



**PERÚ**

Ministerio  
del Ambiente

Viceministerio  
de Desarrollo Estratégico  
de los Recursos Naturales

Dirección General  
de Ordenamiento  
Territorial

“PROGRAMA DE REDUCCIONDE VULNERABILIDADES Y ATENCION DE  
EMERGENCIAS PREVAED-2013”

## **PERFIL DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RIO CHILLON**

**Guía Metodología y Pautas para su Uso.**

Julio 2014

**PERFIL DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RIO  
CHILLON: PAUTAS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA SU  
IMPLEMENTACIÓN.**

**MINISTERIO DEL AMBIENTE**

Manuel Gerardo Pedro Pulgar-Vidal Otálora

**VICEMINISTERIO DE DESARROLLO ESTRATEGICO DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

Gabriel Quijandría Acosta

**DIRECCION GENERAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

Adrián Fernando Neyra Palomino

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>1.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO Y RESULTADOS DEL ESTUDIO</b>	<b>9</b>
	3.1 Recopilación y Revisión de información	9
	3.2 Análisis hidrológico	10
	3.3 Selecciones del tramo analizado	12
	3.4 Inventario de elementos expuestos	13
	3.5 3.5 Modelamiento de la Amenaza	14
	3.6 Evaluación de la vulnerabilidad	15
	3.7 Estimación del riesgo por inundación	18
	Figura 15.Cuva típica de Perdidas Máximas probables	21
<b>4</b>	<b>USO DEL ESTUDIO</b>	<b>24</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo de desastres viene atravesando un periodo importante en el Perú con la publicación de la Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su respectivo reglamento (2011), así como la Política y el Plan nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (2014) con los cuales se establecen las competencias y responsabilidades de todas las entidades del Estado en esta materia.

Así mismo, el Ministerio de Economía y finanzas, a través del Presupuesto por Resultados PPR-068 para la Reducción de Vulnerabilidades y Atención de Emergencias PREVAED, viene financiando los proyectos con énfasis en la gestión del riesgo que vienen siendo ejecutados por diversas entidades públicas, entre ellas el Ministerio del Ambiente, constituyéndose así este PPR, en una oportunidad concreta para impulsar y sostener las iniciativas de los Gobiernos locales en relación a la Gestión de Riesgos de Desastres.

Este marco normativo e institucional cada vez más sólido, representa la posibilidad de reales beneficios para la población y para el Estado en términos de evitar pérdidas de vidas y económicas producidas por desastres, en la medida en que se implementan las medidas de prevención y reducción del riesgo en la planificación del desarrollo. Sin embargo, al igual que muchas políticas nacionales, su éxito queda supeditado a la eficacia de los gobiernos locales y regionales para asimilar esta nueva línea de gestión y lograr su plena incorporación en sus procesos de planificación de desarrollo y de asignación presupuestaria.

El Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General de Ordenamiento Territorial, viene promoviendo la incorporación de la gestión de riesgos de desastres en el Proceso de Ordenamiento Territorial mediante diversas normativas, guías, manuales complementadas con un plan de capacitación y asistencia técnica dirigido a gobiernos regionales y locales. Como parte de este trabajo, la DGOT ejecutó el 2013 con recursos del PREVAED estudios y asistencias técnicas a nivel nacional. Uno de estos estudios titulado *"Perfil de riesgo por inundación de la cuenca del Rio Chillón"* ha sido culminado y en base a él, se ha elaborado el presente documento para alcanzar orientaciones al gobierno local, al regional y hasta el nacional.

La utilidad del Estudio y de esta Guía para los gobiernos locales involucrados, radica en poder implementar proyectos concretos y focalizados beneficiando a su población en relación a la disminución de condiciones de riesgo de desastre. En cuanto a la utilidad que puede tener para otras entidades radica en el potencial de un perfil de riesgo para estimar de manera rápida el valor en riesgo en el territorio ante un eventual fenómeno desastroso y facilitar los análisis costo/beneficio de los proyectos de prevención y reducción.

Si bien es cierto, los perfiles de riesgo aun no son usados de manera masiva, estos representan una forma precisa de evaluar los riesgos, en tal sentido, el esfuerzo del MINAM en investigar nuevas metodologías como esta, tiene el objetivo de ayudar a tomar las decisiones preventivas apropiadas, pero también tiene como una finalidad fomentar el uso de nuevos enfoques y técnicas para lograr el Ordenamiento Territorial Sostenido.

## 1. OBJETIVOS

Los objetivos de la presente guía son:

### Objetivo 1:

Analizar el procedimiento metodológico y los resultados del Estudio *“Perfil de riesgo por inundación de la cuenca del Río Chillón”*

### Objetivo 2:

Proponer pautas para implementación del Estudio promoviendo la seguridad de la población y de la inversión pública y privada.

## 2. METODOLOGÍA

Es muy cierto que los resultados son el objetivo principal de cualquier estudio de carácter territorial o ambiental, sin embargo, conocer la metodología usada para la obtención de los resultados resulta clave para que las instituciones estén interesadas en realizar por sus propios medios los estudios, teniendo en cuenta que en nuestro País es práctica generalizada que los estudios sean realizados por consultores ajenos a las instituciones Públicas.

La metodología resulta ser la receta mediante la cual se obtuvieron los resultados de los estudios. Por su lado, los resultados de los estudios tienen una utilidad limitada y condicionada por el “problema planteado o identificado”, el cual cambia en el tiempo y está limitado a un espacio dado, variando tan pronto cambian las condiciones territoriales y/o ambientales, dando lugar a nuevos problemas. Conocer y entender las metodologías equivale entonces a conocer el cómo se hacen las cosas y nos brinda capacidades para resolver infinitas situaciones, claro está, según el soporte y flexibilidad de la metodología propuesta.

En consecuencia, el presente Capítulo propone el análisis de algunas de las metodologías usadas por el “Perfil de riesgo por Inundación de la Cuenca del Río Chillón” pues estamos seguros que traerá como consecuencia directa un incremento de las capacidades de los funcionarios.

A continuación se hará una descripción de este marco metodológico

### Análisis de riesgo

La Metodología aplicada por el “Perfil de riesgo por Inundación de la Cuenca del Río Chillón” se basa en la estructura metodológica que propone la “Gestión del riesgo de desastres” es decir, analizando de manera independiente y secuencial el peligro (P) y la vulnerabilidad (V) para luego hallar el riesgo (R). Estas variables se estarán vinculando a través de una fórmula matemática, la cuales aplica algebraicamente (ver figura 1).

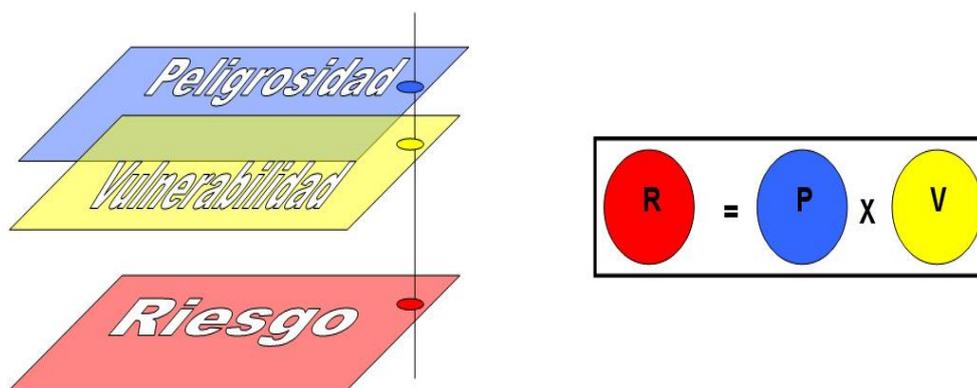


Figura 1. Metodología para analizar riesgos de desastres

Creemos que esta metodología tiene ventajas comparativas sobre otras para el abordar temáticas territoriales con carácter temporal como son las que analizaremos en este estudio. Tales ventajas radican en dos aspectos. El primero es el soporte técnico para mitigar los niveles de riesgo de diferentes situaciones de manera objetiva, ofreciendo soporte conceptual pero sobre todo matemático para analizar cada variable con el rigor estadístico que se merece.

La segunda ventaja comparativa de la metodología elegida creemos que radica en el potencial didáctico que ofrece para difundir conceptos que pueden considerarse complejos como las frecuencias, probabilidades y periodos de retorno, así como las escalas espaciales y demás. Este tema es fundamental pues esta documentó aspira fomentar la discusión sobre la virtudes y deficiencias de la formula básica del riesgo.

Dentro de la “gestión el riesgo de desastres” existen varias metodologías propuestas por diferentes instituciones, Institutos de investigación e universidades, sin embargo, dado los avances en tecnología y conocimiento, cada vez estas vienen migrando hacia lo cuantitativo, buscando mayor precisión y certeza en la predicción de riesgos, es así que siguiendo las técnicas usadas por el sector privado, el Banco Mundial viene promoviendo la Metodología CAPRA.

### **Metodología CAPRA**

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en conjunto con el Banco Mundial (BM), han venido desarrollando una metodología para la estimación del riesgo probabilístico de desastres denominada *Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*, aplicándola en varias regiones de América Latina y realizando diversos trabajos sobre todo en Colombia y México, utilizando sus metodologías a sectores estratégicos y ciudades importantes. En el Perú se han realizado el análisis de riesgo de un número considerable de hospitales importantes en colaboración con la PUCP y MINSA. Aplicar una metodología cuantitativa como la CAPRA surge de la necesidad o aspiración por obtener mayor precisión en la predicción de daños, pese a las dificultades subyacentes como la limitada cantidad de datos e información histórica acerca de eventos catastróficos, debido en algunos casos a la ocurrencia de desastres de baja frecuencia de repetición, y en otros casos a desastres con una ventana temporal de atención reciente y corta. CAPRA es finalmente una propuesta de modelos probabilistas que permite emplear la escasa información disponible para predecir posibles escenarios catastróficos en los cuales se considere la alta incertidumbre involucrada en el análisis.

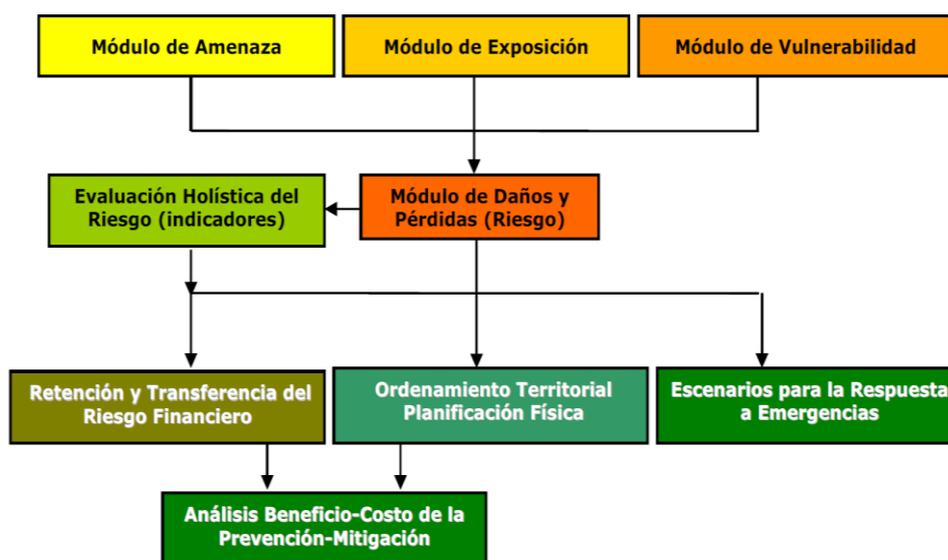


Figura 2. Esquema general del modelo probabilista de evaluación del riesgo

### Los perfiles de riesgos de desastres

Son básicamente evaluaciones del riesgo de desastres en base a metodologías probabilísticas y cuantitativas para conocer los peligros y las vulnerabilidades. Esto trae como consecuencia la obtención de resultados expresados en unidades cuantificables. Dicho de otro modo, Perfil de Riesgos en el marco del Estudio, se refiere a la probabilidad de pérdidas de hectáreas de cultivo, acervo físico, pérdidas de flujos económicos, pérdidas de vidas humanas por eventos máximos de inundaciones. Este tipo de estudios permite obtener un valor aproximado de las probables pérdidas por inundaciones en un área específica mostrando el riesgo de manera fácil y explícita y cuando decimos probables pérdidas estas con efectivamente valores numéricos de las probable pérdidas. Se debe considerar que los perfiles de riesgos no son ampliamente usados por las instituciones públicas de Latinoamérica justamente porque requieren de un alto conocimiento de las técnicas, metodologías, modelamientos y softwares para la caracterización de los peligros y vulnerabilidades así como de basta información historia del fenómeno analizado. El MINAM entiende que ésta no debe ser obstáculo para que las instituciones públicas peruanas investiguen en estas nuevas formas de evaluar el riesgo.

### Proceso Metodológico seguido por el estudio

El consultor, siguiendo los términos de referencia del MINAM, diseñó un proceso metodológico que considera: los aspectos básicos de un análisis de riesgos de desastres, los métodos cuantitativos, los métodos probabilísticos teniendo como referencia la Metodología CAPRA y expresarlo en un estudio ligero como lo es un Perfil de riesgos.

A continuación se muestra el diseño planteado y finalmente ejecutado para el desarrollo del Perfil de Riesgo por inundación de la cuenca del río Chillón”.

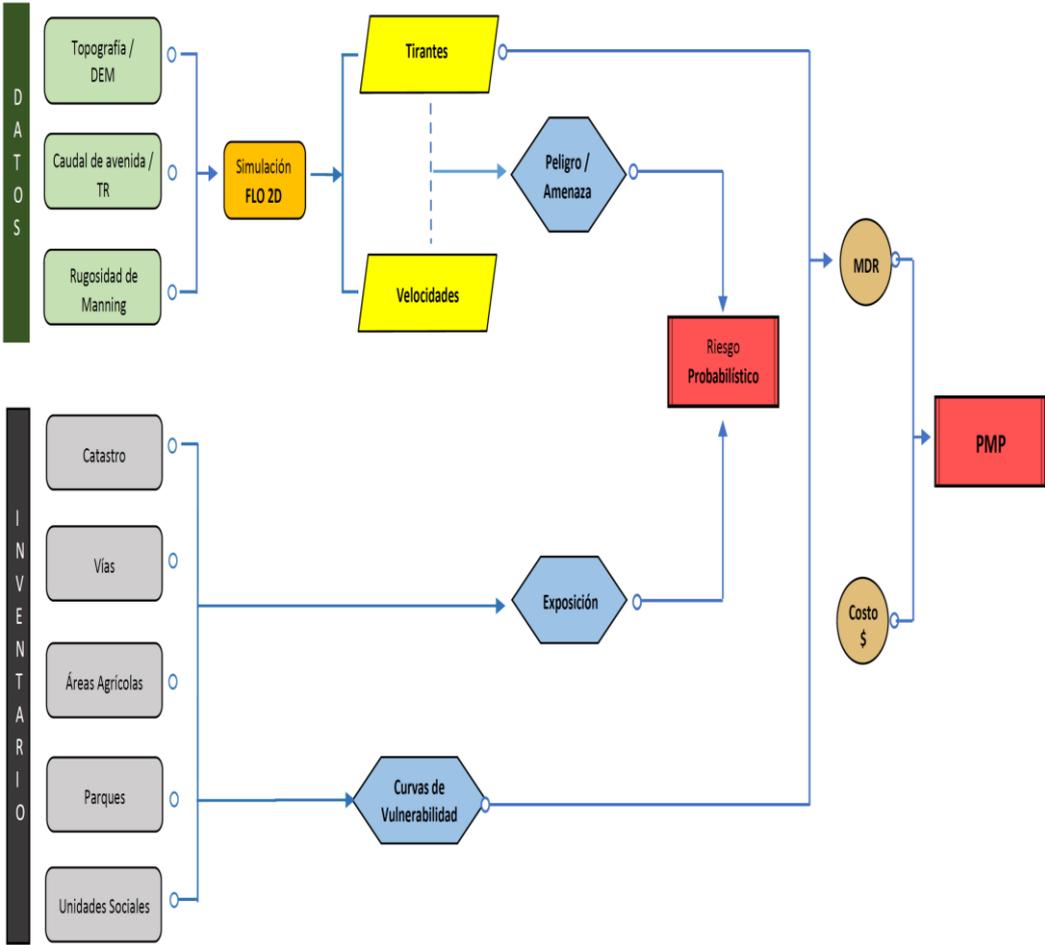


Figura 3. Proceso metodológico seguido por el “Perfil de Riesgo por inundación de la cuenca del río Chillón”

### 3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO Y RESULTADOS DEL ESTUDIO

El Estudio consta de los siguientes 7 capítulos: Recopilación y Revisión de información, Análisis hidrológico, Selecciones del tramo analizado, Inventario de elementos expuestos, Modelamiento de la Amenaza, Evaluación de la vulnerabilidad, Estimación del riesgo por inundación. De cada uno de ellos a continuación se hará una síntesis mostrando básicamente los resultados obtenidos.

#### 3.1 Recopilación y Revisión de información

El equipo consultor realizó una búsqueda de información oficial de las características física de la cuenca del río Chillón, logrando recopilar datos y mapas de INRENA, INDECI, SENAMHI, COFOPRI y MINAM. Esta información sirvió para caracterizar aspectos claves para el análisis hidrológico que será realizará, como la geología, tipos de suelos, capacidad de uso mayor, ecología, entre otros. Además una tarea importante fue la recopilación de información sobre inundaciones ocurridas en el pasado en base a entrevistas y trabajos de campo. A continuación mostramos algunos de los mapas temáticos elaborados para la cuenca del Río chillón.

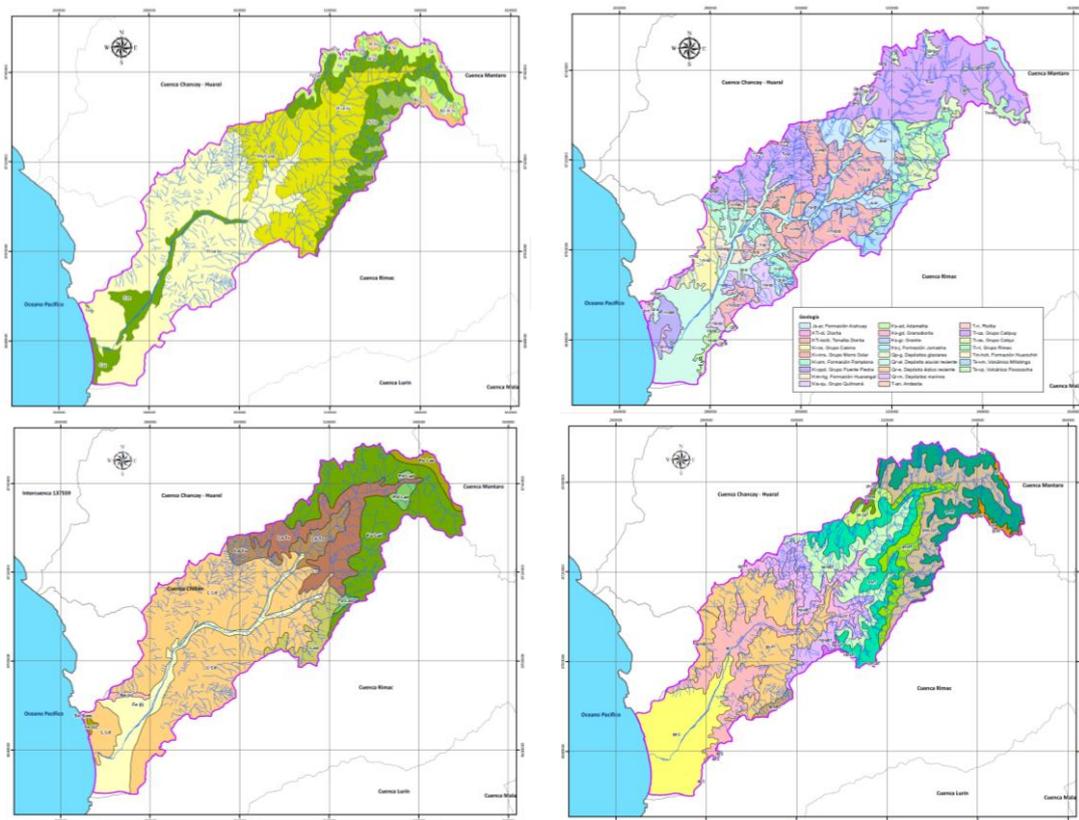


Figura 4. Mapas temáticos de la cuenca del río Chillón

### 3.2 Análisis hidrológico

Se hizo una identificación, delimitación y descripción de las sub cuencas principales, detallando su coordenadas, área total de drenaje, su perímetro, altitud, tributarios, longitud del cauce principal, principales centros poblados, principal vía de acceso, entre otros.

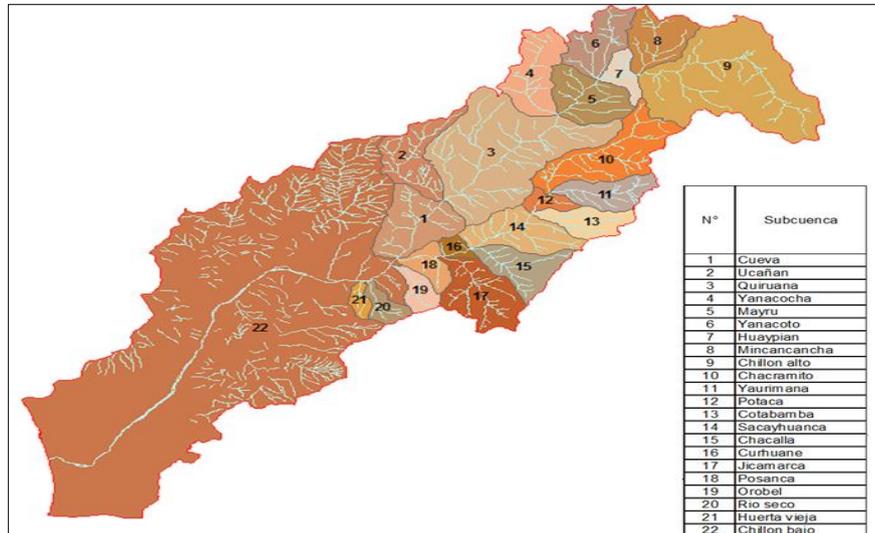


Figura 5. Sub cuencas de la cuenca del rio Chillón

Luego se realizó una caracterización geomorfológica de la cuenca del Rio Chillón, logrando obtener los siguientes parámetros:

CUENCA:	CHILLÓN	
ÁREA:	2353.53	Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO:	328.19	Km
LONGITUD CAUCE:	129.67	Km
COTA SUPERIOR:	4550	msnm
COTA INFERIOR:	0	msnm
ALTURA MEDIA:	2370	msnm
<b>Desnivel de cuenca:</b>		
ΔH =	4550	m
<b>Pendiente media:</b>		
S1 =	0.028	
S2 =	0.035	
S <sub>prom</sub> =	0.031	
<b>Coefficiente de forma:</b>		
Kf =	0.14	
<b>Coefficiente de compacidad:</b>		
Kc =	1.89	
<b>Coefficiente de masividad:</b>		
Km =	1.01	
<b>Relación de elongación:</b>		
Re =	0.42	
<b>Relación de circularidad:</b>		
Rc =	0.27	
<b>Rectángulo Equivalente:</b>		
L1 =	15.88	Km
L2 =	148.22	Km

Cuadro 1. Parámetros Geomorfológicos

Posteriormente se realizó la identificación de las estaciones pluviométricas:

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	UBICACIÓN		ALTITUD	PROV.	DPTO.	PERIODO DE REGISTRO
	LATITUD	LONGITUD	msnm			
Huarangal	11°47' S	77°6' W	410	Canta	Lima	1990 - 2008
Arahuay	11°37' S	76°42' W	2800	Canta	Lima	1989 - 2008
Huamantanga	11°30' S	76°45' W	3392	Canta	Lima	1989 - 2008
Canta	11°28' S	76°37' W	2832	Canta	Lima	1987 - 2008
Huaros	11°24' S	76°34' W	3585	Canta	Lima	1989 - 2008
Pariacancha	11°23' S	76°30' W	3800	Canta	Lima	1989 - 2008
Yantac	11°20' S	76°24' W	4600	Yauli	Junín	1989 - 2008

Cuadro 2. Estaciones pluviométricas

Luego se realizó un análisis de frecuencias

Estación PLU	Huarangal	Arahuay	Huamantanga	Canta	Huaros	Pariacancha	Yantac
Ajuste Prob.	Lognormal	LogPearson Tipo III	Lognormal	Gumbel	Lognormal	Gumbel	Gumbel
Tr (años)	Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)						
500	14.80	38.50	52.60	70.80	35.70	44.80	58.30
200	11.90	36.80	48.00	62.30	33.40	39.80	52.20
100	9.90	35.30	44.50	55.90	31.69	38.50	47.50
50	8.10	33.70	41.00	49.40	29.91	35.80	42.90
20	6.00	31.10	36.20	40.80	27.39	32.10	36.70
10	4.60	28.80	32.40	34.10	25.33	29.30	31.90

Cuadro 3. Análisis de Frecuencias

Finalmente se obtuvieron los hidrogramas de avenida que serán transitados en el software el cual nos mostrará con salida las áreas de inundación.

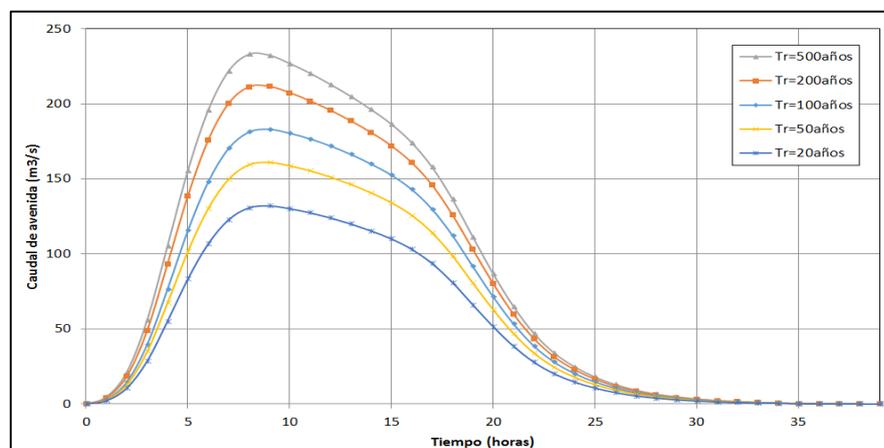


Figura 6. Hidrogramas de avenida

### 3.3 Selecciones del tramo analizado

En primer lugar se hace un modelamiento previo del escenario de inundación en toda la cuenca para identificar las áreas inundables, luego se identifican si esas áreas afectan a algún valor socio económico y luego se procede definir el área donde se focalizan los daños, para luego elegir el tramo crítico donde se realizara el análisis de la inundación, de los elementos, de las vulnerabilidad y de los riesgos pero a una escala más fina. Para la definición de estos sectores crítico se consideraron lo siguiente aspectos con respecto a la exposición:

- **Parte alta de la cuenca**, Debido a lo abrupto de la pendiente de las laderas marginales del río, la mayoría de centros poblados ubicadas aguas arriba de Lima Metropolitana se encuentran en zonas altas con respecto al cauce del río. En consecuencia en dichos tramos el cauce presenta buena capacidad hidráulica.
- **En la parte media de la cuenca**, solo predomina la presencia de áreas agrícolas en las planicies de inundación. Los cultivos son temporales e irrigados por pequeñas derivaciones entubadas o canal. Actualmente se viene ampliando la nueva carretera Lima-Canta-Huayllay donde los principales cruces de puentes se han diseñado para un período de retorno por encima de los 100 años cumpliendo las exigencia del galibo mínimo de 2 metros para los puentes. Esto mantiene la capacidad hidráulica en la parte media de la cuenca.
- Del historial de inundaciones, no se evidencia desborde en la parte media y alta de la cuenca.
- **En la parte baja de la cuenca**, por el contrario en el 2001 se registró inundación en la urbanización de San Diego. “*Por lo que se concluye que los probables daños se centran en la parte baja de la cuenca que coincide con el área urbana de Lima*”.

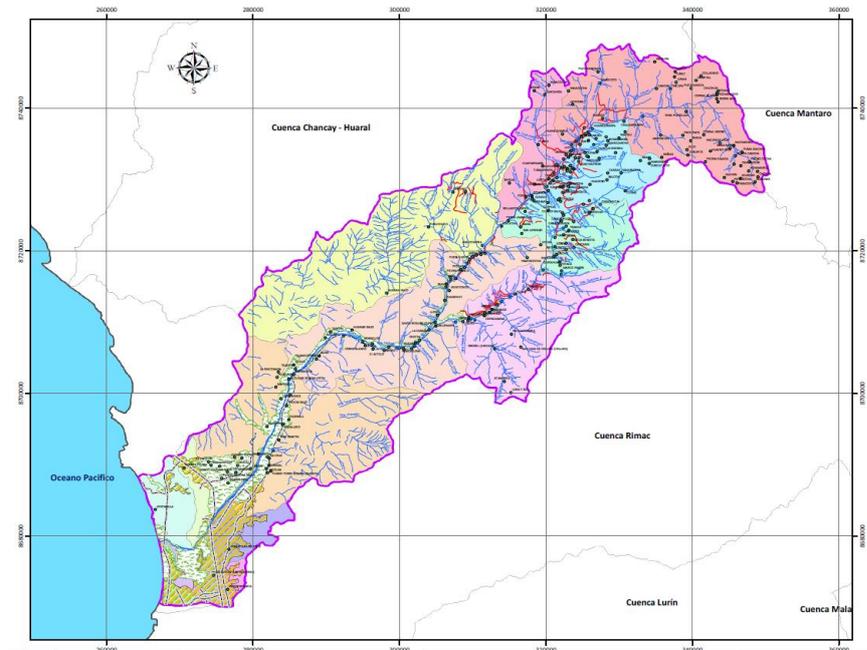


Figura 7. Selección el tramo Crítico

### 3.4 Inventario de elementos expuestos

Definido el tramo donde habría probables pérdidas por inundaciones, se procedió a los trabajos de campo en esta zona a fin de obtener un inventario de elementos expuestos: información catastral, límites de distritos, límites por localidad, tipo de material de viviendas (concreto, madera, adobe), áreas agrícolas y áreas verdes, ubicación de vías principales y puentes, principales unidades sociales e identificación de obras de protección (defensas ribereñas). El área de influencia comprende 7 distritos (Callao, Ventanilla, San Martín de Porres, Los Olivos, Puente Piedra y Carabayllo).

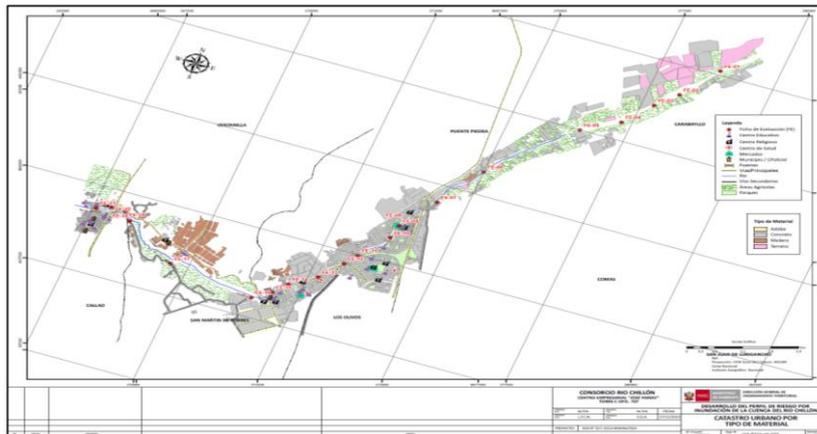


Figura 8. Mapa de Elementos expuestos

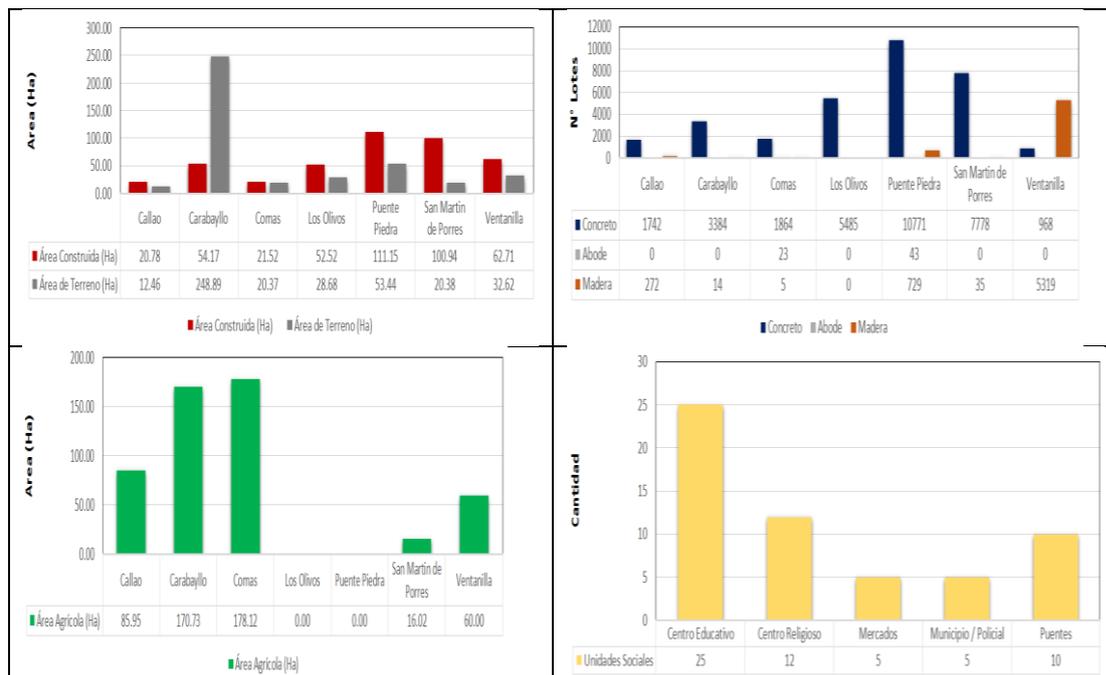


Figura 9. Elementos expuestos

Como estructuras de conexión entre distritos a lo largo del tramo en análisis, se cuenta con 43.19 Km de vía asfaltada principal y con 31.86 Km de vía carrozable.

Todos y cada uno de los elementos expuestos identificados han sido valorados económicamente. Estos y se detallan en el Estudio.

### 3.5 3.5 Modelamiento de la Amenaza

La **topografía** del área crítica fue obtenida en base a distintas fuentes y distintos formatos, usando desde imágenes satelitales hasta curvas de nivel cada 0.5 m (que comprende 3.5 Km con coordenada inicial 273038.5 E 867945.10 N y coordenada final de 270140.11 E, 8678441.52N; escala 1/5000 obtenidas del proyecto “Construcción de defensas ribereñas, en la margen izquierda del río Chillón-2008).

La **simulación hidráulica** elaborada en este Ítem tiene como objetivo de determinar la amenaza en este sector del río Chillón. La amenaza ha sido modelada en mapas de inundación con periodo de retorno de 25, 50, 100 y 500 años y representada de dos formas, la primera asocia la amenaza con altura de agua y a la segunda con la velocidad de flujo (ver figura 8). Ambos criterios pueden ser usados como mapa de amenaza de manera independiente, sin embargo el Estudio uso una combinación de ellos. Se usó un modelo hidráulico bidimensional para el tránsito de la crecida FLO-2D con interface en ARC-GIS.

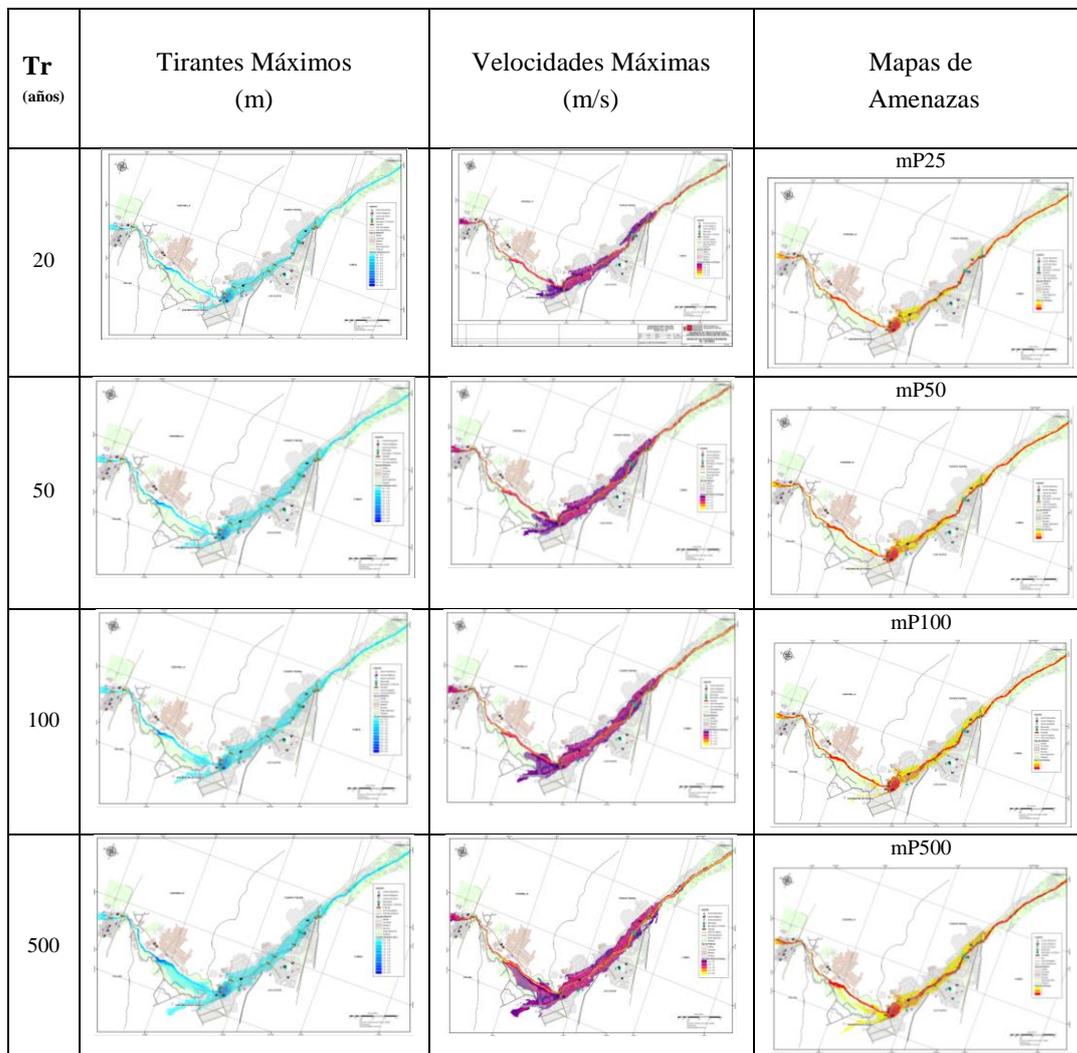


Figura 10. Mapas de Peligros o Amenazas (según periodo de retorno)

### 3.6 Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de un elemento está en función del peligro, es decir para determinar el nivel de vulnerabilidad de cada una de las viviendas frente a inundaciones se tiene de definir las características de las vivienda que las hacen susceptibles a la presencia de agua. En tal sentido, se ha definido 4 criterios indicados a continuación. Luego se procedió a realizar la valoración semi-cuantitativas de cada uno de ellos en base a una escala del 1 al 4.

- **Criterio 1. Según el tipo de vivienda:** *las viviendas construidas con materiales susceptibles al agua y de menor altura con respecto al nivel del sueles tendrán mayores niveles de vulnerabilidad.*  
Ejemplo: Una vivienda hecha de adobe y madera se les asignará valores de vulnerabilidad Alta, a diferencia de las construcciones de concreto de 1, 2 a más pisos las cuales se les asignará valores de menor vulnerabilidad.
- **Criterio 2. Según la cercanía al cauce:** *Las viviendas más cercanas al cauce tendrán un mayor valor de vulnerabilidad.*  
Ejemplo, Aquellas viviendas que se encuentren a menos de 100 m del eje del cauce del río se les asignará un valor de “Muy Alta Vulnerabilidad”. De igual forma, aquellas viviendas que se encuentran alejadas y superan los 500 m de longitud respecto al cauce, lo clasificamos como una vulnerabilidad Baja.
- **Criterio 3. Según la diferencia de cotas respecto al cauce:** *Las viviendas ubicadas a más altura sobre el cauce del rio tendrá menor valor de vulnerabilidad.*  
Ejemplo: Las viviendas que se encuentren en una cota igual o menor a la cota del cauce tendrán un alto valor de Vulnerabilidad Muy Alta (4), mientras que las que se encuentren en la parte alta por encima de los 10m con respecto al cauce, se les asignará u un nivel bajo de vulnerabilidad (valor 1).
- **Criterio 4. Según la presencia de obra de protección:** *las viviendas protegidas por una obra de defensa ribereña serán menos vulnerables.*  
Ejemplo: las viviendas cercanas a los tramos que no tengan obra de protección son clasificadas con una vulnerabilidad Muy Alta. Finalmente, un cauce con muro de concreto tiene vulnerabilidad Baja.

Peso	Código	Criterio	NIVEL DE EXPOSICIÓN			
			VB	VM	VA	VMA
			1	2	3	4
20%	TDV	Tipo de vivienda	Concreto más de 2 pisos	Concreto de 2 pisos	Concreto de 1 piso	Adobe y Madera
60%	CAC	Cercanía al cauce del río	Más de 500 m	Entre 200 y 500 m	Entre 100 y 200 m	Menor a 100 m
10%	DCC	Diferencia de cota respecto al cauce	Por encima de 10 m	Entre 3 y 10 m por encima del cauce	Por encima de 3 m del cauce	Al mismo nivel y/o por debajo del cauce
10%	POP	Presencia de obra de protección	Muro de concreto	Muro de gaviones	Enrocado	No tiene

Tabla 4. Criterio de Exposición Física Urbana

Para la definición del “Índice de Exposición Física Urbana” (o también podríamos llamar el índice de vulnerabilidad total), se empleará la siguiente ecuación con sus respectivos pesos de incidencia

$$\text{Exposición Física Urbana (EFU)} = 20\% * \text{TDV} + 60\% * \text{CAC} + 10\% * \text{DCC} + 10\% * \text{POP}$$

Más aun, al usar mapas temáticos y en base al algebra de mapas, la fórmula queda así:

$$mEFU = 20\% * mTDV + 60\% * mCAC + 10\% * mDCC + 10\% * mPOP$$

Dónde: *mEFU* es el mapa de la Exposición Física Urbana, *mTDV* es el mapa de Tipo de vivienda, *mCAC* es el Mapa de Cercanía al cauce del río, *mDCC* es el mapa de Diferencia de cota respecto al cauce y *mPOP* es el mapa de la Presencia de obra de protección.

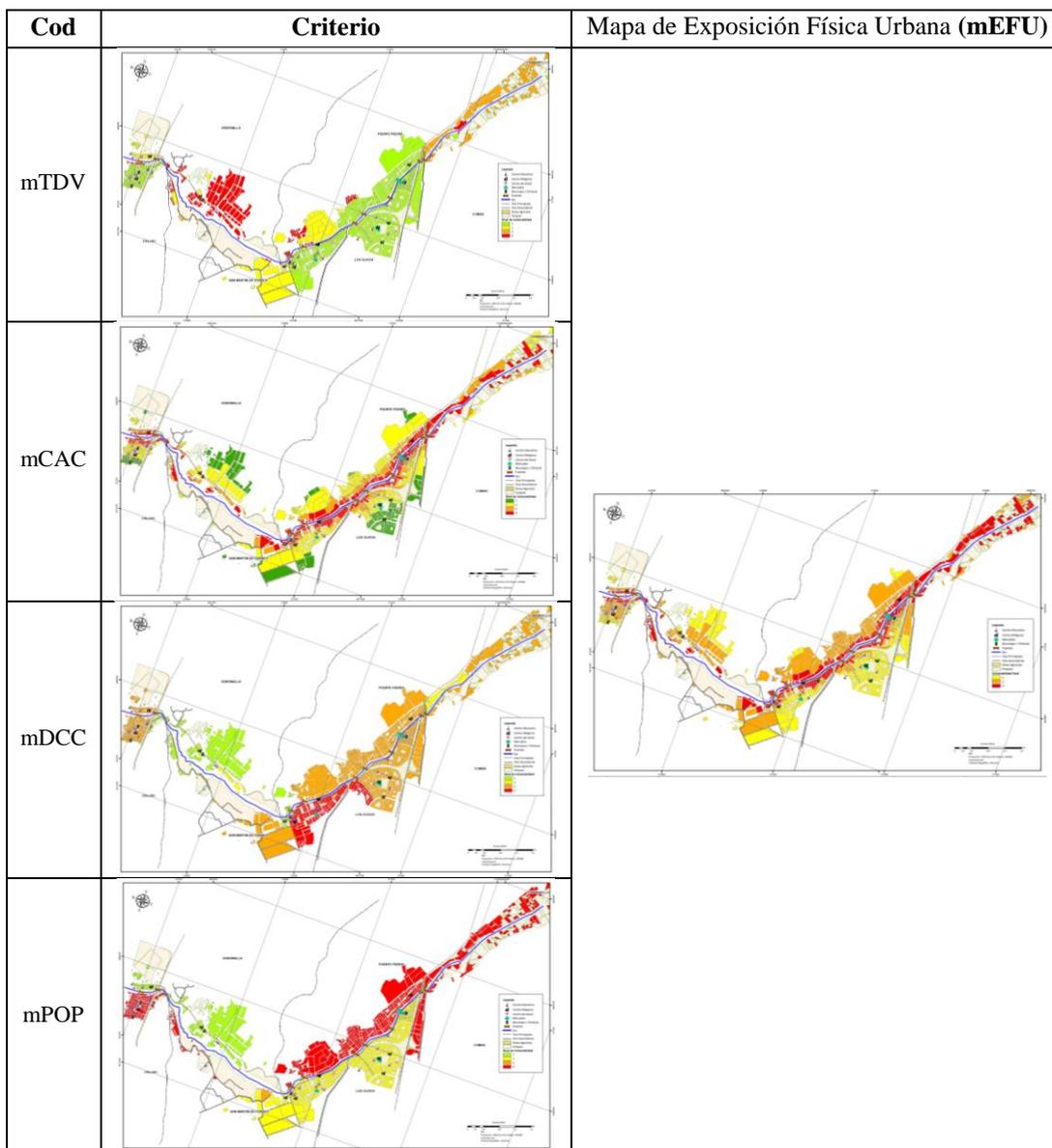


Figura 11. Procedimiento para obtener el Mapa de Exposición Física Urbana

Para el área agrícola se ha definido dos características que las hacen susceptibles a las inundaciones: Cercanía al cauce del río y Presencia de obra de protección. Luego se procedió a realizar la valoración semi-cuantitativas de cada uno de ellos en base a una escala del 1 al 4.

Peso	Código	Criterio	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
			VB	VM	VA	VMA
			1	2	3	4
70%	CAC	Cercanía al cauce del río	Más de 500 m	Entre 200 y 500 m	Entre 100 y 200 m	Menor a 100 m
30%	POP	Presencia de obra de protección	Muro de concreto	Muro de gaviones	Enrocado	No tiene

Para la definición del “nivel de vulnerabilidad total de un área agrícola” o llamado en este documento “Índice de Exposición Física Agrícola”, se empleará la siguiente ecuación con sus respectivos pesos de incidencia

$$\text{Exposición Física Agrícola} = 70\% * \text{CAC} + 30\% * \text{POP}$$

De manera, para áreas grandes, se vio conveniente usar el álgebra de mapas y los sistemas de información geográfica en base a la fórmula:

$$mEFA = 20\% * mCAC + 60\% * mCPOP$$

Dónde: mEFA es Mapa de la Exposición Física Agrícola, mCAC es el mapa de Cercanía al cauce del río y mPOP es el mapa de Presencia de obra de protección

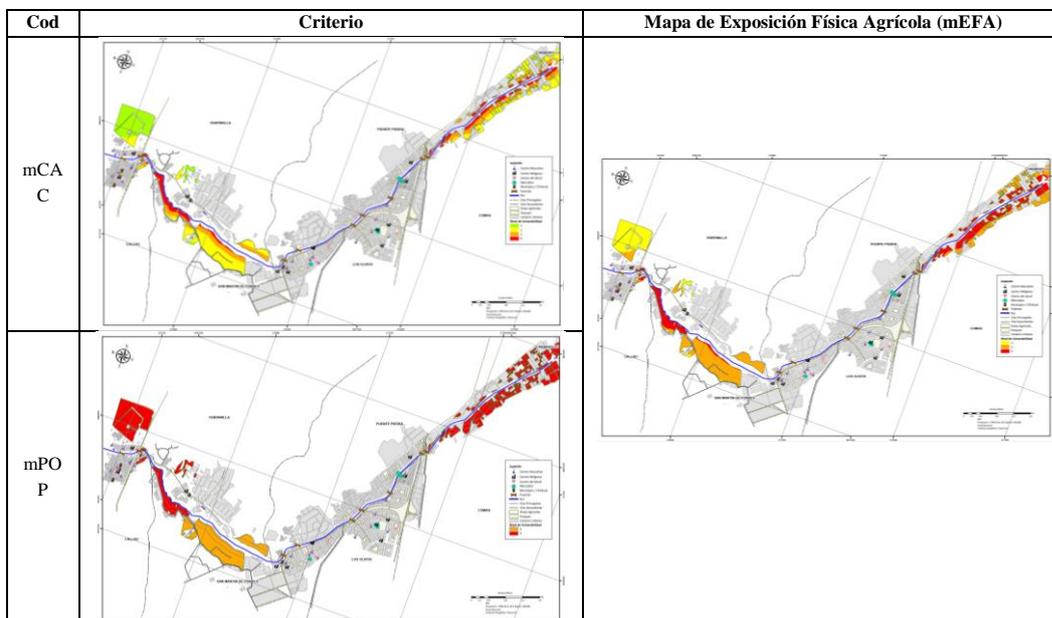


Figura 11. Procedimiento para obtener el Mapa de Exposición Física agrícola

### 3.7 Estimación del riesgo por inundación

#### Método cualitativo para hallar e riesgo de desastres

Una vez determinado los mapas de Peligros mediante la obtención de:

- Mapa de peligros de inundación asociados a periodo de retorno de 20años:(mP20)
- Mapa de peligros de inundación asociados a periodo de retorno de 50años :(mP50)
- Mapa de peligros de inundación asociados a periodo de retorno de 100años:(mP100)
- Mapa de peligros de inundación asociados a periodo de retorno de 500 años:(mpP200)

Y las vulnerabilidades mediante la obtención de:

- Mapa de Exposición física Urbana: mEFU
- Mapa de Exposición física Agrícola: mEFA

Se procede a calcular el riesgo (R) siguiendo el concepto de que  $R=P*V$  y que en forma práctica se puede hacer usando el criterio descriptivo, el que se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad”. En la siguiente se muestra el criterio empleado para la estimación del nivel de riesgo esperado. Según la tabla, se ha designado un Riesgo Alto (8-12) coloro Rojo, Riesgo Medio (3-6) color naranja y Riesgo Bajo (1-2) color verde en base a las consideraciones técnicas de un fenómeno como la inundación. A continuación se muestran los distintos mapas de riesgos generados:

Riesgo		Nivel de Amenaza		
		1	2	3
Nivel de Vulnerabilidad	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9
	4	4	8	12

El resultado de aplicar este análisis a los diferentes mapas nos permite obtener:

- Mapa de Riesgo de las EFU asociadas a inundaciones con Periodo de retronó de 20 años: mr20,
  - Mapa de Riesgo de las EFU asociadas a inundaciones con Periodo de retronó de 20 años: mr20,
  - Mapa de riesgo de las EFU asociadas a inundaciones con periodo de retronó de 20 años: mr20,
  - Mapa de Riesgo de las EFU asociadas a inundaciones con Periodo de retronó de 20 años: mr20,
- Ver figura 13.

El estudio realiza este análisis usando todos los mapas de peligros pero solo cruzándolos con el Mapa de exposición Física Urbana ya que este mapa nos brinda información de la vivienda que es el elemento con mayor presencia en toda el área. No obstante, se deja claro que el mismo análisis se puede hacer usando el mapa Exposición Urbana agrícola.

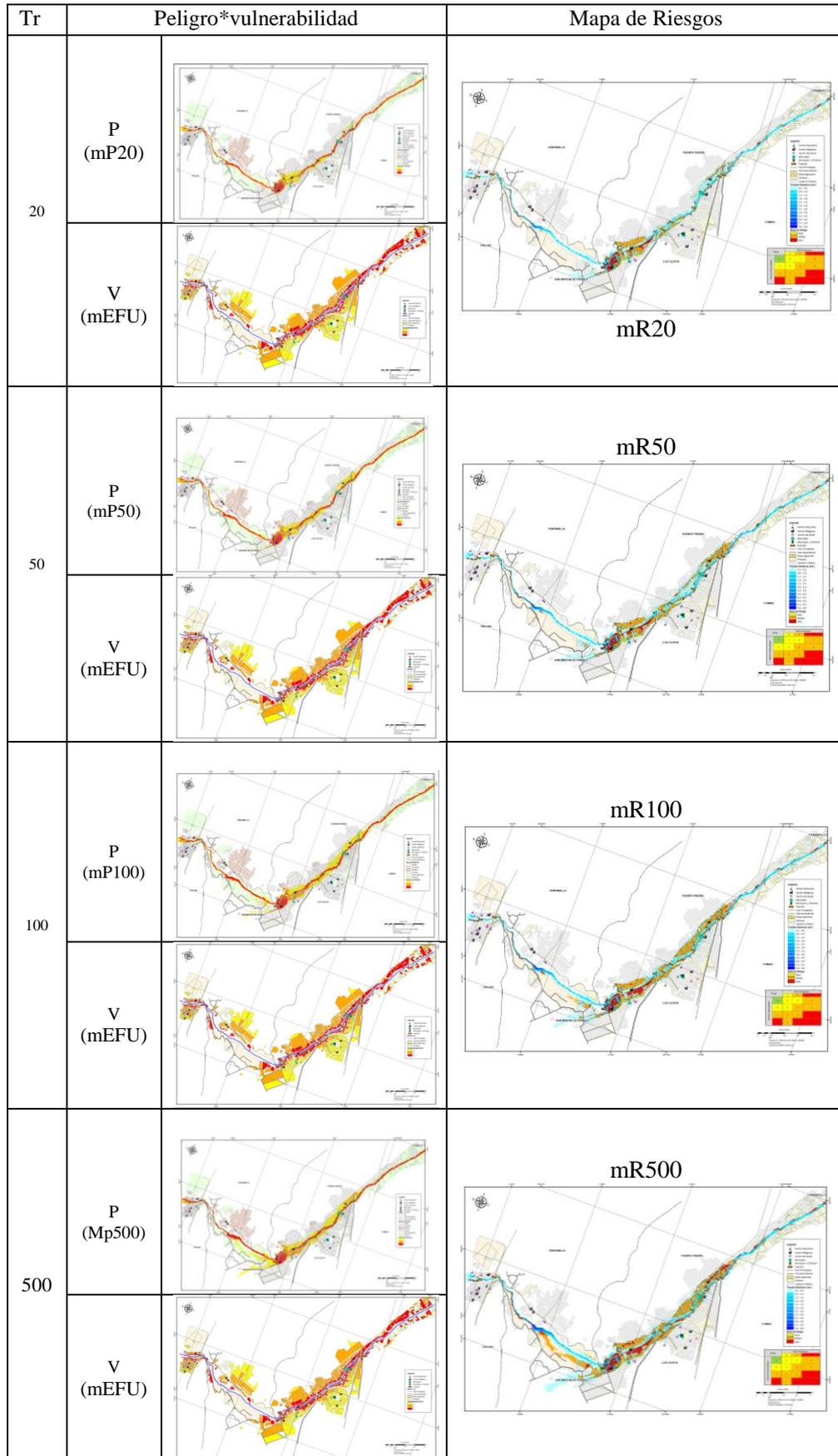


Figura 13. Mapas de Riesgos

## Método cuantitativo para hallar e riesgo de desastres

**Metodología.**-A medida que la ciencia y la tecnología se desarrollan, aparecen nuevos enfoques como el análisis de riesgo probabilístico cuyo enfoque es básicamente cuantitativo- probabilístico. Estas nuevas tendencias metodológicas, han sido practicadas por las empresas aseguradoras y actualmente con el apoyo de Banco Mundial (BM) y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se vienen difundiendo en la gestión pública.

**Curvas de vulnerabilidad.** Lo particular de esta metodología es expresar la vulnerabilidad en base a curvas que definen las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico, para lo cual es necesario definir las curvas que relacionan el valor esperado del daño de algún elemento específico con la intensidad del fenómeno amenazante.

Diseñar las funciones de vulnerabilidad física ante eventos de inundación para cada tipo de elemento (viviendas, áreas agrícolas, Vías, Áreas verdes y Unidades sociales como hospitales, colegios, iglesias, entre otros) requiere conocer ampliamente las características del elemento a inundarse, de tal manera que pueda diseñar una curva que en el eje vertical muestre como evoluciona el daño (0 no hay daño y 1 daño total) en función de cómo evoluciona el peligro como la “altura de agua de la inundación” (eje horizontal) (ve figura 14). Este porcentaje del daño individual de cada vivienda se puede expresar en unidades monetarias (como lo muestra el ejemplo:  $15000 \times 0.3 = 45000$ ).

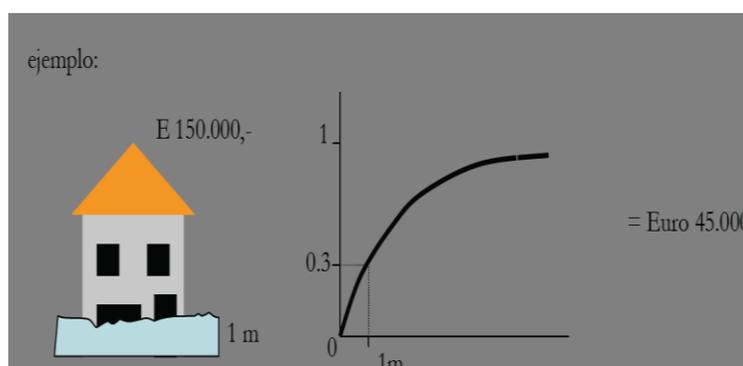


Figura 14. Mapas de Riesgos

Extrapolado este análisis individual a una región territorial amplia, amerita encontrar la curva correspondiente para cada vivienda, para finalmente diseñar una sola gráfica que muestre en el eje vertical la suma de todo los daños de las viviendas (*Mean Damage Ratio: MDR*) ubicadas en el área de estudio. Ejemplos buenos de estas gráficas se muestran en la figura 16.

Finalmente, las curvas de vulnerabilidad serán empleadas en la estimación del riesgo mediante el cálculo de la pérdida máxima probable (PMP) según Figura 15.

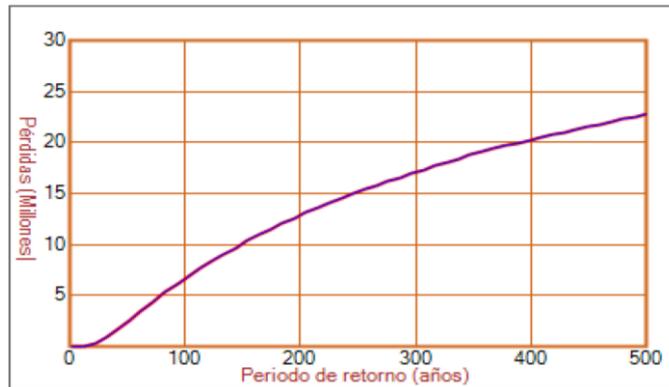
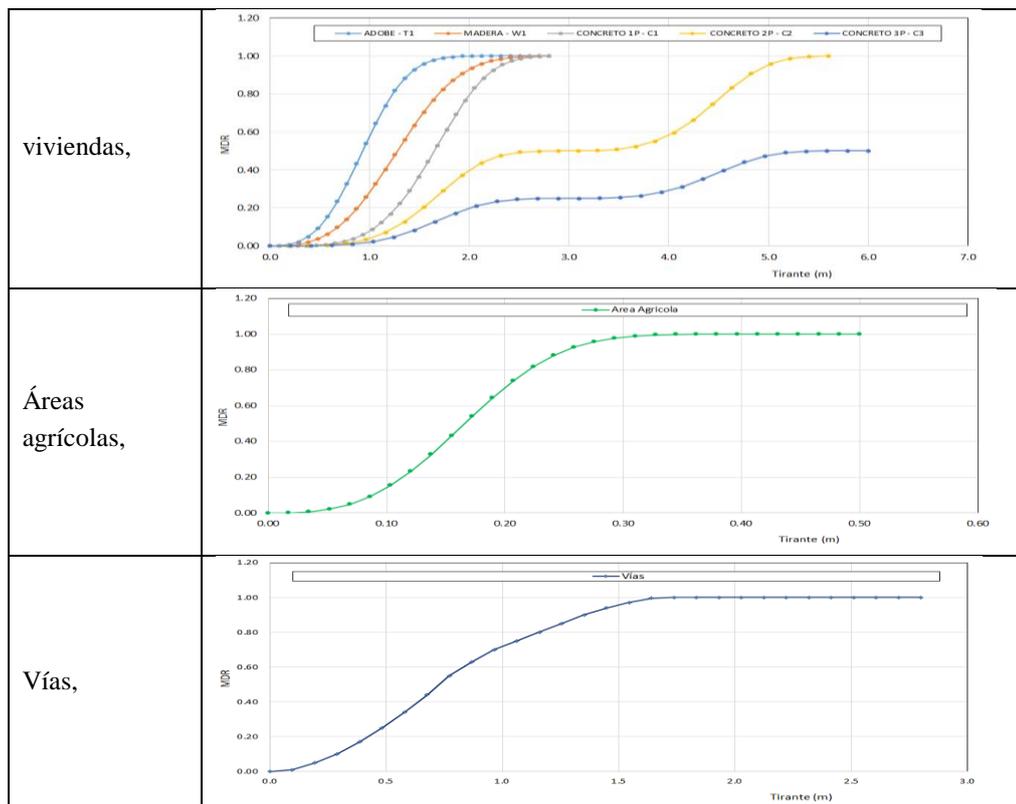


Figura 15. Cuva típica de Perdidas Máximas probables

**En el Estudio,** La generación de funciones de vulnerabilidad de las viviendas se realizó en el Modulo de Vulnerabilidad del CAPRA. Las curvas correspondientes a área agrícola, vías, áreas verdes y unidades sociales fueron planteadas por el Consultor.

A continuación se muestran las funciones de vulnerabilidad representadas gráficamente como el **porcentaje de daño MRD (Eje vertical) vs. Tirante máximo (E. horizontal).**



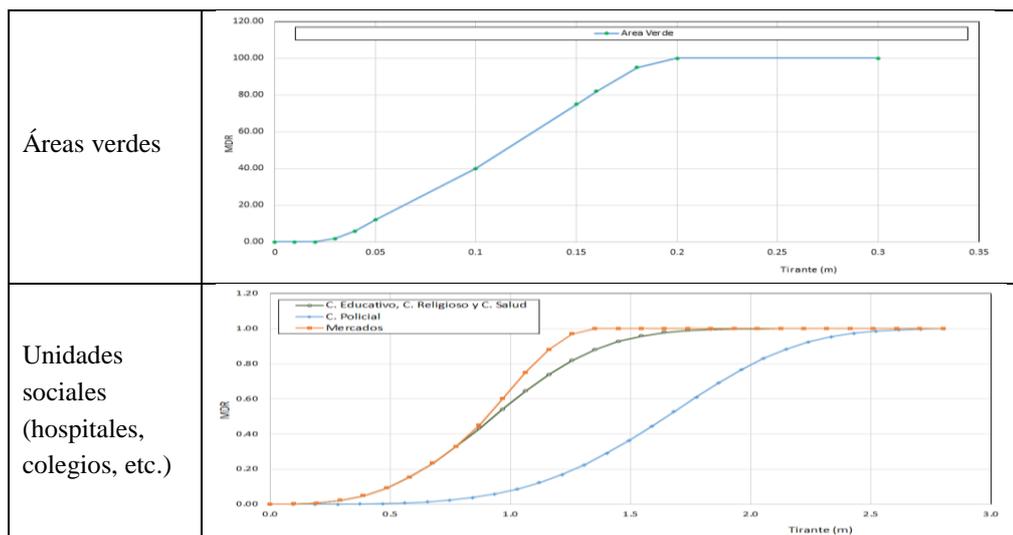


Figura 16. Funciones de vulnerabilidad

De las curvas de vulnerabilidad se obtiene el costo de daño económico por período de retorno para los elementos expuestos:

TR (años)	Por Viviendas (Nuevos Soles)	Por Áreas Agrícolas (Nuevos Soles)
20	S/. 63,765,067.84	S/. 302,241.40
50	S/. 67,673,742.86	S/. 328,530.82
100	S/. 71,759,388.97	S/. 358,049.88
500	S/. 81,674,598.15	S/. 491,957.86

**Cuadro 4** Costos de pérdida por periodo de retorno Viviendas y agrícola

De lo cual podemos plantear las siguientes ecuaciones que muestra la variación del daño económico (PMP) en función del período de retorno (TR).

Pérdida máxima probable (PMP) por viviendas, la ecuación es de:

$$PMP = 5.6455 \ln (TR) + 46.198$$

Pérdida máxima probable (PMP) por áreas agrícolas, la ecuación es de:

$$PMP = 60318 \ln (TR) + 102873$$

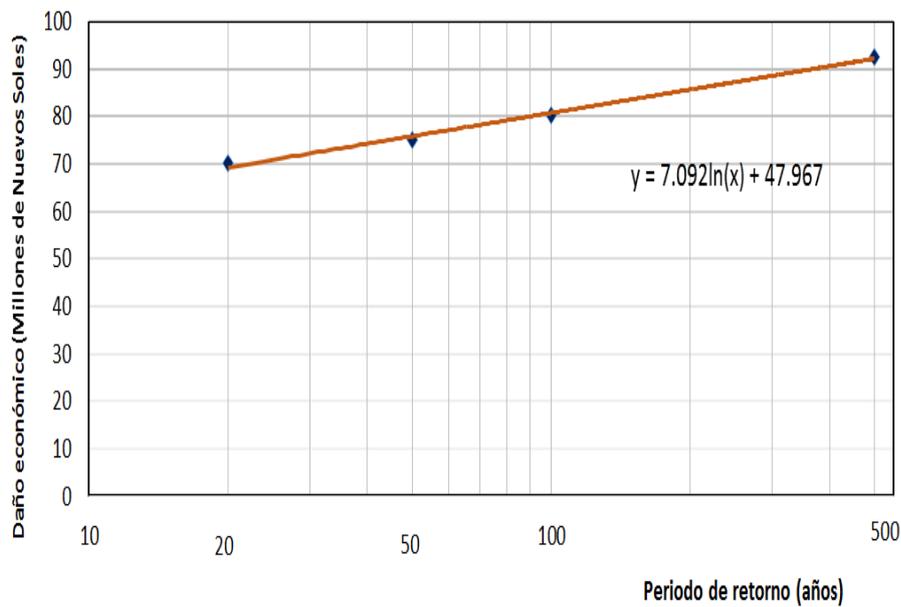
No se muestran los cuadros de daños, ni sus curvas correspondientes a Áreas Verdes, Vías y Unidades Sociales pero aclaramos que en todas ellas se hallaron, y serán considerados en los daños totales que a continuación se detallan.

Finalmente, se encontró la Variación del Daño Económico Total (incluyendo TODOS los elementos expuestos) en función del período de retorno (TR). Para el caso de la pérdida máxima probable (PMP) total la ecuación es de:

Tr (años)	Nuevo Soles (S/.)				TOTAL (Millones de Nuevos Soles)
	Monto por Viviendas	Monto por Áreas Agrícolas	Monto por Unidades Sociales	Monto por Parques y Vías	
20	S/. 63,765,067.84	S/. 302,241.40	S/. 1,227,750.00	S/. 4,664,534.34	S/. 69.96
50	S/. 67,673,742.86	S/. 328,530.82	S/. 1,364,500.00	S/. 5,627,822.51	S/. 74.99
100	S/. 71,759,388.97	S/. 358,049.88	S/. 1,453,500.00	S/. 6,588,530.20	S/. 80.16
500	S/. 81,674,598.15	S/. 491,957.86	S/. 1,638,000.00	S/. 8,674,461.04	S/. 92.48

**Cuadro 5** Costos de pérdida total por periodo de retorno

$$PMP = 7.092 \ln(TR) + 47.967$$



**Figura 17.** Daño económico total generado para el tramo del río Chillón

## 4 USO DEL ESTUDIO

### En la Planificación Territorial

El Estudio provee información acerca de: (a) la probabilidad de ocurrencia, intensidad y su distribución geográfica; (c) las características del impacto posible sobre las personas y los elementos expuestos, (d) la estimación de los posibles impactos económicos directos e indirectos y (e) las posibilidades de mitigación mediante medidas estructurales y no estructurales. La cual debe usarse y/o aplicarse en la planificación territorial y en la gestión de riesgos de desastres.

La Planificación territorial intenta ubicar a la población, la infraestructura física y las actividades económicas en zonas aptas para cada tipo de actividad, de acuerdo con las capacidades y características del territorio con la finalidad de orientar y regular el uso y la ocupación del suelo, para alcanzar un desarrollo económico y social. La gestión del riesgo de desastres por su parte busca manejar de manera prospectiva, correctiva y reactiva las situaciones de una probable ocurrencia de daños en la población o sus medios de vida a consecuencia de sus vulnerabilidades frente a un peligro específico.

En este marco, a continuación indicamos las recomendaciones generales:

- Proponer normativa general y específica que regule el uso y ocupación del suelo.
- Los sectores deberán generar normativa sectorial, para proteger la infraestructura esencial salud y educación edemas de agua, saneamiento, energía y comunicaciones. Pare ello, la presente guía da luces de cómo realizar estudios de riego probabilísticos y de cómo proteger el valor expuesto de cada sector.
- Estimar el probable daño en sus patrimonio es base a estudios de riesgos como este poniendo especial atención en buscar estrategia con participación privada para el aseguramiento de las viviendas.
- Promover la elaboración de Estudio de riesgos de desastres los cuales deberán ser elaborados con rigor técnico y hasta científico para luego difundir esta información por diversos medios.
- Proponer y promover la elaboración planes específicos de prevención y reducción de riesgos de desastres, planes de atención de emergencias, planes de rehabilitación y hasta de reconstrucción.
- Promover la incorporación del aspecto “preventivo” en los planes ya existentes como el Plan de desarrollo Urbano (PDU), Plan de acondicionamiento Territorial (APT), Plan de desarrollo concertado (PDC), Plan de ordenamiento territorial (POT) entre otros.
- Elaborar Ordenanzas de carácter restrictivo para el uso del suelo considerando los niveles de peligro del territorio.
- Fortalecer el sistema de otorgamiento de licencias y permisos para desarrollo de proyectos habitacionales, teniendo en cuenta las áreas inundables que se han definido en este Estudio.

- Actualizar y mejorar los códigos de construcción los cuales deben responder a las nuevas escenas de riesgos de desastres en el marco de un prolongado silencio sísmico y del cambio climático.
- En zonas de amenaza alta de inundación, no se autoriza la localización de urbanizaciones nuevas. Tener en cuenta que las zonas de Carabayllo y demás áreas cercanas al Rio Chillón viene experimentando una fuerte presión urbanística.
- En zonas de amenaza alta de inundación, no se autoriza la consolidación de las urbanizaciones existentes, hasta tanto no se construyan, si es factible, las obras de mitigación necesarias. Ello tuvo como consecuencia que un gran número de barrios de origen informal, ubicados en estas zonas no pudieran ser beneficiarios de obras de infraestructura urbana nueva (por ejemplo, redes de acueductos y alcantarillado).
- En aquellas áreas en donde el riesgo es “no mitigable”, las familias ingresan al programa de reasentamiento. Las áreas recuperadas luego del reasentamiento son incorporadas al POT como zonas de protección (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003).
- Definir programas y proyectos para la reducción de riesgo de desastres por inundaciones tales como defensas ribereñas, reforestación de la parte alta de la cuenca, implementación de un sistema de alerta temprana, capacitación a pobladores en temas de preparación y atención de emergencias.
- Desarrollar la limpieza del cauce como parte de una actividad programática y periódica.

A continuación indicamos las recomendaciones específicas para el área de estudio, en base al “Perfil de riesgos por inundaciones en la cuenca del rio Chillón”

- Prohibir la ocupación urbana con fines residenciales en las áreas calificadas como de “Peligro Muy Alto” y restringir la habitabilidad de las calificadas como de “Peligro Alto” según mapas.
- No autorizar ni permitir la ejecución de obras de construcciones nuevas ni la ampliación de las existentes en las áreas calificadas de “Peligro Muy Alto”.
- No permitir la ubicación de equipamientos urbanos en áreas consideradas de “Peligro Muy Alto”, principalmente aquellos necesarios para la atención de casos de emergencia o de seguridad de la población en general.
- En áreas de “Peligro Muy Alto”, impulsar programas de reasentamiento y generar marcos normativos que permitan limitar la ocupación residencial y establecer cambio de uso del suelo, considerándolo como área de uso especial.
- Identificación y ejecución de medidas de mitigaciones estructurales y no estructurales en zonas de “Alto Peligro”.
- Controlar la ubicación de nuevas habilitaciones en zona no urbanizable, en los suelos de rellenos, licuables, hidromórficos, etc.; sobre las cuales queda terminante prohibido la construcción de edificaciones para fines urbanos.

- Las obras de ingeniería (vías, puentes, tanques, lozas, estructura hidráulica, redes de agua, desagüe y gas) deberán tomar en cuenta los tipos de suelo, las condiciones de peligro, áreas de depósitos antropogénicos; de manera que sobre estas áreas no se desarrolle ninguna infraestructura.
- Los sectores calificados de Peligro Muy Alto no debe destinarse al uso para habilitaciones urbanas por no presentar condiciones de seguridad física, su uso será para Protección Ecológica.
- Las áreas para recreación pública, deben estar debidamente ubicados, de manera tal que permitan un uso funcional y sirvan como área de refugio en caso de producirse un desastre.
- Toda ocupación en el territorio se debe dar a través de habilitaciones urbanas, la misma que se debe diseñar fundamentado en las condiciones de suelo, los de mayor capacidad portante destinarlo a equipamientos esenciales.
- Respetar las franjas marginales de los ríos, bordes costeros, derechos de vías y áreas de servidumbre.

### **En la Protección Financiera**

Creemos que el mayor potencial del “Perfil de riesgo por inundación de la cuenca del río Chillón” elaborado, radica en sus aplicaciones en las estrategia de protección financiera. Hoy en día, los estudios probabilísticos de riesgo como el presente, son cada vez más utilizados para evaluar el impacto potencial de los desastres sobre la economía y diseñar estrategias de protección financiera. Sin embargo, aún no son de uso masivo por los gobiernos nacionales y menos por los gobiernos locales, en tal sentido esta guía planteara algunas recomendaciones generales usando, a manera de ejemplo, casos puntuales pero exitosos (como el de Bogotá y de Manizales) para que técnicos y autoridades del estado puedan encontrar algunas luces para avanzar en este tema tan importante.

Una estrategia de protección financiera debe permitir la movilización rápida de recursos en caso de un desastre mientras protege el balance fiscal. Tal estrategia combina por lo general varias opciones para financiar la recuperación después de la ocurrencia del desastre. Estas opciones, o instrumentos financieros, incluyen desde fondos de reserva, impuestos especiales, créditos contingentes hasta diferentes alternativas de transferencia del riesgo que ofrece el mercado financiero, tales como los seguros paramétricos o los bonos de catástrofe (Ghesquiere y Mahul, 2010).

A continuación se detallan algunas estrategias en base a experiencias importantes en relación al uso de los estudio de riesgo probabilístico para la protección financiera:

#### *Protección financiera a través de seguros y reaseguros:*

Una de las opciones que tienen los gobiernos para reducir la *exposición financiera* a los desastres es promover el uso del “seguro catastrófico” por parte de los gobiernos locales y regionales y del sector privado, en tanto que ello contribuye a reducir su pasivo contingente implícito.

Es claro que una amplia cobertura de seguro catastrófico en el sector vivienda permitiría reducir las obligaciones del Estado en caso de desastre. Por tomar un ejemplo conocido como es el caso de Pisco en el 2007, si las viviendas de Pisco hubieran estado aseguradas por sus propietarios tal como se aseguraría un auto, las firmas aseguradoras y reaseguradoras habría cubierto los gastos de reconstrucción de las viviendas, que es un problema hasta el día de hoy.

El Estudio aplica la misma metodología que es aplicada en por las compañías de seguros y por consiguiente permiten a las autoridades verificar o corroborar que estas sean equitativo, razonable y justas en el supuesto que la institución pública haya asegurado algún bien.

En Colombia, un estudio del riesgo de las edificaciones públicas y privadas de Bogotá que incluye un cuidadoso inventario de los bienes fiscales de la ciudad, incluido un avalúo catastral de dichos inmuebles que refleje su valor comercial o al menos el de reposición (o perfil de exposición) basados en una metodología parecida a la aplicada en el presente estudio, ha permitido proponer varias alternativas de protección financiera para la ciudad, que van desde la expedición de una póliza de seguro única que cubra todas las edificaciones públicas, hasta la propuesta de pólizas colectivas de inmuebles privados, la creación de compañías cautivas para el reaseguramiento y diferentes opciones de bonos de catástrofe factibles desde el punto de vista comercial.

#### *Aseguramiento de viviendas*

Entre 1999 y 2004 la ciudad de Manizales en la búsqueda de proteger los estratos de población más pobres y con el objeto de incentivar el aseguramiento masivo de los inmuebles privados ante desastres, facilitó la puesta en marcha de una póliza colectiva de seguros de carácter voluntario. Ese cobro se realizaba utilizando la factura del impuesto predial unificado.

El atractivo y beneficio social del seguro, era que una vez que el 30% del número de predios asegurables del área municipal (es decir, aquellos que pagan el impuesto predial) hubieran pagado la prima correspondiente, la protección del seguro se extendía a aquellos predios que por su valor y estrato estaban exentos de dicho gravamen. Los predios exentos correspondían a la población de más bajos recursos. La posibilidad de cubrir los estratos más pobres y el promover, en general, la cultura del seguro, hizo que esta figura fuera de especial interés para las entidades del Comité Local para la Prevención, Atención y Recuperación de Desastres.

En el Perú, tenemos un Estudio elaborado por Johana Kamiche de la Universidad del Pacifico ha explorado las posibilidades de aseguramiento para las viviendas de los sectores más pobres de Lima, llegando a la conclusión que la opción que más se adecua a nuestra realidad son los microseguros, además es dele estudio se recomienda la participación activa de la Superintendencia de Banca y Seguros así como del Ministerio de Vivienda, Municipios y de las empresas aseguradoras como ofertantes de este innovador producto.

#### *Aseguramiento de la infraestructura de líneas vitales*

La infraestructura constituye la columna vertebral de las sociedades y sirve como cimiento de la vida económica, social y cultural de las comunidades y países. Una infraestructura resiliente y confiable es esencial para el transporte de bienes y personas, el suministro de energía y agua limpia, para el comercio, la comunicación y la respuesta de emergencia ante los desastres. Aun así los riesgos de Desastres y el cambio climático para la infraestructura a menudo no se toman completamente en cuenta cuando se les planifica, diseña y construye. Por consiguiente, existe en la mayoría de ciudades altos niveles de riesgos de la infraestructura, y si la infraestructura está en riesgo, entonces el encomio y le desarrollo o está también. (USAID-2013).

Por ello la importancia de estudio de riesgos probabilísticos para elementos de transporte, conducción de agua y plantas de tratamiento, generación y transmisión de energía, comunicaciones, transmisión y distribución de gas natural y otros, orientados al diseño de estrategias de protección financiera, mediante la cuantificación apropiada de las pérdidas futuras y la generación de esquemas de retención y transferencia eficaces. Por supuesto, de manera complementaria, con base en los estudios de riesgo, las empresas públicas o privadas o público-privadas, prestadoras de estos servicios deben elaborar planes de reducción y mitigación del riesgo (con el reforzamiento o remplazo de componentes críticos del sistema).

En base al estudio en el Chillón, se pueden hacer estudios para corroborar los riesgos encontrados proel Estudio y iniciar un proyecto Piloto con algún tramo o sector de la infraestructura a evaluar los resultados con el fin de replicarlos en otros áreas del distrito.

### ***Reflexiones Finales***

Tomar conciencia sobre la importancia de diversificar las medidas de protección financiera en bienes fiscales y en componentes de infraestructura vitales.

Definir la responsabilidad fiscal de la administración de la ciudad, como ente territorial del Estado, para poder definir el escenario de protección financiera.

Realizar evaluaciones de riesgo para cuantificar el pasivo contingente del gobierno.

Desarrollar programas de gestión de activos públicos existentes, que permitan mantener un Inventario actualizado, debidamente valorado y con una adecuada calificación de vulnerabilidad, con base en lo cual se puedan cuantificar las necesidades de recursos en atención de emergencias, recuperación y reconstrucción.

Evaluar los parámetros requeridos para plantear un esquema balanceado de retención y transferencia del riesgo para negociar con el sector asegurador-reasegurador, contratos de transferencia para los diferentes sistemas, explorando de manera simultánea otros instrumentos diferentes al seguro tradicional.