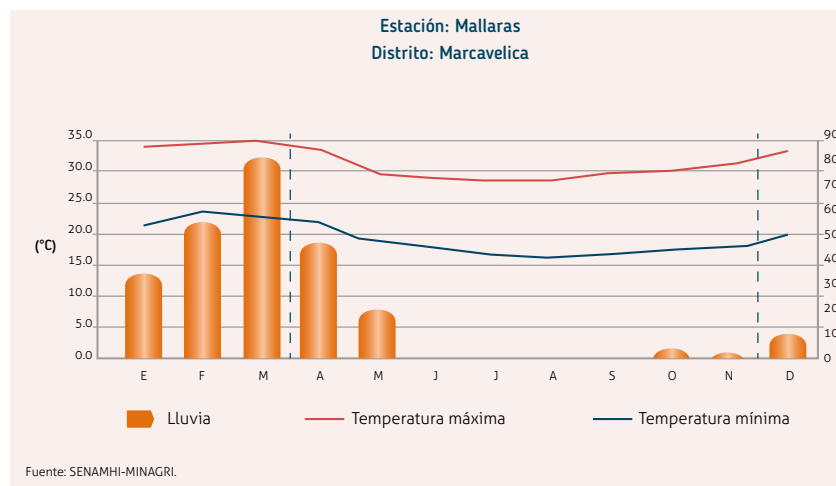


Figura 8. Precipitación y temperatura–Estación Mallares.

Para la parte media de la cuenca, como estaciones meteorológicas representativas están Lancones y Partidor, en promedio para el año; el comportamiento de la temperatura máxima registra valores comprendidos entre 29 y 32 °C, mientras la mínima se ubica entre 17 y 19 °C; las lluvias presentan acumulados anuales de 450 a 650 mm.

En el verano, la temperatura máxima registra valores comprendidos entre 32 a 34 °C, la mínima está comprendida entre 19 y 22 °C. Las lluvias presentan acumulados hasta de 629 mm para este periodo, representando el 80% del acumulado anual (Figuras 9 y 10).

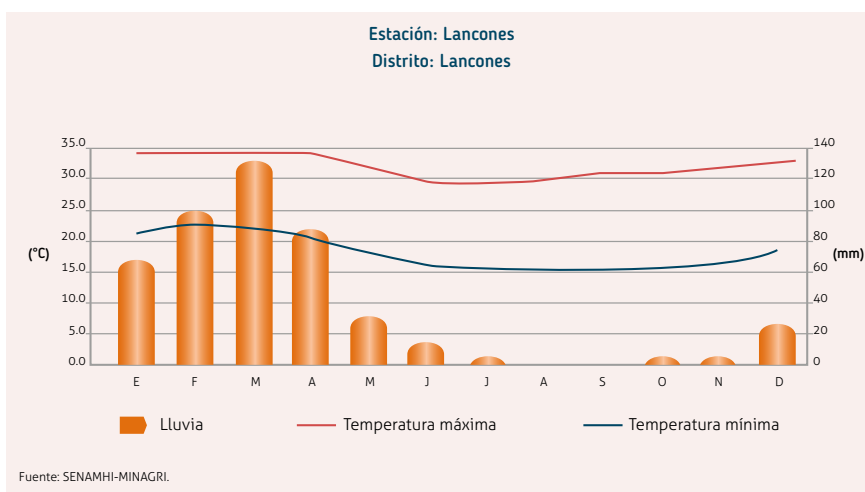


Figura 9. Precipitación y temperatura-Estación Lancones.

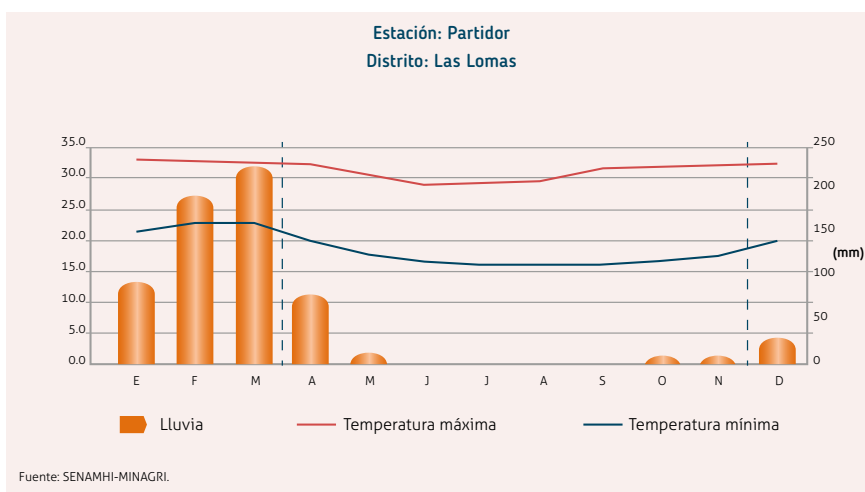


Figura 10. Precipitación y temperatura-Estación Partidor.





En la zona alta de la cuenca, considerando la estación meteorológica de Ayabaca, la temperatura promedio para el año presenta valores comprendidos entre 10 y 18 °C para las temperaturas extremas (máxima y mínima), y en cuanto a las lluvias presentan acumulados de hasta 1 337 mm.

En verano las temperaturas extremas presentan valores comprendidos entre 10 y 17 °C, siendo el acumulado de lluvias para este periodo de 844 mm (Figura 11).

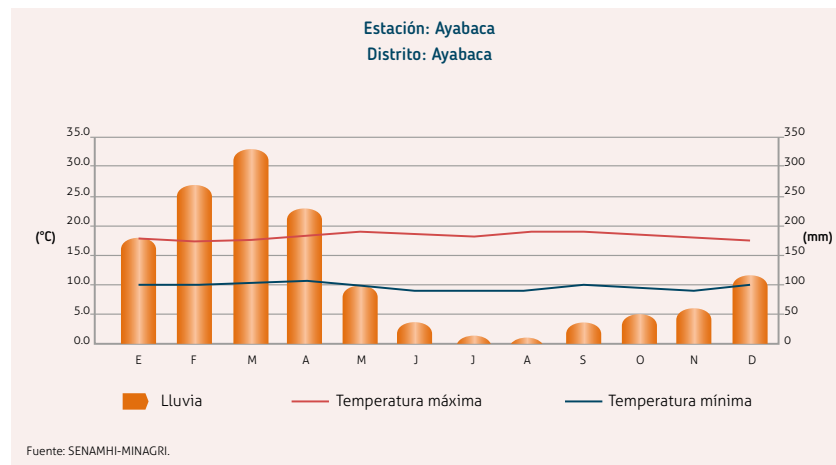


Figura 11. Precipitación y temperatura-Estación Ayabaca.

### Comportamiento de las lluvias durante el periodo El Niño de carácter extraordinario 1997-1998

En la cuenca del Chira el comportamiento de las lluvias para el evento El Niño 1997-1998 (diciembre-abril), muestra un incremento con respecto al periodo 1981-2000, mostrando excesos a partir del mes de diciembre que se extendieron hasta abril de 1998. Los mayores excesos para la zona baja y media se presentaron en el mes de enero; mientras que para la zona alta de la cuenca se presentaron en el mes de diciembre 1997. En este periodo, las anomalías positivas que presentaron fueron:

En la cuenca baja (Mallares y La Esperanza), excesos de lluvias por encima de sus promedios normales, en el mes de enero, con valores de 288 a 510 mm, y en el mes de marzo con valores de 262 a 606,8 mm (Figuras 12 y 13).

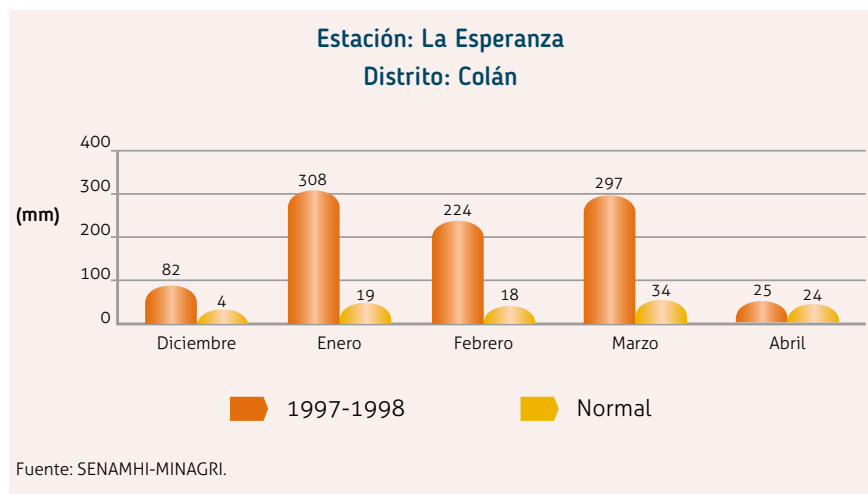


Figura 12. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación La Esperanza.

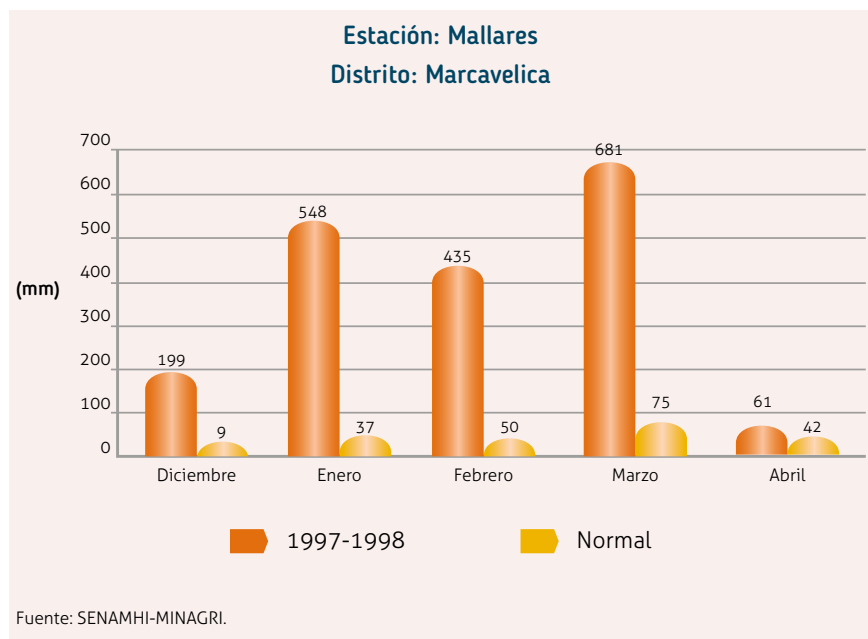


Figura 13. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación Mallares.

En la zona media (Lancones), los excesos de lluvias por encima de sus promedios normales registraron anomalías positivas con el mayor valor de 1 033,9 mm para el mes de enero (Figuras 14; 15 y 16). Mientras que para la zona alta de la cuenca (Ayabaca) registraron su máximo valor de anomalía positiva en los meses de diciembre y abril con 170 mm (Figura 17).

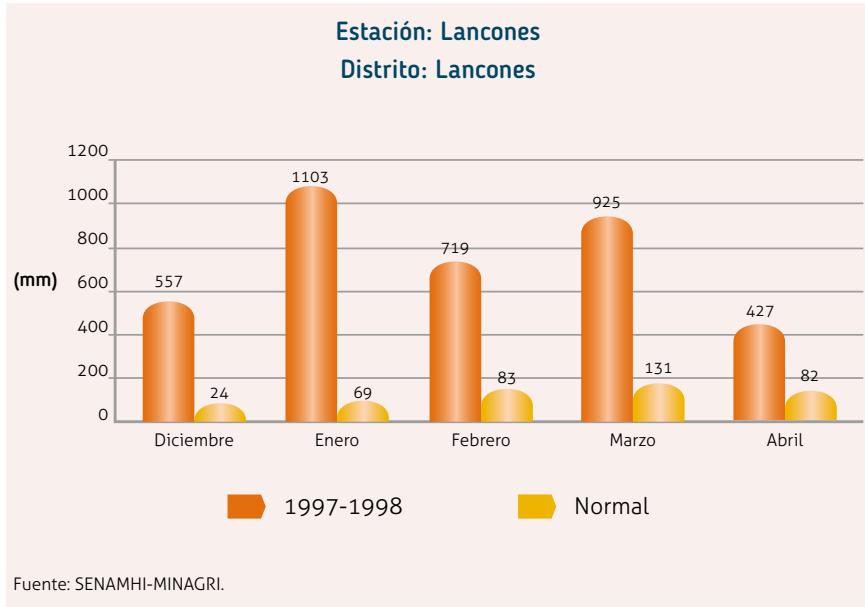


Figura 14. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación Lancones.

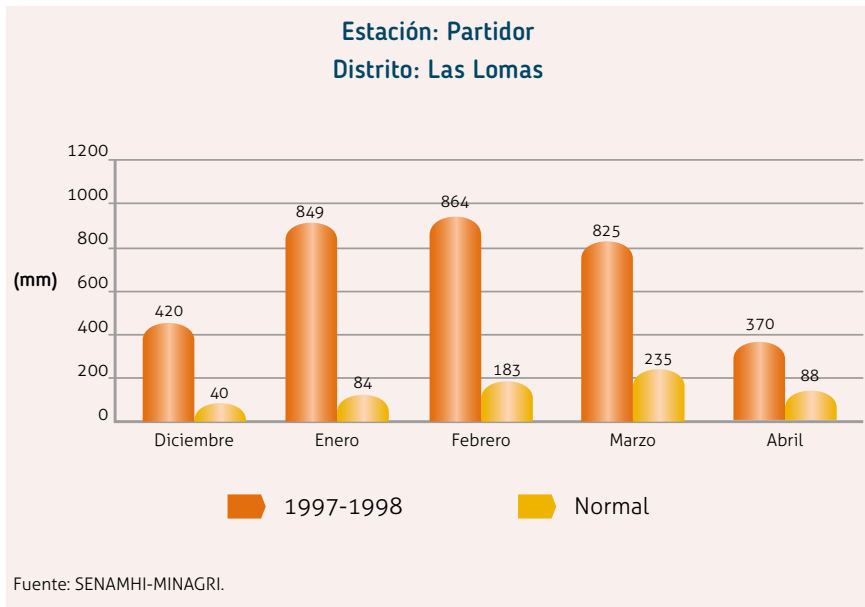


Figura 15. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación Partidor.

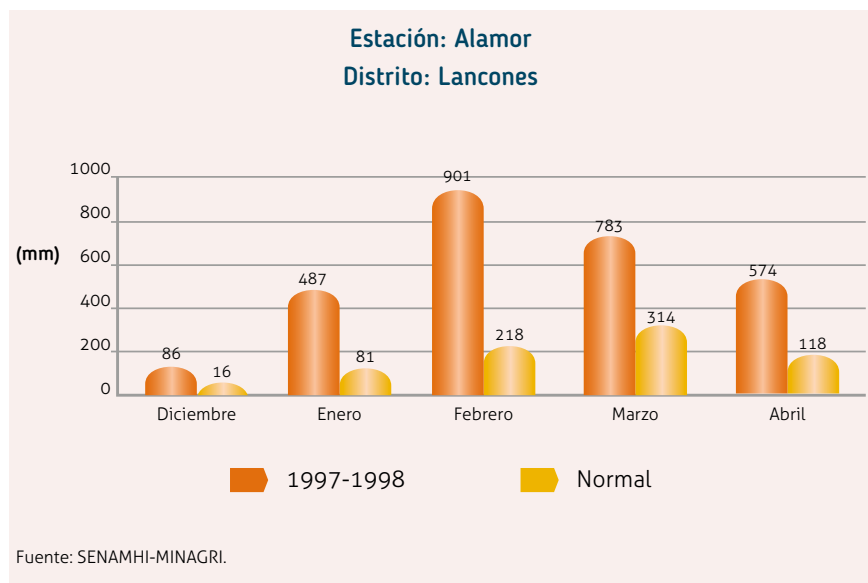


Figura 16. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación Alamor.

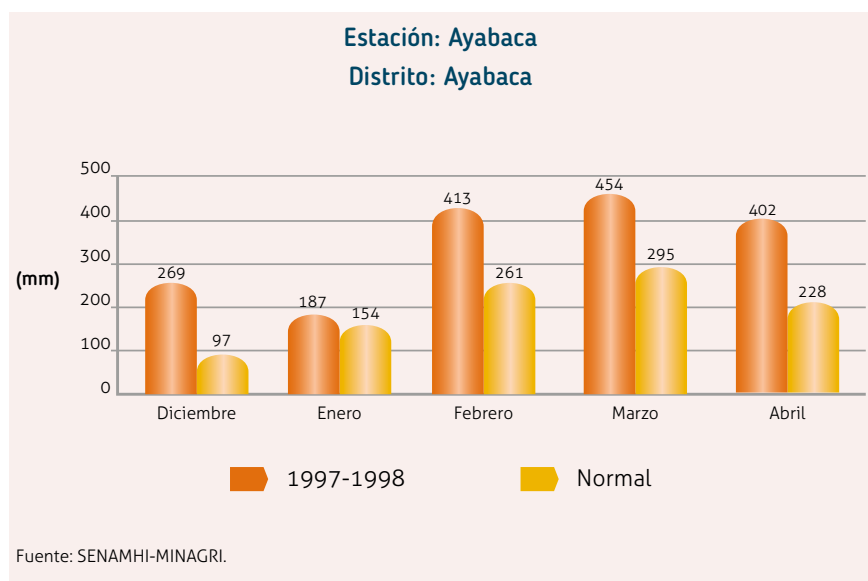


Figura 17. Lluvias mensuales de diciembre a abril (año normal y periodo 1997-1998)-Estación Ayabaca.

Los datos registrados en este periodo de verano con mayores valores de lluvias, para la cuenca baja, Mallares presentó los acumulados máximos mensuales de 548 mm para el mes de enero, siendo su normal climatológica de 37,4 mm; y para el mes de marzo, un acumulado de 681,4 mm con una normal climatológica mensual de 74,6 mm. Para el caso de La Esperanza, el máximo acumulado mensual se presentó en el mes de enero con 307,6 mm, teniendo una normal climatológica de 19,2 mm.





Para la cuenca media, Lancones presentó el mayor acumulado de lluvias en el mes de enero con 1 103 mm, siendo la normal climatológica de 69,1 mm. Mientras que para la cuenca alta, Ayabaca presentó el mayor acumulado del periodo en el mes de marzo, con 454,4 mm, con una normal climatológica de 295 mm.

Por último, los acumulados de lluvias para todo el periodo diciembre 97-abril 98, en la zona baja de la cuenca del Chira (Mallares y La Esperanza), registró un acumulado de 1 923,9 y 934,6 mm, respectivamente; la cuenca media (Lancones) presentó acumulado de lluvias de 3 731,3 mm y para la cuenca alta (Ayabaca) su acumulado del periodo registró 1 725 mm. Considerando que durante el periodo diciembre a abril y el comportamiento normal de las lluvias (1981-2010), en la zona baja, presenta un acumulado de 90-215 mm, en la zona media acumulan cantidades de 300 mm a 650 mm y en la zona alta las lluvias hacen un total de aproximadamente 1 034 mm.

## 2.7. Uso de suelo

### Capacidad de uso mayor del suelo de la cuenca hidrográfica del río Chira<sup>3</sup>

En el valle del río Chira el cultivo de arroz abarca mayor extensión, desde la represa de Poechos hasta el sector La Bocana, en el bajo Chira. En el sector Salitral, Querecotillo, Huangala, Chalacala Baja y Alta, predomina el cultivo de plátano (zona bananera orgánica de exportación), observándose también plantaciones de papaya, limón, mango en menor escala, maíz, frijol palo, en pequeñas parcelas para autoconsumo, ubicados en los bordes de los principales canales como Miguel Checa y el de trasvase Chira-Piura; como cerco de las parcelas encontramos cocoteros, árboles de tamarindo, algarrobos, mango y ciruelo.

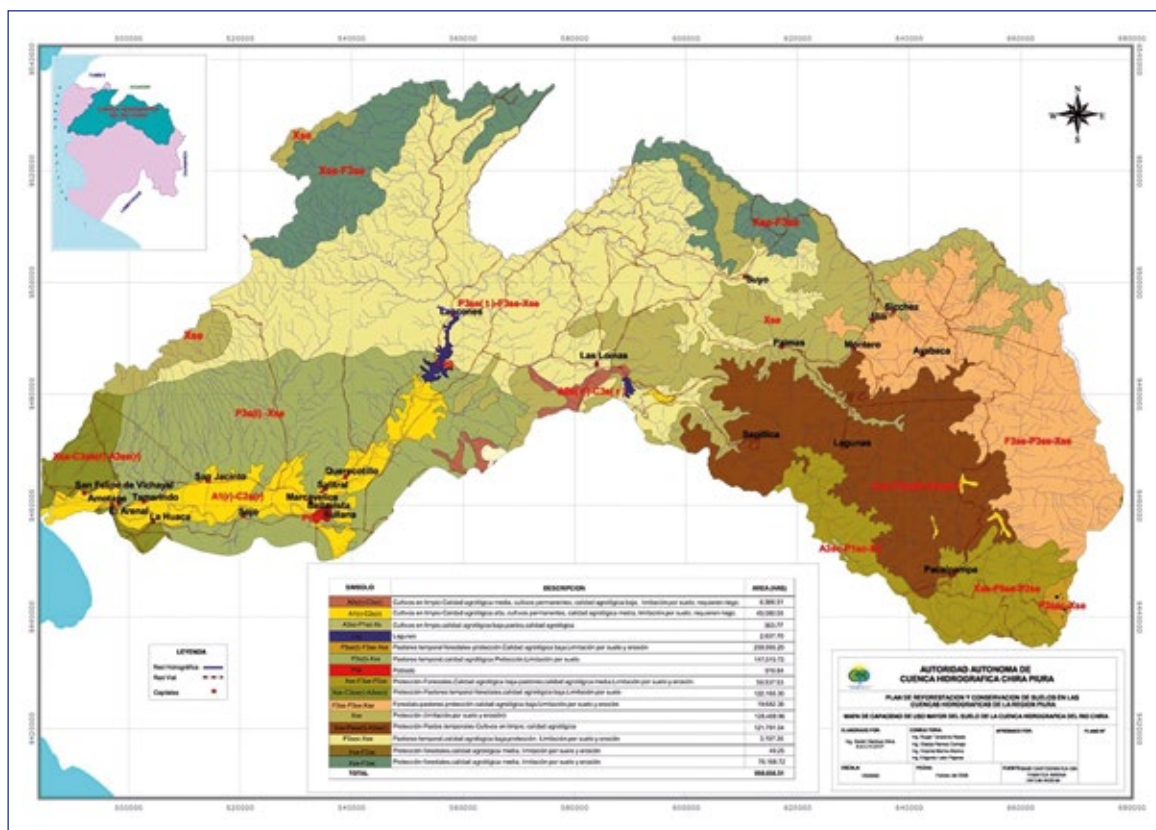
La agricultura intensiva con riego tecnificado abarca grandes extensiones en la planicie costera, como el caso del sector Cieneguillo Centro, donde encontramos cultivos de mango, limón, espárrago, uva. En el sector de Cerro Mocho, cultivos de caña de azúcar con riego tecnificado, al igual que en el sector La Huaca (margen izquierda del río Chira). También existen plantaciones de caña de azúcar en zonas colindantes al canal de trasvase en el valle del río Chira.

Las zonas productoras y exportadoras son los valles del San Lorenzo y el Chira, que poseen los rendimientos más altos de todas las zonas agrícolas.

En el sector de Miramar (bocana del río Chira) se aprecia un modo inusual de convivencia y producción, donde se mezcla el cultivo agrícola temporal, ganadería y la extracción de petróleo. La agricultura que se desarrolla en el Medio Piura aprovecha el agua del río Piura, habiendo cultivos temporales como frijol palo, chileno, maíz, plantaciones de limón, mango, arroz. Este tipo de agricultura se observa también en los sectores Huapira, Lancones, Venados, donde producen maíz, frijol palo, cebolla, con algunas parcelas de limón y plátanos para autoconsumo y en menor escala.

La Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica Chira-Piura evaluó, en el 2008, la capacidad de uso mayor e identificó las unidades mostradas en la Figura 18 y Tabla 3.

<sup>3</sup> Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca Chira-Piura - Informe Principal del Diagnóstico (ANA) 2012.



Fuente: Plan de Reforestación y Conservación de Suelos en las Cuenas Hidrográficas de la Región Piura, Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica Chira-Piura, 2008.

Figura 18. Mapa de capacidad de uso mayor del suelo de la cuenca hidrográfica del río Chira.

Tabla 3  
Capacidad de uso mayor del suelo para la cuenca del río Chira

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (HA)
A2s(r)-C3s(r)	Cultivos en limpio-Calidad agrológica media, cultivos permanentes, calidad agrológica baja, limitación por suelo, requieren riego.	6,966.51
A1(r)-C2s(r)	Cultivos en limpio-Calidad agrológica alta, cultivos permanentes, calidad agrológica media, limitación por suelo, requieren riego.	49,080.05
A3sc-P1sc-Xs	Cultivos en limpio,calidad agrológica baja,pastos,calidad agrológica	363.77
Lag	Lagunas	2,637.70
P3se(t)-F3se-Xse	Pastoreo temporal-forestales-protección.Calidad agrológica baja.Limitación por suelo y erosión	259,995.20
P3s(t)-Xse	Pastoreo temporal,calidad agrológica,Protección.Limitación por suelo.	147,015.73
Pob	Poblado	916.84
Xse-F3se-P2se	Protección-Forestales,Calidad agrológica baja-pastoreo,calidad agrológica media.Limitación por suelo y erosión.	59,537.53
Xse-C3se(r)-A3se(r)	Protección-Pastoreo temporal-forestales,calidad agrológica baja.Limitación por suelo	122,165.30
F3se-P3se-Xse	Forestals-pastoreo,protección.calidad agrológica baja.Limitación por suelo y erosión	19,682.36
Xse	Protección (limitación por suelo y erosión)	128,488.96
Xse-Pese(t)-A3se(r)	Protección-Pastos temporales-Cultivos en limpio, calidad agrológica	121,791.04
P3sec-Xse	Pastoreo temporal,calidad agrológica baja-protección. Limitación por suelo y erosión	3,197.35
Xse-F2se	Protección-forestales,calidad agrológica media, limitación por suelo y erosión	49.25
Xse-F3se	Protección-forestales,calidad agrológica media, limitación por suelo y erosión	76,168.72
<b>TOTAL</b>		<b>998,056.31</b>

Fuente: Mapa de capacidad de uso mayor del suelo de la cuenca hidrográfica del río Chira, Plan de Reforestación y Conservación de Suelos en las Cuenas Hidrográficas de la Región de Piura, febrero 2008.



### Uso actual de suelos<sup>4</sup>

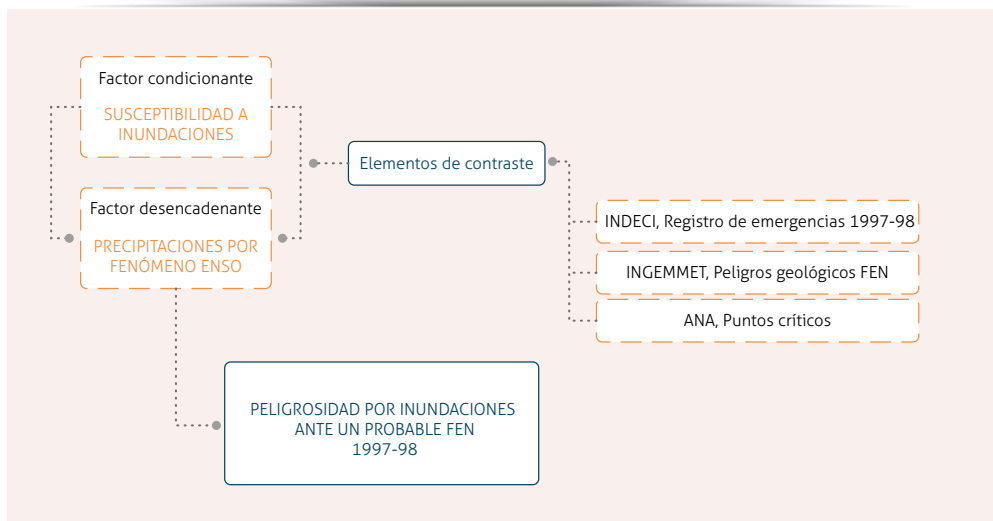
En la cuenca del río Chira las actividades principales son la agricultura y la ganadería vacuna y caprina, mayoritariamente.

En la cuenca baja del río Chira la agricultura con riego tecnificado viene ganando terrenos a los bosques secos de algarrobos y cada día mayor cantidad de áreas boscosas son utilizadas para la ganadería y apicultura. Una clara evidencia de esta expansión agrícola es el cultivo de caña de azúcar para etanol, el cultivo de uva, espárrago. Gran parte de la población económicamente activa de la región Piura se dedica a la actividad agropecuaria y actividades extractivas del bosque. Actualmente el área cultivada en la cuenca del río Chira es de 70,720 ha.

## 3. Determinación del nivel de peligrosidad

### 3.1. Metodología

Para determinar el nivel de peligrosidad por inundaciones, se utilizó la metodología descrita en la figura siguiente:



Fuente: CENEPRED.

Figura 19: Flujo para determinar el nivel de peligrosidad.

<sup>4</sup> Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca Chira-Piura - Informe Principal del Diagnóstico. Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2012.

### 3.2. Parámetros de evaluación del fenómeno

A nivel internacional, la probabilidad de ocurrencia de inundaciones se evalúa con base en la intensidad (la cual es una función de la velocidad y altura del agua), así como en su frecuencia (periodo de retorno), es decir, el tiempo necesario para que una inundación se genere. Sin embargo, no existiendo aún un estándar en los criterios para la evaluación de estos parámetros, lo más indicado es basarse en los registros geomorfológicos e históricos y las condiciones particulares de cada región evaluada (Diez *et al.*, 2014).

Para la evaluación de inundaciones en el río Chira, considerando la escala de trabajo y con base en la información disponible, se empleó el método estadístico bivariante basado en las áreas ocupadas por inundaciones y su relación con las unidades de cada factor condicionante (Laín *et al.*, 2005; Santacana *et al.*, 2001; Carrara *et al.*, 1995).

La frecuencia, dada por la recurrencia de los eventos, en este caso será cualitativa debido a la falta de información para determinarla. En este caso se basa en la premisa: "eventos de gran magnitud, implican una recurrencia baja; eventos de baja magnitud implican una recurrencia elevada" (Mella y Garrido, 2015). Tomando en cuenta lo anterior, la recurrencia está establecida principalmente por el cartografiado geomorfológico de zonas inundables, es decir las áreas susceptibles de ser afectadas por inundaciones y las recurrencias relativas de cada una de ellas.

### 3.3. Determinación de los niveles de peligrosidad ante inundaciones

El presente análisis está basado en un evento de máxima avenida, representada por un evento extremo de El Niño. El mapa de peligrosidad de las inundaciones se obtuvo mediante la suma de los mapas de susceptibilidad y el factor detonante, en este caso precipitaciones por el fenómeno El Niño 1997-1998.

#### Análisis de la susceptibilidad

Para la evaluación de la susceptibilidad se consideraron como factores condicionantes la pendiente (características topográficas) y la geomorfología (cartografiado de zonas inundables). Esta última controla teóricamente el flujo y la dirección del agua, ya que la actual configuración de las formas del terreno y la distribución de los sedimentos fluviales han sido originadas por los mismos ríos que provocarán inundaciones en el futuro (Vílchez *et al.*, 2013).

Se han tomado en cuenta también los registros históricos de inundaciones relacionadas con eventos El Niño para la identificación de áreas de inundación en la cuenca evaluada.

#### Factores condicionantes

##### a) Pendiente

La inundación ocurre usualmente en terrenos de suave pendiente ( $< 5^\circ$ ), de ahí que estos terrenos se consideren altamente susceptibles a estos procesos. Con base en la revisión de trabajos anteriores se adoptaron los siguientes rangos: (Tabla 4)





Tabla 4  
Ponderación de pendientes para el análisis de susceptibilidad

Rango pendiente	Clase	Comentarios	Valor	Grado
0-1°	Terrenos llanos	Áreas muy susceptibles a inundaciones	5	Muy alta
1°-5°	Pendiente suave	Áreas medianamente susceptibles a inundaciones	3	Alta
5°-15°	Pendiente moderada		1	Muy baja
15°-25°	Pendiente fuerte	Áreas donde no se presentan inundaciones	1	Muy baja
25°-45°	Pendiente escarpada		1	Muy baja
> 45°	Terrenos muy escarpados		1	Muy baja

Fuente: INGEMMET.

#### b) Geomorfología

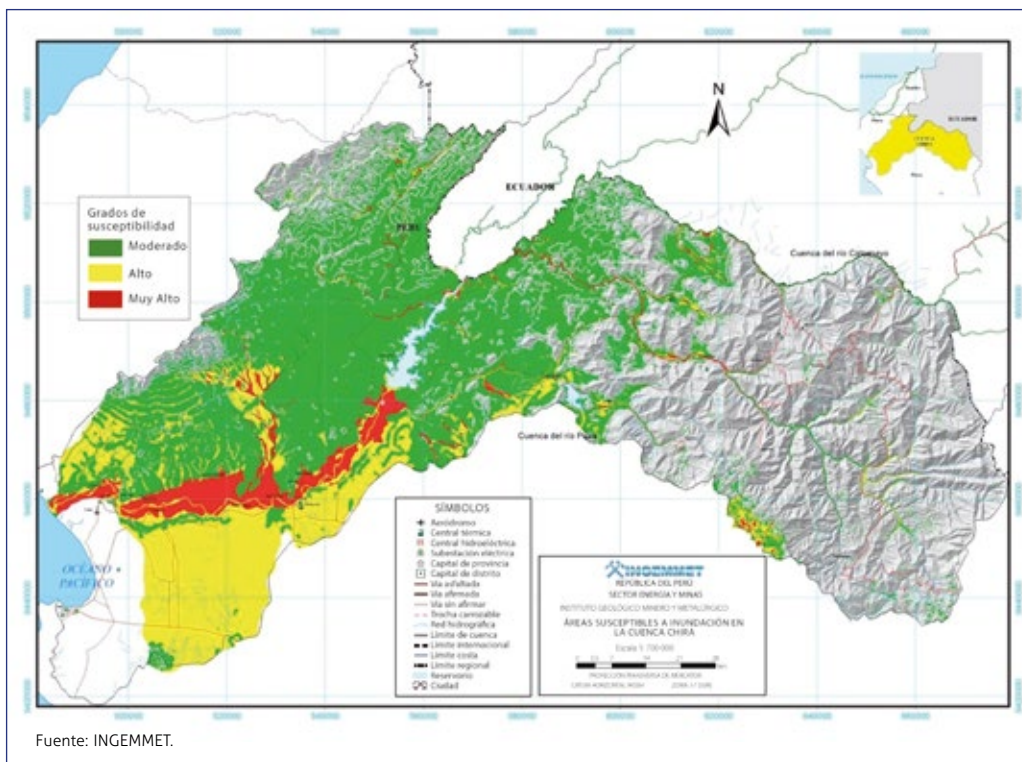
Las unidades geomorfológicas han sido evaluadas de acuerdo con su altura relativa, pendiente y asociación morfogenética que determinan la susceptibilidad a un evento de inundación: (Tabla 5).

Tabla 5  
Ponderación de la geomorfología para el análisis de susceptibilidad

Geoforma	Unidad	Subunidad	Valor
<b>De carácter tectónico-degradacional y erosional</b>	Montañas	Relieve montañoso en rocas intrusivas	1
		Relieve montañoso en rocas volcánicas	1
		Relieve montañoso en rocas volcánico-sedimentarias	1
		Relieve montañoso en rocas metamórficas	1
		Relieve montañoso en rocas sedimentarias	1
		Montaña estructural	1
	Colinas	Relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas	1
		Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánicas	1
		Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánico-sedimentarias	1
		Relieve de colinas y lomadas en rocas metamórficas	1
		Relieve de colinas y lomadas en rocas sedimentarias	1
		Colinas estructurales	1
		Montes isla	1
	Planicies y depresiones	Relieve depresionado	5
Altiplanicie o meseta andina		4	

Geoforma	Unidad	Subunidad	Valor
<b>De carácter deposicional y agradacional</b>	Piedemontes	Piedemonte coluvio-deluvial	1
		Piedemonte aluvio-torrencial	2
		Piedemonte aluvial	3
		Abanicos de piedemonte	2
		Vertiente de detritos	1
		Morrenas	1
	Planicies y depresiones	Valle fluvial y terrazas indiferenciadas	5
		Llanura aluvial o cauce inundable	5
		Terrazas aluviales	4
		Islas	5
		Mantos de arena	1
		Cordón de dunas	1
		Llanura o planicie costera	3
		Llanura disectada	3
		Faja litoral	1
		Cuerpos de agua	Estuario
	Lagunas, embalses y cuerpos de agua		3

Fuente: INGEMMET.



Fuente: INGEMMET.

Figura 20. Mapa de susceptibilidad de la cuenca del río Chira. (Tomado de: Vilchez et al., 2013).



## Factores desencadenantes

Las precipitaciones son un factor determinante para la generación de inundaciones y otros procesos como los movimientos en masa. Estas se generan en una cuenca en función del área de captación de la cuenca, alturas, pendientes y cobertura vegetal (Faustino, 2006); la respuesta del evento de escorrentía se producirá de forma inmediata o tardará un tiempo hasta alcanzar el cauce del río a través del desplazamiento del flujo por sus afluentes.

A nivel internacional se ha extendido el uso de tres grandes periodos de retorno de lluvias máximas: 500 100 y 10 años (Diez *et al.*, 2011). Sin embargo, al no contar con información de máximos en 24 horas para analizar la frecuencia de las lluvias en el área evaluada, se ha realizado un análisis de peligrosidad relativa considerando las precipitaciones promedio del mes de febrero de 1998, mes y año del evento El Niño para las estaciones que circundan a la cuenca del río Chira, con base en la información aportada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2014).

Se interpoló con la herramienta IDW del ArcGIS versión 10.1 y se obtuvo el modelo de la Figura 4.

### a) Valoración de los rangos de precipitación a la inundación

En primer lugar fue necesario calcular las áreas ocupadas por cada episodio de inundación y las áreas de cada rango de precipitación. Luego se estableció el peso ( $W$ ) en función a la probabilidad de ocurrencia de una inundación en un área determinada, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$W = \sum_{i=1}^n [P (A/B_i)] \times P (B_i)$$

Donde:

**W** = Probabilidad de que un determinado pixel desarrolle inundaciones

**P (A/B<sub>i</sub>)** = Probabilidad de que una inundación (A) ocurra para cada clase de precipitación B

**P (B<sub>i</sub>)** = Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones

Luego de esto se transforma de información vectorial a matricial para poder hacer las operaciones algebraicas de geoprocésamiento. Para este estudio, el tamaño de pixel empleado al convertir los mapas a ráster ha sido de 50x50 m. Luego se asigna el valor del índice o probabilidad (peso  $W$ ) obtenido para las unidades cartográficas del terreno.

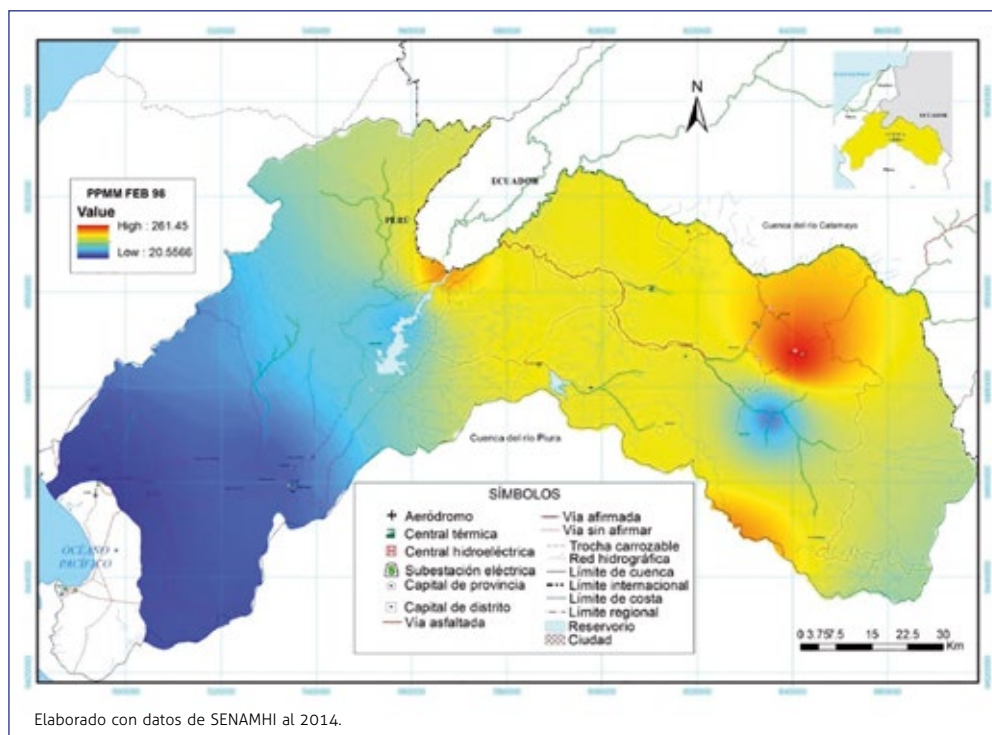


Figura 21. Estimación con IDW de la precipitación promedio mensual de febrero de 1998, mes en que se detonó el evento El Niño en Piura.

Tabla 6  
Rangos de precipitación empleados para el modelo de precipitación

Unidades de precipitación (UP)	Precipitación en mm
1	20 - 60
2	61 - 150
3	151 - 260

Tabla 7  
Cálculo estadístico de la contribución de las unidades de precipitación a la peligrosidad por inundaciones en la zona de estudio

UP	Área Up (m <sup>2</sup> )	A inundaciones (m <sup>2</sup> )	Prob. In en up	P up	P total	Normalización
1	1825464756	4825642,9	0,0026435	0,1709	0,00045177	13,1
2	3676708356	1,6486	0,00000001	0,3443	3,44E-09	1,2
3	5176858894	0	0	0,4847	0	0
Total	10679032006					

Fuente: INGEMMET.





Se observa que la unidad 1 (precipitación promedio entre 20 y 60 mm) corresponde al área donde se registraron las inundaciones asociadas al evento El Niño 1997-1998.

El resultado de la suma entre el mapa de susceptibilidad y precipitaciones se reclasifica en cuatro niveles, que van desde baja hasta muy alta y representan la peligrosidad relativa a las inundaciones del área de estudio (Figura 6). Además, la susceptibilidad es condicionante para la discriminación de las zonas de inundación y su precipitación promedio.

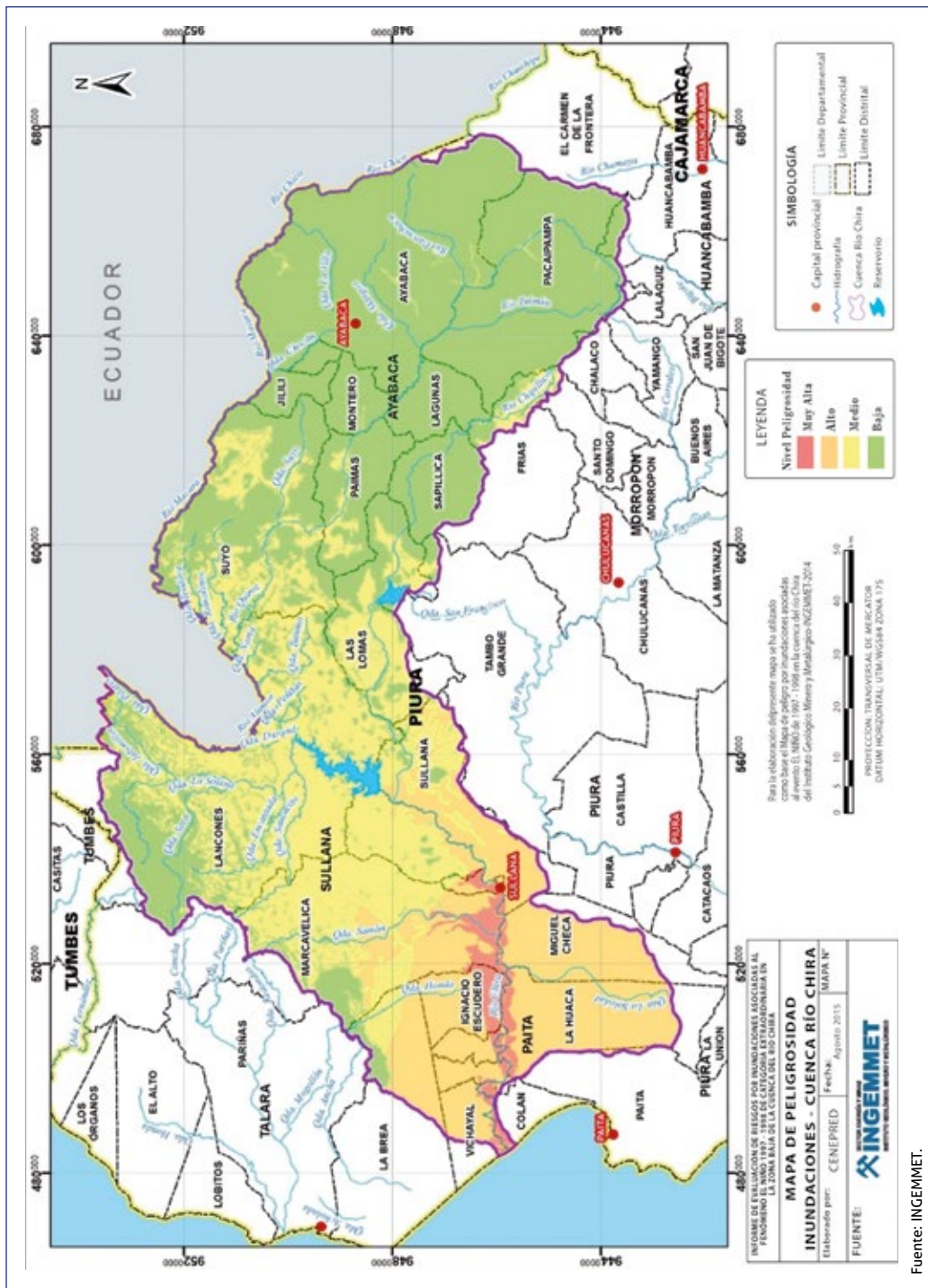
### 3.4. Estratificación de peligrosidad

Tabla 8  
Estratificación de la peligrosidad

Niveles	Descripción
<b>Muy alto</b>	Son terrenos llanos, con pendiente de 0 a 5°, presencia de llanuras de inundación, por tanto áreas muy susceptibles a inundaciones. Presentan precipitaciones promedio mensual entre 20 y 60 mm.
<b>Alto</b>	Son terrenos llanos, con pendiente de 5 a 25°, moderada presencia de materiales inconsolidados. Zonas de planicies y planicies disectadas. Precipitación promedio mensual entre 61 y 150 mm.
<b>Medio / Moderado</b>	Son terrenos llanos, con pendientes mayores a 35°, colinas, lomadas, zonas onduladas, montañas y otras formas abruptas. Precipitación promedio mensual entre 151 y 260 mm.
<b>Bajo</b>	Relieves montañosos, con pendientes mayores a 45°, áreas con baja o nula susceptibilidad a inundaciones. Se presentan precipitaciones en exceso acumuladas entre 72 y 600 mm durante el verano.

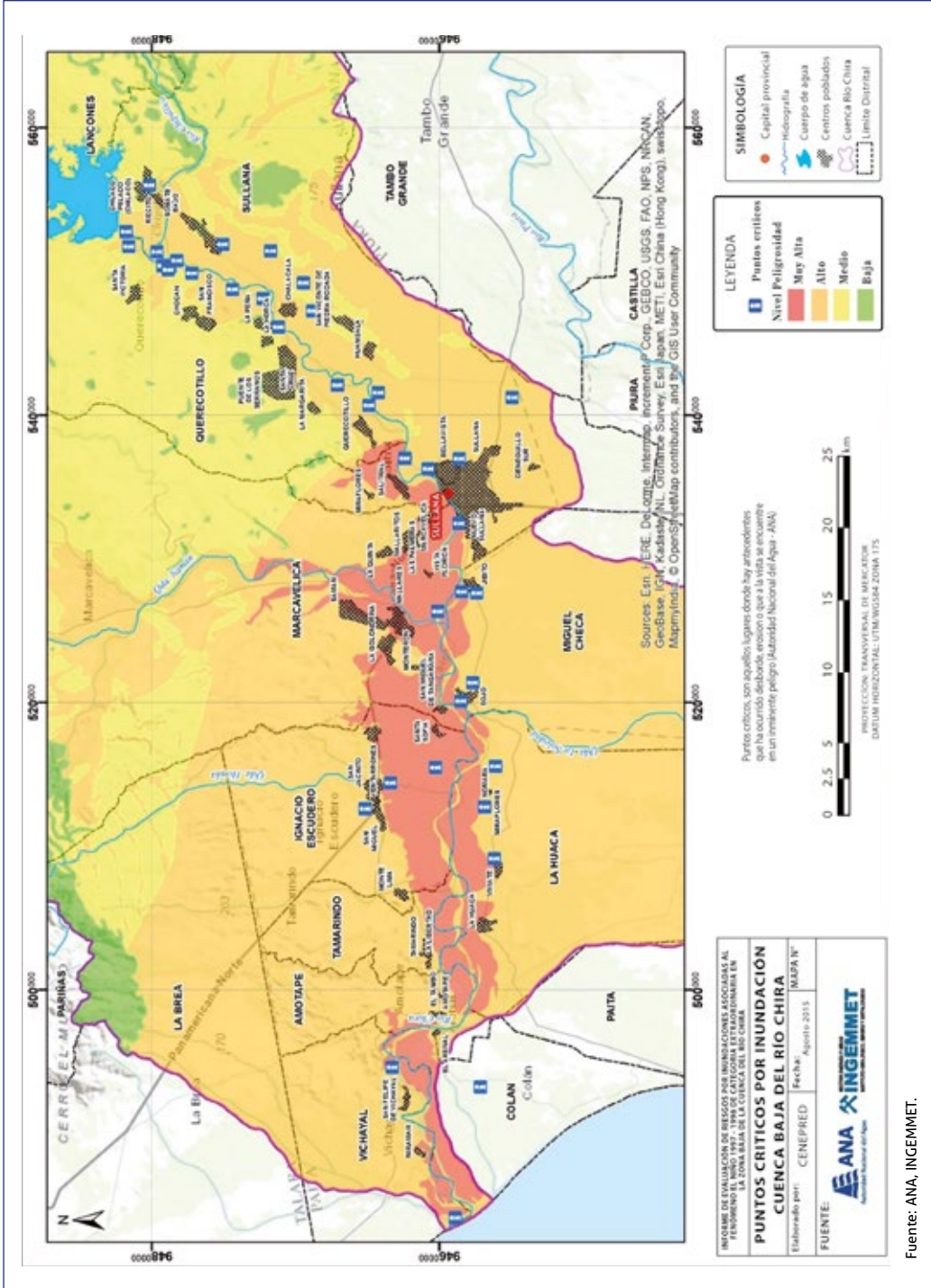
Fuente: INGEMMET

### 3.5. Mapa del nivel de peligrosidad por inundación



Fuente: INGEMMET.

Figura 22. Mapa de peligro por inundaciones asociadas al evento El Niño de 1998 en la cuenca del río Chira.



Fuente: ANA, INGENMET.

Figura 23. Mapa de ubicación de puntos críticos de inundación.

# Conclusiones

- En el Perú, los eventos del fenómeno El Niño costero, particularmente los extraordinarios, ocasionan el aumento de la temperatura del mar en el litoral norte, que a su vez origina intensas lluvias que dan origen a inundaciones, huaycos y deslizamientos.
- Ante el peligro de inundaciones originadas por lluvias asociadas al fenómeno El Niño, en el área de la cuenca del río Chira, encontramos aproximadamente 417 763 habitantes en 100 856 viviendas (INEI, 2007).
- El presente informe de evaluación de la peligrosidad ante inundaciones en la cuenca del río Chira está sustentando en estudios especializados de identificación y mapeo de los factores condicionantes del territorio, así como del factor climático desencadenante; trabajos realizados y sustentados por las entidades técnico-especializadas como el INGEMMET y las entidades conformantes del Comité ENFEN.
- Del mapa de peligrosidad obtenido se observa que los distritos de las provincias de Paita (Amotape, Tamarindo, La Huaca, Colán, Arenal y Vichayal) y de la provincia de Sullana (Marcavelica, Salitral, Ignacio Escudero, Sullana, Querocotillo y Miguel Checa) presentan zonas de muy alta peligrosidad susceptibles a inundaciones.



# Recomendaciones

- Se recomienda que el Gobierno Regional de Piura coordine permanentemente con el ENFEN con la finalidad de informar oportunamente a las autoridades encargadas de la gestión de riesgo a nivel local, de tal manera que se adviertan a las poblaciones expuestas sobre la proximidad de lluvias intensas.
- El Gobierno Regional de Piura, en coordinación con los gobiernos locales y con la asistencia técnica del CENEPRED, deberán realizar de manera prioritaria estudios y/o informes de evaluación de riesgos ante el fenómeno de inundaciones de los centros poblados de los distritos ubicados en zonas de muy alta peligrosidad; para ello es necesario obtener información socioeconómica y de infraestructura de viviendas a nivel de detalle.
- Se recomienda que el INGEMMET, IGP, SENAMHI, el comité ENFEN y las entidades involucradas con la generación de información, coordinen con el Gobierno Regional de Piura para la realización de estudios, muestreos y levantamiento de información a escala de detalle a los centros poblados indicados en el párrafo anterior, con el objetivo de reducir el porcentaje de incertidumbre en la estimación de los niveles de riesgo asociado a El Niño en apoyo de la toma de decisiones.
- Se recomienda que la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con el Gobierno Regional y gobiernos locales involucrados en la zona de estudio, delimiten las fajas marginales que contribuyan a la ocupación y uso seguro del territorio. Para iniciar este trabajo deben tomar en cuenta el cartografiado de procesos geológico y geohidrológicos efectuado por el INGEMMET en la región Piura.

# Referencias Bibliográficas

- **PALACIOS, O. (1994).** Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada Seca, Zorritos, Tumbes, Zarumilla. INGEMMET Boletín 54 serie A: Carta geológica nacional, 190 pp.
- **VÍLCHEZ, M.; LUQUE, G.; ROSADO, M. (2013).** Riesgos geológicos en la región Piura. INGEMMET, Boletín 52 serie C: Geodinámica en Ingeniería Geológica, 284 pp.
- **DÍAZ, A.; VILLEGAS, E.; ALFARO, L.; AVALOS, G. (2014).** El fenómeno El Niño en el Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (eds.). Dossier informativo. Dirección General de Meteorología - Dirección de Climatología. 36 pp.
- **MELLA, M.; GARRIDO, N. (2015).** Microzonificación del peligro de remociones en masa e inundación del área Caunahue, Comuna de Futrono, Región de Los Ríos, Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Técnico, 16. pp.
- **CAI, W.; BORLACE S.; LENGAGNE, M.; RENSCH, P.; COLLINS, M.; VECCHI, G.; TIMMERMANN, A.; SANTOSO, A.; MCPHADEN, M.J.; WU, L.; ENGLAND, M.; WANG, G.; GUILYARDI, E.; JIN, F.F. (2014).** Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming, Nature Climate Change, doi: 10.1038/nclimate2100.
- **CAF. (2000).** El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, Retos y Soluciones. Vol 5: Perú, Corporación Andina de Fomento, 293 pp.
- **CAPOTONDI, A.; WITTENBERG, A.T.; NEWMAN, M.; LORENZO, E.D.; YU, J.Y.; BRACONNOT, P.; COLE, P.; DEWITTE, B.; GIESE, B.; GUILYARDI, E.; JIN, F.F.; KAMAUSKAS, K.; KIRTMAN, B.; LEE, T.; SCHNEIDER, N.; XUE, Y.; YEH, S. (2015).** Understanding ENSO diversity. Bulletin of the American Meteorological Society, doi:10.1175/BAMS-D-13-00117.1
- **CARRARA, A.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P. (1995).** GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara, A., Guzzetti, F. (eds.). Netherlands, pp. 135-175.
- **CARRILLO, C.N. (1892).** Hidrografía oceánica, Bol. Soc. Geogr. Lima, 2, 72-110.
- **DESER, C.; WALLACE, J.M. (1987).** El Niño events and their relation to the Southern Oscillation. Journal of Geophysical Research, 92, C13, 14189-14196.
- **DRACUP, J.A.; E. KAHYA. (1994).** The Relationships between U.S. Streamflow and La Niña Events, Water Resources Research 30 (7) 2133-2141.
- **ENFEN. (2012).** Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en el Costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.
- **ENFIELD, D.B. (1995).** Prevención de los eventos climáticos en las Américas. En: Desastres y Sociedad, Año 3, N°. 5: 180-187.
- **ENFIELD, D.B. (1987).** Progress in understanding El Niño. Endeavour, 11: 197-204.
- **FAUSTINO, J. (2006).** Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba – Costa Rica. 400 pp.
- **FERRADAS, P. (2000).** El Fenómeno “El Niño” y los desastres: Enfoque y estrategias de las ONGs. Lima.
- Gestión del riesgo de desastres para la planificación del desarrollo local/ Mesa de Concertación de Lucha contra la Pobreza – **MCLCP/ 2009.**

- **GLANTZ, M.H. (1996).** Currents of Change: El Niño's Impact on Climate and Society. Cambridge University Press, Cambridge, 194 pp.
- Guía Metodológica para incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en la Planificación del Desarrollo/ **COSUDE-PREDES/2011.**
- **GALARZA, E.; J. KÁMICHE. (2012).** Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) en la economía regional de Piura, Lambeyque y La Libertad, Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico.
- **HASTENRATH, S. (1990).** Diagnostics and Prediction of Anomalous River Discharge in Northern South America, *Journal of Climate*, Vol. 3, 1080-1096.
- **LAGOS, P.; SILVA, Y.; NICKL, E.; MOSQUERA, K. (2008).** El Niño related precipitation variability in Peru. *Advances in Geosciences* 14, 231-237. doi:10.5194/adgeo-14-231-2008.
- **LAVADO, W.; ESPINOZA, J.C. (2014).** Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru. *Revista Brasileira de Meteorología*, 29, 171-182.
- **LEÓN, K. (2014).** Análisis espacio-temporal de las precipitaciones y caudales durante los eventos El Niño (1982-83 y 1997-98) en la costa norte peruana. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **MACHUCA, R. (2014).** Cálculo de daños económicos potenciales en viviendas por inundaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño: caso norte peruano. Tesis Profesional Economía, Universidad Nacional del Callao.
- **MECHOSO, C.; G. PÉREZ IRIBARREN. (1992).** Streamflow in Southeastern South America and the Southern Oscillation, *Journal of Climate*, Vol. 5, 1535-1539.
- **PEZET, F.A. (1895).** The counter current "El Niño," on the coast of northern Peru. Report of the Sixth International Geographical Congress, held in London, 603-606 Piechota, T. C., Long-Range Seasonal Streamflow Forecasting and the El Niño-Southern Oscillation), UCLA, 1997.
- **QUINN, W.H.; D.O. ZOPF; K.S. SHORT; R.T. KUO YANG. (1978).** Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. *Fish. Bull.*, 76, 663-678.
- **ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. (1987).** Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 115, pp. 1606-1626.
- **ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. (1989).** Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, pp. 268-282.
- **WAYLEN, P.R.; C. CAVIEDES. (1986).** El Niño and Annual Floods on the North Peruvian Littoral, *Journal of Hydrology* 89, 141-156.
- **MARTÍNEZ, M. (1970).** Geología del basamento paleozoico en las montañas de Amotape, y posible origen del petróleo en rocas paleozoicas del noroeste del Perú. Primer Congreso Latinoamericano de Geología, vol. 2, pp. 105-138.



# República Bolivariana de Venezuela





# ÍNDICE

<b>1</b> /	Informe técnico de la actividad sobre incendios forestales	328
1.1.	Objetivo	328
1.2.	Ubicación geográfica	328
1.3.	Descripción física de la zona a evaluar	330
1.4.	Sistema eléctrico del área metropolitana de Caracas	334
1.5.	Determinación del nivel de peligrosidad	335
a.	Caracterización de los peligros	337
b.	Identificación de elementos expuestos	337
1.6.	Análisis de vulnerabilidad	337
1.7.	Desarrollo del modelo	339
a.	Metodología para la elaboración de un mapa de amenaza por incendio forestal en el Waraira Repano	339
b.	Metodología para la elaboración de un mapa de vulnerabilidad por incendio forestal en el Waraira Repano	341
c.	Metodología para la elaboración de un mapa de riesgo por incendio forestal en el Waraira Repano	343
1.8.	Análisis de los mapas resultado	345
a.	Mapa de amenazas	345
b.	Mapa de vulnerabilidad	346
c.	Mapa de riesgos	347



<b>2 /</b>	<b>Inundación y movimientos de masa</b>	<b>348</b>
	2.1. Objetivo	348
	2.2. Ubicación geográfica	348
	2.3. Caracterización social del área de estudio: sectorización	349
	2.4. Caracterización urbana	358
	2.5. Caracterización geomorfológica	359
	2.6. Metodología para analizar la amenaza	373
	a. Selección de capas temáticas a utilizar en la evaluación de la amenaza	373
	b. Transformación de elementos lineales y puntuales en polígonos de análisis	374
	c. Asignación de valores ponderados a las categorías de cada variable	376
	d. Superposición de mapas temáticos	378
	e. Clasificación de unidades de amenaza	379
	f. Análisis de resultados de la amenaza	380
	2.7. Análisis de vulnerabilidad	382
	a. Metodología para analizar la vulnerabilidad	383
	a.1. Selección de capas temáticas a utilizar en la evaluación de la vulnerabilidad y asignación de valores a las categorías de cada variable	383
	a.2. Cálculo de valores ponderados de vulnerabilidad para cada unidad de análisis espacial	387
	a.3 Superposición de mapas temáticos	387
	a.4 Transformación de las estructuras en polígonos o áreas de análisis	393
	a.5 Clasificación de unidades de vulnerabilidad	394
	b. Análisis de resultados de la vulnerabilidad	395



<b>3 /</b>	Análisis de riesgo	398
	3.1. Metodología para analizar el riesgo	399
	a. Selección de capas temáticas en la evaluación del riesgo	402
	b. Identificación de la asignación de valoraciones ponderadas a las categorías de cada variable	403
	c. Superposición de mapas temáticos	403
	d. Cálculo de valores ponderados de riesgo para cada unidad de análisis espacial	403
	e. Clasificación de unidades de riesgo	404
	3.2. Análisis de resultados del riesgo	405
	Referencias bibliográficas	408



# 1 Informe técnico de la actividad sobre incendios forestales

## 1.1 Objetivo

El objetivo de la actividad es que todas las delegaciones expliquen de manera pedagógica sus experiencias en materia de riesgos y establecer un conjunto de procedimientos técnicos y metodológicos estandarizados para la elaboración de mapas de riesgos de los países suramericanos y, a su vez, la implementación de mecanismos tecnológicos que faciliten su difusión, transferencia y acceso.

Para tal fin, la delegación venezolana participó en las siguientes mesas técnicas de trabajo: Incendios forestales y heladas asociadas a las temperaturas extremas e inundaciones y Movimientos de masa asociados a la precipitación.

## 1.2. Ubicación geográfica

El parque nacional Waraira Repano se encuentra dentro del territorio del distrito capital y los estados Miranda y Vargas, de la República Bolivariana de Venezuela. De manera relativa, este se encuentra parcialmente en la jurisdicción de las parroquias Sucre, La Pastora, Altagracia, San José, Candelaria y el Recreo, del municipio libertador del distrito capital Maiquetía, La Guaira, Macuto, Caraballeda y Naiguatá, del estado Vargas, y por otra parte, los municipios Sucre, Plaza y Zamora, del estado bolivariano de Miranda.

De acuerdo con el Decreto Presidencial N° 473 del 12 de diciembre de 1958 y publicado en la *Gaceta Oficial* N° 25841 del 10 de diciembre de 1958, el parque nacional Waraira Repano se encuentra dentro de los siguientes linderos:

**Por el norte:** se parte del punto al oeste de la quebrada Tacagua determinado por la intersección de la curva de nivel de la cota 120, con una línea paralela a su cauce, en 200 m en las inmediaciones del cerro Mirabal, y se continúa por esta curva de nivel en dirección al este, atravesando las parroquias de Maiquetía, La Guaira, Macuto, Caraballeda y Naiguatá, hasta el punto en que esta curva de nivel llega a la divisoria de aguas de la vertiente oriental del río Botuco.

**Por el este:** partiendo del último punto citado, se continúa por la línea divisoria oriental de la hoya del río Botuco y luego se sigue por la divisoria de aguas de la cuenca alta del río Chiquito hasta enlazar con la fila maestra; de aquí se continúa por la fila maestra en dirección al este, hasta encontrar la divisoria de aguas entre el río Araira, por una parte, y por la otra la cuenca alta de los siguientes cursos de agua: río Silma, que es un afluente del río Guatire, quebrada Ceniza y quebrada Seca, y después se continúa, por esta divisoria de aguas hasta encontrar la curva de nivel de la cota 500.





**Por el sur:** partiendo del punto anteriormente citado, se sigue por la curva de nivel de la cota 500, atravesando el río Curupao y siguiendo por su vertiente derecha hasta encontrar una quebradita o zanjón, afluente del río Curupao, frente al sitio denominado "Curupao"; se continúa cauce arriba por dicha quebradita o zanjón hasta llegar a la cumbre de la fileta divisoria de aguas, orientada de este a oeste, entre el río Grande y la Fila Maestra; luego se sigue por dicha fileta atravesando la quebrada Izcaragua hasta llegar al río El Encantado, y continuando por el cauce de este río hasta la confluencia con el río Grande, se continúa por este río hasta el punto en que se encuentra la curva de nivel de la cota 1 000 y se continúa por dicha curva de nivel hasta enlazar con la proyectada "Avenida de la Cota Mil", por la cual se sigue hasta atravesar la autopista Caracas-La Guaira; luego se continúa dejando una faja de terreno de 200 m de ancho en la margen izquierda de dicha autopista, conservando ese mismo ancho de 200 m con respecto al cauce de la quebrada que nace en la Cortada de Catia, y luego se continúa hasta encontrar el cauce de la quebrada Tacagua.

**Por el oeste:** partiendo del citado punto en el cauce de la quebrada Tacagua, el lindero sigue siendo una línea paralela a 200 m a la izquierda de la quebrada Tacagua o de la autopista, hasta encontrar el punto donde se comenzó el lindero norte.

Posteriormente, en el año 1974 según Decreto N° 114 de fecha 26 de mayo y *Gaceta Oficial* N° 30.408 del 27 de mayo de 1974, se amplía el área del parque nacional El Ávila.

De manera general se incrementa el área del parque hacia las parroquias Caruao del estado Vargas y parroquia higueroite, del municipio Brión del estado bolivariano de Miranda. De manera específica, cuatro puntos determinan la extensión de esta área, los cuales se definen así:

**Punto 1:** Intersección de la cota +400 con el lindero este del parque nacional El Ávila (cerca del río Botuco).  $10^{\circ} 34' 30''$  N  $66^{\circ} 33' 05''$  W.

**Punto 2:** Intersección de la cota +400 con línea divisoria sur de aguas de la cuenca del río Curiepe.  $66^{\circ} 18' 14''$  W  $10^{\circ} 18' 14''$  N.

En el año 2010, por decreto presidencial se cambia de nombre a este parque nacional pasando de ser llamado El Ávila a Waraira Repano como lo señala la Asamblea Nacional (2010). A continuación se muestra el área de estudio en la Figura N° 1.



Foto 1. Parque Nacional Waraira Repano.

### 1.3. Descripción física de la zona a evaluar

La zona que comprende el parque nacional Waraira Repano se circunscribe a la serranía del litoral del complejo cordillerano central venezolano. Este sistema debe su origen a la colisión de las placas tectónicas del Caribe y la de América del Sur, aproximadamente unos 85 millones de años, como señala Vivas (2012) y que muestra que hubo un culmen de levantamiento orográfico hace aproximadamente 65 millones de años, lo cual permite ubicarlo en los periodos Paleoceno y Eoceno.

El movimiento sufrido por la colisión de las placas tectónicas ha sido de deslizamiento lateral más que de subducción. El esfuerzo resultante de este proceso ha generado igualmente la formación de importantes sistemas de fallas geológicas tanto longitudinales como transversales.

Entre las principales fallas se encuentra el complejo de fallas de El Ávila, cuya traza principal se asocia con la base del macizo, lo que genera o se evidencia en la fuerte inclinación de sus vertientes y zonas de debilitamiento litológico al pie de ellas.

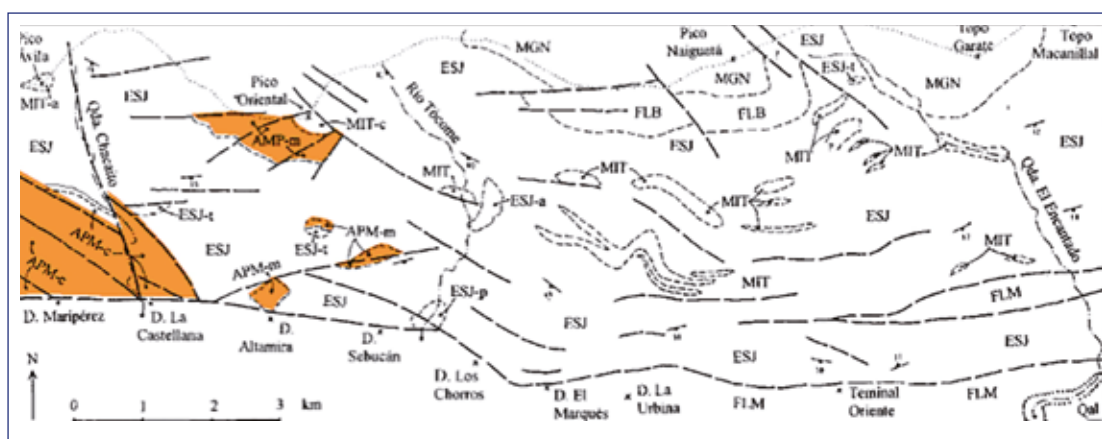


Figura 1. Parque Nacional Waraira Repano.

El área ocupada por el parque nacional Waraira Repano se caracteriza por un relieve que va desde los 0 msnm hasta los 2 765 msnm en su cúspide. Esta variación se corresponde para la vertiente norte que se evidencia por su contacto con la zona litoral del estado Vargas, mientras que por su vertiente sur la variación va desde los 1 000 msnm, aproximadamente, en su base, hasta los 2 765 msnm.

El punto más alto del conjunto montañoso es el pico Naiguatá con una altura de 2 765 msnm. Otras alturas representativas se asocian con Topo Galindo (2 550 msnm), pico Occidental (2 250 msnm), Topo Infiernito (1 945 msnm) y La Cumbre (1 550 msnm).

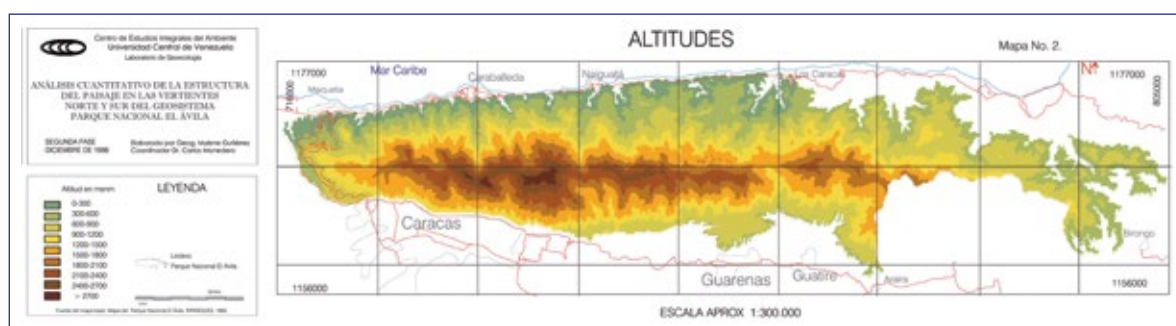


Figura 2. Mapa de relieve.



Las diferencias altitudinales del relieve que describen al parque nacional Waraira Repano son, en esencia, el determinante y modificador de los pisos climáticos que caracterizan a esta porción de espacio. De manera general se puede inferir que el clima es de montaña, pero siempre recordando que dependerá del piso térmico, exposición de sus laderas a la insolación y el viento.

La temperatura media es de unos 13 °C con precipitaciones medias de 1 500 mm, siendo la vertiente norte más húmeda que la sur por efecto de la orografía que induce la lluvia orográfica. Son evidentes dos estaciones: la seca, que va de diciembre a abril y la de lluvias, de mayo a noviembre, siendo más marcado durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

La hidrografía del área del parque es bastante abundante. A lo largo de todo el territorio se evidencian cursos de agua permanentes de diversa jerarquía destacándose un sinnúmero de afluentes del río Guaire, principal río de la ciudad de Caracas, esto en la vertiente sur, mientras que en la vertiente norte, afluentes que desembocan directamente en el mar Caribe, mientras que otros forman parte de la subcuenca de río Grande o río Cauagua y otros, desembocan en las costas de Barlovento.

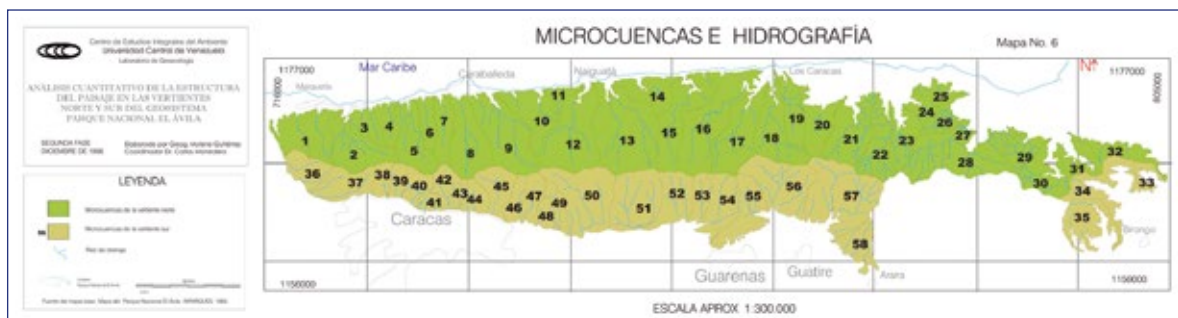


Figura 3. Mapa de hidrografía.

La flora del parque nacional Waraira Repano varía según la altura con relación al nivel del mar; las alturas en el parque varían desde los 0 msnm hasta la altura máxima de 2 765 msnm, gracias a estas alturas de variadas mediciones pueden encontrarse múltiples tipos de vegetación. El Waraira Repano posee dos tipos de vertientes: una norte, la cual se localiza desde el mar Caribe, y la vertiente sur, localizada desde Caracas.

**Bosque xerofítico:** este tipo de vegetación se encuentra presente en la vertiente norte, en las áreas más cercanas al mar Caribe, entre los 0 msnm hasta los 500 msnm. La vegetación posee características de las zonas de altas temperaturas y donde escasea el agua, las especies vegetales más comunes son diferentes especies de cactus, el carmacate, el cují negro, el tiamo, el olivito, el dividivi, el roble, el indio desnudo, el cardón, el roble, el guamacho, la tuna y el cariaquito. Sabanas: presente en las zonas bajas del parque, aproximadamente desde los 1 000 hasta los 1 600 m, las sabanas cubren entre el 30 y 50% de la vertiente sur. Las especies vegetales más comunes son el toporón, el micay, el gamelote, el capinmelao, el mantequero, el mameicillo, el hipericón, la tara amarilla, el quiripití y el hayuelo.

**Bosque tropófilo:** seguidamente de la vegetación de sabana, prosigue el bosque tropófilo, también llamado veraneo o caducifolio. Los árboles presentes en esta área durante el verano o sequía, pierden el follaje. Este tipo de bosque aproximadamente se encuentra entre los 1 200 hasta los 1 600 msnm. Las especies vegetales más comunes son: el araguaney, el jabillo, el copey, el indio desnudo, el pardillo y el bucare.

**Selva nublada:** se presenta este tipo de vegetación en algunas áreas aproximadamente a partir de los 1 600 hasta los 2 000 msnm. El origen de esta vegetación se debe a la presencia constante de niebla, producto de las nubes que se alojan en las partes altas de la montaña. Es un área

húmeda, los árboles son altos y sus hojas siempre son de color verde. Las especies vegetales más comunes son varios tipos de orquídeas, helechos, rubiáceas, cesneriáceas, peperonias, aráceas, palmeras, el guayaba de hierro, el almendro, el matapalo, el quesillo, el copey y la santa María.

**Subpáramo:** en esta área abunda vegetación del tipo matorral andino, se parece a los páramos de los Andes y se presenta a partir de los 2 200 m hacia arriba, es decir, en las mayores alturas. Las especies vegetales más comunes son: la rosa del Ávila, el incienso, la hierba de páramo, el bambucillo, orquídeas, la espadilla azul y el lirio de monte.

**Vegetación secundaria:** este tipo de vegetación está conformado por especies que no pertenecen a la zona, son especies atípicas, es decir, fueron plantadas por el ser humano o son reforestaciones. Puede observarse vegetación secundaria en la zona de la Zamurera y Papelón, donde plantaron especies exóticas, tales como los pinos de Australia, el eucalipto y las grevileas. Algunos especialistas recomiendan que para próximas reforestaciones se utilicen especies autóctonas, para de esa manera mantener el parque sin cambios secundarios producto del ingreso de nuevas especies vegetales.



Figura 4. Mapa de vegetación.

## Descripción socio-urbana

En el contexto geográfico regional-urbano, el parque nacional Waraira Repano está rodeado de centros poblados de primera importancia y nacional; tal es el caso de la ciudad de Caracas, al sur del área, con más de 2,4 millones de habitantes, sumando a esto la población flotante que se moviliza de otros centros poblados a Caracas. Otros centros de alta densidad son Guarenas, Guatire y Los Teques; al norte se localizan centros de importancia nacional y regional y se asientan el principal aeropuerto del país (Aeropuerto Simón Bolívar) y el puerto marítimo de La Guaira. Por igual, el litoral central es de importancia regional en el aspecto recreativo y turístico dado el atractivo de las playas y costas; así, se tienen centros de población de importancia como son La Guaira, capital del estado Vargas, Catia la Mar y Macuto, entre otros (CENAMB, s/f).





Tabla 1  
Población cercana al parque nacional Waraira Repano que le ejercen presión directa.

Código	Parroquia	Pob. 2011	Municipio	Pob. Mun	Entidad	Pob. Entidad
1	SAN JOSÉ	39 604	LIBERTADOR	1 943 901	DISTRITO CAPITAL	1 943 901
2	ALTAGRACIA	47 922				
3	SAN BERNARDINO	27 353				
4	EL RECREO	112 809				
5	SUCRE	345 944				
6	LA PASTORA	80 397				
7	CHACAO	61 213	CHACAO	61 213	MIRANDA	2 675 165
8	GUARENAS	209 987	PLAZA	209 987		
9	CAUCAGÜITA	67 013	SUCRE	600 351		
10	LEONCIO MARTÍNEZ	63 260				
11	PETARE	372 616				
12	CARABALLEDA	48 622	VARGAS	352 920	VARGAS	352 920
13	LA GUAIRA	19 162				
14	MACUTO	20 033				
15	MAIQUETÍA	31 657				
16	NAIGUATA	17 877				
17	CARLOS SOUBLETTE	30 525				
		1 595 994		3 168 372		4 971 986

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (2011). Elaboración propia.

La presión demográfica sobre el parque nacional es muy alta tanto desde la parte urbana del área metropolitana de Caracas, que trata de subir a esa parte de la montaña pero las restricciones le han permitido garantizar la no intervención, como a lo interno por las comunidades rurales que de una u otra forma también van ejerciendo presión para ampliar su actividad económica, que es básicamente de subsistencia.

Sin embargo, cabe destacar que han existido propuestas para la desafectación de algunas zonas del parque nacional para aprovecharle desde el punto de vista urbano, pero no ha trascendido ya que eso es una atribución de la Asamblea Nacional y que de llegarse a dar afectaría desde el punto de vista de seguridad y defensa.

### 1.4. Sistema eléctrico del área metropolitana de Caracas

Hasta ahora se ha venido describiendo el parque nacional Waraira Repano, paisaje ícono de la ciudad capital de Venezuela, reservorio de diversidad de especies animales y vegetales, y como es bien llamado pulmón natural de Caracas.

Ahora bien, todas esas características le revisten de gran importancia. Sin embargo, existe otro elemento que el hombre ha establecido dentro de esta área y que desde el punto de vista de seguridad y defensa es de gran impacto, este es el tendido eléctrico que atraviesa el parque y que se encarga de distribuir la energía eléctrica a las subestaciones del distrito capital, estado Vargas y estado bolivariano de Miranda.

El sistema de electricidad de Caracas se conecta al sistema mediante dos nexos de interconexión. Uno de estos nexos lo conforman dos circuitos a 230 mil voltios que parten desde la subestación Santa Teresa 400/230 mil voltios, y el otro nexo lo representa la conexión de los transformadores 765/230 mil voltios de la subestación Sur (ver imagen anexa).

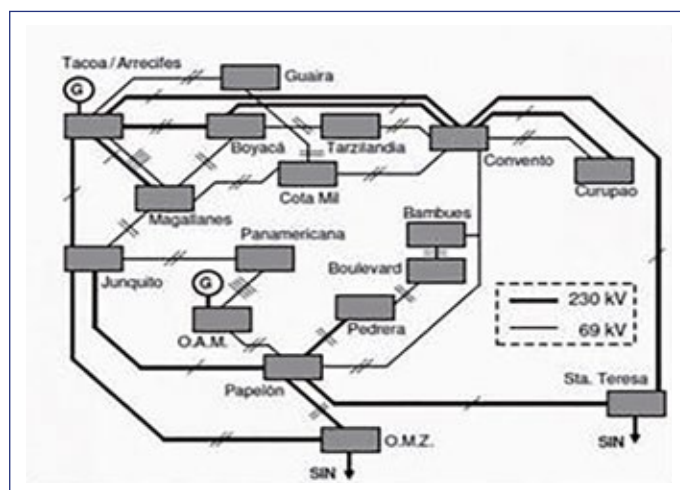


Figura 5. Sistema de interconexión.

Desde el punto de vista de seguridad y defensa, es de gran importancia el conocer y tener un plan de gestión ante un posible incendio forestal dentro del parque nacional, dado que es la amenaza principal a la cual es vulnerable el sistema de distribución eléctrico del área metropolitana de Caracas.

También, es importante el conocimiento y generación de lineamientos de acción ante la posibilidad de un evento, ya que la población afectada, aproximadamente, sería de 5 millones de personas; además se trastornaría el centro de poder político, económico-financiero, empresarial más importante del país, las pérdidas económicas por demás serían cuantiosas y, desde el punto de vista natural, los incendios conllevan la denudación del suelo que, expuesto, posteriormente las lluvias pueden detonar deslizamientos afectando vertiente abajo y causando daños a infraestructuras de importancia, como la avenida Boyacá (cota mil) de gran importancia y estrategia.

En los últimos años se ha venido evidenciando afectación por incendios al parque nacional Waraira Repano (ver imagen) que autoridades como el ministro de Ambiente, Miguel Rodríguez, han calificado de inducidas y premeditadas con el fin de generar daños directos e indirectos



sobre bienes y servicios, para generar matriz de opinión política, por lo cual desde este punto de vista es importante la generación de un plan maestro de gestión de riesgo ante incendios forestales para este parque nacional.

Ejemplo de uno de los incendios forestales más recientes, ocurridos en el parque nacional Waraira Repano, fue el que afectó "Las líneas de transmisión 1 y 2 del sistema eléctrico Taca-Boyacá (...) Varias zonas metropolitanas de Caracas no tienen servicio eléctrico, entre ellas La Candelaria, San Bernardino, Parque Carabobo, San Agustín del Norte, Sabana Grande, El Bosque y parte de La Florida", de acuerdo con la información del ministro de Energía, Jessi Chacón.

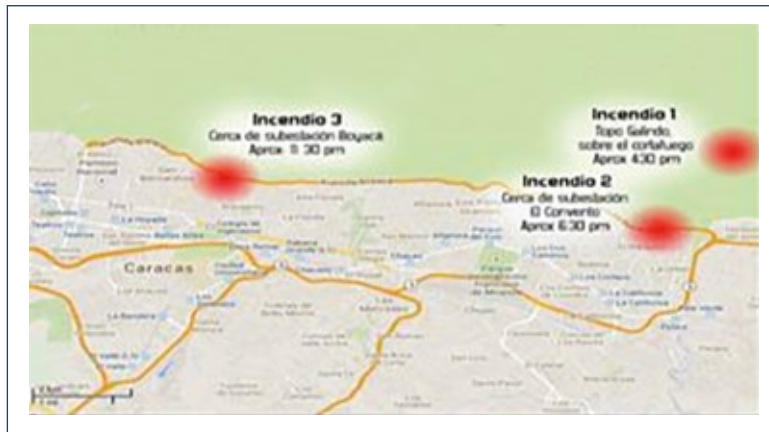


Figura 6. Incendios ocurridos el 24 de marzo de 2014. Caracas, Venezuela

## 1.5. Determinación del nivel de peligrosidad

### Identificación de los peligros desde el punto de vista forestal

Todos los años, empezando la época seca, aproximadamente hacia el mes de marzo, se generan incendios forestales que consumen cientos de hectáreas del parque, algunos eventos documentados históricamente permiten establecer tal afirmación (ver cuadro anexo).

**Tabla 2**  
**Incendios forestales en el parque nacional**

Fecha inicio	Tipo de evento	Ubicación geográfica	Sitio	Fuentes	Observaciones de efectos
25/04/1970	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila - Catuche	El Nacional	Varias ha. destruidas
25/04/1970	Incendio forestal	MIRANDA/CHACAO	Parque Nacional El Ávila cercano a la redoma de la Castellana	El Nacional	
04/02/1984	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila	El Universal	
12/04/1984	Incendio forestal	VARGAS/VARGAS-NAIGUATÁ	Parque Nacional El Ávila. Detrás del sector Carmen de Uria	El Universal	
12/04/1985	Incendio forestal	MIRANDA/CHACAO	Parque nacional El Ávila entre Altamira y la Castellana	El Universal	
23/05/1991	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila	El Universal	
11/01/1992	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila	El Universal	
13/03/1996	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila, sector Loma del Cuño	El Universal	La temporada de sequía complica la situación pues la vegetación está muy seca y con la ayuda del viento las llamas se extienden con facilidad.
07/03/2001	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila, sector Lídice.	El Universal	
14/02/2003	Incendio forestal	MIRANDA/PLAZA	Parque Nacional El Ávila, sector Curupao-Guareñas	El Universal	El incendio se desarrolló a lo largo de la cota 950 consumiendo vegetación boscosa alta. Fue combatido por cuadrillas de Inparques Protección Civil, Polimiranda y Alcaldía de Plaza.
06/03/2003	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL	Parque Nacional El Ávila	El Universal	Afectado el suministro de agua potable; paralizadas las líneas 1 y 3 del metro de Caracas.
21/04/2006	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL/-LIBERTADOR/EL RECREO	Parque Nacional El Ávila a la altura de La Florida	El Universal	Presumen que pudo haber sido provocado. Empleadas 9 unidades de combate de incendios y 50 efectivos bomberiles.





Fecha inicio	Tipo de evento	Ubicación geográfica	Sitio	Fuentes	Observaciones de efectos
27/01/2007	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL/-LIBERTADOR/LA PASTORA	Parque Nacional El Ávila	El Universal	20 incendios El Ávila durante los últimos 3 meses. El último fue en el sector Catuche-La Pastora.
11/03/2007	Incendio forestal	DISTRITO CAPITAL/LIBERTADOR	Parque Nacional El Ávila	El Universal	Sectores afectados: Caucaguita y Puerta de Caracas.

Fuente: Elaboración propia.

### a. Caracterización de los peligros

Dentro del parque nacional Waraira Repano existen restricciones de uso por la figura jurídica creada para su protección y que es responsabilidad directa del Instituto Nacional de Parques (INPARQUES).

Desde el punto de vista humano, los peligros están asociados a la actividad turística, fundamentalmente, puesto que existen obras civiles como: torres de electrificación, el sistema teleférico y el hotel Humboldt, por mencionar las de mayor envergadura, que se crearon para el goce y disfrute de las personas de este paisaje, lo que conlleva la existencia de volúmenes importantes de personas frecuentemente dentro del parque.

Por otra parte, desde el punto de vista natural existe una serie de peligros que se pueden englobar en dos grandes grupos: forestales e hidrogeológicos, los primeros asociados con los incendios que se presentan con cierta frecuencia durante los periodos secos del año, y los segundos asociados a la conformación geológica, orientación y disposición de los recursos en torno a un área mayor a la cual se encuentra integrada este parque, como lo es la cordillera de la costa.

### b. Identificación de elementos expuestos

1. Los poblados de San Isidro de Galipán, San Francisco de Galipán, El Corozal y Hoyo de la Cumbre
2. Sistema teleférico Waraira Repano
3. Torres de alta tensión
4. Subestaciones eléctricas
5. Pista de hielo
6. Hotel Humboldt
7. Campamentos
8. Puestos de GNB

## 1.6. Análisis de vulnerabilidad

El sistema eléctrico que se encuentra dentro del parque nacional Waraira Repano es vulnerable a diferentes amenazas, como: movimientos de masas, sísmico, incendio tanto naturales como inducidos. Sin embargo, por los fines perseguidos en este estudio se aborda la correspondiente con el aspecto de los incendios forestales.

Como ya se ha descrito, el sistema eléctrico (líneas de distribución) atraviesa el parque nacional; en esencia es un detonante natural que puede generar fuego, asociado con el oxígeno del aire, así como su orientación con relación a los vientos dominantes, lo que crea el escenario ideal

para un incendio que puede afectar la infraestructura dispuesta para la transmisión de energía eléctrica.

De manera natural, el periodo seco genera las temperaturas ideales para una posible combustión espontánea y, de manera antrópica, es la mayor probabilidad de iniciar un incendio dentro del parque, por el acceso de personas al mismo con fines de recreación y esparcimiento así como por los restos de vidrios, colillas de cigarro o combustibles inflamables, propiamente dichos, utilizados para fogatas, entre otros.

En tal sentido, las medidas de prevención como la educación de los visitantes y del ciudadano en general, el mantenimiento de los cortafuegos, refuerzo del patrullaje de los guardaparques, dotación de insumos y equipamiento para el personal que labora en el parque, son de gran importancia para disminuir la vulnerabilidad del sistema eléctrico ante la ocurrencia de un incendio.

### **Análisis de resiliencia**

---

Entendiéndose la resiliencia como la capacidad que tiene una sociedad para superar una adversidad y generar las condiciones tal y como se encontraban antes de ocurrir un evento, se tiene que, en el caso específico que atañe a este informe, referente al riesgo de incendios forestales dentro del parque nacional Waraira Repano, se podría señalar la resiliencia desde tres tópicos.

- 1.** Desde el punto de vista natural, el biólogo Díaz Martín indica que, dependiendo de su conformación físico-natural, "la recuperación de un bosque silvestre puede tardar entre 10 y 70 años, pues los incendios forestales arrastran consigo innumerables consecuencias como la destrucción de la fauna y la flora y su hábitat natural, empobrecimiento y erosión de los suelos, interrupción de los ciclos del agua y del oxígeno, con la correspondiente pérdida de agua para el consumo humano, contaminación atmosférica producto de las fuertes emanaciones, destrucción de la belleza del paisaje y hasta el recalentamiento de la atmósfera por su contribución al efecto invernadero" (Vitalis, 2008).
- 2.** Desde el punto de vista económico, existen dos vertientes: la tangible y la intangible. La tangible se asocia a la suma en dinero que debería invertir el Estado venezolano en la recuperación de la infraestructura dañada o destruida. La intangible se evidencia en los daños económicos producto de la afectación directa en establecimientos públicos, hogares, empresas, caos de la ciudad, así como también en los costos de movilización de personal, instrumentos e insumos especializado para atacar tal eventualidad.

En este caso la resiliencia es un poco complicada de cuantificar tanto en dinero como en tiempo. Por ejemplo, el incendio más reciente requirió más de once horas para ser controlado.

- 3.** Desde el punto de vista de defensa, la respuesta se prevé que sea inmediata, puesto que existe toda la coordinación con los cuerpos del Estado: bomberos, Protección Civil, Guardia Nacional e INPARQUES, para actuar.



## 1.7. Desarrollo del modelo

### a. Metodología para la elaboración de un mapa de amenaza por incendio forestal en el Waraira Repano.

#### **a.1. Selección del área de estudio.**

Se seleccionó el lugar específico donde ocurre la situación problemática planteada, así como también de las áreas adyacentes a esta siguiendo el mapa base.

#### **a.2. Extracción de la imagen del Waraira Repano de la base ESRI de los servicios WMS.**

En primera instancia los servicios de WMS producen mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica. Esta imagen se extrajo en conexión directa del ARCGIS a la red.

#### **a.3. Se plotearon los puntos de las estaciones meteorológicas del área de estudio.**

Se realizó mediante la creación de un documento excel con coordenadas y las precipitaciones de las estaciones.

#### **a.4. Creación de un raster con la media de la precipitación del área.**

Usando el método de interpolación kriging, que es un método matemático, el cual calcula el valor de un punto a otro ya establecido, de acuerdo con la distancia; es decir, determinar cuál sería el valor numérico de la variable.

#### **a.5. Elaboración del álgebra de mapas.**

Se realizó sumando la población expuesta + precipitación + vegetación + líneas vitales.

#### **a.6. Montaje del mapa en ARCMAP en un layout**

Finalmente se montó el mapa en el programa ARCMAP 10.2 insertándole la cuadrícula, el norte, la escala, el título, leyenda y logos de la unidad, respectivamente.

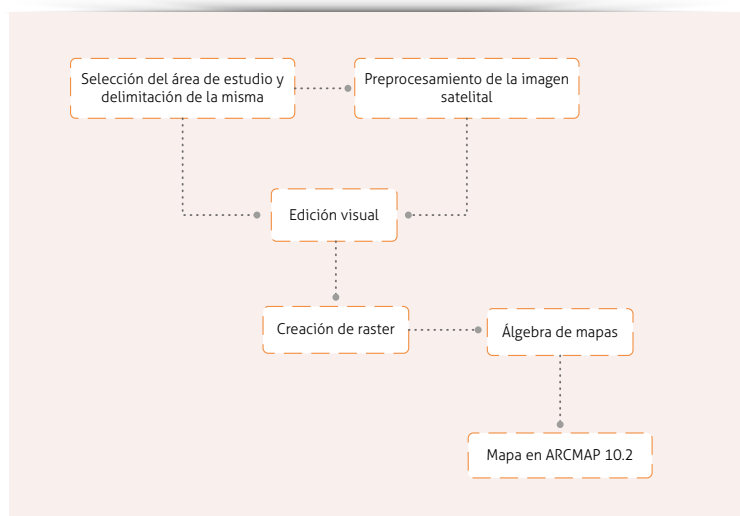


Figura 7. Flujo de trabajo para la obtención del mapa de amenaza.

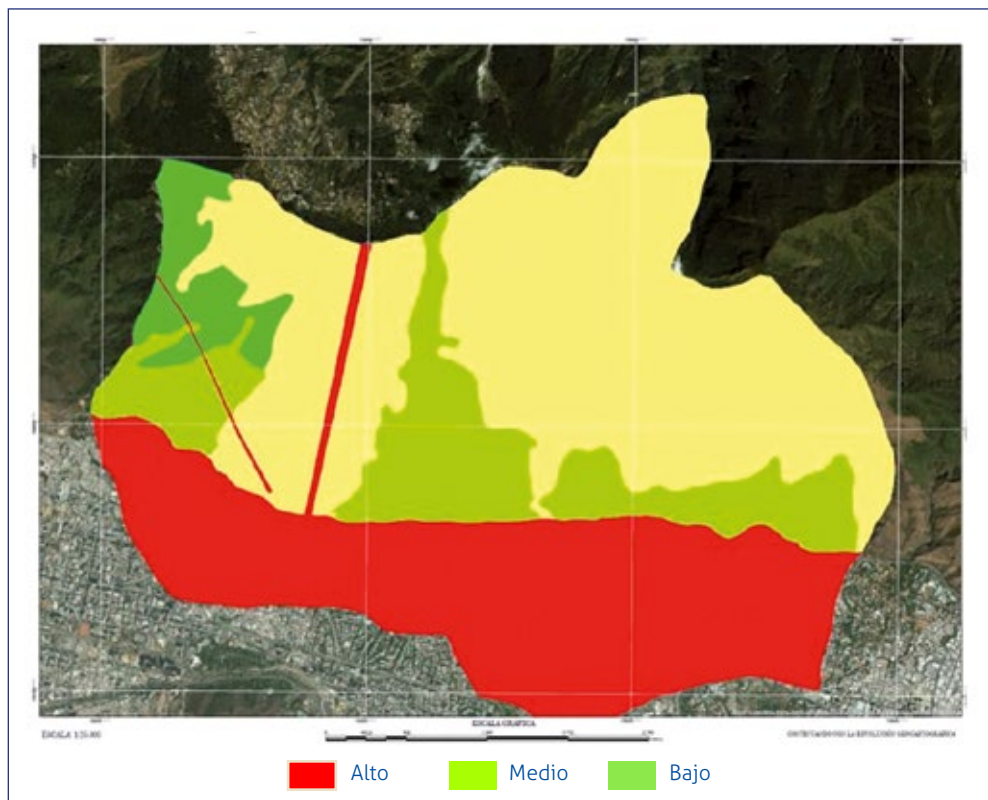


Foto 2. Mapa de amenaza.





## **b. Metodología para la elaboración de un mapa de vulnerabilidad por incendio forestal en el Waraira Repano**

Partiendo de la selección y extracción de la imagen del sitio en estudio para la realización del mapa de vulnerabilidad por incendio forestal en el Waraira Repano, se dieron los siguientes pasos:

### ***b.1. Corte del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)***

Se extrajo a través de la vectorización de la información contenida en la imagen base, a cual se le dio una ponderación de 1 a 3, donde 1 es menos vulnerable, 2 es medianamente vulnerable y 3 es vulnerable.

### ***b.2. Realización de las capas de vegetación, población expuesta, paisajismo y líneas vitales del área de estudio.***

Tal como se hizo para el corte del Área Bajo Régimen de Administración Especial, se realizó la vectorización para formar cada una de las capas necesarias para la elaboración de este mapa.

Para realizar la capa de vegetación, en las imágenes satelitales es posible distinguir visualmente diferentes tipos de cobertura vegetal, en esta representación se observaron tres tipos diferentes de vegetación, como lo son: bosque, el cual está compuesto de árboles y arbustos que pierden su follaje durante el verano, dando una sensación de sequía; arbustal, compuesto por árboles de estatura pequeña, y área deforestada, ecosistema donde predomina la vegetación herbácea.

Para realizar la capa de la población expuesta se tomó como referencia toda aquella que rodea a gran parte de la zona en estudio.

Para realizar la capa de paisajismo se tomó como referencia el área de estudio en general, con todos sus complementos de forma homogénea

Luego, para la realización de la capa de líneas vitales se vectorizaron las principales líneas vitales, la conexión del teleférico, sistema de transporte aéreo constituido por cabinas colgadas de una serie de cables accionados por energía eléctrica y la avenida Boyacá, también conocida como Cota Mil (por su elevación de 1 000 msnm).

Estas capas de información se encuentran organizadas en el índice. El orden de los Shapefile se corresponde con el orden de entrada.

### ***b.3. Transformación de las capas en formato raster para hacer una sumatoria entre capas.***

Se transformaron las capas de formato vector a formato raster para elaborar el álgebra de mapas, siendo esta la sumatoria de todas las capas tomando en cuenta la ponderación que inicialmente recibió cada una.

### ***b.4. Montaje del mapa en ARCMAP en un layout***

Finalmente, se montó el mapa en el programa ARCMAP 10.2 insertándole la cuadrícula, el norte, la escala, el título, leyenda y logos de la unidad, respectivamente.

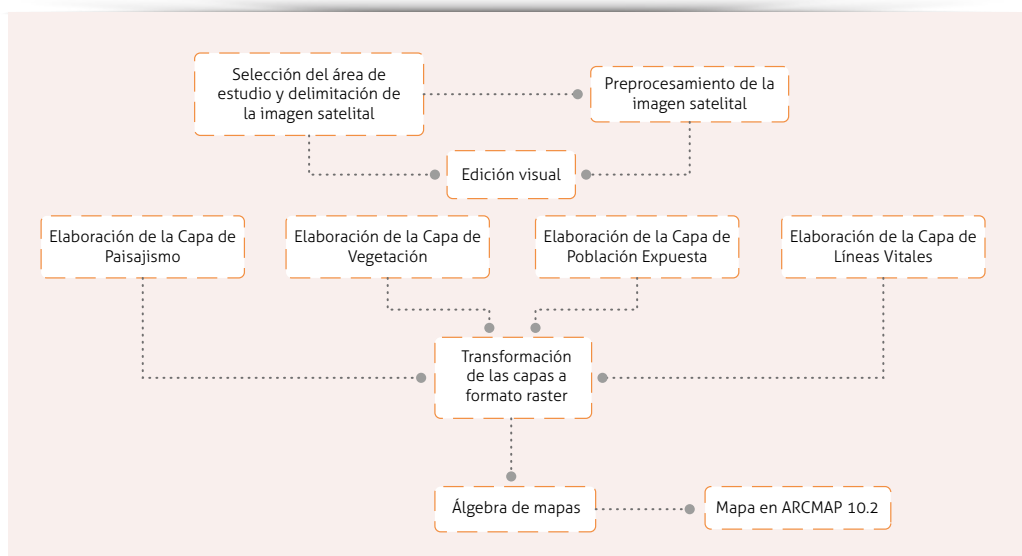


Figura 8. Flujo de trabajo para la obtención del mapa de vulnerabilidad.

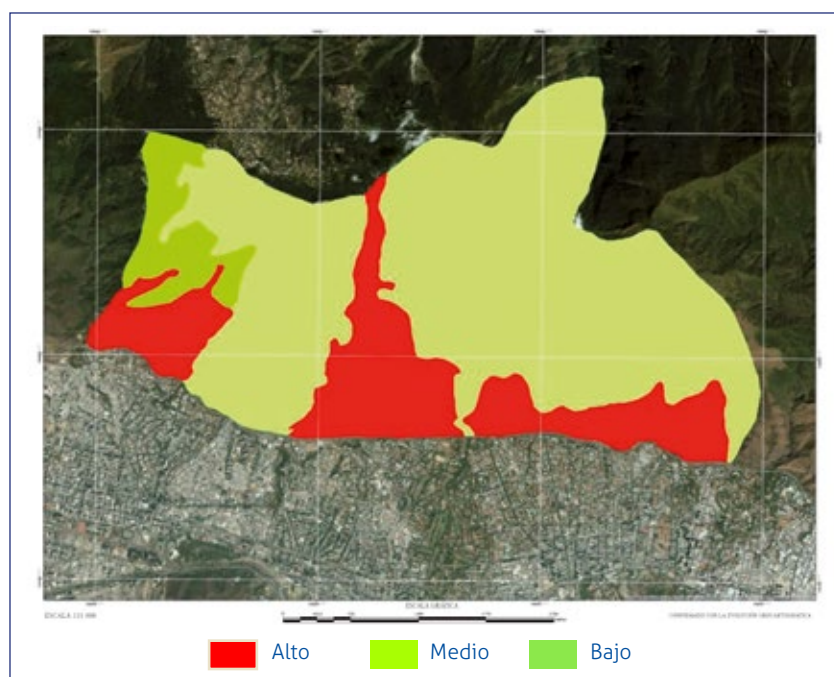


Foto 3. Mapa de vulnerabilidad.

### c. Metodología para la elaboración de un mapa de riesgo por incendio forestal en el Waraira Repano

Teniendo elaborados los mapas de amenazas y vulnerabilidad, se dio el siguiente paso:

**c.1.** Se realizó la sumatoria del mapa de amenazas + el mapa de vulnerabilidad.

**c.2.** Montaje del mapa en ARCMAP en un layout

Finalmente se montó el mapa en el programa ARCMAP 10.2 insertándole la cuadrícula, el norte, la escala, el título, leyenda y logos de la unidad, respectivamente.



Figura 9. Flujo de trabajo para la obtención del mapa de riesgo.

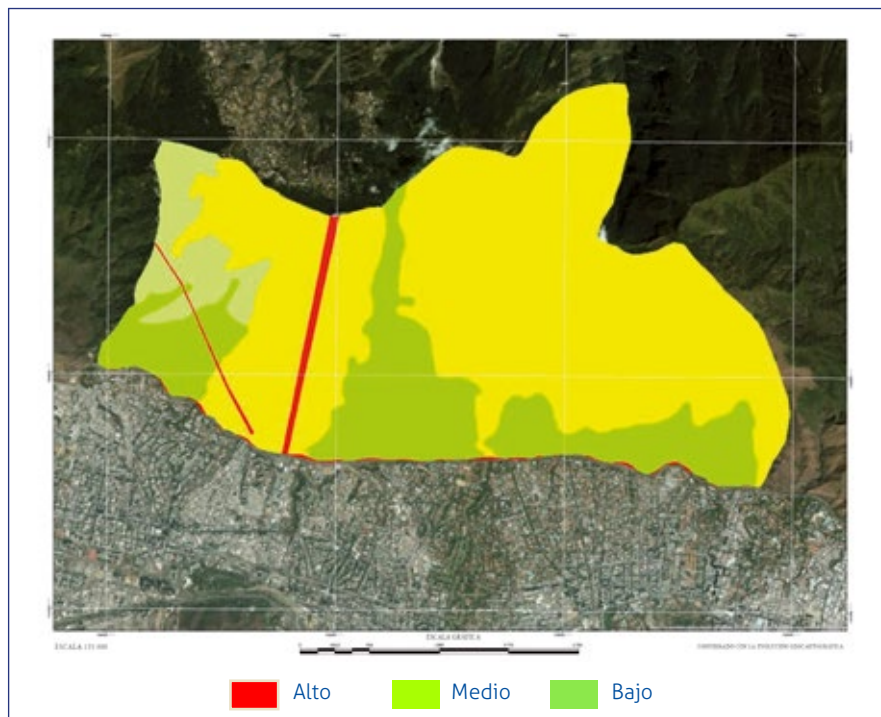


Foto 4. Mapa de riesgo.

### Análisis pluviométrico del norte del Distrito Capital (Waraira Repano)

El siguiente estudio muestra el comportamiento pluviométrico de la zona norte del Distrito Capital (Waraira Repano), para ello se tomaron cinco estaciones pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh), que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3  
Estaciones

	Estación	Estado	Ubicación		Altura (msnm)
1	Hotel Humbolt	Dist Capital	-66,88000	10,544	2 100
2	San José del Ávila	Dist Capital	-66,91000	10,522	999
3	Observatorio Cagigal	Dist Capital	-66,92000	10,506	1 000
4	Alto El Lagunazo	Dist Capital	-67,20000	10,423	2 300
5	La Carlota	Dist Capital	-66,88	10,50000	836

Los promedios arrojados por el método estadístico descriptivo (media aritmética) muestran las siguientes tendencias pluviométricas en la zona:

Tabla 4  
Promedios

	Estación	PrecMed (mm)
1	Hotel Humbolt	936,2
2	San José del Ávila	774,2
3	Observatorio Cagigal	840,6
4	Alto El Lagunazo	875,9
5	La Carlota	892,8



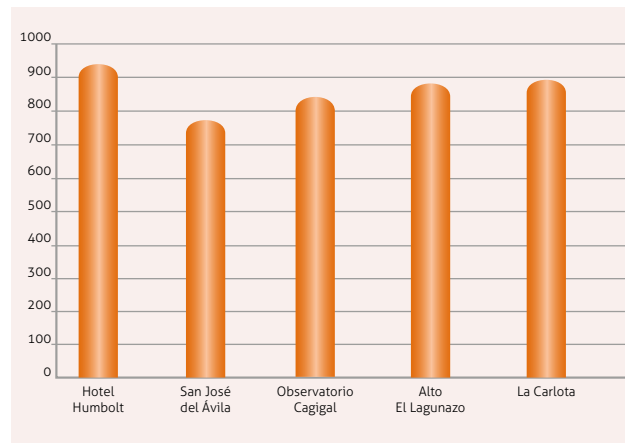


Figura 10. Distribución pluviométrica de la zona.

### Análisis de los resultados

Los resultados del estudio, tomando un mínimo de 15 años de datos para cada estación, muestran que la zona es de régimen pluviométrico abundante, especialmente en los meses que representan el periodo lluvioso en la porción norte del territorio venezolano (mayo-noviembre), con una distribución bastante homogénea, es decir, presenta mucha variación en la zona donde los valores máximos medios de precipitación se presentan en la estación Hotel Humboldt superando los 900 mm, los valores mínimos medios en la estación San José del Ávila menores a 800 mm, mientras que las estaciones Observatorio Cajigal, Alto El Lagunazo y La Carlota se mantienen en un rango medio que oscila entre 800 y 900 mm.

## 1.8. Análisis de los mapas

### a. Mapa de amenazas

El mapa de amenazas de incendios forestales se debe actualizar de manera anual como máximo, así como los datos de las variables tomadas, ya que esos datos permitirán anticipar la probabilidad de que se genere el evento y si las áreas determinadas en un momento de tiempo serán las mismas o si, por el contrario, se han modificado.

Las zonas deforestadas, la temperatura, precipitación, orientación y velocidad de los vientos son algunas de las variables consideradas para caracterizar el escenario de riesgo ante incendios forestales dentro del parque nacional Waraira Repano, y que por ser variantes, aunque siguiendo un patrón, el monitoreo puede dejar ver anomalías y generar alertas ante posibilidad de generarse condiciones para un evento.

Para este momento la vertiente sur del parque es la que se evidencia con mayores condiciones para generarse incendios forestales. El sitio de emplazamiento de la avenida Boyacá (cota mil), al pie del talud, actúa como:

1. Elemento vulnerable por los efectos secundarios que se generen ante la ocurrencia de un incendio, como: las llamas, la caída de restos forestales, desprendimiento de material rocoso y, a mediano o largo plazo, generación de derrumbes por efecto del agua sobre el suelo desnudo.
2. Elemento amenazante por permitir el desplazamiento a diario de cientos o miles de vehículos automotores de pequeño y gran tamaño con diversidad de carga, como gasolina, gases de diversos tipos, en fin, combustibles que son detonantes de un incendio.

La ubicación de la arteria vial mencionada anteriormente facilita el acceso de personas al parque, además de que le pone en contacto con el área metropolitana de Caracas, donde sus ciudadanos ven en el parque un sitio de esparcimiento y recreación, lo que conlleva un número importante de personas visitándole a diario con fines deportivos, turísticos, laborales (vendedores, empleados), entre otros, en lo cual cada actividad afecta de manera diferente, generando de manera premeditada o no las condiciones para el inicio de incendios.

Las descargas eléctricas pueden ser otro elemento detonante de incendios dentro del parque. Sin embargo, estas tienen un comportamiento bastante estacional asociado mayoritariamente con el periodo de lluvia, pero la misma humedad existente no permite, teóricamente, el desarrollo de incendios forestales, por lo cual esto se correlaciona directamente con el desarrollo de incendios fundamentalmente en los primeros cuatro a cinco meses del año, periodo caracterizado por sequía.

## **b. Mapa de vulnerabilidad**

---

Dentro del límite del parque nacional Waraira Repano se encuentran elementos antrópicos de gran importancia geoestratégica, económica, turística, de seguridad y defensa. Estos se ubican en la zona de mayor amenaza registrada para este momento ante la generación de incendios forestales, lo que ubica al Estado venezolano en una situación difícil por la importancia que revisten tales elementos expuestos. Geoestratégicamente, la figura de parque nacional vino a generar las condiciones para resguardar la vegetación y fauna de ese ecosistema, así como mirando a futuro de que las condiciones ambientales de la hoy área metropolitana de Caracas no se vieran desmejoradas y permitieran, además, servir de esparcimiento a los aproximadamente 5 millones de ciudadanos que viven en sus alrededores y que hoy día pareciera que este parque fuese una isla dentro de la gran mancha urbana.

Además, esta zona funge como una fortificación de la ciudad de Caracas, que la protege de fenómenos que ocurren en el mar Caribe o de cualquier tipo de incursión armada.

Desde la óptica económica en esta área, de manera directa e indirecta, se genera muchísimo dinero. Primero, desde el punto de vista turístico existe toda la infraestructura como el teleférico, el hotel Humboldt, la pista de hielo, los senderos, campamentos, vialidad, que permiten el desarrollo del turismo de montaña que genera empleos y por ende recursos económicos, cosa que se pudiese ver afectada si un(os) incendio(s) afectaran las inmediaciones donde se encuentran asentadas. Segundo, desde el punto de vista energético las torres y guayas del sistema de electrificación que conducen la energía eléctrica para abastecer las diversas subestaciones del área metropolitana de Caracas, por lo cual este sitio es la arteria por donde circula el combustible para hacer funcionar a esa gran urbe.



Y desde el punto de vista de seguridad y defensa, este se asocia con la vulnerabilidad del sistema de electrificación, ya que la ciudad de Caracas es el centro de poder y decisiones de Venezuela, por lo que una afectación resultaría gravísima para la seguridad y paz de la república.

### c. Mapa de riesgo

---

Conceptualmente, el riesgo *per se* es, según Maskrey (1993), “como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de evento desastroso, es decir el producto del Riesgo Específico y los elementos bajo riesgo”. De lo expuesto en los análisis anteriores se puede concluir que la zona seleccionada del Waraira Repano es propensa a riesgos ponderados como altos, medios y bajos, siempre teniendo en cuenta que estos eventos adversos se producen en el periodo de sequía; sin embargo, se hace imperioso que las instituciones del Estado que hacen vida en el parque nacional Waraira Repano deben cada día ir mejorando su planificación, lo que significa que es necesario masificar la información en la prevención de incendios forestales. Por otra parte, es imprescindible que las subestaciones eléctricas se comprometan a reforzar sus planes de contingencia al respecto con la amenaza forestal y así poder mantener el servicio eléctrico en la ciudad capital.



## 2 Inundación y movimientos de masa

### 2.1 Objetivo

El objetivo de la actividad es que todas las delegaciones expliquen de manera pedagógica sus experiencias en materia de riesgos y establecer un conjunto de procedimientos técnicos y metodológicos estandarizados para la elaboración de mapas de riesgos de los países suramericanos y, a la vez, la implementación de mecanismos tecnológicos que faciliten su difusión, transferencia y acceso.

A tal fin, la delegación venezolana participó en las siguientes mesas técnicas de trabajo: Incendios forestales y heladas asociadas a las temperaturas extremas e inundaciones y movimientos de masa asociados a la precipitación.

### 2.2. Ubicación geográfica

El Estado Vargas, en Venezuela, se ubica en una delgada franja territorial en la región central de la costa sobre el mar Caribe. Limita al norte con el mar Caribe y archipiélago de los Roques; al sur, con el Distrito Metropolitano de Caracas; al este con el mar Caribe, Distrito Metropolitano de Caracas y estado Miranda y al oeste, con el mar Caribe y el estado Aragua.

El estado Vargas debe su nombre al doctor José María Vargas, el sabio, el científico, el ilustre primer rector de la Universidad Central de Venezuela, nacido en la Guaira en 1786.

Tiene una superficie de 1 496 km<sup>2</sup>, representa el 0,16% del territorio nacional. El estado está compuesto por un municipio: Vargas.

Alberga el principal puerto de Venezuela y el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar, el principal de la nación. En sus muelles se puede ver la carga y descarga de buques de pasajeros y mercantes, junto con buques de la Armada venezolana.

A esta se traslada diariamente un buen número de caraqueños para ocupar sus sitios de trabajo, mientras que muchos otros habitan allí y otros tantos se trasladan todos los fines de semana en busca del descanso en las playas de El Litoral.

Todavía conserva las calles antiguas, angostas y empedradas, típicas coloniales, que siempre han caracterizado a esta población, y los fuertes de El Vigía y La Pólvora, que fueron durante años la defensa clave contra los ataques de piratas y filibusteros.





Su territorio formó parte de la provincia de Caracas durante toda la época colonial. En 1864, cuando se creó, provisionalmente, el Distrito Federal, Maiquetía y La Guaira formaron parte de esa entidad, agrupadas en dos departamentos: Aguado, que comprendía Maiquetía, Carayaca, Tarma y Olivares; y Vargas, formado por La Guaira, Macuto, Caraballeda, Naiguatá y Caruao. En 1868 pasó a formar parte junto con el Departamento Libertador del Estado Bolívar (actual Miranda). En 1679 nuevamente fue parte del Distrito Federal, hasta 1880, cuando volvió a estar integrado con el Estado Bolívar, excepto Macuto, que siguió perteneciendo al Distrito Federal. En 1900 el departamento Vargas se incorporó nuevamente al Distrito Federal y Aguado al Estado Miranda. En 1909, tanto Vargas como Aguado fueron incorporados al Distrito Federal. En 1936 se fusionan Aguado y Vargas en un solo departamento: Vargas. Hasta 1987 mantuvo el nombre y las condiciones de departamento, cuando por decreto de 1986 pasó a ser municipio Vargas. En 1998 adquiere la categoría de estado.

El sitio en estudio es Anare, que se encuentra ubicado a 10° 37' 25' N, 66° 39' 02' W, UT-4:30.

### 2.3. Caracterización social del área de estudio: sectorización

La sectorización fue definida a raíz de los recorridos realizados a la zona, a través de visitas de reconocimiento inicial de campo y a nivel de cada una de las familias entrevistadas durante la ejecución del registro de estructuras y la aplicación del censo familiar.

Para realizar la sectorización se clasificaron los diferentes grupos de familia alojados en las viviendas de una manera homogénea, encontrándose características socioeconómicas y modos de vida semejantes y diferentes en la zona del valle de Anare (fuera del área del casco urbano y del Hospital Psiquiátrico), este ejercicio dio el siguiente resultado (ver Figura 1 Localización del área de estudio):

- Sector cerro Los Blancos (subdividido internamente en tres partes)
- Sector de nuevas áreas de barrios (San Rafael o barrio Los Chinos y El Rincón)
- Sector cerro Los Negros

Se recogió una reseña general a partir de las primeras impresiones de los recorridos y visitas realizadas en cada una de ellas, de parte de los promotores sociales que ejecutaron el trabajo de campo:

#### Sector cerro Los Blancos

La unidad cerro Los Blancos es la zona de barrio de mayor tamaño y diversidad socioeconómica, por lo cual se ha dividido en tres sectores:

**Cerro Los Blancos 1.** Las familias habitan esta zona desde hace mucho tiempo, la mayoría de ellas poseen casas que evidencian una buena construcción. Tienen además un buen nivel de vida en cuanto a servicios sanitarios, artefactos eléctricos, algunos poseen vehículos, espacios adecuados a sus necesidades, además de tener un nivel educativo que en las generaciones intermedias supera el grado de bachiller. Se aprecia un alto nivel de buena convivencia.

**Cerro Los Blancos 2.** La composición de este sector es muy variada. Las familias que se encuentran al lado de la carretera principal son antiguas en la zona. Se sienten en su mayoría incrédulos frente a la posibilidad de ayuda o mejora de su calidad de vida por parte de los entes estatales. Casi todos son pensionados que viven acompañados por familiares jóvenes que, en muchos casos, no contribuyen con los gastos del hogar. Las construcciones van desde una casa con piscina-bar hasta la casa modesta pero cómoda y funcional.



Foto 5.  
Sector cerro Los Blancos.

En la parte alta del sector la mayor problemática es la falta de escaleras y caminos vecinales, el acceso a las viviendas es muy accidentado, existen construcciones improvisadas. La característica de convivencia es de anarquía, los vecinos no se preocupan por la solución de los problemas de esta parte del sector.

**Cerro los blancos 3.** La gran mayoría de las familias que habitan en esta zona ha sido beneficiada por los planes de ayuda de Estado. Al igual que el sector Cerro Los Blancos 1, están consolidados como vecindario y sus habitantes viven allí desde hace mucho tiempo. Se aprecia un buen nivel de integración y cooperación comunitaria. Las casas son cómodas y espaciosas, no se observa ningún tipo de hacinamiento.

### **Sector San Rafael (barrio Los Chinos) y El Rincón**

---

Este sector es de pobreza extrema, está ocupado por los hijos o familiares de las familias de la parte alta del barrio cerro Los Blancos. La mayoría son jóvenes con hijos pequeños o están consolidándose como parejas. Las construcciones varían de calidad pero, en líneas generales, sus condiciones son deficitarias en cuanto a espacio, salubridad y calidad de materiales de la vivienda. El nivel de educación es muy bajo, la mayor parte no excede de cuarto o sexto grado de educación primaria. Es el sector con mayor número de problemas.

Además, es importante señalar que este sector fue habitado después de la tragedia de 1999 por personas que perdieron sus viviendas dentro de la misma comunidad. El terreno pertenece al hospital psiquiátrico. Se pueden observar viviendas muy pequeñas, carentes de los servicios de electricidad y las que tienen el servicio es porque lo toman de forma ilegal de los postes de luz. Muchas no cuentan con el servicio de disposición de aguas servidas y otras ni siquiera cuentan con sanitarios.

Las paredes de las viviendas están construidas con desecho (zinc o cartón), igualmente los techos son de zinc, el piso generalmente es de cemento rústico. Se observa un alto nivel de hacinamiento. La relación de convivencia es de cooperación y muy pocos de anarquía. Según versión de algunos vecinos, en este sector se vende y consume droga. El sector tiene dos accesos, uno por la entrada principal, al lado del psiquiátrico, y otro por la subida al transformador.



Foto 6  
(izquierda)  
Sector San  
Rafael (Barrio  
Los Chinos) y El  
Rincón.  
Foto 7  
(derecha)  
Sector cerro Los  
Negros.



### Sector Cerro Los Negros

La mayoría de las familias trabajan a diario para recuperar sus viviendas de los embates de la tragedia de 1999. Se aprecia un alto nivel de integración y cooperación comunitaria, en especial en lo que respecta a la devoción a san Rafael, y todo lo relativo a la organización de sus fiestas. Son gente que reconoce a los que trabajan por su comunidad y a sus líderes. Las características entre las familias que habitan este sector son similares. Presentan condiciones de pobreza crítica, con hogares en su mayoría de una sola familia, los jefes de hogar cuentan con empleo, no así muchos de los integrantes del grupo familiar quienes laboran a destajo o están desempleados. La población en general es nativa de la zona, pudiéndose encontrar personas con más de 60 años que viven en el sector.

No cuentan con redes de cloacas, la descarga es superficial a las quebradas o al río. El agua potable es insuficiente por la poca fuerza de bombeo hacia la parte más alta, la frecuencia de dotación del servicio es cada dos días. Asimismo, la toma de electricidad es ilegal, parte de la población cuenta con medidor eléctrico, pero no cancelan el pago.

Las casas en su mayoría son de materiales de desecho (bahareque, zinc, cartón), estas viviendas están en pésimas condiciones de habitabilidad por la aparente inestabilidad del terreno, ubicadas muchas de ellas cercanas a la quebrada, se visualizan las escaleras agrietadas y deslizadas. No hay brocales, lo que ocasiona el deterioro de las escaleras. No cuentan con acceso vehicular.

#### Identificación de actores clave de la comunidad

Se ha identificado la existencia de una asociación de vecinos que se integró, ya que anteriormente existían dos asociaciones de vecinos, una para Cerro Los Blancos y otra para Cerro Los Negros.

La actual asociación de vecinos es representada principalmente por el señor Félix Guía (presidente) y el señor Juan Caros Romero (vicepresidente). El presidente de la Asociación de Vecinos presentó como asesor de la misma, en materia urbana, al arquitecto Guillermo Thiemer, quien vive en el casco urbano de Anare.

Sin embargo, se aprecia luego de las visitas, recorridos y primeras entrevistas con las familias, que siendo la asociación de vecinos la organización comunitaria existente en la zona, su representatividad no parece óptima, con evidentes problemas de liderazgo, lo que se traduce en severos cuestionamientos a su directiva en lo relacionado con la solución de los problemas puntuales de la comunidad. La participación de los habitantes en este tipo de organización es nula.

### ABRAE Parque Nacional El Ávila

El decreto de creación del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) Parque Nacional Cerro El Ávila, de fecha 12 de diciembre de 1958, establece su límite sobre la cota 120 msnm fijando condicionantes de desarrollo a partir de esta curva de nivel, por lo tanto solo afecta las zonas que se encuentran por encima de la misma.

El área objeto de estudio, las UA N° 18 Cerro Los Negros y 19 Cerro Los Blancos, no ocupa los terrenos afectados por este decreto de parque nacional. Sin embargo se señalará en el plano base del caso de estudio (ver Foto 1 Localización del área de estudio), para efectos de identificación y demostración de que no hay asentamientos habitacionales en esa zona y para las etapas posteriores respetar esos linderos al proponer acciones de desarrollo urbano.

### Plan de Ordenamiento Territorial del Estado Vargas (POTEV)

Dada la creación del Estado Vargas como entidad federal, le corresponde, acorde con lo contenido en la legislación urbanística, la elaboración de un Plan de Ordenamiento del Territorio, el cual comenzó a definirse en el año 2000, después del deslave de 1999. Este Plan (POTEV) es elaborado por la Comisión de Ordenamiento Territorial del Estado Vargas, y actualmente acaba de finalizar la fase de revisión por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales para su próxima aprobación.

El objetivo fundamental del POTEV es regular y promover el uso racional del espacio, a los fines de lograr el mayor bienestar de la población, la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, así como la seguridad y defensa nacional.

#### *Asimismo, como objetivos específicos plantea:*

- Mejorar la calidad de vida de la población mediante la promoción del desarrollo socioeconómico del estado, en concordancia con las políticas de desarrollo nacional y regional, garantizando un patrón ordenado de ocupación con una mejor distribución de la población y una localización más segura de sus actividades en armonía con las potencialidades y restricciones físico-naturales en su condición de estado costero;
- Garantizar la óptima dotación de servicios públicos;
- Ampliar y diversificar la base económica a partir de la variedad de recursos y oportunidades naturales del Estado Vargas, reforzando la agricultura, la pesca, el turismo y la recreación;
- Insertar las acciones de gestión de riesgos en el estado mediante la consideración de las amenazas de origen natural y tecnológico;
- Promover la localización de la población en lugares más seguros y acordes con la capacidad de soporte del espacio;
- Garantizar mediante programas de conservación de cuencas, la utilización de tierras de alta calidad agroecológica;
- Garantizar y consolidar el desarrollo de los recursos pesqueros;
- Asegurar el abastecimiento de las demandas de agua para el desarrollo sostenible de la entidad mediante la evaluación de los recursos hidráulicos disponibles;
- Desarrollar el marco institucional y legal del Plan de Ordenamiento del Estado Vargas;
- Utilizar la participación y la coordinación como elementos clave en la gestión.

Por otra parte, el Plan de Ordenamiento Territorial del Estado Vargas establece un sistema de centros poblados, siendo esta organización espacial-funcional la forma de aproximación a la





realidad del estado. Dentro de este sistema se define el eje Carmen de Uria-Anare-Los Caracas, como centro de servicios y áreas especiales, en las cuales se considera el uso turístico y agrícola.

- **Uso agrícola:** solo para la protección de las cuencas; cabe destacar que el Plan no considera a Anare como una cuenca.
- **Uso turístico:**
  - a) Elaboración del Catálogo Turístico Estatal
  - b) Capacitación en el área turística
  - c) Protección a los cascos tradicionales
  - d) Propiciar actividades turísticas artesanales tradicionales

Al mismo tiempo, Anare forma parte de la Zona Costera Naiguatá-El Botuco, dentro de la cual se consideran acciones de prevención, mitigación y preparación para el manejo del riesgo.

Como propuestas, los siguientes son proyectos a ser realizados en el eje Carmen de Uria-Anare-Los Caracas, según este plan:

- Control de la erosión y de los grandes focos de producción de sedimentos;
- Identificación y clasificación de los procesos erosivos;
- Estudios detallados de las áreas sujetas a procesos erosivos;
- Clasificación de las áreas afectadas y de las ganadas al mar;
- Elaborar instrumentos de planificación y ocupación del espacio para regular las actividades urbanas;
- Diseño de un programa para la reubicación de la población en áreas inestables;
- Diseño y ejecución de programas de conservación y manejo de cuencas, orientados al control de procesos erosivos;
- Desarrollo de programas de conservación y manejo de cuencas comprendidas dentro de las áreas protegidas;
- Elaboración del mapa de zonificación de riesgos;
- Divulgación del contenido del mapa del POTEV relativo a áreas vulnerables y del mapa de riesgos:
  - a) Desarrollo de programas que orienten a la población en torno a la forma de actuar frente desastres naturales,
  - b) Concientización de las autoridades locales sobre los riesgos y potencialidades ambientales,
  - c) Programas de alerta, alarma y emergencias (contingencias).
- Formulación y ejecución de los planes urbanísticos incorporando la variable riesgo:
  - a) Elaboración de programas de reurbanización y habilitación de barrios,
  - b) Programa de desalojo, reubicación y saneamiento de áreas altamente vulnerables,
  - c) Organización de la comunidad para la implementación del programa,
  - d) Identificación de las áreas para localizar nuevos desarrollos de vivienda,

- e)** Establecimiento de mecanismos de financiamiento para la ejecución del programa de reubicación.
- Ocupación de las áreas ganadas al mar:
  - a)** Clasificación de las áreas afectadas de las áreas ganadas al mar,
  - b)** Evaluación y reglamentación de las áreas en función del riesgo,
  - c)** Control urbanístico para garantizar el cumplimiento de las regulaciones,
  - d)** Formulación y ejecución de proyectos específicos para su ocupación.
- Desarrollo de nueva infraestructura de servicios bajo las orientaciones del POTEV y el mapa de riesgos;
- Diseño e implementación de medidas estructurales y no estructurales para mitigar la vulnerabilidad de los desarrollos urbanos:
  - a)** Desarrollo y mantenimiento de la infraestructura de protección y control, de servicios y aprovechamiento, y de aquella directamente productiva;
- Diseño de programas articulados a la vulnerabilidad de los desarrollos urbanos (áreas urbanas-asentamientos no controlados);
- Funcionamiento eficiente y adecuada dotación de servicios públicos:
  - a)** Implementar y desarrollar cuantitativamente la infraestructura de servicios en función de los ámbitos territoriales unidades de gestión,
  - b)** Establecimiento de los programas de inversiones en obras de infraestructura y mantenimiento.
- Adecuación de infraestructura de servicios para la disposición;
- Vialidad y transporte:
  - a)** Diseño, ejecución y mantenimiento del sistema de transporte a las áreas recreativas como a las futuras actividades del Estado Vargas,
  - b)** Desarrollo del programa de consolidación y mantenimiento de la red vial del Estado Vargas, que garantice la comunicación interna y externa y la integración de los centros poblados.
- Formulación y ejecución de proyectos de vivienda orientados por el mapa de riesgos:
  - a)** Diseño de un programa para la reubicación de la población localizada en áreas inestables,
  - b)** Elaboración de programas de reurbanización y habilitación de barrios,
  - c)** Programa de desalojo, reubicación y saneamiento de áreas altamente vulnerables.
- Aguas
  - a)** Aprovechamiento de las fuentes disponibles,
  - b)** Construcción y ampliación de los acueductos existentes,
  - c)** Construcción de una red de recolección de aguas servidas,
  - d)** Programa de empotramiento de usuarios,



- e) Tratamiento y disposición.
  - Programas de mejoras y ampliación de servicios públicos (agua, cloacas y alcantarillado, electricidad y telefonía, recolección de desechos sólidos), tanto nivel a urbano como rural;
  - Infraestructura turística recreacional;
  - Creación de los servicios necesarios y de la infraestructura de apoyo para la población flotante:
    - a) Adecuación y construcción de instalaciones receptoras y para-receptoras,
    - b) Programa intensivo de mantenimiento de los espacios de uso público.
  - Saneamiento ambiental del Borde Costero:
    - a) Diseño y aplicación del programa de limpieza de playas,
    - b) Elaboración de estudios y proyectos de rehabilitación y estabilización de costas.
  - Planificación y Ordenamiento Espacial:
    - a) Elaboración de planes particulares de desarrollo urbano en los principales centros de servicios al turismo.
  - Desarrollo del equipamiento y la infraestructura:
    - a) Construcción de módulos de información turística en lugares estratégicos para el visitante,
    - b) Colocación de la señalización turística adaptada a las características del sitio.
  - Promoción y capacitación turística:
    - a) Diseño y aplicación de talleres de sensibilización, concientización, capacitación y competitividad turística, asociados a la educación ambiental,
    - b) Diseño y aplicación de campaña promocional de turismo en Vargas.
  - Gestión coordinada y participación comunitaria:
    - a) Coordinación interinstitucional de planes, programas y proyectos para el desarrollo estratégico del turismo,
    - b) Fomento a la participación comunitaria orientando a la organización asociativa en las comunidades receptoras de turismo.

**ABRAE: Plan de ordenamiento del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Eje Arrecife-Los Caracas (APRA)**

El Plan de Ordenamiento del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Eje Arrecife-Los Caracas, elaborado por la Autoridad Única de Área del Estado Vargas en el año 2002, cuenta con proyecto de decreto en fase de consulta.

El Área Bajo Régimen de Administración Especial "Área de Protección y Recuperación Ambiental", Eje Arrecife-Los Caracas", se ubica en el frente norte costero del Estado Vargas y ocupa una superficie de 10 982 ha, aproximadamente, que representa el 7% de la superficie del Estado Vargas, abarcando la casi totalidad del litoral metropolitano.

En el proyecto de Decreto del Plan de Ordenamiento del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Estado Vargas (Eje Arrecife-Los Caracas) se estableció para la administración y manejo de dicha área, una sectorización en cuatro macrounidades de ordenamiento, de

acuerdo con criterios de funcionalidad y con la localización geográfica de las mismas. Una de las macrounidades territoriales de ordenamiento corresponde a la macrounidad IV-Punta Tanaguarena-Los Caracas, la cual se localiza en el extremo oriental del área y abarca toda la parroquia Naiguatá.

Entre los objetivos de este plan se destacan las siguientes directrices:

- Elaborar y aplicar normas y reglamentos específicos que ordenen la utilización y la ocupación del área;
- Integrar el área al entorno, buscando el equilibrio entre las consideraciones de orden físico, urbano-ambiental y las de orden social;
- Garantizar programas de ejecución de obras y servicios para satisfacer la demanda de equipamiento a través de políticas adecuadas;
- Elaborar y aplicar programas y acciones de protección de los recursos naturales del área;
- Preservar las áreas no intervenidas;
- Intensificar los sistemas de control, vigilancia y seguridad existentes sobre ocupación urbana y adecuarlos a las condiciones actuales del área.

#### **Macrounidad funcional: Punta Tanaguarena-Los Caracas**

Persigue la ejecución de las siguientes directrices:

- Consolidación de Naiguatá y Camurí Grande como centros de servicios especializados de apoyo al turismo y mejoramiento de la vialidad y servicios;
- Fortalecimiento del potencial turístico asociado a las playas del área que presentan la mayor capacidad potencial de recepción de usuarios, actualmente subutilizada mejorando la vialidad, el transporte y los servicios de apoyo;
- Mejoramiento de servicios para el aprovechamiento de playas en El Tigrillo, Anare y Care;
- Reordenamiento del área de Carmen de Uría para la creación de un espacio turístico-recreacional, estableciendo mecanismos de compensación para la población allí asentada para el cambio del uso actual;
- Recuperación y fortalecimiento de Los Caracas como centro vacacional.

Este plan establece zonas amenazadas en Anare, donde se encuentran las siguientes categorías como condicionantes para el diseño urbano a considerar (ver Foto 2 Amenazas):

- Sectores de conos y valles con cercanías a laderas;
- Terrenos ganados al mar;
- Sectores de colinas de "alta" susceptibilidad a movimientos de masa;
- Sectores de conos y valles retirados de laderas;
- Sectores de aluviones entre conos, con cercanías a laderas mayores a 30 m
- Sectores de aluviones entre conos, con cercanías a laderas menores a 30 m;
- Sectores de colinas de "mediana" susceptibilidad a movimientos de masa;
- Sectores de colinas de "baja" susceptibilidad a movimientos de masa.

A la vez, el plan propone una sectorización de protección y recuperación ambiental de Anare, según los siguientes criterios (ver foto 3 Subunidades propuestas de protección y recuperación):





- Unidades de ordenamiento y control de cauces (UC), las cuales contemplan la afectación de todo el río Anare en cuanto a la recuperación y protección de su cauce, la habilitación y reordenamiento urbano y la conservación y resguardo del ambiente;
- Unidades de ordenamiento, protección y manejo del borde urbano costero (UBUC), en cuanto a saneamiento, rehabilitación y desarrollo del borde urbano costero, y la protección y conservación del mismo;
- Unidades de ordenamiento urbano (UU) dirigidas a la planificación y ordenamiento urbano, a la recuperación de cascos históricos tradicionales, habilitación de barrios, desarrollo estratégico, nuevos desarrollos y recuperación ambiental.

### Esquema de Ordenamiento Urbano de la parroquia Naiguatá (USB-AUAEV)

La Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV), a raíz de los eventos ocurridos en diciembre de 1999, contrató en octubre de 2000 al Instituto de Estudios Regionales y Urbanos (IERU) de la Universidad Simón Bolívar un estudio para la formulación de un esquema de ordenamiento urbano para la parroquia Naiguatá, el cual debe servir de base para la ordenación urbanística de este sector del litoral, que no ha sido aprobado aún.

La propuesta de ordenación espacial urbana de la parroquia Naiguatá considera en el área de Anare, lo siguiente.

- La explotación adecuada del recurso playa, evaluando las nuevas condiciones naturales y los cambios inducidos por la intervención del borde litoral por efecto del acarreo de materiales y de la canalización de los cursos de agua producto del evento de 1999;
- La oportunidad que brinda la necesidad de establecer áreas de protección a inundaciones en zonas adyacentes a los cursos de agua, para incrementar el espacio a destinar a la actividad turístico-recreacional;
- La presencia del parque nacional El Ávila como un importante recurso natural que permite la programación de actividades de recreación y esparcimiento no suficientemente explotado, sin implicar con ello su degradación ambiental;
- Las manifestaciones artísticas y culturales propias de los habitantes de la parroquia, como un valor patrimonial que puede ser explotado para potenciar el carácter turístico del área y como forma de preservar la tradición cultural del sitio.

En este mismo estudio se presentan las siguientes consideraciones, específicamente para las UA N° 18 y 19 de Anare.

- Define los dos cerros que se encuentran en Anare (cerro Los Negros y Los Blancos) como áreas residenciales a rehabilitar, sujetas a estudios específicos y le asigna una densidad bruta de 250 habitantes por hectárea;
- Para el sector conocido como San Rafael (Barrio Chino) se definen áreas residenciales para viviendas unifamiliares o bifamiliares de uso permanente, con una densidad bruta de entre 200 y 300 habitantes por hectárea;
- Un aspecto importante es la función que le asigna al río Anare, en cuanto a su papel como ente integrador del espacio definido por el casco histórico del pueblo y el frente costero y los espacios ubicados al sur del área de estudio. Lo concibe como un parque-paseo que comunica el borde costero (áreas recreativas y turísticas) con toda la trama urbana a ambos lados del río: en el lado oeste rematando con un área deportiva al sur del área de estudio (parte sur del Cerro Los Negros); en el lado este se conecta con caminerías para paseos recreacionales entrando al parque nacional El Ávila;

- En el sector El Rincón proyecta una planta de tratamiento de agua que permita el aprovechamiento eficaz, efectivo y eficiente del caudal del río Anare;
- En un área comprendida entre el Cerro Los Negros y el borde oeste del río Anare considera la construcción de un preescolar o casa de cuidado diario; de igual forma lo proyecta en la parte alta del Cerro Los Blancos.

### PROPUESTA DE LA COMUNIDAD

La comunidad ha propuesto un plano donde se expresa una serie de consideraciones a tomar en cuenta en el diseño del conjunto urbano que se elaborará en la fase 3 de esta intervención técnica.

## 2.4. Caracterización urbana

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio se encuentra dividida por el casco urbano de Anare y las zonas de barrios (zonas informales al sur de la carretera nacional local 002), como se puede observar en la foto 1 Localización del área de estudio.

### Casco urbano de Anare

El casco central está conformado por manzanas bien definidas, con vialidad asfaltada y en algunos casos con aceras peatonales. Las viviendas en su mayoría son construcciones con columnas y vigas de concreto bien definidas, paredes de bloque frisado y pintadas, ventanas y puertas con rejas metálicas y losa de techo tipo platabanda. La mayoría de las viviendas se encuentran bien conservadas, salvo algunas que a raíz del deslave de 1999 fueron abandonadas y las viviendas se encuentran en mal estado.

Con respecto a los equipamientos, el educacional tiene una edificación en mal estado de mantenimiento que imposibilita dar clases ante el riesgo de la estructura, sin embargo la prestación del servicio de esta misma escuela se reubicó temporalmente en una edificación que se encuentra en los terrenos del Psiquiátrico. El asistencial consiste en una medicatura en buen estado que atiende a los pobladores de todo Anare y está situada a la entrada del pueblo. El equipamiento recreacional- deportivo consiste en el estadio de béisbol el cual, a raíz de la tragedia de 1999, el río derrumbó una pared y no ha sido construida hasta los momentos. La Plaza Bolívar es la única que existe en el sector de Anare, se observa que le hacen mantenimiento y es el mayor centro de concentración de los pobladores. La iglesia de San Rafael Arcángel se encuentra bien conservada y en época de grandes celebraciones (fiesta de san Miguel Arcángel) se hace pequeña, pero las calles son amplias y albergan gran cantidad de gente

Esta zona se encuentra servida por redes de acueducto, cloacas y electricidad; los drenajes para las aguas de lluvia son inexistentes. En la parte oeste del muelle pesquero se encuentra ubicado el sistema de bombeo de las aguas servidas a través de la descarga submarina sin tratamiento previo. Este sistema recoge las aguas servidas tanto del casco urbano como de las áreas de desarrollo informal (Cerro Los Blancos y Cerro Los Negros). Cabe destacar que no existe planta de tratamiento, por lo que es un problema para la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.



En la franja costera oeste, cerca del muelle pesquero, está ubicado el centro de acopio, en una construcción en buen estado, el cual funciona como centro de descarga de los pescadores de la zona.

### Sectores UA 18 Cerro Los Negros y 19 Cerro Los Blancos

El uso del suelo predominante es el residencial. En el sector no existen fuentes de trabajo, por lo cual los habitantes se tienen que desplazar fuera de la zona.

Los equipamientos existentes son la escuela que funciona temporalmente en un local tomado del Hospital Psiquiátrico, como mencionamos anteriormente, y el consultorio de la Misión Barrio Adentro.

Con respecto a los servicios de red, se puede observar que el eléctrico es en gran parte a través de tomas ilegales del sistema de alumbrado público, aunque existen algunas pocas viviendas con medidores pero en su mayoría están inservibles. Tampoco hay servicios de teléfonos públicos.

El servicio de acueducto es a través del sistema de bombeo de Quebrada Seca, sin embargo es ineficiente, por lo cual es determinante la presencia de tanques de agua tanto privados como comunales.

En cuanto al manejo de las aguas servidas, existe un sistema de cloacas conectado al sistema del Hospital Psiquiátrico, pero parte de la población cuenta con pozos sépticos y en las partes más alejadas de las zonas de barrios descargan las aguas negras a los cauces de quebradas. No hay sistema de recolección de desechos sólidos.

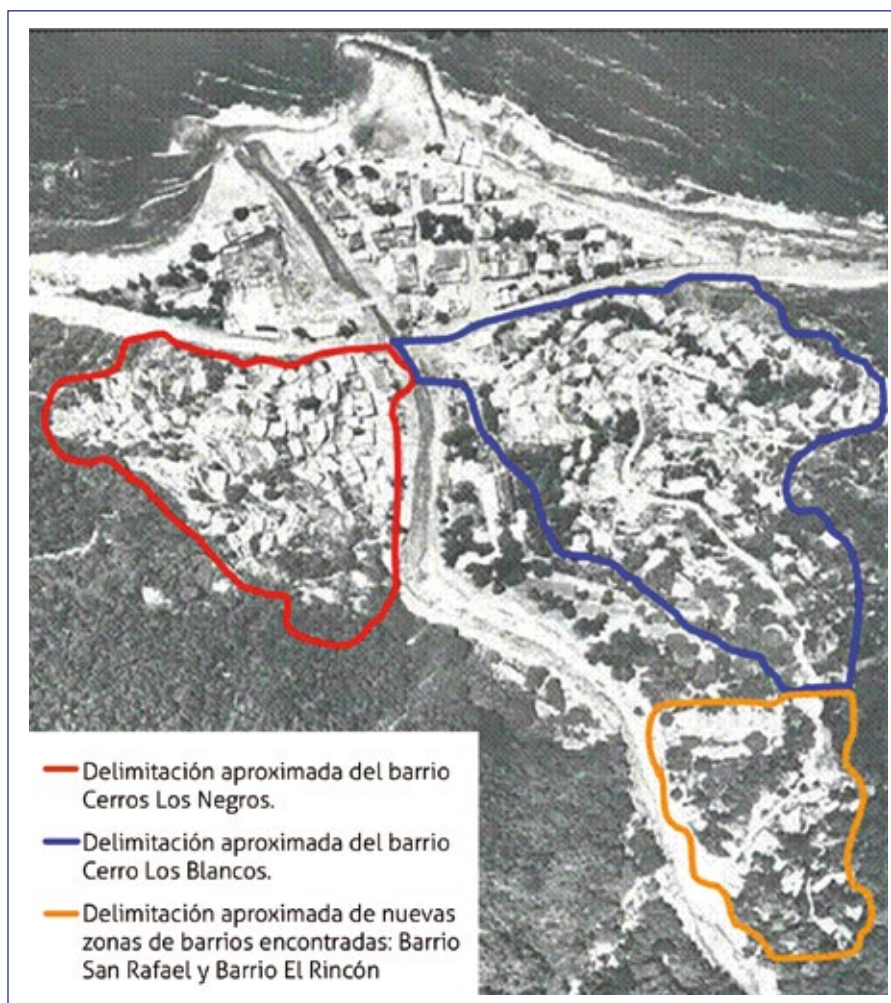
La vialidad existente se encuentra en general en mal estado debido al deterioro de la capa de rodamiento. Con respecto a las caminerías, estas fueron realizadas en forma improvisada y por los mismos habitantes.

## 2.5. Caracterización geomorfológica

Tomando en cuenta que la mayoría de los factores de amenaza natural que se presentan en el estado Vargas, y que determinaron los sucesos ocurridos en diciembre de 1999 y en febrero de 2005, tienen su origen en el comportamiento morfodinámico propio de la zona, y debido a que para el logro de una planificación urbano-residencial óptima es fundamental la apreciación integral de estos procesos, se ha hecho necesario para la realización de este estudio el levantamiento detallado de información, tanto de las unidades de relieve presentes en la región, como de los procesos geomorfológicos que las caracterizan.

Para la obtención de esta información, la cual permitió determinar la condición de potencialidad o restricción natural que desde el punto de vista geomorfológico presentan los sectores analizados, han sido utilizadas tres fuentes de información distintas:

- La primera, constituida por la interpretación de las vistas aéreas 139, 140 y 141 de la misión 030603 a escala 1:5 000 del año 2000 y mediante la cual se pudieron delimitar las unidades de relieve existentes a nivel de "posiciones geomorfológicas", así como localizar e inventariar los procesos morfodinámicos más resaltantes y más vinculados con las condiciones de estabilidad de los sectores analizados.
- La segunda, correspondiente al análisis de la información topográfica de las hojas L2-I43, L2-I44, L2-J43 y L2-J44 producidas por la empresa Estereofoto en el año 2002, y a partir de la cual se realizó una sectorización clinométrica de las áreas correspondientes a los barrios



**Figura 1.** Porción de fotografía aérea N° 140 de la misión 030603 a escala 1:5000 en la que se delimita el área correspondiente a los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos.

El Colorado y El Estanque, en los que posteriormente se evaluaron las áreas más restrictivas debido a sus niveles de pendiente.

- La tercera, representada por el levantamiento de campo realizado durante los días 27 de enero y 18 de marzo de 2005 en los sectores Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, mediante el cual se pudo tener una apreciación directa de las unidades y procesos interpretados en las fotografías aéreas, y donde, a partir de un proceso de geoposicionamiento y registro fotográfico digital, se pudo establecer una correlación entre los procesos morfodinámico propios de la zona y las características físicas y sociales más resaltantes de la misma.

De esta manera, y a partir de la integración de la información obtenida, se pudo llegar a la realización de los mapas temáticos correspondientes a los rangos de pendiente y a la geomorfología. A través de la delimitación de unidades en cada uno de estos mapas se pudo llegar a la definición final de formas geomorfológicas y de su comportamiento geodinámico, y con esto a la apreciación precisa de las condiciones de estabilidad de los distintos sectores analizados en la caracterización.





En lo que se refiere a su contexto geomorfológico regional, el área de estudio se encuentra ubicada en su totalidad dentro del flanco norte de la región natural denominada "Serranía del Litoral" en su tramo central, la cual, a nivel nacional, se extiende desde la zona de Nirgua en el estado Yaracuy hasta la localidad de Cabo Codera, en el estado Miranda. No obstante esta condición de ubicación, y debido a su cercanía con el espacio del mar Caribe, el área presenta estrechas relaciones con las características y procesos propios de la región natural de la Plataforma Continental y los Sistemas Costeros.

Dentro de este entorno regional, el espacio concreto que enmarca el área de estudio, que está conformada por los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, se encuentra emplazado fundamentalmente en tres tipos de paisaje geomorfológico: el de "montaña baja", que es de mayor extensión y está constituido por las estribaciones terminales de la vertiente norte de la cordillera del Litoral Central; el de "valle aluvial", que está conformado por las unidades adosadas al cauce del río Anare, y el de "piedemonte", que corresponde a las fases de transición entre las unidades de montaña baja y las formas aluviales.

De manera general, las formas correspondientes al paisaje de montaña baja, donde se emplaza la mayor proporción de estructuras de los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, se caracterizan por presentar moderados a bajos valores de altitud, y valores altos a moderados de pendiente. Esta condición topográfica particular hace que los medios geomorfológicos se encuentren constantemente expuestos a intensos procesos de erosión laminar y concentrada, y a frecuentes movimientos de remoción de masa, como deslizamientos, desprendimientos reptación y flujos de detritos, entre otros.

Las unidades asociadas al paisaje de valle aluvial, que ocupa una menor extensión superficial dentro del área de estudio, presentan los más bajos valores de pendiente y de altitud, y se presentan como unidades que en su mayor proporción se encuentran expuestas a procesos de inundación tanto lateral como longitudinal que, como se observó en los años 1999, 2004 y 2005, poseen un alto poder destructivo.

Por su parte, las unidades geomorfológicas pertenecientes al paisaje de piedemonte, que se extienden hacia ambos márgenes del río Anare en su conexión con las laderas montañosas, se caracterizan por presentar bajos valores de altitud y moderados valores de pendiente, y desde el punto de vista morfodinámico se encuentran expuestas a procesos dominantes de deposición sedimentaria, tanto de origen aluvial como coluvial.

Dentro de este contexto, y con base en la evaluación específica de estos tres tipos de paisaje geomorfológico, se han identificado y delimitado un total de nueve "formas de terreno" distintas y de ocho categorías de procesos morfodinámicos diferentes, que se muestran, se describen y analizan en los puntos desarrollados a continuación:

## Unidades de relieve

---

### Unidades de montaña

#### a) *Estribaciones o filas secundarias*

Representan las unidades que enlazan o unen los puntos de mayor altitud dentro de las zonas montañosas y que, por tanto, se establecen como espacios de unión entre las laderas contrapuestas de los paisajes de montaña. En el contexto hidrográfico se presentan como líneas divisorias de agua, y como tal, delimitan algunas de las microcuencas identificadas para el área de estudio.



Foto 8.

Vista de fila secundaria en sector alto del barrio Cerro Los Blancos, donde se puede observar la disminución relativa de las pendientes y la disposición de las viviendas a lo largo de la forma.

En lo concerniente a sus características topográficas específicas, se distribuyen entre los 30 y 100 msnm y exponen, a diferencia de las formas de laderas circundantes, una reducción considerable de los valores de pendiente, los cuales varían entre el 10 y 30% (ver Foto 8).

Esta condición topográfica específica generalmente implica la existencia de una relativa estabilidad geodinámica, que hace que estas unidades sean consideradas como espacios potenciales para la instalación de estructuras antrópicas, como vías de comunicación, líneas de servicio y viviendas, entre otras. Únicamente en sectores muy puntualizados dentro del área de estudio, las formas de estribación presentan leves procesos de erosión laminar y concentrada, los cuales pueden ser fácilmente controlados con obras de disipación de energía y control de erosión de poca envergadura.

#### **b) Laderas cóncavas**

Están conformadas por unidades de poca extensión dentro del cuerpo montañoso de los sectores analizados y se encuentran ubicadas entre las formas altas, representadas por las estribaciones, y las formas bajas de piedemonte, representadas por los conos de deyección, los abanicos aluviales y los glacés. De forma específica, este tipo de ladera expone un perfil topográfico longitudinal de configuración cóncava, y su origen está definido por la ocurrencia de antiguos deslizamientos rotacionales de gran magnitud y volumen, de los cuales permanecieron las formas semicirculares correspondientes a las antiguas cicatrices de desprendimientos denominadas "paleoformas".

En cuanto a sus características topográficas, se ubican en altitudes predominantes que van desde los 20 y 70 m de altitud y poseen valores de pendiente muy variados que se encuentran entre los 30 y 90% para las laderas ubicadas en el barrio Cerro Los Blancos, y entre el 45 y 120% para las ubicadas en el barrio Cerro Los Negros (ver Foto 9).

Generalmente, y debido a sus condiciones de evolución morfogenética, las laderas cóncavas se presentan como los espacios de mayor inestabilidad geodinámica de los macizos montañosos, donde ocurren constantes movimientos de masa, como deslizamientos rotacionales, deslizamientos laminares y flujos de detritos, así como procesos erosivos laminares y concentrados. Sin embargo, debido a que los factores litológicos e hidrográficos de los sectores analizados no presentan tanto potencial para el desplazamiento de grandes volúmenes de material, solo se observaron procesos de erosión concentrada y deslizamientos de poca magnitud, asociados a movimientos antrópicos de tierra.



Foto 9.

Vista general de vertiente cóncava en sector Cerro Los Negros, donde se pueden observar las condiciones de alta pendiente y la forma semicircular demarcada por la línea amarilla.

En este sentido, las únicas laderas cóncavas donde se observaron movimientos en masa de gran magnitud, que generaron daños estructurales a las viviendas ubicadas dentro de su entorno, correspondieron a las laderas de los extremos sur de los sectores Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, donde las condiciones de pendiente y de intervención antrópica son adversas a la estabilidad de las masas montañosas.

### c) Laderas irregulares

Están constituidas por unidades montañosas semejantes a las laderas cóncavas, pero que exponen como elemento característico un perfil longitudinal de alta irregularidad topográfica, el cual es producto del constante deslizamiento de masas de suelo y de componentes litológicos en el cuerpo de la vertiente, que posteriormente quedan expuestas a los procesos erosivos. En cuanto a su distribución, las laderas rectilíneas se ubican en la mayor proporción del área de estudio y se extienden en todos los casos, desde las formas más altas, correspondientes a las filas montañosas secundarias, hasta las más bajas, representadas por los glacés, los abanicos aluviales y los conos de deyección.

Así, en lo que se refiere a sus características topográficas, se extienden predominantemente entre los 20 y 80 m de altitud y exponen, debido a sus condiciones propias de irregularidad, variados rangos de pendiente, los cuales se ubican entre el 30 y 100% (ver Foto 10).



Foto 10.

Panorama de ladera irregular ubicada en el sector Cerro Los Blancos donde se puede apreciar la discontinuidad en la pendiente del terreno, así como la existencia de procesos de erosión laminar generalizada.



Desde el punto de vista morfodinámico, las laderas irregulares identificadas en el área se presentan como unidades fundamentalmente expuestas a procesos de erosión laminar y concentrada, pero que eventualmente poseen movimientos de masa, como deslizamientos rotacionales, deslizamientos laminares y flujo de detritos, que en general son de moderada magnitud. Solo en algunos casos, donde las pendientes son muy elevadas y donde las intervenciones del terreno han sido muy drásticas, se han presentado fenómenos que han afectado estructuras residenciales y de servicios.

#### **d) Laderas rectilíneas**

Comprenden aquellas laderas que se caracterizan por presentar un perfil longitudinal rectilíneo, donde no predominan formas cóncavas ni convexas y donde únicamente se exponen irregularidades locales de pequeña extensión que en todo caso, no dominan la configuración topográfica de estas vertientes. En su mayor proporción se ubican en los flancos expuestos hacia la carretera Naigutá-Los Caracas, tanto en el sector Cerro Los Negros como en el sector Cerro Los Blancos.

En lo que respecta a sus características topográficas específicas, se distribuyen en un rango altitudinal comprendido entre los 5 y 90 m, y presentan valores de pendiente que de forma predominante superan los 90%, pero que en una gran proporción alcanzan una inclinación superior al 120% (ver Foto 11).

Debido a esta condición particular de relieve, y a que la mayor proporción de estas laderas no poseen o poseen muy poca cobertura vegetal, se producen sobre las mismas constantes e intensos procesos de erosión laminar y concentrada, así como movimientos de remoción de masa que si bien no afectan directamente a las estructuras de los sectores analizados por encontrarse emplazadas a cierta distancia de estas, sí tienden a comprometer la seguridad y estabilidad de la vía de comunicación principal del estado.



Foto 11.

Vista general de ladera rectilínea en sector Cerro Los Blancos en la que se puede observar el alto valor de pendiente y la existencia de procesos de erosión laminar y concentrada que constantemente suele afectar la carretera Naigutá-Los Caracas misma que puede ser observada en la fotografía.





### e) Vegas coluviales

Corresponden a aquellas unidades de relieve a través de las cuales discurren los flujos de escorrentía superficial (quebradas y torrentes), y que conforman así los cauces naturales en los que se acumulan los materiales sedimentarios provenientes de las laderas montañosas adyacentes, los cuales son transportados principalmente por procesos de gravedad. Dado que el mayor porcentaje de los sectores analizados se enmarca dentro de un paisaje montañoso cuyas laderas rodean al valle del río Anare, las vegas coluviales se disponen tanto en el Cerro Los Negros como en el Cerro Los Blancos, de forma perpendicular al trazado natural de dicho curso fluvial.

De esta forma, y considerando que las vegas coluviales son unidades que atraviesan longitudinalmente todas las formas de ladera, las mismas presentan altitudes que varían entre los 5 y 100 m y pendientes que oscilan entre el 15 y 60% (ver Foto 12).



Foto 12.

Detalle de vega coluvial en sector Cerro Los Negros donde se puede notar la profundización del cauce del flujo principal y la reducción de las pendientes, en comparación con la existente en las laderas adyacentes.

En lo que se refiere a su condición geomorfológica, y a pesar de que generalmente las vegas coluviales se presentan como formas donde la pendiente general tiende a ser más baja en comparación con las existentes en las zonas de laderas circundantes, estas han sido clasificadas en el área como unidades de moderada inestabilidad geomorfológica debido a que eventualmente han sido afectadas por procesos de crecidas torrenciales capaces de remover y transportar grandes volúmenes de sedimentos y materiales en general.



Foto 13.

Vista general de vía de penetración hacia el sector Cerro Los Blancos, la cual discurre transversalmente a los glacis de acumulación y a los conos de deyección que separan el valle del río Anare con las formas de montaña.

## Unidades de piedemonte

366

### a) *Glacís de acumulación*

Se encuentran representados por formas transicionales de origen deposicional, que en el área de estudio se distribuyen de forma paralela al valle del río Anare e intercalados con los abanicos aluviales y los conos de deyección. Se distinguen por presentar pendientes de moderadas a bajas y una constitución predominante de materiales sedimentarios, los cuales han sido transportados por agentes fluviales o de gravedad desde las laderas adyacentes hasta el pie de los cuerpos montañosos.

Topográficamente se localizan entre los 10 y 20 m de altitud y presentan pendientes que de forma predominante varían entre el 15 y 30%, aunque hacia su parte superior, donde colindan con las laderas montañosas, los valores clinométricos suelen ser superiores (ver Foto 13).

En términos morfodinámicos, son unidades que al no estar expuestas a intensos procesos de erosión o movimientos de masa, y al estar en su mayor parte fuera del alcance de los flujos torrenciales asociados con los cursos de agua, presentan en sí mismas moderadas condiciones de estabilidad. Sin embargo, debido a que presentan una pequeña extensión relativa y que se encuentran relativamente cerca de las unidades de montaña, eventualmente pueden estar expuestos a procesos de remoción en masa.

### b) *Abanicos aluviales y conos de deyección*

Son unidades deposicionales que se ubican en el área de desembocadura de los torrentes y quebradas provenientes de los cuerpos montañosos, y han producido acumulaciones sedimentarias en forma semitriangular, que se componen de una mezcla de materiales transportados por el agua, en el caso de los abanicos aluviales, y de materiales transportados por la gravedad, en el caso de los conos de deyección.

Dentro del área de estudio se ubican a ambos lados del valle del río Anare, justo donde este se conecta con las unidades montañosas de los sectores Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos. Presentan como condiciones topográficas específicas, altitudes que van desde los 10 hasta



Foto 14.

Vista parcial de abanico aluvial en sector Cerro Los Blancos, donde se puede apreciar la disposición de las viviendas orientadas hacia cada uno de los lados de la geoforma, tal como lo indican las líneas rojas.

los 20 m, y valores de pendiente que no superan casi en ninguno de los casos el 30% de inclinación (ver Foto 14).

Desde el punto de vista geomorfológico, los abanicos y conos son unidades que generalmente, al presentarse como las áreas de desembocadura de los torrentes provenientes de los macizos montañosos, se encuentran expuestas a la ocurrencia de flujos torrenciales capaces de afectar de forma considerable las estructuras ubicadas sobre ellas. No obstante, solo en el curso fluvial de mayor tamaño en el sector Cerro Los Negros se observó la ocurrencia de estos fenómenos.

### Unidades de valle

#### a) *Vegas aluviales*

Corresponden a las formas de acumulación sedimentaria aluvial de origen reciente (holocénicos y pleistocénicos), que se disponen en ambas márgenes del río Anare y que se encuentran enmarcadas por las unidades de piedemonte del sector Cerro Los Negros y por las terrazas aluviales del sector Cerro Los Blancos. En el área de estudio son unidades de muy poca extensión que principalmente se ubican en las adyacencias de la carretera Naiguatá-Los Caracas.

En términos topográficos presentan altitudes por debajo de los 5 m y niveles de pendiente que en todos los casos son inferiores al 15%.

Debido a estas condiciones, son unidades que, como se pudo constatar durante los eventos de los años 1999, 2004 y 2005, se encuentran expuestas a intensos flujos torrenciales capaces de transportar y depositar enormes volúmenes de materiales, que durante dichos fenómenos fueron los responsables de generar innumerables pérdidas humanas y materiales (ver Foto 15).

#### b) *Terrazas aluviales bajas*

Están conformadas por las unidades de relieve plano que se encuentran adosadas a la margen derecha del río Anare, y cuyo origen se remonta a las sucesivas deposiciones aluviales ocurridas durante el Cuaternario y al posterior entalle de las formas generado por el mismo río. Se





Foto 15.

Panorámica de unidad de vega aluvial cercana a la carretera Naiguatá-Los Caracas, la cual ha estado expuesta al desbordamiento del río Anare en los años 1999, 2004 y 2005.

presentan como unidades de relieve de relativa extensión, considerando que pertenecen a valles encajonados.

Desde el punto de vista topográfico, poseen altitudes que oscilan entre los 10 y 15 m y pendientes que varían entre el 0 y 5% en los sectores más planos, y entre 5 y 15% en los sectores más inclinados que colindan con los glacis, los abanicos aluviales y los conos de deyección. Además de esto, y debido a que son unidades de acumulación sedimentaria relativamente reciente que se presentan dentro de un solo nivel contiguo a las vegas del río, los desniveles existentes entre el curso fluvial y el tope de la forma no exceden los 2 m.

En lo que respecta a su condición geomorfológica, considerando que son formas de muy baja pendiente y expuestas en menor grado a los procesos de inundación de alta intensidad como los ocurridos en las vegas aluviales, las terrazas son unidades de relativa estabilidad geodinámica, donde no se evidencian procesos erosivos de importancia ni ningún tipo de desplazamiento de masa, salvo en los bordes o taludes de terraza, donde el más reciente desbordamiento del río Anare generó una fuerte socavación (ver Foto 16).



Foto 16.

Vista de terraza aluvial baja, donde se puede observar el talud expuesto a la vega del río Anare que recientemente fue socavado por el desbordamiento del mismo.





Foto 17.

Vista de cicatriz de despegue de deslizamiento rotacional en el sector Cerro Los Negros, el cual destruyó casi totalmente la vivienda ubicada en su parte inferior.

## Procesos morfodinámicos

### a) Deslizamientos rotacionales

Son aquellos movimientos de masa que, de forma similar a otros fenómenos de remoción o derrumbe, se producen por sobresaturación hídrica de los suelos, la cual genera el colapso de grandes volúmenes de sedimento y materiales rocosos que se desploman en un movimiento de rotación hacia las partes bajas de las laderas montañosas. Posteriormente a la ocurrencia de este tipo de movimiento en una ladera montañosa, la misma expone una forma cóncava y semicircular denominada "cicatriz de despegue", la cual luego es susceptible a la ocurrencia de nuevos deslizamientos y de intensos procesos de erosión.

En el área de estudio los deslizamientos rotacionales se distribuyen fundamentalmente sobre las laderas cóncavas e irregulares de ambos sectores, pero es en el barrio Cerro Los Negros donde se han producido, a partir de los fenómenos hídricos de los años 1999 y 2004, los movimientos de mayor intensidad y que más han afectado las estructuras residenciales y de servicios (ver Foto 17).

### b) Deslizamientos laminares

Están referidos a aquellos movimientos en masa en los cuales, debido a la sobresaturación hídrica de los suelos y de la capa meteorizada de detritos, todo el depósito de material residual, detrítico u orgánico, desliza a lo largo de una superficie de resbale (que generalmente es una superficie litológica poco meteorizada) y transporta grandes volúmenes de sedimento y rocas en forma de lámina hacia las posiciones inferiores. Luego de la ocurrencia de estos procesos, las laderas quedan expuestas a intensos procesos de erosión concentrada generados por flujos hídricos de alto poder de disección.

En el área de estudio los deslizamientos laminares se distribuyen principalmente en las laderas cóncavas e irregulares del sector Cerro Los Negros, donde a pesar de que no han provocado el colapso de estructuras residenciales o de servicios, sí han aportado grandes volúmenes de material a las vegas y vías de comunicación de dicho sector (ver Foto 18).

Foto 18.

Vista general de una ladera expuesta a deslizamientos laminares en parte baja del sector Cerro Los Negros, donde se puede observar la roca que sirvió de superficie de resbale al proceso.



### c) *Flujos de detritos*

Se definen como movimientos de masa en los cuales, debido a la sobresaturación hídrica de los suelos adyacentes a una vega coluvial o línea de escorrentía superficial, el material sólido se licua y fluye aguas abajo de su posición inicial dejando tras de sí un canal de suelo desnudo o de material rocoso expuesto. En el área receptora de este material se forma un cono de desprendimiento cuyo tamaño será proporcional al volumen de material deslizado.

Dentro del área de estudio los flujos de detritos más importantes se identificaron en las laderas rectilíneas del sector Cerro Los Negros, aunque también fueron observados otros movimientos de menor intensidad hacia la vía principal del sector Cerro Los Blancos. En ambos casos la afectación a las estructuras residenciales fue baja, pero los materiales transportados limitaron el acceso a través de las vías de comunicación involucradas (ver Foto 19).

### d) *Flujos torrenciales*

Corresponden a aquellos movimientos de masa que se producen de forma similar a los flujos de detritos, en las vegas o líneas de escorrentía superficial, pero donde el transporte de materiales se da por socavación y abrasión del cauce y de las áreas adyacentes, y no por sobresaturación del material detrítico o sedimentario acumulado en sus laderas conexas.

Las unidades donde se determinó la ocurrencia de este proceso corresponden a las vegas coluviales que se distribuyen en las laderas irregulares y cóncavas de los dos sectores

Foto 19.

Panorámica de carretera Naiguatá-Los Caracas, la cual fue afectada por los flujos de detritos producidos en la ladera rectilínea del sector Cerro Los Negros en el mes de febrero de 2005.







Foto 20.

Detalle de una línea de escorrentía superficial en sector Cerro Los Blancos donde se activó un proceso de flujo torrencial que movilizó importantes volúmenes de material aguas abajo de la vía principal.



Foto 21.

Detalle de surcos de erosión concentrada en laderas rectilíneas de sector Cerro Los Blancos, las cuales han contribuido al transporte de materiales hacia la carretera Naiguatá-Los Caracas.

considerados en el estudio, a través de las cuales se transportaron importantes cantidades de sedimento que afectaron algunas viviendas ubicadas cerca de sus cauces de tránsito (ver Foto 20).

### Áreas de erosión concentrada

Se encuentran conformadas por aquellos espacios donde se han producido intensos procesos de erosión concentrada, los cuales a su vez se han derivado de flujos de escorrentía superficial de alto poder de socavación, que han removido grandes volúmenes de suelo y material residual en líneas de escorrentía bien definidas.

En el área de estudio las zonas de erosión concentrada solo han sido identificadas en las laderas rectilíneas e irregulares del sector Cerro Los Blancos, donde el material litológico presenta las condiciones de disgregación suficientes como para permitir la formación de surcos y cárcavas de relativa profundidad (ver Foto 21).

#### a) Áreas de erosión laminar

Están constituidas por aquellas superficies en las cuales el desgaste de las capas del suelo o del material residual, no se ha producido por concentración de flujos hídricos capaces de formar surcos o cárcavas, sino por flujos laminares que han generado la reducción homogénea de los estratos superficiales.



Foto 22.

Vista general de un área expuesta a erosión laminar en el sector Cerro Los Blancos, donde se puede notar cómo la ausencia de cobertura vegetal y la realización de movimientos de tierra han impulsado el desgaste de los suelos.

La existencia de este tipo de procesos se ha determinado prácticamente en todos los sectores del área de estudio que presentan intervención antrópica o deforestación, pero los de mayor intensidad y relevancia se distribuyen en las laderas cóncavas e irregulares del sector Cerro Los Blancos, donde la mayor meteorización mecánica de los materiales y la existencia de mayores niveles de pendiente los han impulsado de forma más intensa (ver Foto 22).

### **b) Líneas de socavación fluvial**

Están conformadas por aquellos segmentos de las terrazas aluviales o de los glacés que colindan con las unidades de valle, que durante los flujos de crecidas excepcionales, como las ocurridas durante el mes de diciembre de 1999 o en febrero de 2005, fueron socavados por la acción de la abrasión del flujo de agua y de los materiales que en este se mantienen en suspensión.

En los sectores analizados las líneas de socavación fluvial se encontraron fundamentalmente hacia la margen derecha del río Anare, donde la fuerza centrípeta generada en la parte externa de los meandros fue desgastando el borde de las terrazas aluviales que exponen desniveles con respecto a la vega aluvial (ver Foto 23).



Foto 23.

Vista de línea de socavación en entrada a la vía principal de sector Cerro Los Blancos donde la fuerza abrasiva del río Anare desgastó el substrato de apoyo de la calzada de la vialidad.





Foto 24.

Panorámica general de vega del río Anare, la cual se ha presentado como el espacio receptor de los materiales sedimentarios transportados por este río en los más recientes fenómenos de inundación torrencial.

### Áreas de deposición de flujos torrenciales

Corresponden a aquellos espacios donde se han acumulado los sedimentos y materiales provenientes de los torrentes formados en las partes altas de las laderas montañosas, y que por ende se encuentran expuestos a fenómenos de inundación y de aludes de material sedimentario. Dada la ocurrencia de estos procesos aluviales, las áreas de deposición de flujos torrenciales son consideradas los espacios con alto riesgo geomorfológico, debido a que los mismos representan fenómenos de gran poder destructivo.

En lo que respecta a su ubicación, las unidades expuestas a deposiciones de flujo torrencial se extienden principalmente dentro de las vegas aluviales del río Anare, donde en los años 1999, 2004 y 2005, los aludes torrenciales afectaron considerablemente las viviendas y estructuras de servicios emplazadas dentro o en las adyacencias de dichas unidades (ver Foto 24).

## 2.6. Metodología para analizar la amenaza

Para la elaboración del mapa definitivo de riesgo ambiental, el cual se plantea como componente fundamental para la proposición del diseño urbano previsto en este estudio, ha sido necesaria, tal y como se hizo referencia con anterioridad, la determinación y evaluación de la distribución espacial de la "amenaza física", misma que fue obtenida a partir de la superposición de cuatro capas de información diferentes y correspondientes a las tres variables desarrolladas en la caracterización física del estudio. Así, las capas de información utilizadas fueron: la clinometría (pendiente), la hidrografía, el relieve y los procesos morfodinámicos.

Partiendo de estas consideraciones, las fases metodológicas que fueron llevadas a cabo para la evaluación sistemática de la amenaza física en los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos fueron las siguientes:

### a. Selección de capas temáticas a utilizar en la evaluación de la amenaza

En esta etapa solo se retomaron los mapas temáticos elaborados para la caracterización física del estudio, los cuales representan las variables o "factores de amenaza" y sirven de base para la determinación de los indicadores específicos de la misma.

A este respecto, las variables utilizadas fueron clinometría, hidrografía y geomorfología<sup>(1)</sup>, cada una de ellas con sus respectivos mapas temáticos (los cuales se muestran a continuación y fueron expuestos en el Informe N° 2) conformaron las capas de información base a utilizar en el método de superposición de mapas aplicado en el presente estudio.



Figura 11. Mapas temáticos de las variables.

### b) Transformación de elementos lineales y puntuales en polígonos de análisis

En esta fase, con el fin de poner todos los factores de amenaza en capas de información que puedan ser manejables en la aplicación del método de superposición cartográfica, se transformaron aquellos elementos lineales como las líneas de escorrentía superficial, las cárcavas o las cicatrices de despegue, entre otros, en polígonos o áreas delimitadas en torno a cada elemento considerado.

Para la generación de estos polígonos, se procedió a la construcción de "buffer"<sup>(2)</sup> o perímetros circundantes a cada curso de agua y a cada proceso morfodinámico determinado en los sectores en estudio, los cuales representan el área de influencia directa que eventualmente podría ser afectada por la acción de la escorrentía o de un proceso geomorfológico determinado.

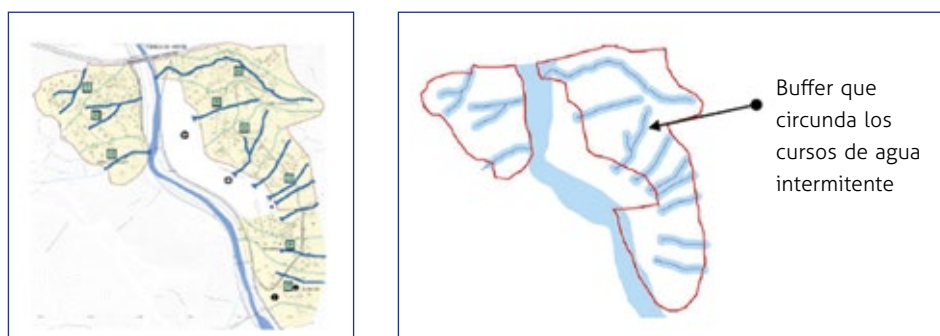


Figura 12. Mapas temáticos de las variables.

De esta manera, para los cursos de agua de régimen intermitente, que fueron los únicos identificados en el área, la extensión del "buffer" o área de influencia fue de 10 m bajo el criterio de área de socavación y curvas de nivel, como se puede observar en el gráfico anterior.

<sup>(1)</sup> Geomorfología: Forma de la superficie terrestre.

<sup>(2)</sup> Buffer: Expresión gráfica de la posible área de influencia de un fenómeno natural.

En el caso de los procesos morfodinámicos, la extensión de los polígonos de afectación fue variable dependiendo de la intensidad y sobre todo de la dinámica de cada proceso en particular. Así, las cárcavas o líneas de flujo torrencial tuvieron un área de influencia de 5 m, mientras que los deslizamientos rotacionales o laminares tuvieron una extensión variable, pero la mayor extensión (de 25 m) se asignó a las áreas aguas abajo de los procesos, debido a que sobre estos espacios se produce la mayor afectación derivada de la dinámica de los procesos.

Asimismo, es importante destacar que en aquellos procesos morfodinámicos cuyos rasgos resultantes no se encontraban bien definidos sino que se encuentran extendidos en áreas más amplias, como en el caso de las áreas de erosión laminar, solo se construyeron polígonos envolventes que representaron las áreas afectadas por el tipo de proceso analizado.

Para aquellos espacios donde los polígonos envolventes de diferentes procesos presentaron solape o superposición, el polígono que se consideró válido para la evaluación de la amenaza correspondió al del proceso de mayor intensidad o de mayor influencia en la condición de inestabilidad geodinámica del área estudiada.

En el caso de aquellos espacios donde no se identificaron procesos morfodinámicos o donde no se presentan cursos de escorrentía superficial, se construyó un polígono envolvente y concordante con los límites del área de estudio.

Con base en estas consideraciones, los mapas transformados correspondientes a los factores de amenaza geomorfológica resultaron esquemáticamente en lo siguiente:

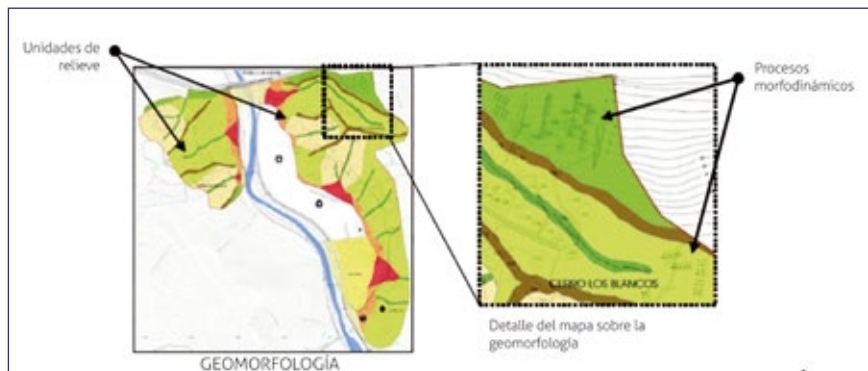


Figura 13. Unidades de relieve y procesos morfodinámicos.

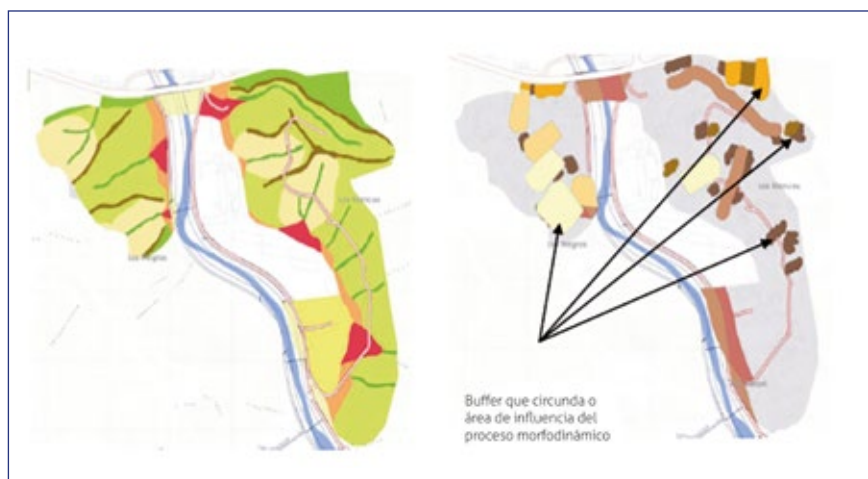


Figura 14. Mapa de factores de amenaza.

### c. Asignación de valores ponderados a las categorías de cada variable

En esta etapa, posteriormente a la preparación de las diversas capas de información a ser utilizadas para la determinación de la amenaza física y a partir del análisis detallado de cada una de las variables consideradas en el estudio (clinometría, hidrografía y geomorfología), se le otorgaron valores individuales a las diferentes categorías discriminadas para cada uno de estos componentes físicos.

Para la asignación de estos valores individuales se utilizó un intervalo cuantitativo comprendido entre 1 y 3 puntos, siendo el valor de 1 asignado a los polígonos de categorías con menor nivel de amenaza física, representados por aquellas áreas sin líneas de escorrentía, áreas de baja pendiente, unidades de relieve estables o áreas sin procesos morfodinámicos aparentes; y el valor de 3 asignado a los polígonos de mayor amenaza física, conformados por las áreas circundantes a los cursos de régimen intermitente, por las áreas de mayor pendiente, a las unidades de relieve más inestables o a las áreas donde se evidenciaron los movimientos de masa de mayor intensidad.

A todas aquellas categorías consideradas como amenaza intermedia entre estos casos extremos, fueron asignados valores distintos, comprendidos entre el 1 y el 3, los cuales representan una amenaza de grado medio.

A este respecto, los valores particulares asignados a cada categoría dentro de cada una de las variables físico-naturales consideradas en el estudio, fueron los siguientes:

#### Variable clinometría

Pendientes	Valor
Menor a 15	1
15-29	1,3
30-44	1,7
45-60	2
61-75	2,3
76-90	2,7
Mayor a 91	3

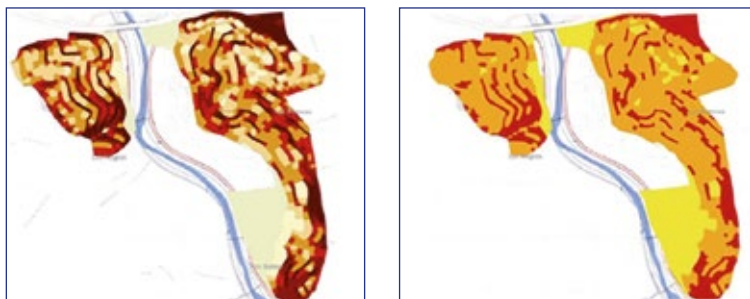


Figura 15. Pendientes.

#### Variable hidrografía

Tabla 5

#### Variable hidrografía

HIDROGRAFÍA	VALOR
Flujo torrencial (buffer circundante a cursos de régimen desconocido o intermitente)	3
Área de escorrentía	0



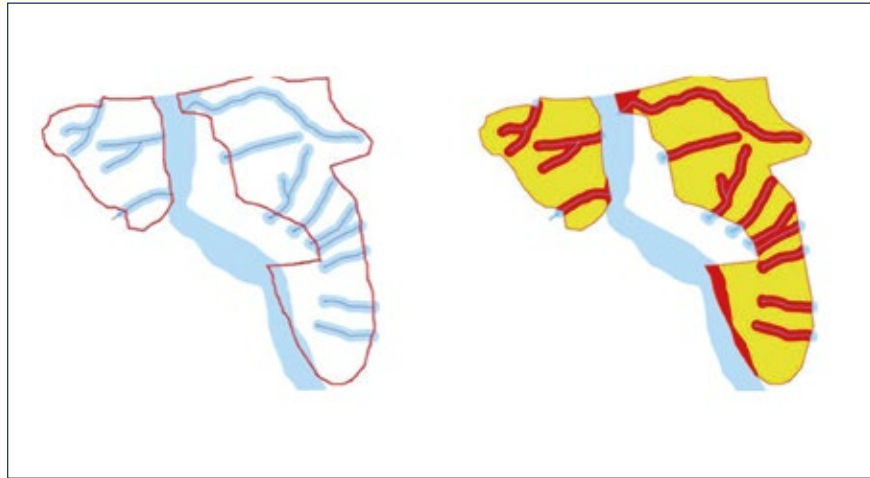


Figura 16. Hidrografía.

**Variable geomorfología**

Tabla 6

**Variable Geomorfología**

UNIDADES DE RELIEVE	VALOR
Vegas coluviales	3
Vegas aluviales	3
Laderas cóncavas	3
Laderas irregulares	2.5
Laderas rectilíneas	2.5
Abanicos y conos de deyección	2
Glacís de acumulación	1.5
Estribación o fila secundaria	1
Terrazas aluviales	0.7

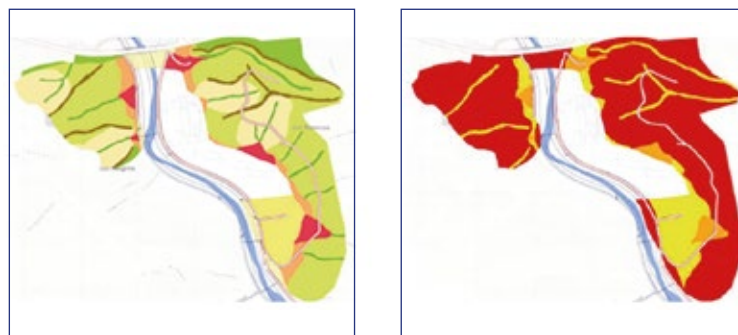


Figura 17. Relieves.

Tabla 7  
Morfodinámica

PROCESOS MORFODINÁMICOS	VALOR
Deslizamientos rotacionales	3
Deslizamientos laminares con concentración de	2
Flujos de detritos	2
Áreas de deposición de flujos torrenciales	2
Áreas de socavación fluvial	2
Áreas de erosión concentrada	1.7
Áreas de erosión laminar	1
Cuando no existe proceso	0

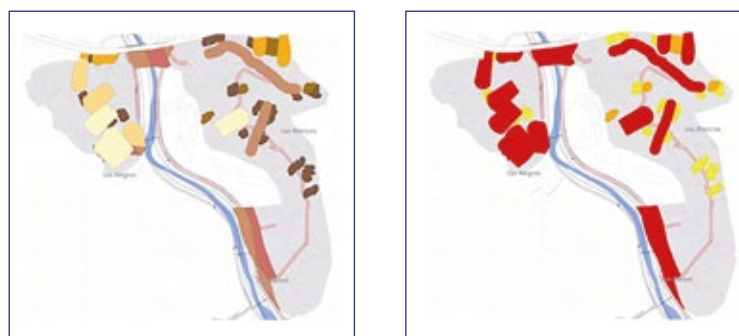


Figura 18. Morfodinámica.

#### d. Superposición de mapas temáticos

En esta fase, posteriormente a la asignación de valores para cada categoría dentro de cada variable física, se procedió a la superposición de los mapas temáticos.

El objetivo fundamental de esta superposición cartográfica es la evaluación específica de los diferentes factores de amenaza que se presentan individual o combinadamente en cada sector del área de estudio, y con ello, la delimitación de aquellas unidades donde la combinación de dos o más factores de amenaza individual implican la existencia de una alta amenaza física integrada.

Es importante destacar que las unidades utilizadas como áreas de análisis espacial para la determinación de esta amenaza integrada, correspondieron a los polígonos de pendiente, debido a que al presentarse como las áreas de menor tamaño y de menor nivel de generalización, se expusieron como espacios idóneos para integrar de forma detallada el resto de los componentes físico-naturales.

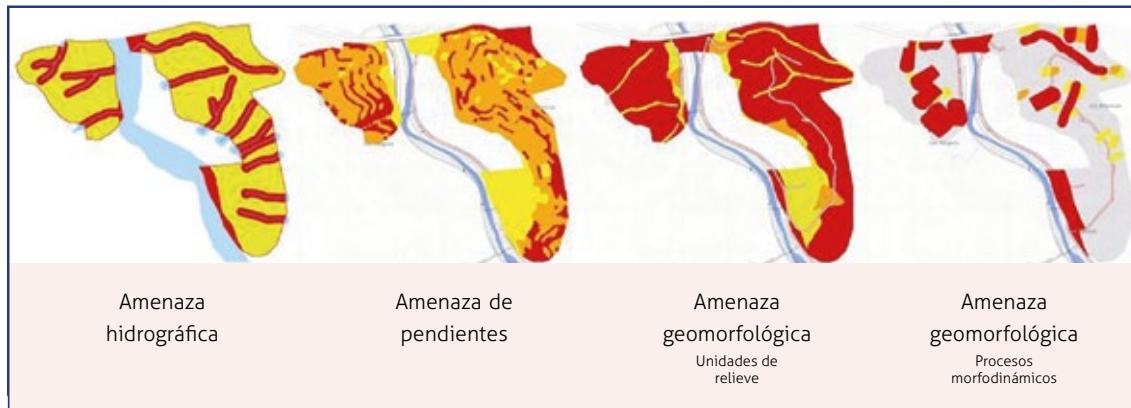


Figura 19. Tipos de amenazas.

**e. Clasificación de unidades de amenaza**

Finalmente, y una vez calculados los valores de amenaza integrada para cada uno de los polígonos identificados y considerados en la evaluación, se procedió a la clasificación de los mismos en cinco niveles o categorías que estuvieron definidas por rangos numéricos, los cuales se fijaron mediante intervalos de clases calculados a partir de los valores máximos y mínimos posibles.

Posteriormente, a cada uno de estos cinco niveles o categorías de amenaza integrada se le otorgó un color, que luego fue asignado a cada polígono analizado en función de su valor respectivo de amenaza integral. Esta asignación, que fue desplegada en las bases cartográficas a escala 1:1 000 utilizadas para la representación de los componentes físicos evaluados en el estudio, permitió apreciar de forma rápida y precisa la distribución espacial de las unidades de amenaza, la cual servirá de base para la determinación del riesgo ambiental.

Los niveles o categorías de amenaza integrada, con sus respectivos intervalos de clase y colores asignados, se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 8**  
**Niveles de amenazas**

NIVELES DE AMENAZA INTEGRADA	INTERVALOS DE CLASE CORRESPONDIENTE	COLOR ASIGNADO
Muy alto	=2.24	[Dark Red]
Alta	1.95 - 2.23	[Red]
Media	1.47 - 1.94	[Orange]
Baja	0.94 - 1.46	[Light Orange]
Muy baja	=0.93	[Yellow]

## f. Análisis de resultados de la amenaza

Una vez cumplidas las diferentes etapas o fases metodológicas que fueron consideradas indispensables para la determinación de la amenaza integral en los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, se procedió a la elaboración definitiva del "Mapa de Amenaza Físico-Natural", en el cual se muestra la distribución espacial de las unidades de amenaza resultante de las diferentes áreas consideradas en el estudio.

En este mapa, el cual posteriormente fue utilizado como una capa de información básica para el análisis de riesgo ambiental del estudio, se exponen los cinco niveles o categorías de amenaza que han permitido discriminar a los distintos espacios del área de estudio con base en la probabilidad de ocurrencia de procesos hidrológicos o geomorfológicos, que eventualmente puedan afectar negativamente las estructuras residenciales, de servicios o los grupos humanos que de estas dependen.

Es muy importante destacar que el mapa definitivo de amenaza físico-natural elaborado para este estudio, a pesar de que ha contado con un exhaustivo levantamiento, análisis y procesamiento de información que ha servido de base para su realización, representa solo un esquema o modelo aproximado de cómo se distribuyen y de cuáles son las variables que determinan los fenómenos naturales potencialmente destructivos del área estudiada, ya que en la consideración de los procesos hidrológicos o geomorfológicos siempre existe una alta carga de incertidumbre que hace poco probable la estimación precisa de las amenazas. Pero, aun así, es una información útil de aproximación a una microzonificación del riesgo más localizada al área de estudio a los trazos de macrozonificación de riesgo del Área de Protección y Recuperación Ambiental (APRA) elaborado por la Autoridad Única de Área del Estado Vargas (AUAEV). Además, en los casos donde se pueda ejecutar los frentes de obras se deberá realizar el estudio de riesgo respectivo.

Partiendo de estas premisas fundamentales, y tal como se puede observar en el Mapa N° 1 Amenaza Físico-Natural del anexo y en el siguiente gráfico, el cual se expone a continuación, se tiene que el mayor porcentaje del área analizada está comprendida por unidades de **Baja y Muy Baja Amenaza** natural, las cuales ocupan 30,33 y 29,90%, respectivamente, y se distribuyen ampliamente tanto en el sector Cerro Los Negros como en el sector Cerro Los Blancos.

La alta de unidades de baja amenaza natural, a pesar de que las mismas se distribuyen en laderas montañosas rectilíneas e irregulares de los dos sectores estudiados, obedece a la existencia de moderados y bajos valores de pendiente, a la relativa escasez de líneas de escorrentía superficial y sobre todo a la escasa presencia de movimientos en masa de gran intensidad o extensión. Adicionalmente a esto, la presencia de substratos geológicos de mayor estabilidad relativa y de filas secundarias de relativa extensión, contribuye notablemente a la estabilidad de las laderas.

Tabla 9  
 Porcentajes

Amenaza muy alta	11,76%
Amenaza alta	11,36%
Amenaza media	16,66%
Amenaza baja	30,33%
Amenaza muy baja	29,90%



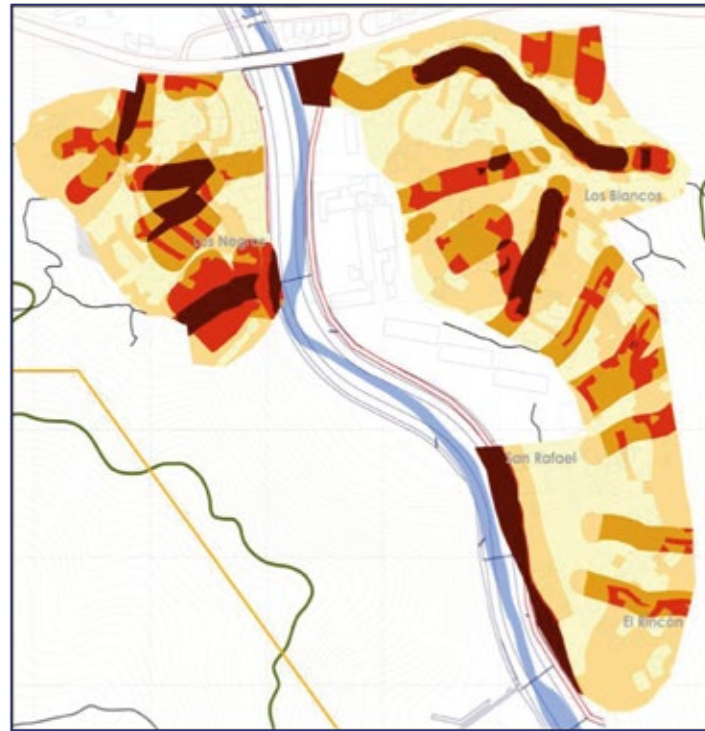


Figura 20. Unidades de amenaza.

Por su parte, las unidades que han sido catalogadas como espacios de **Alta amenaza** física, los cuales ocupan 11,36% de extensión con respecto a la superficie total del área de estudio, se encuentran fundamentalmente distribuidas en las zonas circundantes a las vegas coluvio-aluviales del extremo sur del sector Cerro Los Blancos, y en una menor proporción hacia las vegas coluvio-aluviales del extremo norte del sector Cerro Los Negros.

La presencia de este alto nivel de amenaza sobre unidades de relieve donde las pendientes son inclusive más bajas que las existentes en las laderas montañosas circundantes, responde al hecho de que tanto las vegas como sus espacios inmediatos circundantes corresponden a espacios propensos a la acción destructiva de las crecidas hidrográficas y, por tanto, a la desestabilización de los terrenos. Además de esto, las áreas definidas dentro de esta categoría de amenaza, también se encuentran condicionadas por la existencia de procesos morfodinámicos de mayor intensidad y extensión, como lo son los flujos torrenciales, los fenómenos de erosión concentrada y los flujos de detritos dentro de las áreas montañosas; o la deposición de flujos torrenciales dentro de las áreas del valle.

Finalmente, las unidades que han sido catalogadas como espacios de **Muy alta amenaza** natural, que ocupan una extensión de 11,76% del total del área de estudio, y que se distribuyen hacia los tramos medios de las vegas coluvio-aluviales ubicadas al norte de ambos sectores, corresponden a terrenos montañosos donde son comunes las altas pendientes, la alta cercanía a los flujos de escorrentía superficial y la existencia de numerosos procesos morfodinámicos de alto potencial destructivo, como los deslizamientos rotacionales, laminares y los flujos de detritos.

Además de estas, una importante proporción de las áreas definidas dentro de esta categoría de amenaza se encuentra constituida por espacios ubicados en las adyacencias del río Anare, donde la existencia de áreas de socavación fluvial y de áreas de deposición de flujos

torrenciales, implican la presencia de condiciones de muy alta inestabilidad geodinámica y, por tanto, de alta propensión a la destrucción de estructuras residenciales y de servicios. Esta condición de amenaza se ha visto evidenciada en los fenómenos ocurridos en los años 1999, 2004 y 2005.

## 2.7. Análisis de vulnerabilidad

A partir de la década de los noventa la concepción fiscalista de los desastres dio un viraje significativo y asumió un enfoque más social hacia la problemática. Sin embargo, a pesar de este viraje, es evidente que las políticas y programas implementados por la mayoría de los organismos nacionales e internacionales responsables de la gestión de los desastres siguen basándose en la concepción fiscalista y prestan poca atención a los procesos sociales que generan y acumulan vulnerabilidades.

No obstante, actualmente en Venezuela y sobre todo en el estado Vargas se está implantando el "Plan Vargas 2005" por diferentes entes gubernamentales para la ejecución de obras físicas para la mitigación de riesgo a través de la estabilización de las cuencas torrenciales (obras de prevención estructural), tales como presas de retención de sedimentos y canalización, vialidad y puentes, protección de costas, saneamiento ambiental, entre otros. Además, se establece un módulo para el fortalecimiento de capacidades institucionales y comunitarias para la Gestión Local de Riesgo (GLR).

Este módulo GLR del "Plan Vargas 2005" establece que existe una diferencia entre desastre y riesgo, concibiendo al desastre como un riesgo no manejado, es decir, que la acción humana puede ser capacitada y sensibilizada para que ella misma no genere un escenario de riesgo. Por ende, la comunidad debe reconocerse como un actor social que participa en el riesgo, aunado a los diferentes niveles de interés y relaciones de las comunidades y las instituciones.

De esta manera, si no se manejan los riesgos, es decir si no se establece la prevención o mitigación del riesgo, se estará ante la presencia de un posible desastre que no permitirá un desarrollo, si partimos de la premisa de que la amenaza se trabaja a través de acciones ingenieriles de mitigación y la vulnerabilidad se trabaja a través de acciones humanas de prevención.

En consecuencia, la vulnerabilidad no es equiparable con una probabilidad del azar sino que se encuentra determinada por una combinación de rasgos de conducta como pueden ser: el riesgo objetivo, la no-percepción subjetiva del riesgo, la ignorancia sobre los elementos básicos acerca del riesgo y el aislamiento de los canales usuales de información.

Partiendo de esta noción de vulnerabilidad y dentro del presente estudio en el cual se intentan analizar individualmente los componentes físico-naturales y socio-urbanos de los barrios Cerro Los Negros, Cerro Los Blancos, barrio San Rafael y barrio El Rincón, ubicados en Anare de la parroquia Naiguatá del estado Vargas, con el fin de determinar las áreas potenciales para la reorganización urbana de las estructuras residenciales y de servicios de dichos espacios, se ha realizado un análisis específico de "vulnerabilidad", el cual se ha orientado a la apreciación y evaluación de los resultados obtenidos del registro de estructuras y censo social elaborados en noviembre del año 2004.

A este respecto, solo se han considerado dos categorías de vulnerabilidad para la elaboración de los análisis de riesgo ambiental a partir de la información levantada por cada estructura en la caracterización social y urbana que ya se ha presentado en informes anteriores, tomando con mayor consideración en cuanto a lo urbano los elementos de vulnerabilidad de la estructura (peso, resistencia y estado) y la vulnerabilidad del servicio (disposición de aguas servidas y desechos sólidos); en cuanto a lo social los elementos sobre el conocimiento del riesgo, tiempo



viviendo en el barrio, número de habitantes por casa y nivel de comunicación que tienen los habitantes del área de estudio.

A partir de la integración y análisis espacial de estos factores de vulnerabilidad, que fueron tratados cartográficamente como capas de información temática, se llegó a la elaboración de un mapa integrado de vulnerabilidad social-urbano, el cual permitió, conjuntamente con un mapa similar de "amenaza físico natural", la definición de las áreas de riesgo y con ello, las áreas potenciales para el desarrollo y el diseño urbano.

En los puntos temáticos que se desarrollan a continuación se exponen de forma específica los aspectos metodológicos considerados para la elaboración del mapa de "vulnerabilidad", así como el análisis de los resultados obtenidos inherentes a la distribución espacial de las unidades de vulnerabilidad dentro de los sectores en estudio.

### **a. Metodología para analizar la vulnerabilidad**

Para la elaboración del mapa definitivo de riesgo ambiental, el cual se plantea como componente fundamental para la propuesta del diseño o reordenamiento urbano previsto en este estudio, ha sido necesaria, tal y como se hizo referencia con anterioridad, la determinación y evaluación de la distribución espacial de la "vulnerabilidad social-urbana", misma que fue obtenida a partir de la superposición de dos capas de información diferentes y correspondientes a las variables desarrolladas en la caracterización social y en la caracterización urbana del estudio. De este modo, las subcapas de información utilizadas para la creación de estas dos variables (urbano-social) fueron para la vulnerabilidad urbana: el peso de la estructura, la resistencia de la estructura, el estado físico de la estructura, la disposición de las aguas servidas desde las estructuras y la disposición de los desechos sólidos desde las estructuras; para la vulnerabilidad social fueron el conocimiento del riesgo del jefe de familia, el tiempo viviendo en el barrio del jefe de familia, el número de habitantes por cada casa y el nivel de comunicación que tienen los jefes de familia del área de estudio.

Es importante advertir que tanto la selección como la utilización de estas subcapas o variables específicas, estuvo determinada por la disponibilidad de información levantada a nivel de casa por casa en el área de estudio durante el mes de noviembre de 2004, que fue presentada en los Informes N° 2 y N° 3, con suficiente nivel de detalle como para aportar elementos de diferenciación espacial en los sectores analizados.

Partiendo de esta consideración general y de forma específica, las fases metodológicas que fueron llevadas a cabo para la evaluación sistemática de la amenaza física en los barrios Cerro Los Negros, Cerro Los Blancos, barrio San Rafael y barrio El Rincón, fueron las siguientes:

#### **a.1 Selección de capas temáticas a utilizar en la evaluación de la vulnerabilidad y asignación de valoraciones a las categorías de cada variable**

Para la selección de las capas temáticas se utilizó como unidad de análisis la estructura. A partir de ella se levantaron los datos obtenidos del registro de estructura y censo social para la caracterización de la estructura y caracterización del jefe de familia que habita la estructura, los cuales representarán los indicadores específicos tanto en el área urbana como en el área social que sirven de base para la determinación de las variables o factores de vulnerabilidad. A este respecto, las variables utilizadas fueron: el peso de la estructura, la resistencia de la estructura, el estado físico de la estructura, la disposición de las aguas servidas desde las estructuras y la disposición de los desechos sólidos desde las estructuras; para la vulnerabilidad social se tomaron como factores a considerar el conocimiento del riesgo del jefe de familia, el tiempo viviendo en el barrio del jefe de familia, el número de habitantes por cada casa y el nivel de

comunicación que tienen los jefes de familia del área de estudio. Además, se le otorgaron valores individuales a las diferentes categorías discriminadas para cada una de las variables urbanas y sociales. Para la asignación de estos valores individuales se utilizó un intervalo cuantitativo comprendido entre 1 y 3 puntos, siendo el valor de 1 asignado a las estructuras con menor nivel de vulnerabilidad, el valor 2 a las estructuras de una vulnerabilidad de grado medio y el valor de 3 a las estructuras de mayor vulnerabilidad.

Como hemos expuesto, la **Vulnerabilidad urbana** la componen dos variables: la vulnerabilidad de la estructura y la vulnerabilidad de los servicios.

Ante ello, la **vulnerabilidad de la estructura** se construyó con base en su peso, resistencia y estado físico, de la manera siguiente:

- **PESO:**

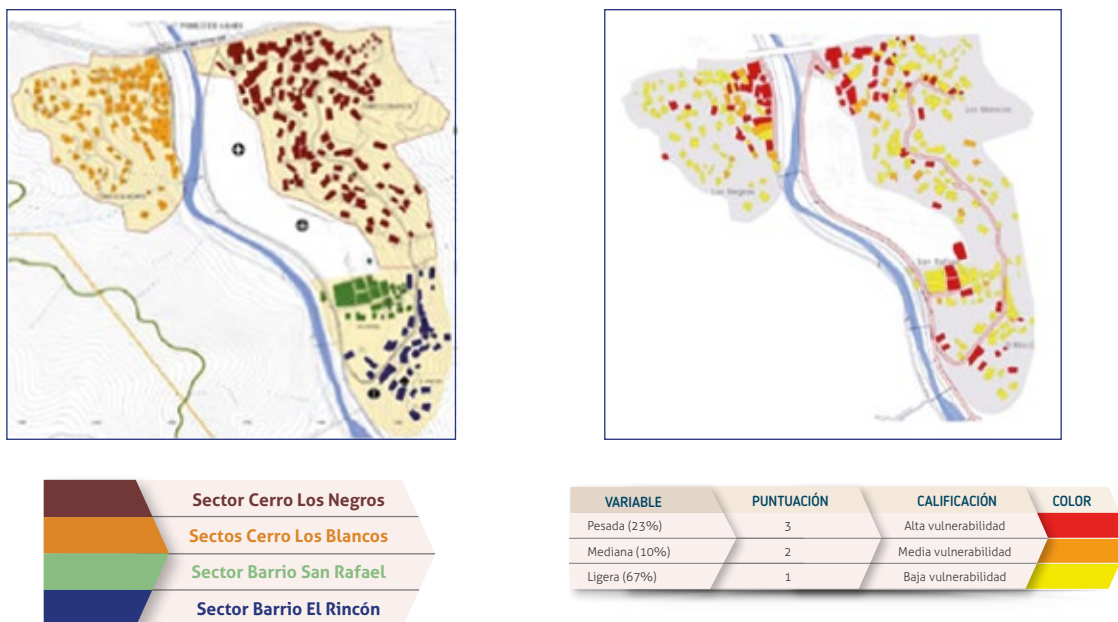


Figura 21. Carga vertical por región.

Se refiere a la carga vertical (peso muerto) de la estructura, es decir, la carga que tiene que soportar la infraestructura (bases, pilotes, fundaciones, losa, etc.) en caso de que exista, sobre la cual está descansando la estructura. Esta variable se establece de forma independiente del tamaño de la estructura, ya que considera el peso específico de la misma y no su peso total. Un aspecto que se debe resaltar aquí es la importancia que tiene el tipo de techo dentro del cálculo del peso de la estructura, ya que esta representa la mayor expresión de carga que está siendo soportada por las columnas, transmitida de manera vertical a las bases de la estructura y a su vez al suelo. Por lo tanto, se consideran tres categorías de peso, a saber: a) Pesada: son las estructuras de dos o más pisos y cuyo techo es de concreto (platabanda); b) Media: en este renglón se ubican las estructuras con dos tipologías diferentes: las estructuras de un solo piso y con techo de concreto (platabanda) y las estructuras de dos pisos cuyo techo sea de zinc o un material similar; c) Ligera: son las estructuras de un piso y con techo de zinc o material similar, de manera que la expresión gráfica de las variables se establece asignándole una calificación a cada estructura, donde el peor escenario tendrá una puntuación 3 de color rojo y el mejor escenario será 1 de color amarillo. En tal sentido, se puede observar en el siguiente gráfico que





casi el 67% de las estructuras son ligeras (en color amarillo) en las zonas más altas de cada montaña y al sur de Cerro Los Blancos. Sin embargo, es evidente que el patrón de localización de las estructuras pesadas (23%) se ajusta a la presencia de los accesos vehiculares, es decir, se encuentran ubicadas a lo largo de la carretera "El Transformador", la calle de acceso a Cerro Los Negros, la calle que da acceso a San Rafael y el borde de la carretera nacional La Guaira-Los Caracas, al norte de la zona de estudio. Es claro que la accesibilidad juega un papel importante en este aspecto debido al grado de dificultad que conlleva trasladar materiales de construcción y otros accesorios a zonas con accesibilidad deficiente.

▪ **RESISTENCIA:**

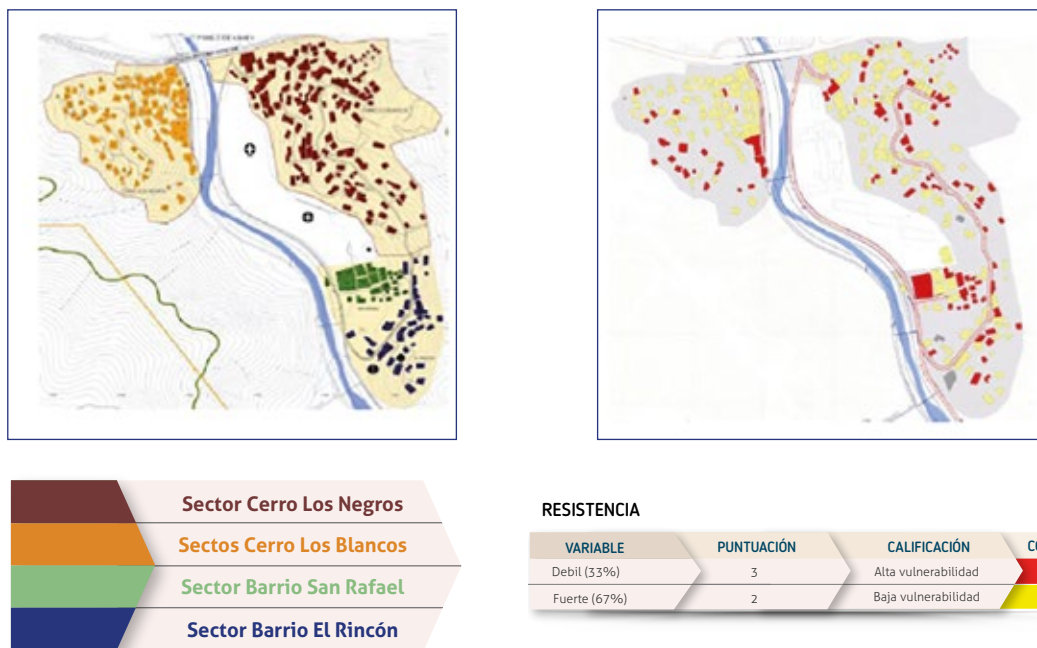


Figura 22. Capacidad de resistencia por región.

Se refiere a la capacidad de la estructura de soportar cargas longitudinales, no solo por movimientos derivados de los flujos de agua torrencial sino incluso por movimientos propios del suelo, como desplazamientos, erosión y asentamiento. Un aspecto que se debe resaltar aquí es la importancia que tienen el tipo de paredes y los marcos de ventanas y puertas dentro del cálculo de la resistencia de la estructura, ya que representan la mayor expresión de tolerancia que puede soportar una vivienda ante eventos físicos que son transmitidos de manera horizontal sobre la estructura. Dentro de los materiales a considerar se pueden encontrar el bahareque, el bloque frisado y no frisado, la madera, el cartón y el zinc. Por lo tanto, se consideran dos categorías de resistencia, a saber: a) Fuerte: aquellas paredes y marcos de puertas y ventanas de las estructuras que están compuestas por materiales de construcción resistentes, bien trabajados y en buen estado; y b) Débil: aquellas paredes y marcos de puertas y ventanas de las estructuras que están realizadas con materiales poco resistentes o con técnicas mal realizadas o con materiales adecuados pero en mal estado. De esta forma, a cada variable se le asignó una calificación, donde la estructura no resistente tendrá una puntuación 3 de color rojo y la resistente será 1 de color amarillo. En tal sentido, se puede observar en el siguiente gráfico que el 67% de las estructuras son fuertes (baja vulnerabilidad), sobre todo las ubicadas en las zonas con menor pendiente que cuentan con buen acceso vehicular y peatonal

(caminerías). Pero las estructuras débiles (33%) de alta vulnerabilidad corresponden a zonas en los extremos más altos de toda el área de estudio y en un terreno invadido recientemente, propiedad del Hospital Psiquiátrico de Anare, que se puede asociar a los procesos de expansión de la comunidad.

▪ **ESTADO:**

Se refiere al aspecto físico que ha adoptado la estructura causado por el tiempo, mal uso de la edificación y/o por un fenómeno físico natural. Por lo tanto, se consideran tres categorías de estado, a saber: a) Bueno: se refiere a estructuras que no tienen filtraciones, grietas, humedad o cualquier otro indicativo de deterioro o daño estructural; b) Regular: se refiere a estructuras con deterioro o daño estructural poco significativo, además de aquellas construcciones no terminadas; c) Malo: se refiere a estructura con deterioro o daño estructural muy significativo.

De esta manera, las variables se establecen asignándole una calificación a cada estructura, donde la estructura en mal estado tendrá una puntuación 3 de color rojo, la estructura de regular estado tendrá una puntuación 2 de color naranja y la estructura en buen estado será 1 de color amarillo. Se puede observar en el gráfico siguiente, que esta variable está distribuida en forma más o menos aleatoria, sin embargo, existen sectores como las áreas de expansión en donde se hace patente el predominio de estructuras en mal estado. Cabe destacar que existen zonas con estructuras en mal estado cuya explicación va más allá del aspecto urbano. Lo que sí se puede puntualizar es que menos del 30% de las estructuras están en buen estado, ubicándose la mayoría en las zonas de menor pendiente de Cerro Los Blancos.

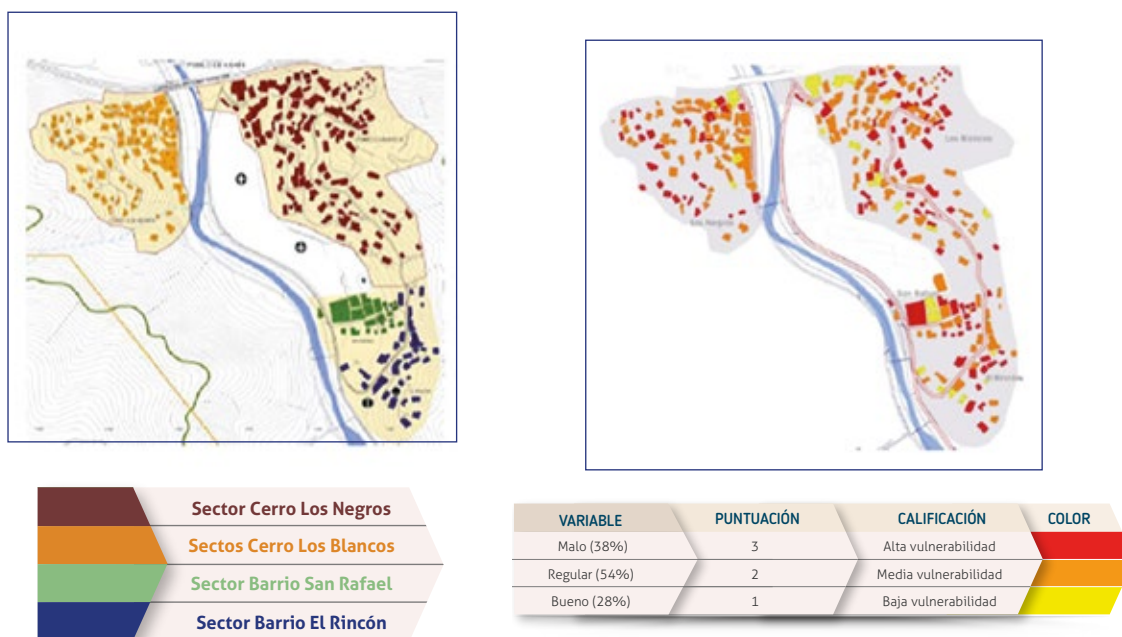


Figura 22b. Estado de conservación de la infraestructura.



## a.2 Cálculo de valores ponderados de vulnerabilidad para cada unidad de análisis espacial

Seguidamente a la selección de las capas temáticas, se utilizó como base de análisis la estructura y se tomó en cuenta el número asignado a cada una de ellas; de este registro se identificaron un total de 314 estructuras.

Posteriormente, todos los números correspondientes a cada estructura fueron ingresados a una hoja de cálculo, donde se le asignó un valor respectivo a cada una de las variables en cuanto a lo urbano los elementos de vulnerabilidad de la estructura (peso, resistencia y estado) y la vulnerabilidad del servicio (disposición de aguas servidas y desechos sólidos); en cuanto a lo social los elementos sobre el conocimiento del riesgo, tiempo viviendo en el barrio, número de habitantes por casa y nivel de comunicación entre los vecinos. La suma algebraica de estos valores definirá una primera aproximación a la determinación del valor de la vulnerabilidad social-urbana integrada.

Además, aunque se elaboró una asignación de valoraciones a las categorías de cada variable, se estableció un nuevo rango que define el grado de afectación de la combinación de las variables sociales y urbanas para cada estructura, dividiendo en tres partes iguales el intervalo cuantitativo comprendido entre 1,00 y 3,00 puntos:

- 1. BAJA VULNERABILIDAD:** implica una escasa afectación negativa del aspecto en estudio sobre la estructura. Va de 1,00 a 1,66.
- 2. MEDIA VULNERABILIDAD:** considera rasgos de afectación del aspecto en estudio que pueden afectar la estructura pero que pueden ser tratados y solucionados. Va de 1,67 a 2,33.
- 3. ALTA VULNERABILIDAD:** En este punto la afectación negativa puede ser tan fuerte que no permite ningún tratamiento para la solución del problema o mejora de la estructura. Va de 2,34 a 3,00.

Mientras el valor sea más cercano a 3 la vulnerabilidad será mayor y más difícil solucionar los problemas derivados de ella. Con estas tres medidas y los rangos establecidos de acuerdo con la distribución de las estructuras dentro del conjunto total de las estructuras evaluadas, se pueden conocer aspectos importantes como la distribución de los valores dentro de estos rangos y así saber lo vulnerable o no que resulta el área de estudio.

Adicionalmente, debido a que se consideró que no todos los factores de vulnerabilidad individuales poseen el mismo grado de importancia en la conformación de la vulnerabilidad integrada, los mismos fueron ponderados mediante un porcentaje que le dio un peso relativo a cada valor asignado en su respectivo renglón. Los porcentajes asignados fueron los siguientes:

## a.3 Superposición de mapas temáticos

Tabla 10

### Vulnerabilidad urbana y social

Vulnerabilidad urbana 60%	Vulnerabilidad social 40%
<b>Vulnerabilidad estructural 40%</b> (Peso 33%, Resistencia 33% y Estado 33%)	Conocimiento del riesgo 35%
<b>Vulnerabilidad de los servicios 60%</b> (Disposición de aguas servidas 60% y Disposición de desechos sólidos 40%)	Tiempo viviendo en el barrio 30%
	Nº de habitantes por casa 20%
	Comunicación entre los vecinos 15%

En esta fase, posteriormente al cálculo de valores ponderados de vulnerabilidad para cada unidad de análisis espacial, se procedió a la superposición de los mapas temáticos.

El objetivo fundamental de esta superposición cartográfica es la evaluación específica de los diferentes factores de vulnerabilidad que se presentan de manera individual en la estructura de vivienda o combinadamente en cada sector del área de estudio, y con ello, la delimitación de aquellas estructuras donde la combinación de dos o más factores de vulnerabilidad individual implican la existencia de una alta vulnerabilidad social-urbana integrada. La vulnerabilidad social-urbana se origina de la relación entre la vulnerabilidad urbana y la vulnerabilidad social, que a continuación se desarrolla.

#### ▪ Vulnerabilidad urbana

La vulnerabilidad urbana se origina de la relación entre la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad de servicios, que se analizan a continuación:

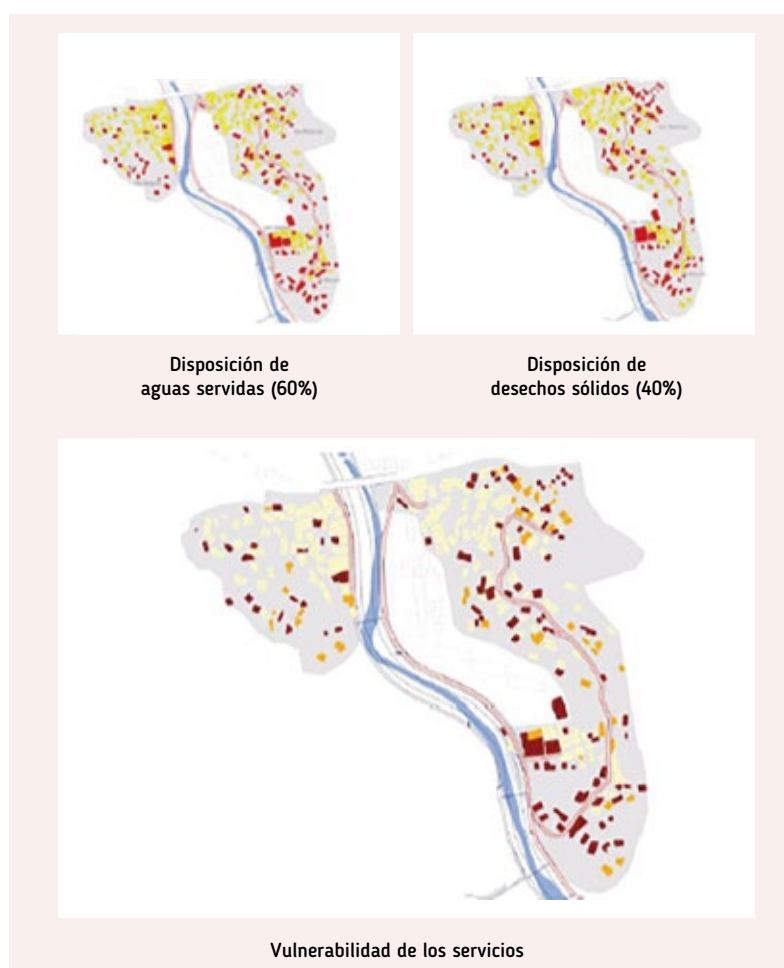


Figura 23. Vulnerabilidad de servicios.





### ***Vulnerabilidad estructural***

La distribución porcentual del peso de las variables tomadas en consideración (estado de la estructura y resistencia) dentro del análisis de las estructuras y cómo estas afectan su vulnerabilidad está ajustado de acuerdo con su capacidad para hacer frente a una situación de riesgo, ya sea por deslizamiento de tierra, movimiento telúrico o inundación, entre otros posibles. De igual forma, a través de la variable referida al peso de la estructura, se considera el aspecto relacionado con la forma como esta impacta el suelo donde se ubica; esto implicaría la aceleración o, en el peor de los casos, la activación de fenómenos geomorfológicos tales como movimientos rotacionales o deslizamientos longitudinales del terreno. A través de la calibración del proceso y las visitas al sitio, se llegó a la conclusión de que las tres variables que intervienen evaluando estos dos aspectos tienen el mismo peso porcentual, asignándosele 33% a cada una.

Con la combinación ponderada de estos aspectos se obtiene una distribución particular de los valores de vulnerabilidad estructural cuyas características principales son: a) existen pocas estructuras de poca vulnerabilidad distribuidas en forma aleatoria en la zona de estudio; b) Las estructuras con vulnerabilidad media se encuentran localizadas en zonas con buena accesibilidad peatonal y vehicular, c) En cuanto a las estructuras con alto valor de vulnerabilidad, las mismas se encuentran ubicadas en la parte alta de ambos cerros, en la parte sur del Cerro Los Negros (al margen de un flujo de agua intermitente) y son particularmente predominantes en el sector San Rafael.

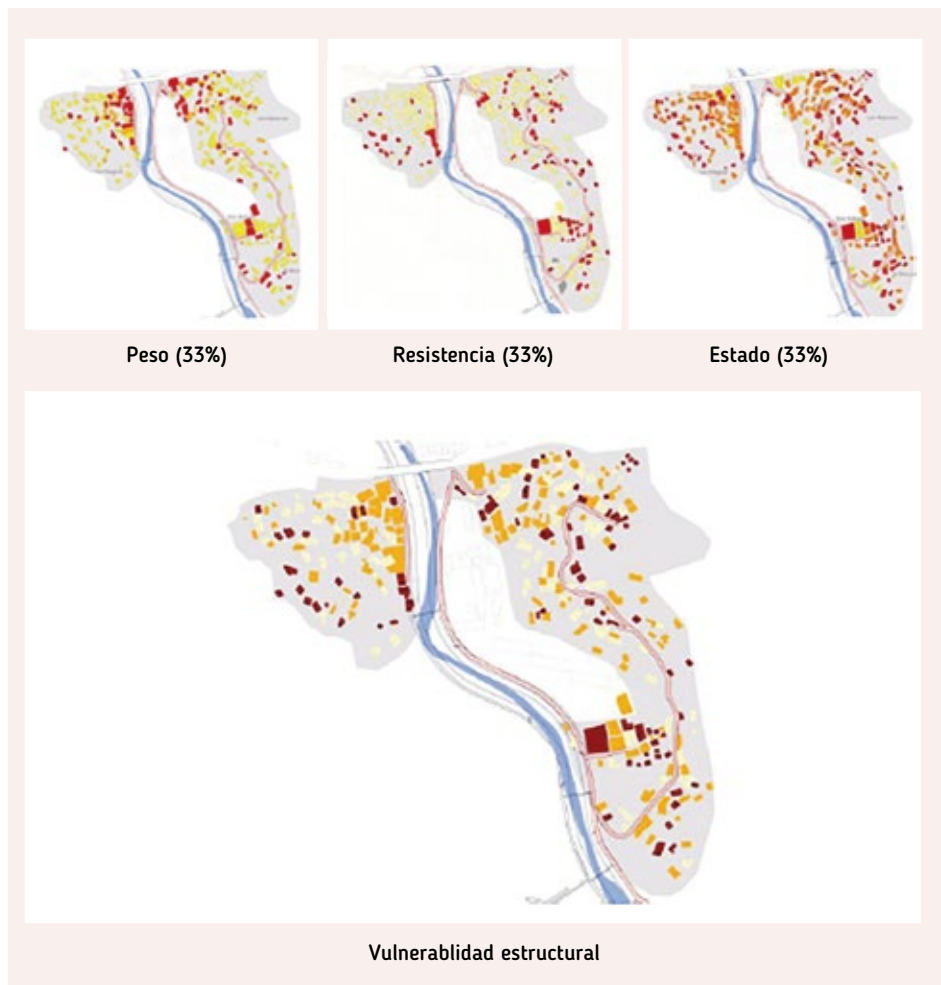


Figura 24. Vulnerabilidad estructural.

### Vulnerabilidad de los servicios

En cuanto a este aspecto es clara la preponderancia del impacto que ejercen las aguas servidas por sobre los desechos sólidos debido a la capacidad de los líquidos para filtrarse en el suelo, generando una degradación química de la roca y saturación de la porosidad del suelo, de manera que, cuando un suelo es contaminado con aguas servidas, es imposible que recupere sus características físico-químicas preexistentes; sin olvidar que los desechos sólidos tienen su principal impacto a través de su acumulación y descomposición en la degradación química de la roca y saturación de la porosidad del suelo en una menor medida que las aguas servidas, en la obstrucción de cauces naturales de drenajes formando especies de diques y en la proliferación de enfermedades. Al hacer la ponderación de estas dos variables, siempre validándolas en el sitio, se tiene que las aguas servidas impactan en un grado mayor que los desechos sólidos, por ello se le asigna 60% en su relación con los desechos sólidos (40%) para el cálculo de la vulnerabilidad de los servicios.

Sobre esta combinación ponderada para la vulnerabilidad de los servicios, las estructuras que no tienen sistema de recolección de aguas servidas están ubicadas en las partes más altas de ambos cerros y en los nuevos asentamientos no controlados, consideradas como de expansión o poco consolidadas. El mismo patrón se repite para los desechos sólidos debido a la ubicación de los contenedores cerca de la carretera nacional La Guaira-Los Caracas, en la parte norte del área de estudio que condena tanto a las partes altas de los cerros (Los Blancos y Los Negros), como a los sectores ubicados en el extremo sur, a ser deficitarios en este servicio.

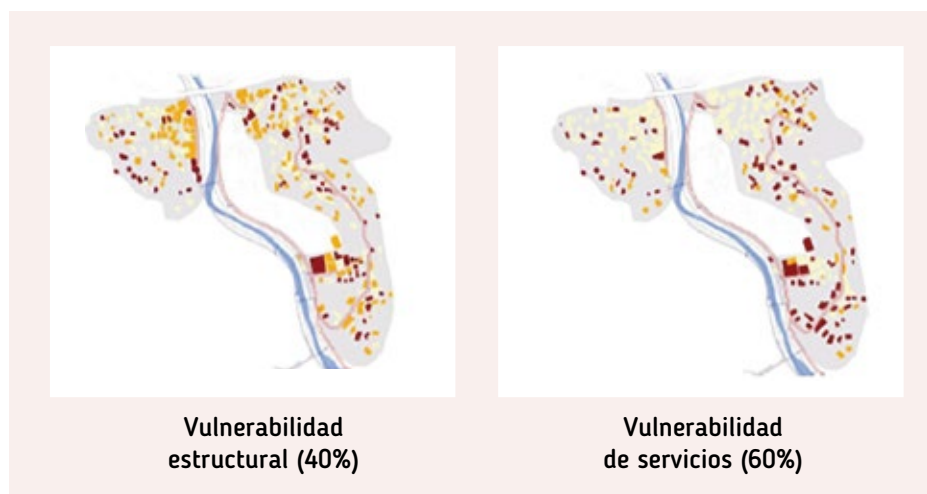


Figura 25. Porcentaje de vulnerabilidad urbana.

#### ▪ Vulnerabilidad Urbana

La distribución porcentual del peso de las variables tomadas en consideración (vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de los servicios) dentro del análisis de lo urbano y cómo estas afectan su vulnerabilidad, está ajustado de acuerdo con su capacidad para generar una situación de riesgo ambiental.

Ante ello, se puede apreciar que la vulnerabilidad de los servicios tiene un mayor impacto ambiental que la vulnerabilidad de la estructura, ya que un alto nivel de mal manejo de la descarga de los servicios cataliza un proceso de amenaza físico-natural. Por ello, se ha asignado



a la vulnerabilidad de los servicios el 60% de representación de la vulnerabilidad urbana y a la vulnerabilidad estructural, el 40%. Cabe destacar que desde el punto de vista exclusivamente urbano las estructuras con alta vulnerabilidad son relativamente pocas y se encuentran ubicadas, casi en su totalidad, en los nuevos asentamientos no controlados y en las partes altas de ambos cerros.

#### ▪ Vulnerabilidad social

La distribución porcentual del peso de las variables tomadas en consideración (conocimiento del riesgo, tiempo en el barrio, número de habitantes y comunicación) para el análisis de lo social y cómo estas afectan su vulnerabilidad, concuerda con su capacidad para hacer frente a una situación de riesgo ambiental. De ese modo, se aprecia que entre todas las variables —un alto conocimiento del riesgo y un bajo número de habitantes por casa— son las condiciones óptimas para poder enfrentar al riesgo, ya que un alto nivel de comunicación y un mayor tiempo viviendo en el barrio no necesariamente es lo básico para enfrentarlo, aunque ayuda a aminorarlo. De esta forma se le ha asignado una pequeña diferencia de valor entre ambas, asignando a la variable conocimiento del riesgo el 35% de representación de la vulnerabilidad social, a la variable número de habitantes por casa el 30%, representando en conjunto con la anterior el 65% de la variable social. El resto porcentual de la vulnerabilidad social lo conforman las variables sobre el tiempo viviendo en el barrio (20%) y comunicación entre vecinos (15%).

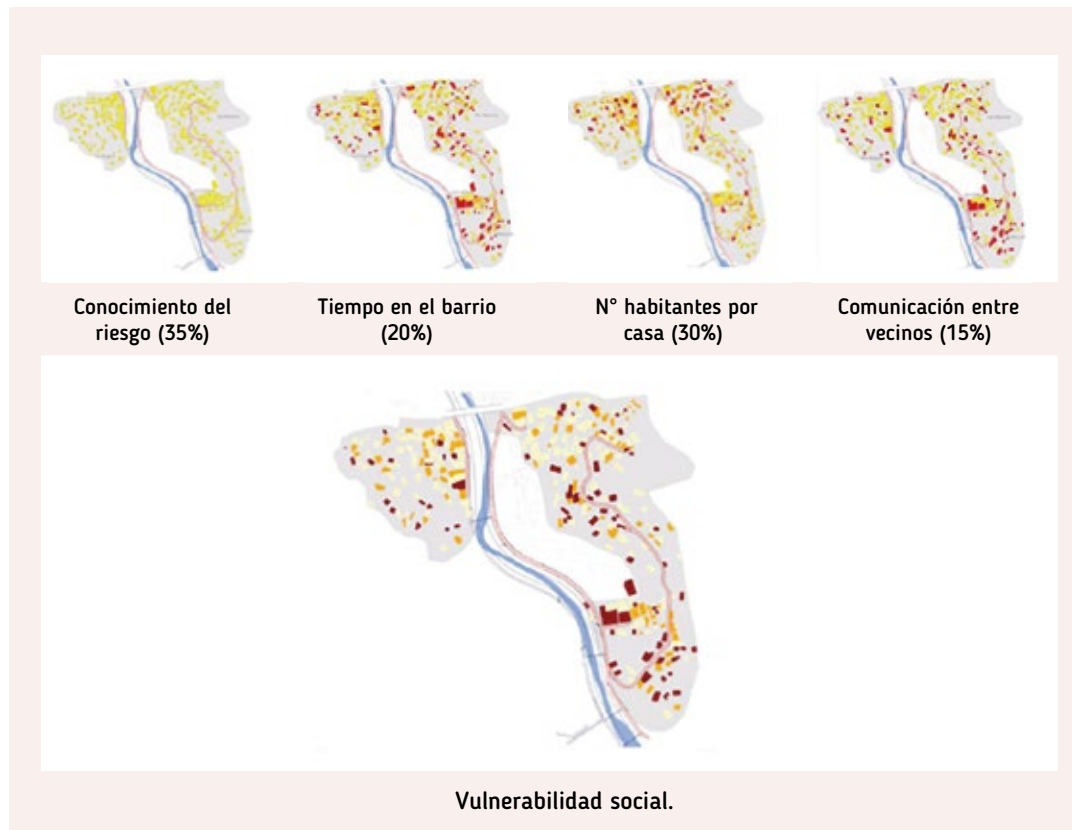


Figura 26. Vulnerabilidad social.

### ▪ Vulnerabilidad social-urbana

La distribución porcentual del peso de las variables tomadas en consideración (vulnerabilidad urbana y vulnerabilidad social) dentro del análisis social-urbano y cómo estas afectan su vulnerabilidad, está ajustado de acuerdo con su capacidad para generar una situación de riesgo ambiental. De ese modo, se puede apreciar que la vulnerabilidad urbana tiene un mayor impacto ambiental que la vulnerabilidad social; ya que un alto nivel de mal asentamiento de estructuras y servicios urbanos cataliza un proceso de amenaza físico-natural, aunque un buen manejo de la vulnerabilidad social puede disminuir este impacto urbano negativo. De esta forma se le ha asignado una pequeña diferencia de valor entre ambas, pero dando mayor preponderancia a la vulnerabilidad urbana con 60% y a la vulnerabilidad social, 40%, representando en conjunto a la totalidad de la vulnerabilidad social-urbana. También se puede observar en el gráfico siguiente que la mayor concentración de estructuras con alta vulnerabilidad social-urbana se encuentra ubicada en los nuevos asentamientos no controlados y en las partes altas de ambos cerros.



Vulnerabilidad urbana  
(60%)



Vulnerabilidad social  
(40%)



Vulnerabilidad social-urbana

Figura 27. Vulnerabilidad social-urbana.





#### a.4 Transformación de las estructuras en polígonos o áreas de análisis

Tomando en consideración que en los análisis de riesgo ambiental, las capas de información inherentes a la amenaza física y a la vulnerabilidad social deben representar de la manera más exacta posible las condiciones reales de los componentes físicos y sociales del espacio analizado, en la mayoría de los casos dichas capas de información deben ser acondicionadas para que las unidades resultantes de riesgo ambiental reflejen escenarios coherentes con su dinámica.

Atendiendo a estos requerimientos, y tal como se observó en el punto correspondiente al análisis de amenaza, las capas de información respectivas a la hidrografía y los procesos morfoodinámicos debieron ser modificadas mediante "buffers" o polígonos envolventes que permitieron considerar las áreas de influencia de los procesos puntuales como cicatrices de despegue o flujos de escorrentía superficial, los cuales influyen determinadamente en la condición de amenaza de los sectores analizados.

En el caso particular del análisis de vulnerabilidad social-urbana, donde la caracterización, análisis y evaluación de la información básica requerida fue restringida a las estructuras residenciales debido a que el dato esencial sobre lo urbano y lo social se obtuvo del Registro de Estructura y del Censo Social, por ello fue más fácil elaborar polígonos envolventes que consideraran, al igual que en el caso de las variables físicas, el área de influencia de las estructuras residenciales y representar así una mayor distribución espacial de las áreas de vulnerabilidad, más allá de la información individual que se recolecta en cada una de las estructuras.

Por todo lo anterior, es importante destacar que la elaboración de estos polígonos, además de permitir la construcción de polígonos que agruparan viviendas con el mismo grado de vulnerabilidad, hizo posible que todos los sectores del área de estudio tuviesen alguna valoración de vulnerabilidad para el análisis de riesgo, lo cual es muy importante, ya que en sectores tan densamente poblados como los existentes dentro del área de estudio, la presencia de espacios sin valores de vulnerabilidad (sin la presencia de viviendas) y por tanto sin valores de riesgo, sería una condición muy poco ajustada a la realidad; además, las estructuras poseen espacios abiertos, tales como patios traseros y áreas comunes que deben agruparse en su valoración, ya que no solo la vivienda es vulnerable.

Adicionalmente, y bajo esta misma premisa, algunos de los polígonos de vulnerabilidad generados para el área de estudio fueron eventualmente ampliados en función de la dinámica natural del área, de forma que se abarcaran aquellos espacios que aun sin contar con la presencia de estructuras, se encuentran bajo la influencia de procesos como deslizamientos rotacionales o laminares, los cuales al producirse en posiciones altas, igualmente son capaces de afectar las estructuras residenciales localizadas aguas abajo de sus lugares de activación.

A este respecto, la transformación de las estructuras a polígonos de análisis o mejor dicho a la determinación de su área de influencia, se elaboró de acuerdo con los siguientes criterios: a) la relación de la estructura con respecto a las curvas de nivel; b) la relación de la estructura con respecto a la condición y forma del terreno sobre el cual esta asentada, y c) la cercanía con otras estructuras de la misma clase de vulnerabilidad para su agrupación, de manera que el proceso de transición se puede observar en el siguiente gráfico:

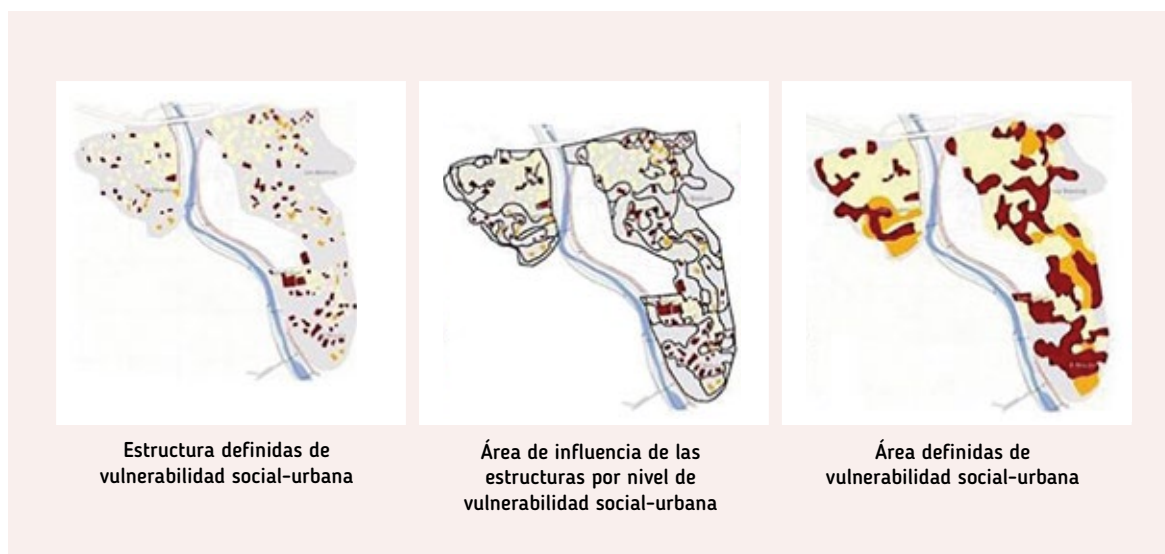


Figura 28. Áreas vulnerables.

### a.5 Clasificación de unidades de vulnerabilidad

394

Finalmente, y una vez calculados los valores de vulnerabilidad integrada para cada uno de los polígonos identificados y considerados en la evaluación, se procedió a la clasificación de los mismos en tres niveles o categorías que estuvieron definidas por rangos numéricos, los cuales se fijaron mediante intervalos de clases calculados a partir de los valores máximos y mínimos posibles.

Posteriormente, a cada uno de estos tres niveles o categorías de vulnerabilidad integrada se le otorgó un color, que luego fue asignado a cada polígono analizado en función de su valor respectivo de amenaza integral. Esta asignación, que fue desplegada en las bases cartográficas a escala 1:1 000 utilizadas para la representación de los componentes urbanos y sociales evaluados en el estudio, permitió apreciar de forma rápida y precisa la distribución espacial de las unidades de vulnerabilidad, la cual servirá de base para la determinación del riesgo ambiental.

Los niveles o categorías de vulnerabilidad integrada, con sus respectivos intervalos de clase y colores asignados, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11

#### Niveles de vulnerabilidad integrada

NIVELES DE VULNERABILIDAD INTEGRADA	INTERVALOS DE CLASE CORRESPONDIENTE	COLOR ASIGNADO
Alto	$\geq 2,34$	Rojo
Medio	1.67 - 2.33	Naranja
Bajo	$\leq 1,66$	Amarillo



## b. Análisis de resultados de la vulnerabilidad

Una vez cumplidas las diferentes etapas o fases metodológicas que fueron consideradas indispensables para la determinación de la vulnerabilidad integral en los barrios Cerro Los Negros, Cerro Los Blancos, San Rafael y El Rincón, se llegó a la elaboración definitiva del “Mapa de vulnerabilidad social-urbana”, en el cual se muestra la distribución espacial de las unidades de vulnerabilidad resultante de las diferentes áreas consideradas en el estudio.

En este mapa, que posteriormente fue utilizado como una capa de información básica para el análisis de riesgo ambiental del estudio, se exponen los tres niveles o categorías de vulnerabilidad que han permitido discriminar los distintos espacios del área de estudio con base en las condiciones sociales y urbanas que afectan negativamente las estructuras residenciales, de servicios o conducta de los grupos humanos.

Tabla 12

### Niveles de vulnerabilidad

Alta vulnerabilidad	31,24%	
Media vulnerabilidad	11,17%	
Baja vulnerabilidad	39,42%	
Sin vulnerabilidad	18,17%	

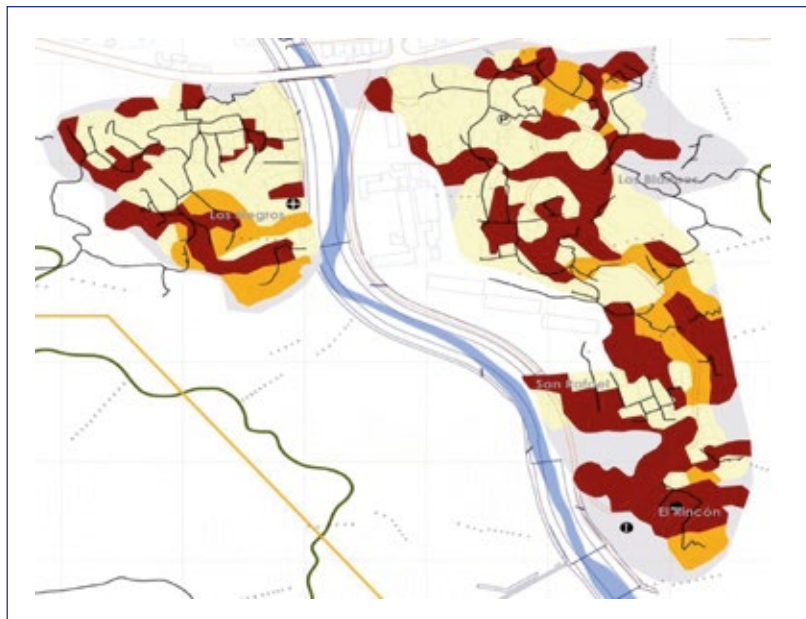


Figura 29. Áreas vulnerables.

Es muy importante destacar que el mapa definitivo de vulnerabilidad social-urbana elaborado para este estudio, a pesar de que ha contado con un exhaustivo levantamiento, análisis y procesamiento de información que ha servido de base para su realización, representa solo un esquema o modelo aproximado de cómo se distribuyen y de cuáles son las variables que determinan las condiciones sociales y urbanas que potencian la vulnerabilidad del área

estudiada; por lo cual se sugiere ir registrando las condiciones históricas a nivel urbano que vayan afectando la zona, así como la capacitación y sensibilización de sus habitantes.

Partiendo de estas premisas fundamentales, y tal como se puede observar anexo en el Mapa N° 2 Vulnerabilidad social-urbana y en el siguiente gráfico, el cual se expone a continuación, se tiene que en términos generales existe una relativa proporcionalidad entre las superficies ocupadas por los diferentes niveles o categorías de vulnerabilidad, teniéndose la siguiente distribución porcentual para cada una de ellas.

En el área determinada como **Sin vulnerabilidad**, la cual ocupa el 18,17%, no existen viviendas y si existía alguna vivienda no pudo ser identificada al estar bajo matorrales para la fecha en que fue levantado el registro de estructura en noviembre de 2004, por ello no se pudo catalogar la vulnerabilidad.

En términos específicos, las unidades catalogadas de **Baja vulnerabilidad**, las cuales ocupan el 39,42% de la superficie total del área de estudio, se distribuyen al centro y norte del sector Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos, así como en pequeñas áreas del barrio San Rafael y casi sin presencia en el barrio El Rincón.

Las variables que determinaron la existencia de este nivel de vulnerabilidad dentro de estos espacios, fueron fundamentalmente la presencia de una buena disposición de las aguas servidas y desechos sólidos por la cercanía a los servicios de recolección formales con la existencia de estructuras de viviendas resistentes y en la mayoría de los casos, ligeras (exceptuando las partes bajas de la montaña de Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos), así como un buen conocimiento del riesgo, con más de 21 años viviendo los jefes de familia en el barrio.

Es de hacer notar que, a pesar de que muchas de estas unidades descritas presentan las condiciones idóneas desde el punto de vista de su nivel de vulnerabilidad, coexisten con unidades muy inestables que eventualmente podrían promover el incremento de este nivel.

Si se pudiera establecer cuál de los cuatro sectores de análisis es el menos vulnerable dentro del área de estudio, este sería el sector Cerro Los Negros y luego en una menor medida, Cerro Los Blancos.

En cuanto a las unidades clasificadas como de **Vulnerabilidad media**, las cuales ocupan el 11,17% de la superficie total del área de estudio, se distribuyen de manera aleatoria en toda la zona de estudio y en pequeñas proporciones concentradas, en cada uno de los cuatro sectores.

Las variables que determinaron la existencia de este nivel de vulnerabilidad dentro de estos espacios, fueron fundamentalmente el contraste del gran peso de las estructuras contra su buena resistencia y regular estado físico, además del contraste de la buena disposición de las aguas servidas contra el mal manejo de los desechos sólido, más que todo hacia las zonas de expansión de los cuatro barrios, así como el gran contraste de las pocas viviendas con más de 7 habitantes contra un buen conocimiento del riesgo, más de 21 años viviendo en el barrio y una regular comunicación entre los vecinos en toda el área de estudio.

Además de esto, las áreas definidas dentro de esta categoría de vulnerabilidad, también se encuentran condicionadas en sus adyacencias por unidades muy inestables que eventualmente podrían promover el incremento de dicho nivel.

Si se pudiera establecer cuál de los cuatro sectores de análisis tiene una vulnerabilidad de grado medio dentro del área de estudio, sería el sector Cerro Los Blancos, aunque es importante advertir que este sector tiene una proporción espacial más grande hacia la baja vulnerabilidad que este de grado medio.

Finalmente, las unidades que han sido definidas dentro de la categoría de **Vulnerabilidad alta**, las cuales ocupan una extensión proporcional de 31,24% del área de estudio, y que se distribuyen casi todo al sur de la misma, donde se puede ubicar a los barrios El Rincón y San





Rafael, y en una menor área de presencia e impacto dentro de cada barrio se puede encontrar en Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos. Es importante advertir, y así se verá en el siguiente párrafo, que el fenómeno que genera mayor vulnerabilidad es más de origen urbano que social.

Las variables que determinaron la existencia de este alto nivel de vulnerabilidad dentro de estos espacios, fueron fundamentalmente la debilidad y mal estado de las estructuras tanto en áreas de expansión como en áreas consolidadas de la zona de estudio, además de la mala disposición de las aguas servidas y desechos sólidos tanto por el precario diseño de la red y disposición de estos servicios, la lejanía a los servicios de recolección formales como la falta de una recolección externa regular por parte de las autoridades pertinentes al aseo urbano, así como la presencia de nuevas familias con menos de 5 años viviendo en el barrio y una mala comunicación entre los vecinos de esa zona, más que todo en los barrios San Rafael y El Rincón, y en las partes altas de Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos.

Esta condición particular hace que los espacios que comprenden esta categoría sean sectores en los que, además de tener una gran dificultad para su acceso y de existir una mayor propensión a la producción de fenómenos con potenciales extremadamente perjudiciales, se presentan mayores dificultades técnicas para el control y prevención de sus efectos negativos.

Si se pudiera establecer cuál de los cuatro sectores de análisis tiene una vulnerabilidad de grado alto dentro del área de estudio, sería claramente establecido el sector donde se ubica el barrio El Rincón y en una menor medida, el barrio San Rafael.



## 3 Análisis de riesgo

En los capítulos anteriores se había planteado que a partir de la década de los noventa la concepción fiscalista de los desastres (que son ocasionados solo por una amenaza física) dio un viraje significativo y asumió un enfoque más social hacia la problemática. También se expuso que existía una diferencia entre desastre y riesgo, concibiendo al desastre como un riesgo no manejado.

398

En consecuencia, el manejo de un riesgo puede bajar las probabilidades de que pueda ocurrir un desastre, objetivo principal de este informe N° 4, que intenta analizar los componentes físico-naturales y socio-urbanos de los barrios Cerro Los Negros, Cerro Los Blancos, San Rafael y El Rincón, ubicados en Anare, de la parroquia Naiguatá del estado Vargas, con el fin de determinar las áreas potenciales para la reorganización urbana de las estructuras residenciales y de servicios para convertirlos en espacios seguros. Dichos resultados serán la base del próximo informe N° 5 sobre el diseño del conjunto urbano.

Es importante advertir nuevamente que en el presente estudio se parte de la premisa de que la amenaza-físico natural se trabaja a través de acciones ingenieriles de mitigación, es decir acciones de reducción y no de eliminación; y la vulnerabilidad social-urbana se trabaja a través de acciones humanas de prevención, en cuanto a la capacitación y organización comunitaria e institucional.

Ante ello, se seguirá con la propuesta para el manejo del riesgo expuesto en la obra "vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres", donde se sugiere combinar analíticamente las ciencias sociales y naturales a través de un modelo de "presión y liberación" (Modelo PAR-*pressure and release*), asegurando que el concepto de vulnerabilidad es decisivo para entender los desastres y su prevención o mitigación, donde se explora hasta qué punto y cómo la población puede lograr acceso a los recursos limitados —y como dicen sus autores— tener cierta admiración por la habilidad de la población para "sobrevivir" a la pobreza y aun a las calamidades, en problemas tales como la recuperación de las viviendas después de los desastres y el crecimiento de la vulnerabilidad de los desastres en contextos de urbanización rápida.

Este modelo PAR establece que estar bajo el riesgo se demuestra cuando la posibilidad de que las características de la población coincidan en tiempo y espacio con una amenaza natural que "activa un evento" al cual han quedado vulnerables.

Por esta razón es importante diferenciar que cuando en un espacio físico no hay presencia o acción humana, no existe la vulnerabilidad; por ende, no existe riesgo sino solamente



una amenaza físico-natural y viceversa, ya que el riesgo es la integración de la amenaza y la vulnerabilidad. En consecuencia, para efectos del territorio del estado Vargas, desde el momento en que hay presencia del hombre hay presencia del riesgo.

Además, se debe aclarar que la palabra vulnerabilidad tiene un significado corriente de "estar propenso a o ser susceptible de daño o perjuicio", para efectos de este trabajo, como se señaló en el capítulo de vulnerabilidad, se utilizará, en principio un concepto práctico como la capacidad y seguridad que tiene una persona o grupo para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural.

Antes de comenzar el desarrollo del capítulo Análisis del riesgo es importante advertir que este estudio tiene una limitación en el levantamiento de información con respecto a este análisis al no considerar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno riesgoso y la intensidad de un posible fenómeno riesgoso, al menos cuantitativamente, ya que no se cuenta con estos estudios históricos en estas áreas del estado Vargas, datos que deberían ser registrados y acumulados a lo largo del tiempo.

De esta manera, hay que considerar que se debe sensibilizar a la comunidad para que sea ella misma la que empiece a cuantificar un registro de las casas afectadas a nivel histórico a partir del plano base elaborado, donde técnicamente se vaya actualizando y compilando año tras año.

En consecuencia, el diseño urbano tendrá también sus limitaciones con respecto a ello, pero tanto el análisis de riesgo como el diseño urbano tendrán una base válida porque han contado con un exhaustivo levantamiento de información.

A partir de ahora deben ser las comunidades quienes continúen el trabajo de registro de una base de datos histórica de casa por casa que son afectadas por una amenaza físico-natural o una vulnerabilidad social urbana, siendo este uno de los objetivos principales de los talleres que se realicen con las comunidades, además de la gestión urbana.

### 3.1. Metodología para analizar el riesgo

La metodología que se utilizará para el análisis de riesgo se basará, a grandes rasgos, en dos modelos que, como se ha mencionado, parten de la obra Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres, el primero mencionado en la introducción de este capítulo es el "modelo de presión y liberación" (Modelo PAR-*pressure and release*), que establece que al evaluar el riesgo de desastre, la producción social de vulnerabilidad necesita considerarse al menos con el mismo grado de importancia que se dedica a entender y atender las amenazas naturales. En consecuencia, el riesgo afrontado por la gente tiene que considerarse como una combinación compleja de vulnerabilidad y amenaza.

Como expresó en el primer capítulo del presente informe N° 4, la amenaza físico-natural se refiere a los eventos naturales extremos que pueden afectar, individualmente o en combinación, diferentes sitios en diferentes épocas. La amenaza tiene diferentes grados de intensidad y severidad.

Este primer modelo metodológico que se va a utilizar en el análisis del riesgo, para efectos del estudio sobre vulnerabilidad en situaciones específicas de amenaza, es una herramienta relativamente simple que muestra cómo los desastres se presentan cuando las amenazas naturales afectan a la gente vulnerable.

La base para la idea de la presión y la liberación (modelo PAR) es que el riesgo de un desastre es la intersección de dos fuerzas opuestas: aquellos procesos que generan vulnerabilidad por un lado y exposición física a una amenaza por el otro.

Ante ello, se hace indispensable la caracterización y evaluación de la denominada “amenaza”, la cual, conjuntamente con la determinación de la “vulnerabilidad”, conforma la variable integradora y fundamental de los análisis de riesgo específico. A este respecto, los componentes asociados al análisis del riesgo se expresan a través de la siguiente fórmula:

$$R = (A + V)$$

Donde:

**R** = Riesgo

**A** = Amenaza

**V** = Vulnerabilidad

El segundo modelo, denominado “modelo de acceso”, es un extenso análisis de los factores principales en el modelo PAR que se relacionan con la vulnerabilidad humana y exposición a la amenaza física, indica más específicamente cómo las condiciones necesitan cambiar para reducir la vulnerabilidad y, por lo tanto, mejorar la protección y la capacidad para la recuperación.

En el modelo de acceso las amenazas por sí solas alteran el conjunto de recursos disponibles para los hogares y alteran los patrones de recuperabilidad de diferentes grupos de personas, en otras palabras, el modelo de acceso será el plan de contingencia, al conocer las acciones que se deban informar, capacitar y ejecutar luego de haber ocurrido un evento de riesgo o desastre.

Sin embargo, para efectos de esta intervención —con este segundo modelo— solo se podrá llegar a exponer y explicar a la comunidad de la zona de estudio, la necesidad de conocer el mapa de riesgo de su barrio, así como la necesidad de instalar un centro de documentación del riesgo en alguna edificación comunal del barrio, para compilar y tener acceso a la información necesaria sobre la montaña y el asentamiento humano sobre ella, e ir comenzando a trabajar y organizarse a nivel comunal para la formulación de proyectos y gestión de riesgo ante las instituciones que sean pertinentes. Además, en paralelo, la comunidad deberá manejar como mínimo las nociones básicas de una gestión urbana del Plan Especial Urbano, donde establece las directrices de las zonas de alto riesgo y las zonas de consolidación urbana, es decir, partiendo del estudio ejecutado, la comunidad podrá revisar y aprobar el reordenamiento urbano con base en las zonas antes señaladas (zonas de riesgo y zonas de consolidación urbana).

De manera que se continúa con el desarrollo del primer modelo denominado PAR en este capítulo del análisis del riesgo. En la siguiente figura se presenta un esquema de este modelo, estructurado en la idea de encontrar una progresión que conecte el impacto de un desastre sobre la población a través de una serie de niveles de factores sociales que generan vulnerabilidad. Aquí la explicación de vulnerabilidad tiene tres vínculos o niveles que conectan el desastre con procesos que a veces son muy remotos y yacen en la esfera económica y política.

Se observa en la siguiente figura el primer vínculo o nivel donde podría comenzar la progresión de una vulnerabilidad, la más distante, serían las “causas de fondo” (o causas subyacentes), un conjunto de procesos extensos, bien establecidos dentro de una sociedad y la economía mundial. Las causas de fondo más importantes que dan origen a la vulnerabilidad son los procesos económicos, demográficos y políticos. Estos afectan la asignación y distribución de recursos entre diferentes grupos de personas.



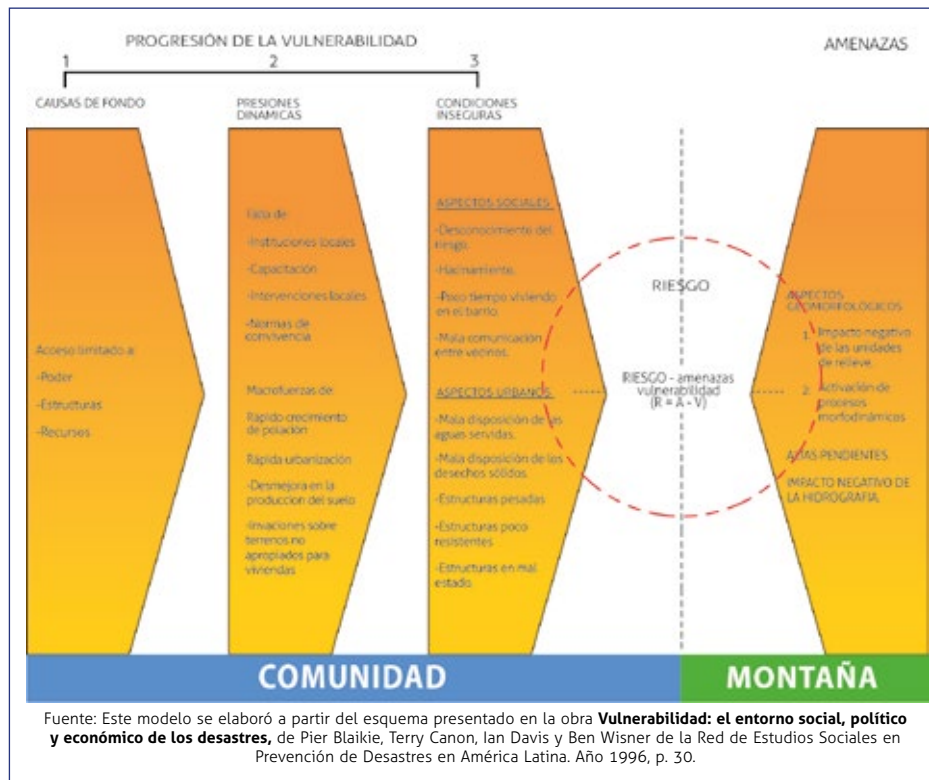


Figura 30. Modelo de presión y liberación.

Las causas de fondo reflejan la distribución del poder en la sociedad. La gente que es económicamente marginal (como los invasores urbanos) o que viven en ambientes “marginales” tienden a ser de importancia marginal para aquellos que tienen poder económico y político. Según los autores de esta metodología, esta situación crea dos fuentes de vulnerabilidad para esos grupos: a) su acceso a medios de vida y recursos que son menos seguros y provechosos tiene posibilidades de generar mayores niveles de vulnerabilidad, y b) tienen probabilidades de ser una baja prioridad para intervenciones del gobierno que traten de mitigar las amenazas.

Las presiones dinámicas son procesos y actividades que “traducen” los efectos de las causas de fondo en vulnerabilidad de condiciones inseguras. Las presiones dinámicas canalizan las causas de fondo hacia formas particulares de inseguridad que tienen que considerarse en relación con los tipos de amenaza que afronta esta gente. Estos incluyen reducido acceso a los recursos como resultado de la forma en que presiones locales o regionales tales como un rápido crecimiento de población, rápida urbanización, desmejora la producción y uso del suelo, invasiones sobre terrenos no apropiados para viviendas que es un claro ejemplo que se manifiesta en el área de estudio.

Las condiciones inseguras son las formas específicas en las cuales la vulnerabilidad de la población de estudio se expresa en el tiempo y espacio junto con una amenaza. Son ejemplos los aspectos sociales y urbanos presentados en los capítulos anteriores.

La cadena de explicación que liga condiciones inseguras con presiones dinámicas y causas de fondo se puede ilustrar observando algunas ideas de localizaciones peligrosas. La presencia de población en lugares riesgosos a veces es el resultado de presiones económico-políticas más amplias, que pueden desplazar grupos más débiles; o con respecto a la migración rural-urbana

en la zona de Anare, primero por el desarrollo agrícola-pesquero y su demanda comercial, luego con la creación del Hospital Psiquiátrico que generaron y generan el rápido asentamiento humano en tierras no aptas para vivienda pero que les ofrece un acceso rápido a un sector que les demanda servicio y producción.

En cada uno de los casos la localización insegura está ligada por una serie de presiones dinámicas que se pueden remontar hasta sus causas de fondo. Esto se ilustra en la figura anterior, donde la vulnerabilidad que surge de condiciones inseguras se intercepta con una amenaza física (evento activador) para crear un desastre, pero se explica solo por el análisis de procesos dinámicos y causas de fondo que generan las condiciones inseguras.

En síntesis, se quiere expresar que las causas de fondo, las presiones dinámicas y las condiciones inseguras están todas sujetas a cambio. Y en muchos casos los procesos implícitos están cambiando más rápido que en el pasado, un ejemplo ilustrativo de esto sería el cambio, modernización y reducción en costo de las técnicas y materiales de construcción para las urbanizaciones.

Este trabajo de la disminución o eliminación de la vulnerabilidad se puede hacer a través de la capacitación, planificación y aplicación de técnicas de urbanización y educación ambiental para liberarse de la presión de una amenaza y disminuir el riesgo.

Partiendo de estas consideraciones, las fases metodológicas que fueron llevadas a cabo para la evaluación sistemática del riesgo en los barrios Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos fueron las siguientes:

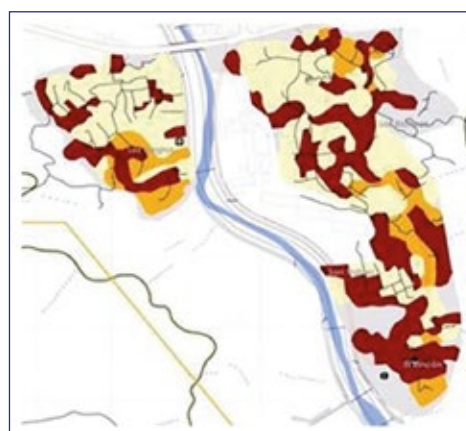
#### a. Selección de capas temáticas en la evaluación del riesgo

En esta etapa solo se retomaron los mapas temáticos elaborados para la caracterización de la amenaza y de la vulnerabilidad desarrollados en los capítulos 1 y 2 del presente informe, los cuales representarán las variables o "factores de riesgo" y servirán de base para la determinación de los indicadores específicos de la misma, como se puede observar en los siguientes mapas:

Mapa 2  
Amenazas y vulnerabilidad



Mapa de Amenazas



Mapa de Vulnerabilidad



## b. Identificación de la asignación de valoraciones ponderadas a las categorías de cada variable

En esta etapa se identificaron las valoraciones definitivas de cada variable (amenaza y vulnerabilidad), posteriormente a la preparación de las dos capas de información a ser utilizadas para la determinación del riesgo y a partir del análisis detallado de cada una de estas variables consideradas en los capítulos anteriores, donde se le otorgaron valores individuales a las diferentes categorías discriminadas para cada uno de estos componentes.

A este respecto, los valores particulares asignados a cada variable consideradas en el estudio, fueron los siguientes:

NIVELES DE AMENAZA INTEGRADA	INTERVALOS DE CLASE CORRESPONDIENTE	COLOR ASIGNADO
Muy alto	$\geq 2,24$	Rojo oscuro
Alto	1,95 - 2,23	Rojo
Medio	1,47 - 1,94	Naranja
Bajo	0,94 - 1,46	Ambar
Muy bajo	$\leq 0,93$	Amarillo

NIVELES DE VULNERABILIDAD INTEGRADA	INTERVALOS DE CLASE CORRESPONDIENTE	COLOR ASIGNADO
Alto	$\geq 2,34$	Rojo oscuro
Medio	1,67 - 2,33	Naranja
Bajo	$\leq 1,66$	Amarillo

Figura 31. Niveles de amenaza integrada.

## c. Superposición de mapas temáticos

En esta fase, posteriormente a la identificación de los valores para cada categoría dentro de cada variable, se procedió a la superposición de los mapas temáticos.

El objetivo fundamental de esta superposición cartográfica es la evaluación específica de los diferentes factores de riesgo que se presentan en cada sector del área de estudio, y con ello, la delimitación de aquellas unidades donde la combinación, por ejemplo, de altos niveles tanto de amenaza como de vulnerabilidad implican la existencia de un alto riesgo.

Es importante destacar que las unidades utilizadas como áreas de análisis espacial para la determinación de este riesgo, correspondieron a los polígonos de pendiente de la amenaza debido a que al presentarse como las áreas de menor tamaño y de menor nivel de generalización, se expusieron como espacios idóneos para integrar de forma detallada el resto de los componentes físico-naturales y social-urbanos.

## d. Cálculo de valores ponderados de riesgo para cada unidad de análisis espacial

Seguidamente a la superposición de mapas temáticos, la cual, como se planteó, utilizó como base de análisis la capa de información clinométrica, se procedió a la enumeración sistemática de todos y cada uno de los polígonos de pendiente, con el fin de poder realizar las operaciones alfanuméricas que resultaron en la valoración ponderada de cada uno de los polígonos analizados.



Figura 32. Polígonos analizados.

En esta enumeración se identificó un total de 4 406 polígonos resultantes.

Posteriormente, todos los números o identificadores correspondientes a cada polígono fueron ingresados a una hoja de cálculo, donde se le asignó un valor respectivo a cada uno de los factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad). La suma algebraica de estos valores definirá una primera aproximación a la determinación del valor de amenaza integrada.

Adicionalmente, y debido a que se consideró que ninguno de los componentes de amenaza y vulnerabilidad poseen el mismo grado de importancia en la conformación del riesgo, los mismos fueron ponderados mediante un porcentaje que le dio un peso relativo a cada valor asignado en su respectivo renglón. Los porcentajes asignados fueron los siguientes:



#### e. Clasificación de unidades de riesgo

Finalmente, y una vez calculados los valores de riesgo integrado para cada uno de los polígonos identificados y considerados en la evaluación, se procedió a la clasificación de los mismos en cinco niveles o categorías que estuvieron definidas por rangos numéricos, los cuales se fijaron mediante intervalos de clases calculados a partir de los valores máximos y mínimos posibles.

Posteriormente, a cada uno de estos cinco niveles o categorías de riesgo integrado se le otorgó un color, que luego fue asignado a cada polígono analizado en función de su valor respectivo de riesgo integral. Esta asignación, que fue desplegada en las bases cartográficas a escala





1:1 000 utilizadas para la representación de los componentes físico-naturales y social-urbanos evaluados en el estudio, permitió apreciar de forma rápida y precisa la distribución espacial de las unidades de riesgo.

Los niveles o categorías de riesgo integrado, con sus respectivos intervalos de clase y colores asignados, se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 13**  
**Niveles de riesgo integrado**

NIVELES DE AMENAZA INTEGRADA	INTERVALOS DE CLASE CORRESPONDIENTE	COLOR ASIGNADO
Muy alto	$\geq 2,75$	
Alto	2,11-2,74	
Medio	1,45 - 2,10	
Bajo	0,81 - 1,44	
Muy bajo	$\leq 0,80$	

### 3.2. Análisis de resultados del riesgo

Una vez cumplidas las diferentes etapas o fases metodológicas que fueron consideradas indispensables para la determinación del riesgo integral en los barrios Cerro Los Negros, Cerro Los Blancos, San Rafael y El Rincón, se llegó a la elaboración definitiva del "mapa de riesgo", en el cual se muestra la distribución espacial de las unidades de riesgo resultante de las diferentes áreas consideradas en el estudio.

En este mapa se exponen los cinco niveles o categorías de riesgo que han permitido discriminar los distintos espacios del área de estudio con base en la probabilidad de ocurrencia de procesos de amenaza y/o vulnerabilidad, que eventualmente puedan afectar negativamente las estructuras residenciales, de servicios o los grupos humanos que de estas dependen.

Es muy importante nuevamente destacar que el mapa definitivo de riesgo elaborado para este estudio, a pesar de que ha contado con un exhaustivo levantamiento, análisis y procesamiento de información que ha servido de base para su realización, representa solo un esquema o modelo aproximado de cómo se distribuyen y de cuáles son las variables que determinan los fenómenos naturales, sociales y urbanos potencialmente destructivos del área estudiada, además de ofrecer una información útil para la aproximación a una microzonificación del riesgo más localizada al área de estudio a los trazos de la macrozonificación de riesgo del Área de Protección y Recuperación Ambiental (APRA) elaborado por la Autoridad Única de Área del Estadio Vargas (AUAEV).

Sumado, a esto, en los casos donde se puedan ejecutar los frentes de obras se deberá realizar el estudio de riesgo específico que aplique. Nuevamente se sugiere el registro de los eventos físicos naturales que vayan afectando la zona a través del tiempo, así como el registro de las condiciones inseguras que ocasiona una vulnerabilidad social-urbana.

Partiendo de estas premisas fundamentales, y tal como se puede observar en el anexo Mapa N° 3 Riesgo Ambiental y en el siguiente gráfico, el cual se expone a continuación, se obtiene que el mayor porcentaje del área analizada está comprendida por unidades de bajo y medio riesgo, los cuales ocupan 31,68 y 29,65%, respectivamente, es decir casi más del 60% de toda el área de estudio y se distribuyen ampliamente de manera aleatoria en todos sus sectores.

Tabla 14  
 Porcentaje de riesgos

Riesgo muy alto:	8,35%	
Riesgo alto:	27,76%	
Riesgo medio:	29,65%	
Riesgo bajo:	31,68%	
Riesgo muy bajo:	2,57%	

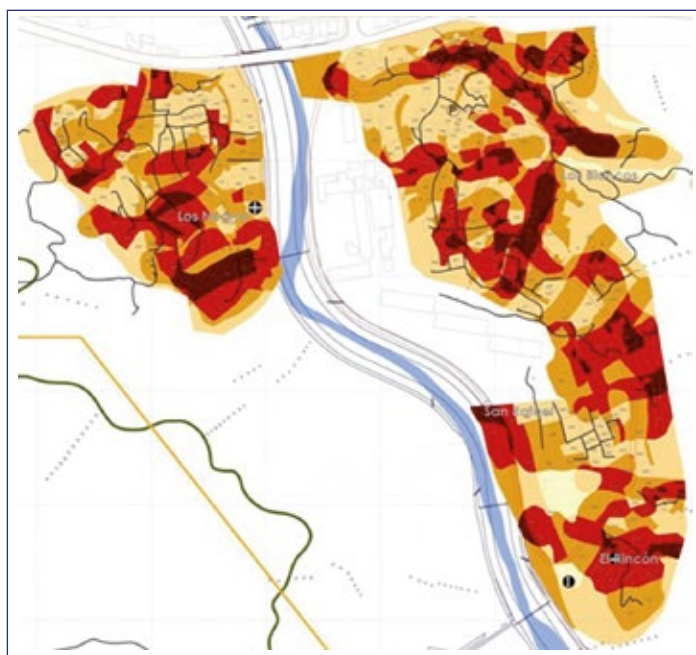


Figura 33. Áreas de riesgo.

En términos específicos, las unidades catalogadas de **Bajo y Muy bajo riesgo**, las cuales dentro de la zona de estudio ocupan el 31,68 y el 2,57%, respectivamente, distribuyéndose hacia todos sus sectores, si acaso se pudiera establecer que existe una mayor área consolidada de riesgo bajo es la cercana a la carretera nacional Naiguatá-Los Caracas y las que están detrás del terreno del Hospital Psiquiátrico, donde prevalece la mayor parte de pendientes bajas y alejadas de quebradas o cursos de agua intermitente; también el riesgo bajo es ocasionado por la presencia de estructuras con una buena disposición de las aguas servidas y desechos sólidos, por la cercanía a los servicios de recolección formales, son estructuras resistentes y en la mayoría de los casos ligeras (exceptuando las partes bajas de la montaña de Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos), así como también la familia que la habita tiene un buen conocimiento del riesgo con más de 21 años viviendo en el barrio.

En algunos espacios distribuidos dentro de estas mismas unidades de relieve, que presentan algunas características o condiciones que incrementan la probabilidad de producción de fenómenos destructivos, y que ocupan en conjunto una proporción superficial de 29,65%, se han determinado las áreas de **Riesgo medio**, las cuales se encuentran dispersas dentro del área de estudio y generalmente circundan espacios de amenaza hidrológica mayor. También el riesgo medio es ocasionado por el contraste del gran peso de las estructuras contra una buena

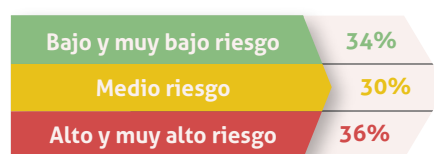


resistencia estructural y regular estado físico, además del contraste de la buena disposición de las aguas servidas contra el mal manejo de los desechos sólido, así como también con el contraste entre el hacinamiento en las viviendas contra el buen conocimiento del riesgo de tienen las familias que la habitan con más de 21 años viviendo en el barrio, además de tener una regular comunicación con los vecinos.

Estrechamente vinculados a estas unidades se encuentra dentro del área una importante proporción de espacios más propensos a la acción de los procesos destructivos de mayor magnitud e intensidad que han sido considerados como unidades de **Riesgo alto y Muy alto**, las cuales ocupan 27,76 y 8,35%, respectivamente, de la superficie total del área de estudio. Estas áreas se distribuyen principalmente sobre niveles de pendiente y de unidades de relieve de alta inestabilidad geodinámica, sobre los flujos torrenciales y deslizamientos rotacionales o laminares, los cuales se ven agravados por la alta cercanía de flujos de escorrentía superficial. La acción combinada de estos factores específicos de amenaza física hace que los espacios clasificados dentro de esta categoría estén expuestos constantemente a la producción de fenómenos muy intensos y recurrentes de remoción de masas, que en numerosas oportunidades han hecho colapsar las estructuras residenciales y de servicios que se ubican en esa zona de riesgo. Además de la mala disposición de las aguas servidas y desechos sólidos tanto por el precario diseño de la red y disposición de estos servicios que desde las estructuras mismas se han diseñado y construido, así como la debilidad y mal estado de las estructuras debido también a que corresponden a viviendas provisionales y mal construidas. Aunado a ello, hay familias que habitan estas viviendas que no tienen más de cinco años viviendo en el barrio y poseen una mala comunicación entre los vecinos, más que todo en los barrios San Rafael y El Rincón, y en las partes altas de Cerro Los Negros y Cerro Los Blancos.

Esta condición particular hace que los espacios que comprenden esta categoría de alto riesgo, sean sectores en los que, además de existir una mayor propensión a la producción de fenómenos con potenciales extremadamente destructivos, se presentan mayores dificultades técnicas para el control, la prevención o la mitigación de sus efectos negativos.

En conclusión, nuestra zona de estudio tiene tres niveles de riesgo que se distribuyen de la siguiente manera:



La zona que ocupa el bajo y muy bajo riesgo es el espacio para la consolidación urbana.

La zona que ocupa el riesgo medio es el espacio que debe ser revisado en primer término sobre el grado de amenaza contra el grado de vulnerabilidad, para determinar las acciones de consolidación urbana en cuanto a la identificación de las obras de mitigación de la amenaza y a las acciones de mejoramiento urbano tanto de las viviendas como de los servicios y capacitación sobre gestión urbana ambiental a la población para la reducción de la vulnerabilidad.

La zona que ocupa el alto y muy alto riesgo es el espacio que debe ser revisado en segundo término sobre el grado de amenaza contra el grado de vulnerabilidad, para determinar las acciones de consolidación urbana en cuanto a la identificación de las obras de mitigación de la amenaza y a las acciones de mejoramiento urbano tanto de las viviendas como de los servicios y capacitación sobre gestión urbana ambiental a la población para la reducción de la vulnerabilidad, así como establecer cuáles serán las barreras naturales y urbanas de crecimiento.

# Referencias bibliográficas

- **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (1999).**
- **BALDÓ, J.; VILLANUEVA, F. (1998).** Un Plan para los Barrios de Caracas. Caracas: CONAVI. Caracas: CONAVI. 15-16 Artículo 14. G. O. Ext. N° 5.392 del 22/10/99.
- **BALDÓ, J.; VILLANUEVA, F. (1998).** *Op. cit.* Caracas: CONAVI. p. 17.
- **CONAVI. (2000).** Términos de referencia para la instrumentación del Programa II Habilitación Física de Zonas de Barrios del Decreto con rango y fuerza de Ley de Reforma del Decreto con rango y fuerza de Ley que regula el Subsistema de Vivienda y Política Habitacional de fecha 26 de abril de 1999.
- **CGR INGENIERÍA. (2000).** "Estudio de crecidas de las cuencas del Litoral Central". AUAEV, Caracas, diciembre.
- **CGR INGENIERÍA. (2000).** "Estudio de rendimientos diarios de los principales ríos del Litoral Central y Análisis de intensidad duración frecuencia de lluvias", octubre.
- **Cálculos Omar Hernández,** firma personal, ABRAE, apoyado en CALTEC.



# ANEXOS

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE SISMOS

CÓDIGO	Fenómeno	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
			VARIABLES	ESCALA	VARIABLES	ESCALA	Niveles	ESCALA
0001	Sismos	Lima	Magnitud	1:25 000	Ubicación de edificaciones en zonas de alto potencial sísmico	1:25 000	Muy Alto	1:25 000
			Intensidad		Tipología de edificación		Alto	
			Aceleración		Altura de edificación		Medio	
			Tipos de suelo		Población (grupos etareos, condición socioeconómica, educación)		Bajo	
			Peligro sísmico		Elementos sensibles (servicios básicos)			
					Educación Vías de acceso Aspecto ambiental			

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE TSUNAMIS

CÓDIGO	Fenómeno	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo		Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
		Variables	Escala	Variables	Escala	Variables	Escala	Niveles	Escala
0001	Tsunamis	Lima	Altura de ola	1:10 000	Rutas de evacuación, Zonas de refugio	1:10 000	Muy Alto	1:10 000	
			Distancia de Inundación		Tipología de edificación		Alto		
			Tiempo de arribo		Altura de edificación		Medio		
			Velocidad de flujo		Población Resiliencia		Bajo		
			Periodo de la ola		Elementos sensibles (servicios básicos, puertos)				
			Fuente sísmica		Presencia de zonas agrícolas Resiliencia (sistema de alarma)				

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE INUNDACIONES

CÓDIGO	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
		Variables	Escala	Variables	Escala	Niveles	Escala
0003a	Local	Geomorfología	1:25 000	Densidad poblacional	1:25 000 1:5 000	4 (Muy alto, alto, medio, bajo)	1:25 000 1:5 000
		Precipitación	1:25 000	Nivel educativo	1:25 000 1:5 000		1:25 000 1:5 000
		Tipo de suelos	1:25 000	Edad de la población	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
		Pendiente	1:25 000	Necesidades básicas insatisfechas (nivel socioeconómico, luz, agua, educación)	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
				Uso del suelo	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
				Tipo de vivienda (material, altura, número de pisos)	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	



## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE MOVIMIENTOS DE MASA

CÓDIGO	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
		Variables	Escala	Variables	Escala	Niveles	Escala
0003	Local	Geotécnica	1:25 000	Tipo de material	1:25 000 1:5 000		1:25 000 1:5 000
		Pendiente	1:25 000	Nivel socioeconómico	1:25 000 1:5 000		1:25 000 1:5 000
		Inventario de mm (registros históricos)	1:25 000	Nivel educativo	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
		Cartografiado de mm	1:25 000	Densidad poblacional	1:25 000 1:5 000	4 (Muy alto, alto, medio, bajo)	1:25 000 1:5 000
		Cobertura vegetal	1:25 000	Edad de la población	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
		Precipitación	1:25 000	Infraestructura básica	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	
		Aceleración sísmica	1:25 000	Usos de suelos	1:25 000 1:5 000	1:25 000 1:5 000	

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE INCENDIOS FORESTALES

CÓDIGO	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
		VARIABLES	ESCALA	VARIABLES	ESCALA	VARIABLES	ESCALA
0004 Incendios Forestales	Waraira Repano-Caracas	Condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa, viento)	1:25 000	Área bajo régimen administrativo especial (ABRAE)	1:10 000		1:50 000
		Factor de estacionalidad	1:25 000	Centros poblados (niños, adulto mayor)	1:10 000	(Alto, medio, bajo)	1:50 000
		Tipo de bosque	1:25 000	Líneas vitales (Vías de comunicación, telefonía, tendido eléctrico, servicio básico)	1:10 000		1:50 000
		Tipo de suelo	1:25 000	Economía (turismo)	1:10 000		1:50 000
		Topografía	1:25 000	Contaminación ambiental (Salud)	1:10 000		1:50 000

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DE VOLCANES

CÓDIGO	Fenómeno	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros Variables Escala	Mapa de Vulnerabilidad Variables Escala	Mapa de Riesgos Variables Escala	
0001	Erupción Volcánica	Volcán Ubinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesos/Peligro: flujos de lava, caídas piroclásticas, flujos piroclásticos, lahares (flujos de lodo), avalanchas de escombros.</li> <li>- Recurrencia y severidad.</li> <li>- Rango de tiempo: Holoceno.</li> <li>- Bases cartográficas (DEM y topografía).</li> <li>- Geología del volcán. Volumen de nieve/glaciar.</li> <li>- Actividad histórica (reportes, crónicas, etc.)</li> <li>- Índice de explosividad volcánica (IEV).</li> <li>- Características físico-químicas del magma.</li> <li>- Geomorfología del terreno.</li> <li>- Dirección y altura de vientos.</li> </ul>	<p>1) Población: Mujeres, gestantes y recién nacidos, niños, adultos mayores, discapacitados, grado de educación quechua hablantes.</p> <p>2) Económico: Agricultura, ganadería, comercio turismo.</p> <p>3) Infraestructura: Establecimientos de salud, viviendas, colegios.</p> <p>4) Ambiental: Fuentes de agua, calidad de aire</p>	<p>1:50 000</p> <p>1:25 000</p> <p>1:25 000</p>	<p>(Muy alta, Alta, Media, Baja)</p> <p>1:25 000</p>

## MATRIZ DE PROCEDIMIENTO DE LA MESA TEMÁTICA DEL FENÓMENO “EL NIÑO”

CÓDIGO	Fenómeno	Ámbito de Trabajo del Mapa de Riesgo	Mapa de Peligros		Mapa de Vulnerabilidad		Mapa de Riesgos	
			VARIABLES	ESCALA	VARIABLES	ESCALA	NIVELES	ESCALA
2	FEN	Cuenca del río Chira	Nivel del mar	1:50 000	Población vulnerable por edad y género	1:25 000	Alto Muy alto	1:10 000
			Temperaturas del aire		Población dedicada a actividades de pesca			
			Precipitación		Población dedicada a actividades de agricultura			
			Infraestructura de riesgo		Infraestructura de riesgo			
			Red de agua y alcantarillado		Red de agua y alcantarillado			
			Red eléctrica		Red eléctrica			
Vivienda e infraestructura vial	Vivienda e infraestructura vial							
Salinización de suelos	Salinización de suelos							
Erosión de suelos	Erosión de suelos							
Infraestructura de salud y educación	Infraestructura de salud y educación							





