



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

# PLAN DE CAPACITACION EN GESTION DE RIESGO DE DESASTRE Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

## BLOQUE 2 EVALUACION DE RIESGO DESASTRES

Caso de estudio:

EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA PELIGROSIDAD Y LA VULNERABILIDAD FRENTE A  
DESASTRES NATURALES BASADOS EN  
PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TRUJILLO (PERÚ)

### CAPITULO 6 Riesgos Hidrológicos

DIRECCIÓN GENERAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

MINAM

2014

Presentación:

Mg. Ing. Eden Atalaya Haro

[eatalaya@minam.gob.pe](mailto:eatalaya@minam.gob.pe)

[edenhar@hotmail.com](mailto:edenhar@hotmail.com)

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



PERÚ

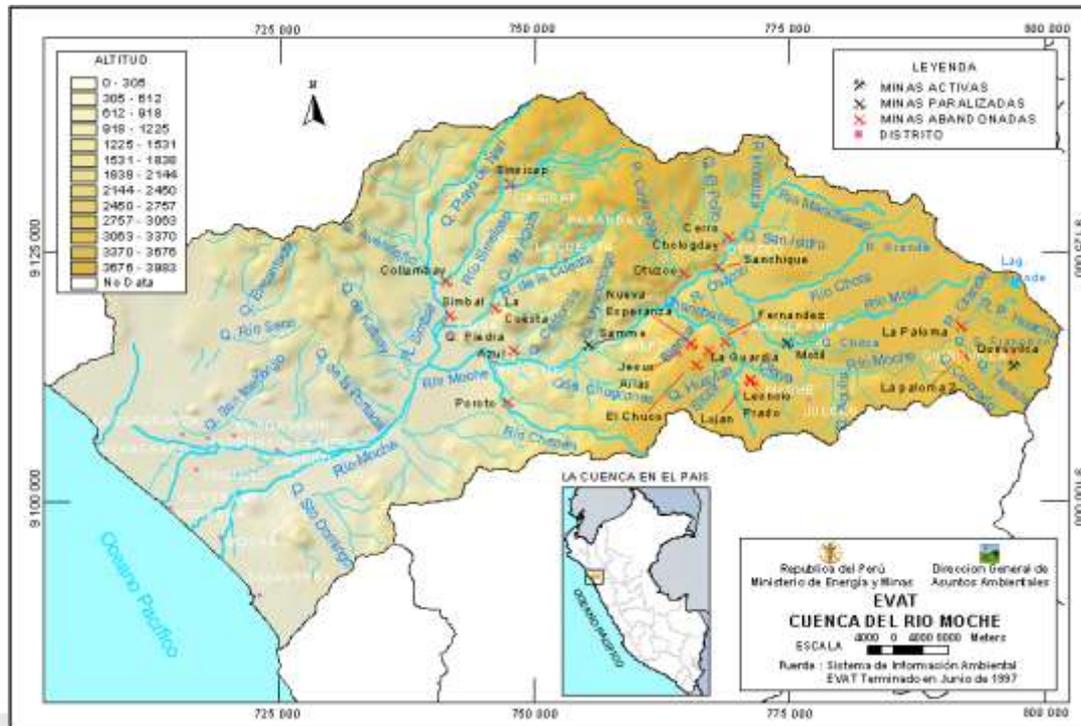
Ministerio  
del Ambiente

# 11.1 Descripción del área de estudio



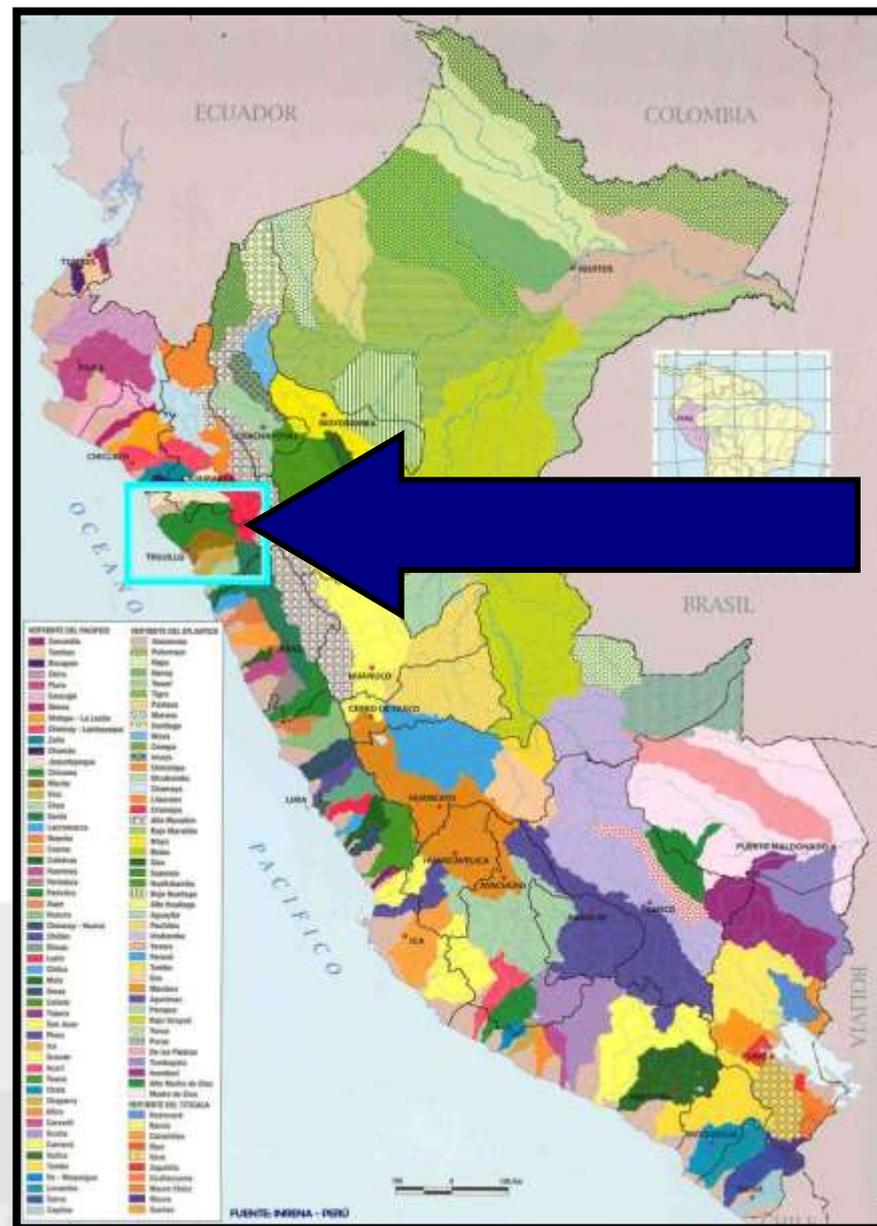
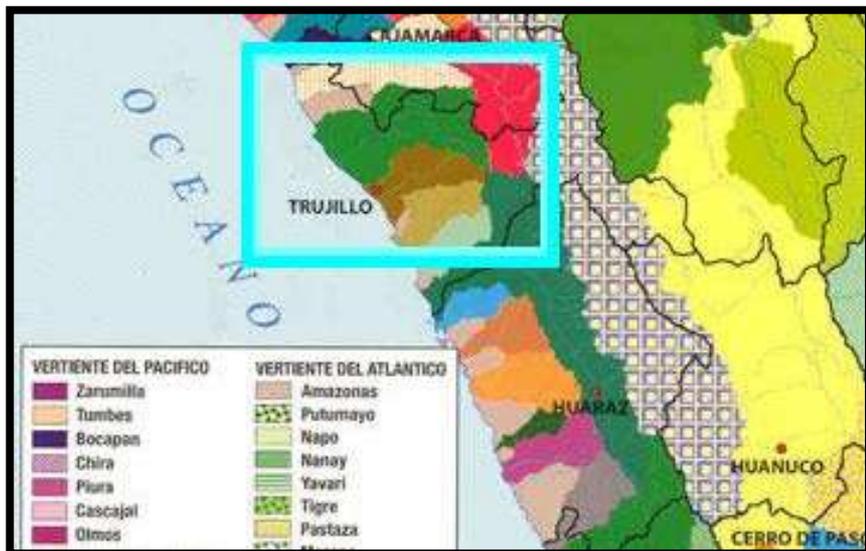
## 11.1 Descripción del área de estudio

- El río Moche nace en la Laguna Grande, a una altitud de 3898 m y desemboca en el Océano Pacífico, tras recorrer 102 km,
- Pendiente media de 4 %.
- Su cuenca hidrográfica, drena un área total de aproximadamente 1864 km<sup>2</sup> hasta Quirihuac, el punto situado en el tramo final donde se dispone de estación de aforo.
- El 72 % de la misma se encuentra situada a una altitud superior a 1500 m y es la que contribuye más sensiblemente a la escorrentía superficial



# CAPITULO 6. RIESGOS HIDROLOGICOS

## 11.1 Descripción del área de estudio





### 11.1 Descripción del área de estudio

Además del Moche, la zona de estudio presenta varias quebradas con superficie tributaria notablemente inferior a la del río Moche, pero que en condiciones extremas pueden aportar caudales elevados.

Se han identificado **7 quebradas principales**, en el área de estudio, el correspondiente a los municipios de El Milagro y Huanchaco, y una se sitúa en la parte alta de la ciudad de Trujillo.

La denominación de esta última es quebrada de **San Ildefonso**, mientras que el resto responde a los nombres (de norte a sur) de La Cumbre, El León, Río Seco (la unión de La Cumbre y El León), La Encantada y San Carlos.



## 11.1 Descripción del área de estudio

ID	Nombre
1	Quebrada La Cumbre
2	Quebrada El León 1
3	Quebrada El León 2
4	Quebrada La Encantada 1
5	Quebrada La Encantada 2
6	Quebrada La Encantada 3
7	Quebrada San Carlos

Quebrada	Área (km <sup>2</sup> )	Long. cauce principal (m)	Desnivel (m)	Pendiente media (m/m)
1	39.28	6370	71	0.011
2	57.26	16400	667	0.041
3	47.49	18960	1090	0.057
4	73.21	16000	1090	0.068
5	3.78	1850	103	0.056
6	4.20	2000	55	0.027
7	1.70	1000	81	0.081

### 11.1 Descripción del área de estudio

- **Sector norte.** Quebradas El León, La Cumbre, La Encantada y Río Seco, que desembocan conjuntamente en Huanchaco, tras atravesar el municipio de El Milagro
- **Sector sur.** Río Moche y zonas adyacentes
- **Sector centro.** La ciudad de Trujillo, incluyendo el barranco de San Ildefonso que vierte en sus barrios altos (zona de El Porvenir)

SECTOR	FACTORES DE RIESGO	MODELO HIDROLÓGICO	MODELO DE FLUJO
Norte (Huanchaco)	Barrancos (incluyen lluvia local).	Método racional modificado	SRH-2D
Centro (Trujillo)	Barrancos, lluvia local en la zona urbana	Método racional modificado	RFSM-EDA, SRH-2D
Sur (Moche)	Desbordamiento del río Moche	Análisis de extremos de la serie histórica de aforos	SRH-2D



### 11.1 Descripción del área de estudio

La zona de estudio presenta, un clima árido con escasas precipitaciones anuales, y éstas muy ligadas al fenómeno El Niño. Esto hace que la cantidad de eventos disponibles para calibrar modelos hidrológicos sea muy escasa....

Sólo contando con registros de lluvias y caudales muy extensos (siglos), y con discretización de minutos y kilómetros, se podría aspirar a calibrar y validar los modelos existentes...Este hecho es todavía más patente en las quebradas, donde no se dispone de ninguna fuente instrumental de datos de aforo.

#### Citando a H. Wheather

*“Las características hidrológicas de las zonas áridas presentan severos problemas para los métodos convencionales de análisis. [...]. Se requiere mucha más investigación de alto nivel, sobre todo para conocer procesos como la distribución espacial de la lluvia, y la infiltración y recarga de acuíferos a partir de flujos efímeros”.*



PERÚ

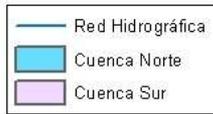
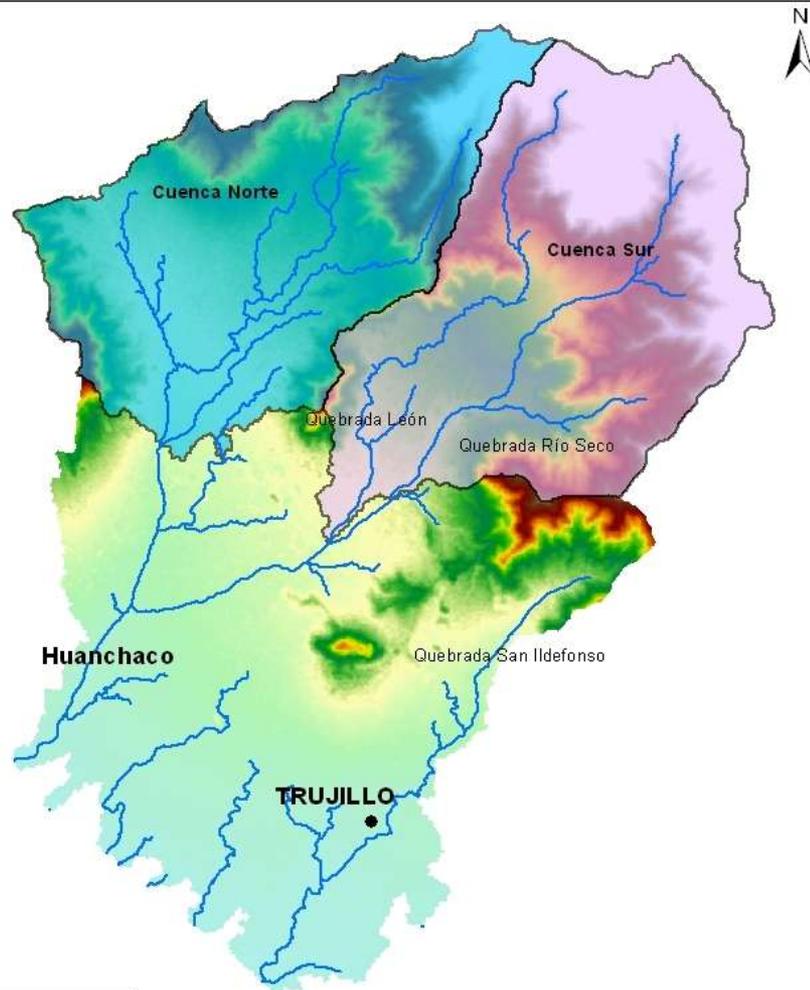
Ministerio  
del Ambiente

- Hagamos un esquema hidrográfico de la ciudad de Trujillo...



PERÚ

Ministerio del Ambiente





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## 11.2. Caracterización de los factores climáticos





### 11.2. Caracterización de los factores climáticos

En este Item se definirá los datos climáticos que se usarán en lo softwares para ver la magnitud de las inundaciones---

lluvias

caudales

Mapas de  
inundación

## 11.2. Caracterización de los factores climáticos

### 11.2.1. Caracterización de lluvias extremas.

- Precipitaciones máximas en la provincia de Trujillo tiene una clara variación espacial en sentido perpendicular a la costa, en función de la altitud (De 0mm en ñla costa a 1200mm en cabecera de cuenca)
- Mayores precipitaciones en el período comprendido entre los meses de diciembre y marzo.
- *Excepcionalmente, en períodos multianuales acíclicos, la precipitación pluvial tiene un comportamiento atípico debido al fenómeno de El Niño.*

Precipitación máxima en 24 horas (mm/día)

<b>T<sub>R</sub> (años)</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Clima presente</b>	15.9	24.0	33.1	44.2
<b>Escenario C4</b>	17.5	26.4	36.4	48.6
<b>Escenario C5</b>	19.1	28.8	39.7	53.0



## 11.2. Caracterización de los factores climáticos

### 11.2.2. Caudales de avenida en el tramo final del río Moche

$$Q_{\max} = (C_1 + C_2) \text{Log}(T) \cdot A^{m \cdot A^{-n}}$$

de:

Q<sub>max</sub>: Caudal máximo (m<sup>3</sup>/seg)

T: Periodo de retorno (años)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, m, n: Constantes para las diferentes regiones del Perú.

Caudales máximos calculados por el método de Creager  
en la cuenca del río Moche

	<b>Q25</b>	<b>Q50</b>	<b>Q100</b>	<b>Q200</b>
Caudal máximo	569.90	692.62	815.34	938.06

## 11.2. Caracterización de los factores climáticos

### 11.2.3. Caudales extremos en las quebradas.

#### Quebrada de San Ildefonso

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	10.02	32.78	52.70	76.54
Esc. C4	11.02	36.05	57.96	84.18
Esc. C5	12.03	39.33	63.25	91.85

#### Quebrada 1. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	8.10	26.50	42.61	61.88
Esc. C4	8.91	29.14	46.86	68.05
Esc. C5	9.72	31.80	51.13	74.25

#### Quebrada 2. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	9.39	30.69	49.36	71.68
Esc. C4	10.32	33.76	54.28	78.83
Esc. C5	11.26	36.83	59.23	86.02

#### Quebrada 3. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	7.95	26.01	41.83	60.74
Esc. C4	8.75	28.61	46.00	66.80
Esc. C5	9.54	31.21	50.19	72.89

### 11.2. Caracterización de los factores climáticos

#### 11.2.3. Caudales extremos en las quebradas.

Quebrada 4. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	14.92	48.78	78.45	113.92
Esc. C4	16.40	53.65	86.27	125.29
Esc. C5	17.90	58.54	94.14	136.71

Quebrada 5. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	3.72	12.17	19.56	28.41
Esc. C4	4.09	13.38	21.52	31.25
Esc. C5	4.46	14.60	23.48	34.10

Quebrada 6. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	2.96	9.70	15.59	22.64
Esc. C4	3.26	10.66	17.15	24.90
Esc. C5	3.56	11.64	18.71	27.17

Quebrada 7. Sector norte.

	PERÍODO DE RETORNO			
	10	25	50	100
Clima actual	4.26	13.93	22.40	32.54
Esc. C4	4.69	15.32	24.64	35.78
Esc. C5	5.11	16.72	26.89	39.04

Tabla 11.7. Caudales máximos de cálculo (m<sup>3</sup>/s) para las quebradas de la zona de estudio.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## **11.3 Cálculo de la peligrosidad asociada al desbordamiento del río Moche en su tramo final**



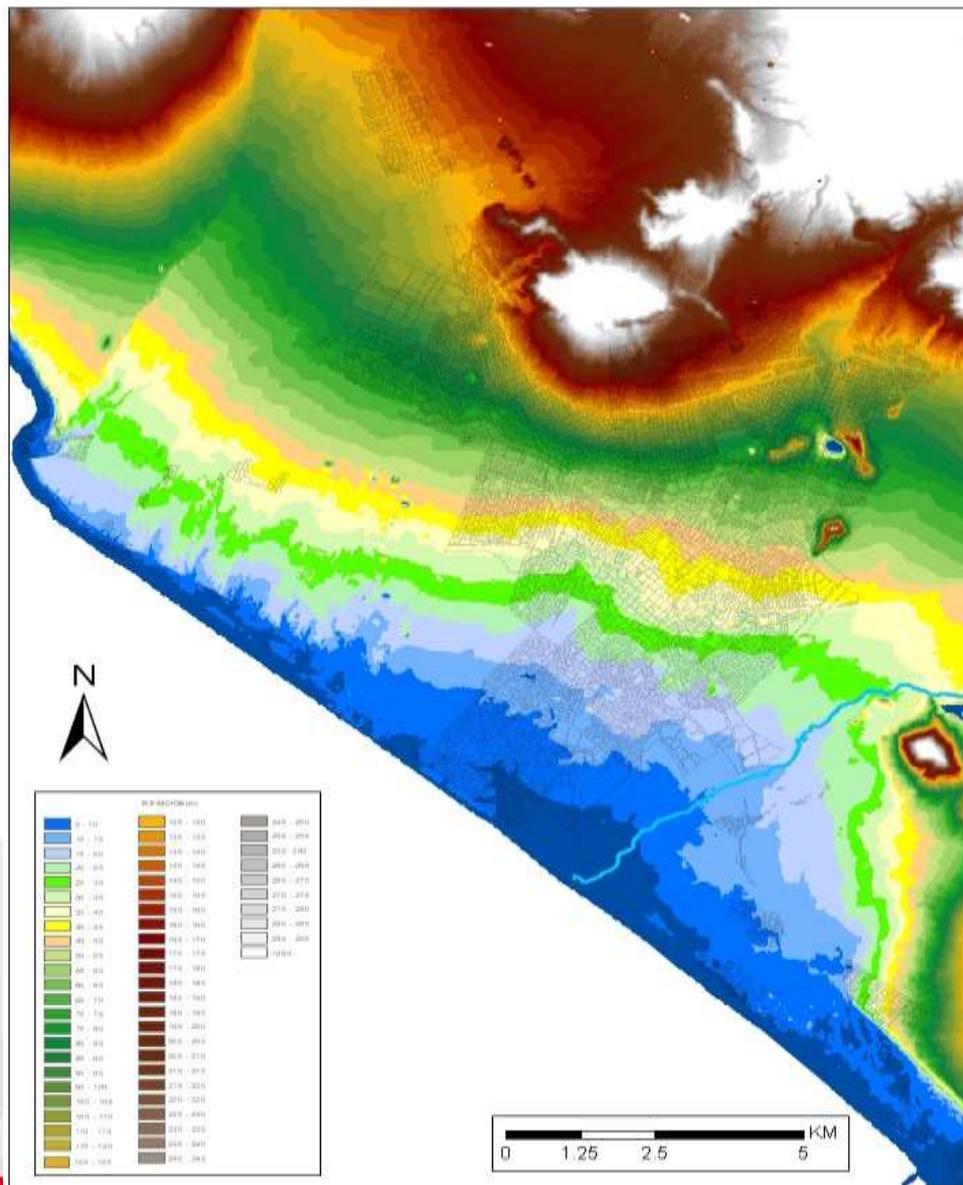
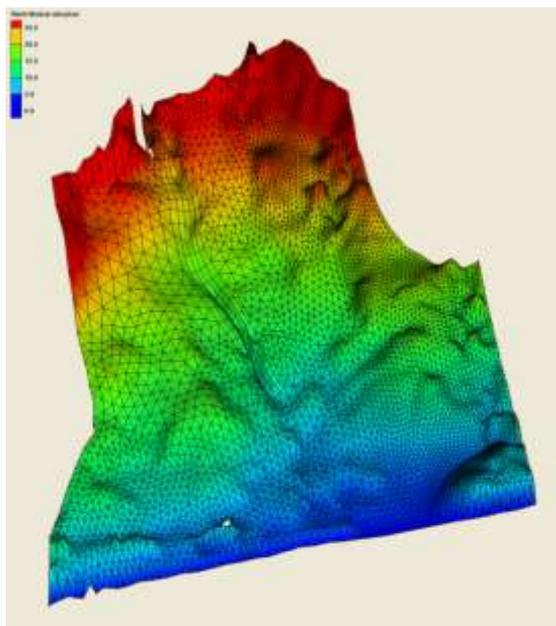
## 11.3 Cálculo de la peligrosidad

### 11.3 Datos de partida

El estudio de la peligrosidad por desbordamiento del río Moche se va a abordar mediante la definición de calados (Profundidades) y velocidades asociados a eventos de avenida con diferentes probabilidades de presentación. El cálculo de dichas variables se ha llevado a cabo mediante la utilización de un modelo hidráulico bidimensional, adecuado a las características del desbordamiento esperable en la zona.

## 11.3 Cálculo de la peligrosidad

### 11.3 Datos de partida





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## **11.4. Cálculo de la peligrosidad asociada a inundaciones en las quebradas del sector norte.**

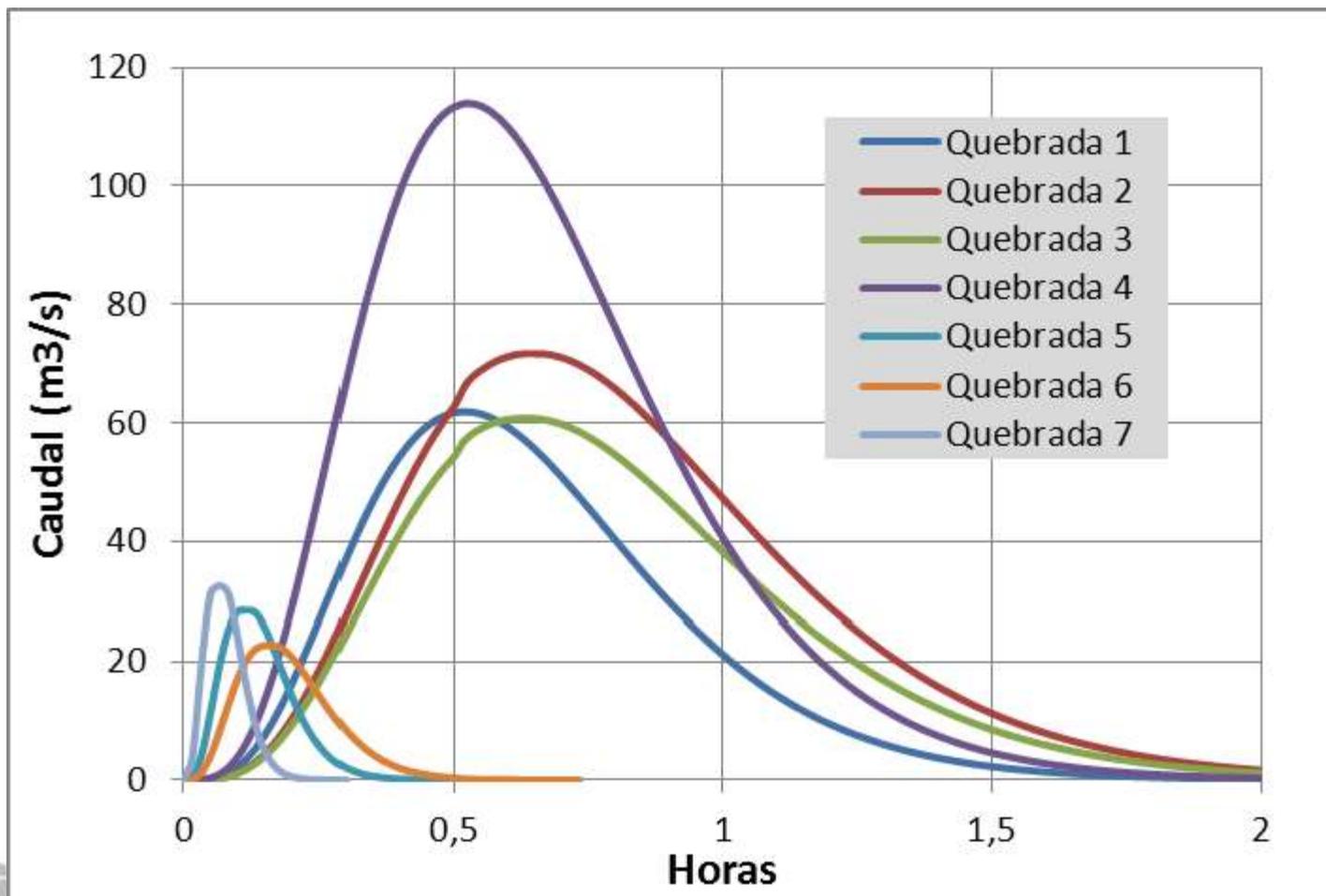
### 11.4. Cálculo de la peligrosidad asociada a inundaciones en las quebradas del sector norte.

El estudio de la peligrosidad asociada al desbordamiento de las quebradas en las zonas de El Milagro y Huanchaco también se ha llevado a cabo mediante el modelo SRH-2D, con caudales constantes calculados mediante aplicación del método racional modificado para zonas áridas. Las quebradas analizadas responden, según la toponimia local, a las siguientes denominaciones:

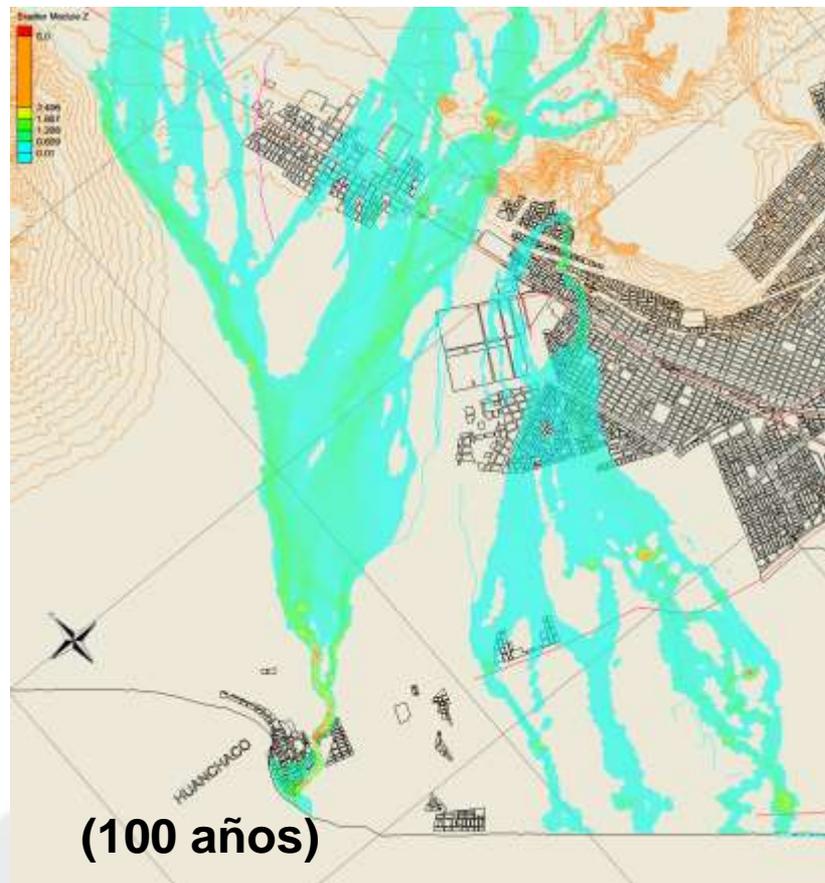
- El León
- La Cumbre
- La Encantada
- Río Seco

La superficie conjunta de las mismas es de unos 280 km<sup>2</sup>. La longitud de los cauces principales de dichas quebradas alcanza valores de entre 5 y 17 km. En cuanto a los desniveles máximos, sus valores oscilan entre 22 y 136 m<sup>3</sup>/s (tabla 11.7).

## 11.4. Cálculo de la peligrosidad asociada a inundaciones en las quebradas del sector norte.



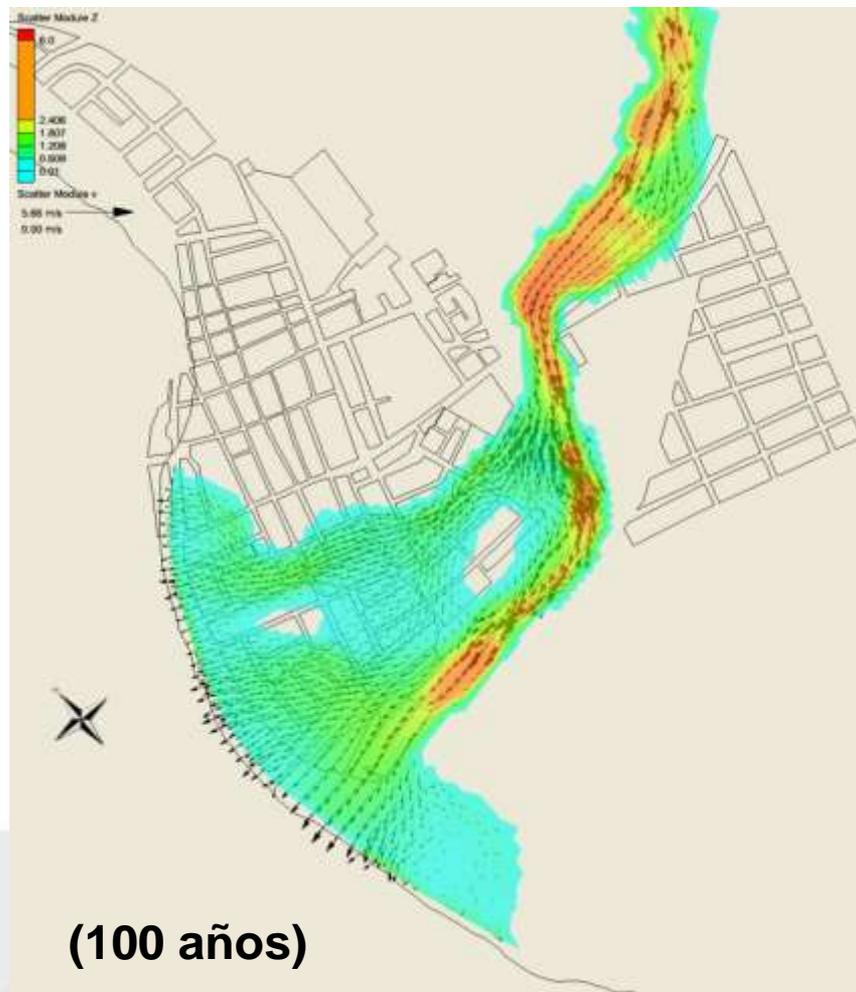
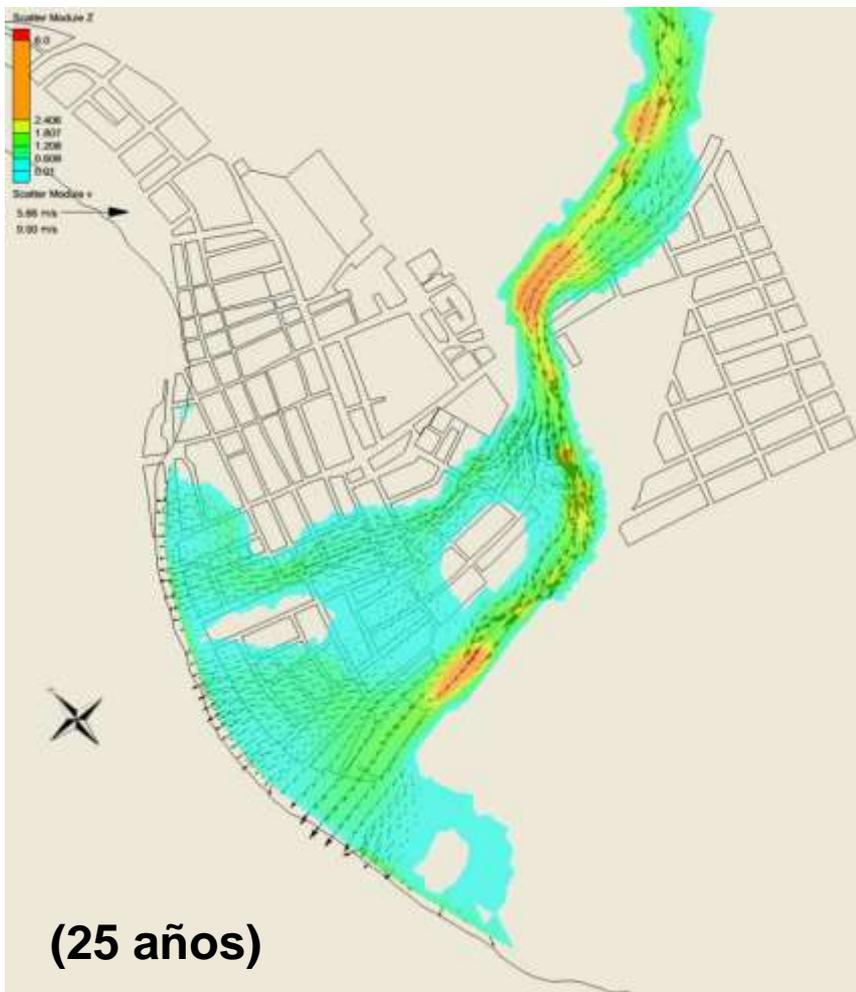
## 11.4.3. Resultados de peligrosidad.



**SECTOR norte (El Milagro y Huanchaco). Clima actual**

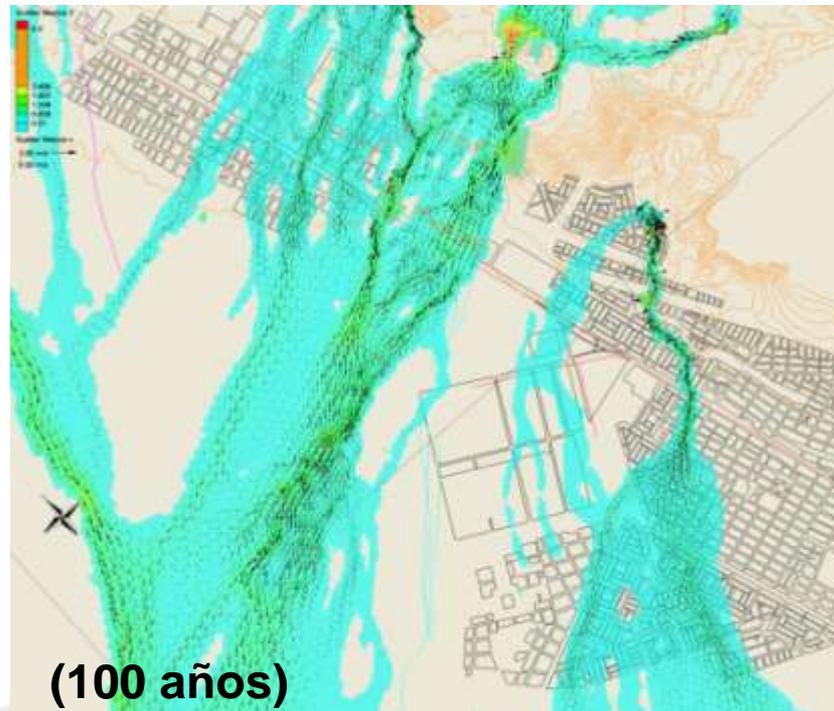
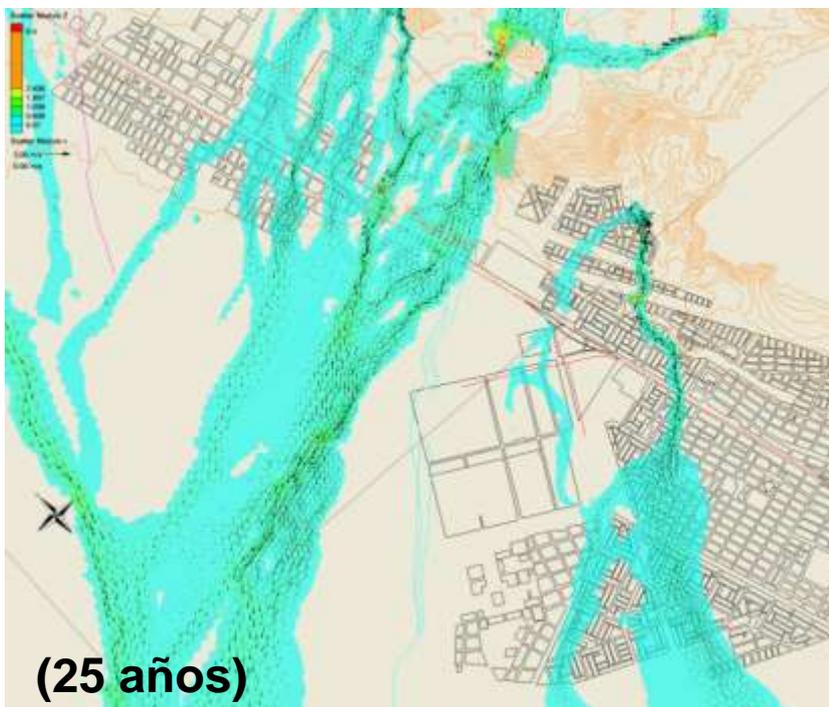


## 11.4.3. Resultados de peligrosidad.



Zona de Huanchaco, Clima actual

## 11.4.3. Resultados de peligrosidad.



Barrio de El Milagro,  
Clima actual



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

### 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

#### 11.5.1. Datos de partida.

En el cálculo de la peligrosidad asociada anegamiento de la zona urbana, además de la información citada anteriormente, se utilizará la topografía de detalle facilitada por la Gerencia de Operaciones y Mantenimiento de SEDALIB S.A. No existe una red de drenaje urbano con capacidad para drenaje de aguas pluviales en la ciudad de Trujillo, por lo que a efectos prácticos se asume que en la situación de partida todo el flujo discurre de forma superficial. En el caso de que algunos sectores de nueva planta posean red de alcantarillado con capacidad de desagüe, dicha infraestructura mejoraría en cierta medida los resultados obtenidos, que se encuentran del lado de la seguridad.

*El cálculo de los riesgos de inundación en la zona urbana de Trujillo se han diferenciado en función de la fuente generadora de riesgo: la lluvia local y el caudal aportado por la quebrada San Ildefonso, que se sitúa al norte de la ciudad (el punto de entrega se sitúa a la altura de la zona denominada El Porvenir).*

### 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

#### 11.5.2. Metodología

El cálculo de los riesgos de inundación en la zona urbana de Trujillo se han diferenciado en función de la fuente generadora de riesgo: la lluvia local y el caudal aportado por la quebrada San Ildefonso, que se sitúa al norte de la ciudad (el punto de entrega se sitúa a la altura de la zona denominada El Porvenir). Para el análisis de la inundación pluvial, la metodología que se seguirá se basa en la aplicación del modelo RFSM-EDA (*Rapid Flood Spreading Method-Explicit Diffusion wave with Acceleration term*), desarrollado por el IH Cantabria en colaboración con HR Wallingford. Dicho modelo permite utilizar el concepto de computación distribuida de versiones anteriores, desarrolladas por HR Wallingford, pero incorpora además los términos de la aceleración de las ecuaciones locales de Saint Venant. Ello permite, por lo tanto, calcular no sólo la evolución de la inundación, sino también la velocidad a la que ocurre el proceso. Este hecho, unido a la capacidad de discretización de la zona inundable en una serie de celdas con gran nivel de detalle, hace que este modelo sea especialmente adecuado para la definición de la inundación urbana. También permite analizar situaciones de rotura de obras de defensa y la consecuente propagación de ondas de avenida. Por otra parte, el cálculo del efecto de la quebrada de San Ildefonso (zona de El Porvenir) en la inundación urbana se modelará mediante el programa SRH-2D, que incorpora las ecuaciones de flujo bidimensional con todos los términos, sin las simplificaciones asociadas al RFSM-EDA, aunque también con mayores costes computacionales. La cuenca hidrográfica que configura el citado barranco y la propia zona urbana alcanza una superficie total de unos 30 km<sup>2</sup>, de los cuales la mitad aproximadamente es cuenca de alta pendiente y baja urbanización asociada al barranco, y el resto es zona urbana de pendiente inferior a 1/100. Por lo tanto, es de esperar que en los barrios altos de la ciudad la principal causa de inundación es el propio barranco, mientras que a medida que se desciende hacia la costa los efectos de la lluvia y el caudal se van combinando.



## CAPITULO 6. RIESGOS HIDROLOGICOS

## 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

## 11.5.3. Maya de calculo

Los caudales extremos asociados a la quebrada San Idefonso se obtuvieron, mediante el método racional modificado:

Tr	Clima presente	Escenario C4	Escenario C5
<b>10</b>	9.7	10.7	11.6
<b>25</b>	31.6	34.8	37.9
<b>50</b>	50.9	56.0	61.1
<b>100</b>	73.9	81.3	88.7
<b>1000</b>	134.8	148.3	161.8

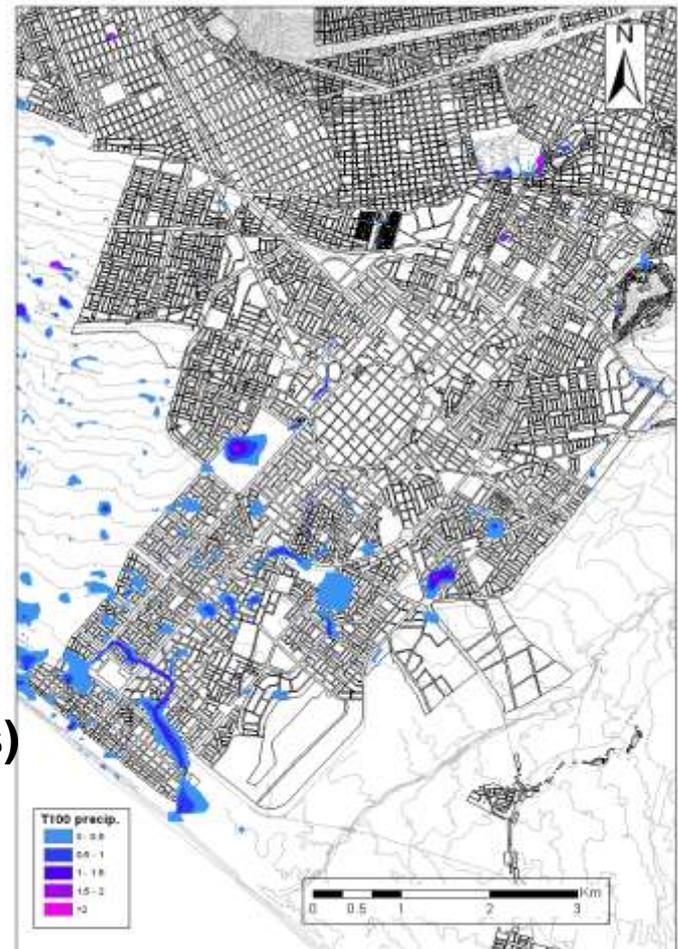
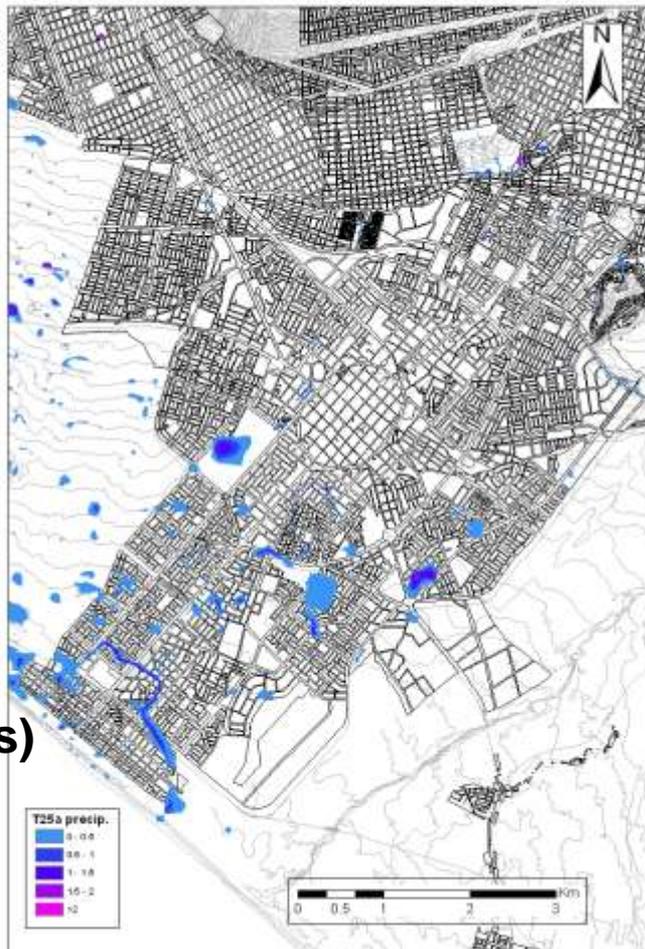
### 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

#### 11.5.4. Resultados de peligrosidad de origen pluvial

- Calles colindantes al sur y al este con los Jardines de la Paz, en el distrito de Florencia de Mora
- Zona del Parque Trupal y Campus de la Universidad Nacional de Trujillo
- Zona aledaña al Óvalo Larco
- Calle Prolongación César Vallejo a la altura de la Real Plaza
- Óvalo La Marina, zona norte, en calles Juan Cruzado, Manuel Iglesias y alrededores
- Calle Simón Bolívar a la altura del cruce con la Avda. Víctor Larco Herrera
- Avda. Panamericana Norte entre los cruces con las calles Mariscal Nieto y Manuel Seoane, en el distrito de Buenos Aires
- Avda. Panamericana Norte entre los cruces con las calles José Balta y Jorge Chávez.

## 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

### 11.5.4. Resultados de peligrosidad de origen pluvial



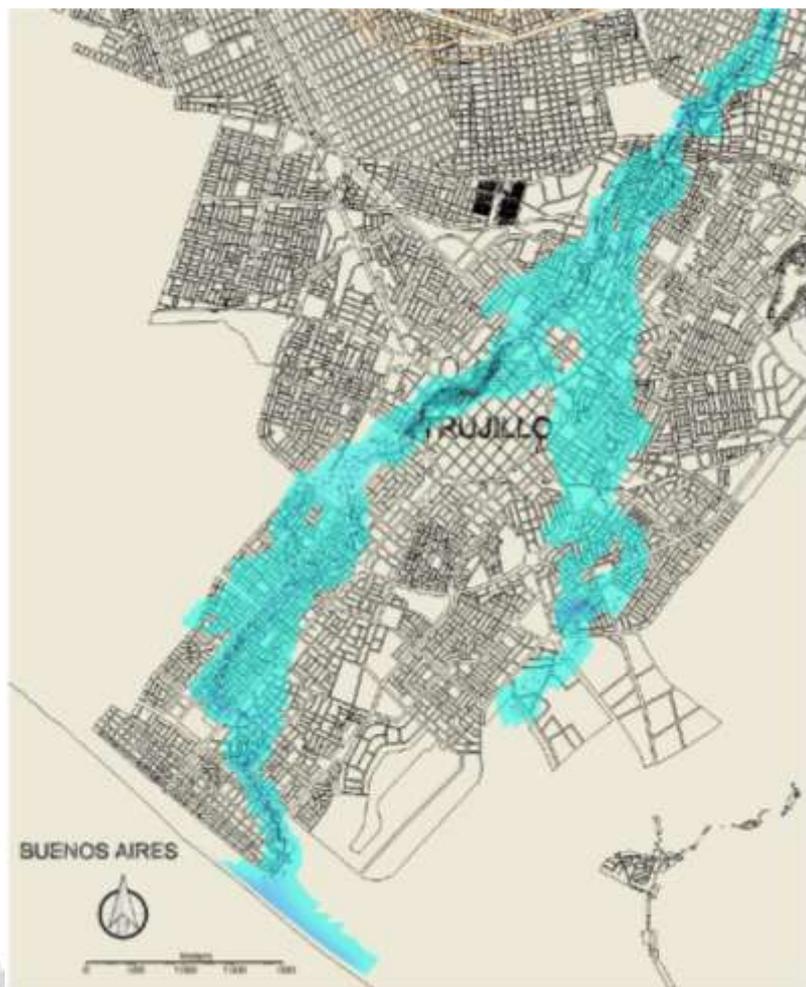
### 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

#### 11.5.4. Resultados de peligrosidad quebrada Idelfonzo

- Avda. Santa, desde los Jardines de la Paz hasta el cruce con la calle Federico Villarreal.
- Zona de Miraflores, alrededor de la Avda. Miraflores al norte de Casco Histórico.
- Avda. Perú al norte del Casco Histórico.
- Zona en las inmediaciones del estadio Mansiche, hacia el centro urbano.
- Sector noroeste del Casco Histórico: Avda. España, calles Independencia, San Martín, Zepita.
- Barrio de Chicago y Avda. de Gonzáles Prada
- Alrededores de la alineación formada por la Avda. España, Libertad y Juan Pablo II desde el Casco Histórico hasta el cruce con la Panamericana Norte.

### 11.5. Cálculo de peligrosidad en la ciudad de Trujillo.

#### 11.5.4. Resultados de peligrosidad quebrada Idelfonso



**(25 años)**



**(100 años)**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

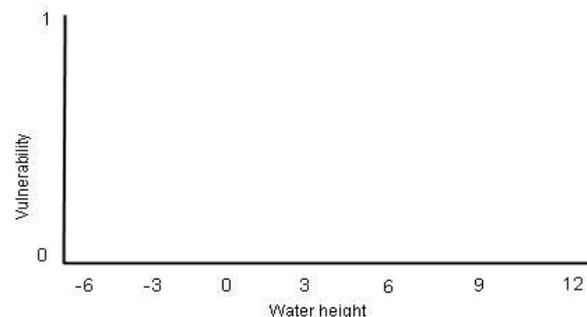
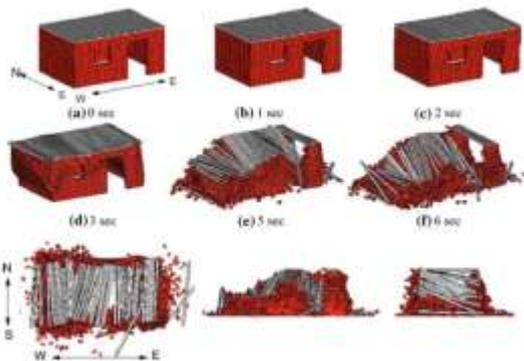
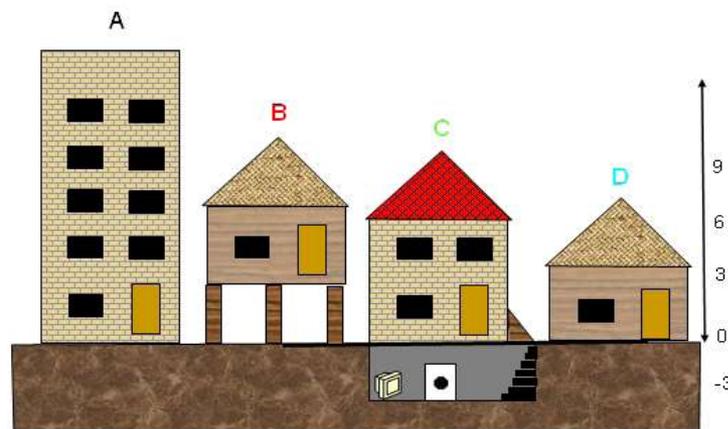
## 11.6. Vulnerabilidad y riesgos hidrológicos

## 11.6. Vulnerabilidad y riesgos hidrológicos (pagina 40)

### 11.6.1 Análisis de la vulnerabilidad hidrológica en la zona de estudio.

#### □ Clasificación de viviendas por tipología estructural

- **Categoría A:** edificios de hormigón bien cimentados con más de una altura
- **Categoría B:** viviendas de adobe o ladrillo con moderada resistencia y una altura
- **Categoría C:** estructuras de madera, plásticos, chapas u otros materiales de baja resistencia.



### 11.6. Vulnerabilidad y riesgos hidrológicos (pagina 40)

#### 11.6.1 Análisis de la vulnerabilidad hidrológica en la zona de estudio.

##### □ Densidad de población



### 11.6. Vulnerabilidad y riesgos hidrológicos (pagina 40)

#### 11.6.1 Análisis de la vulnerabilidad hidrológica en la zona de estudio.

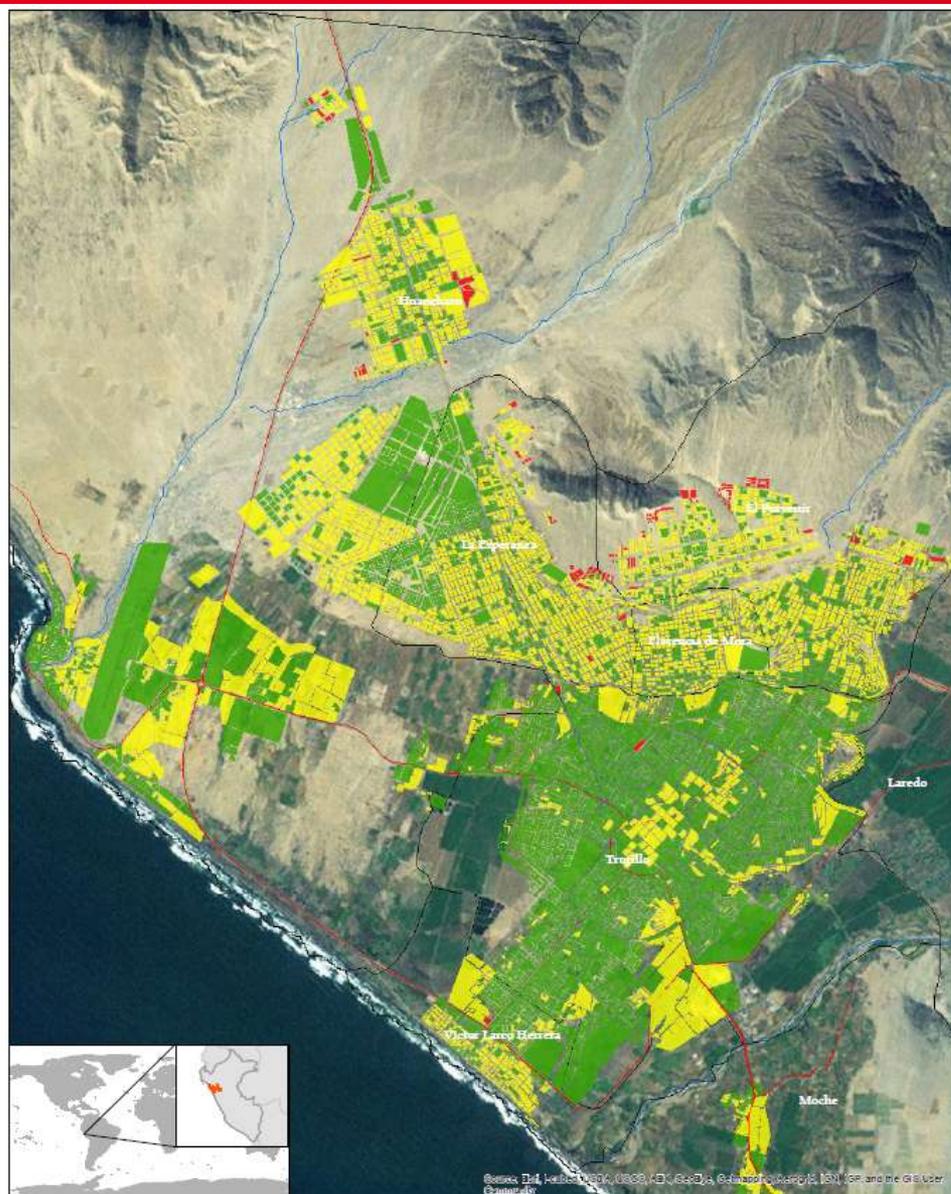
- Nivel de percepción de riesgo y eficiencia de los sistemas de alerta temprana.



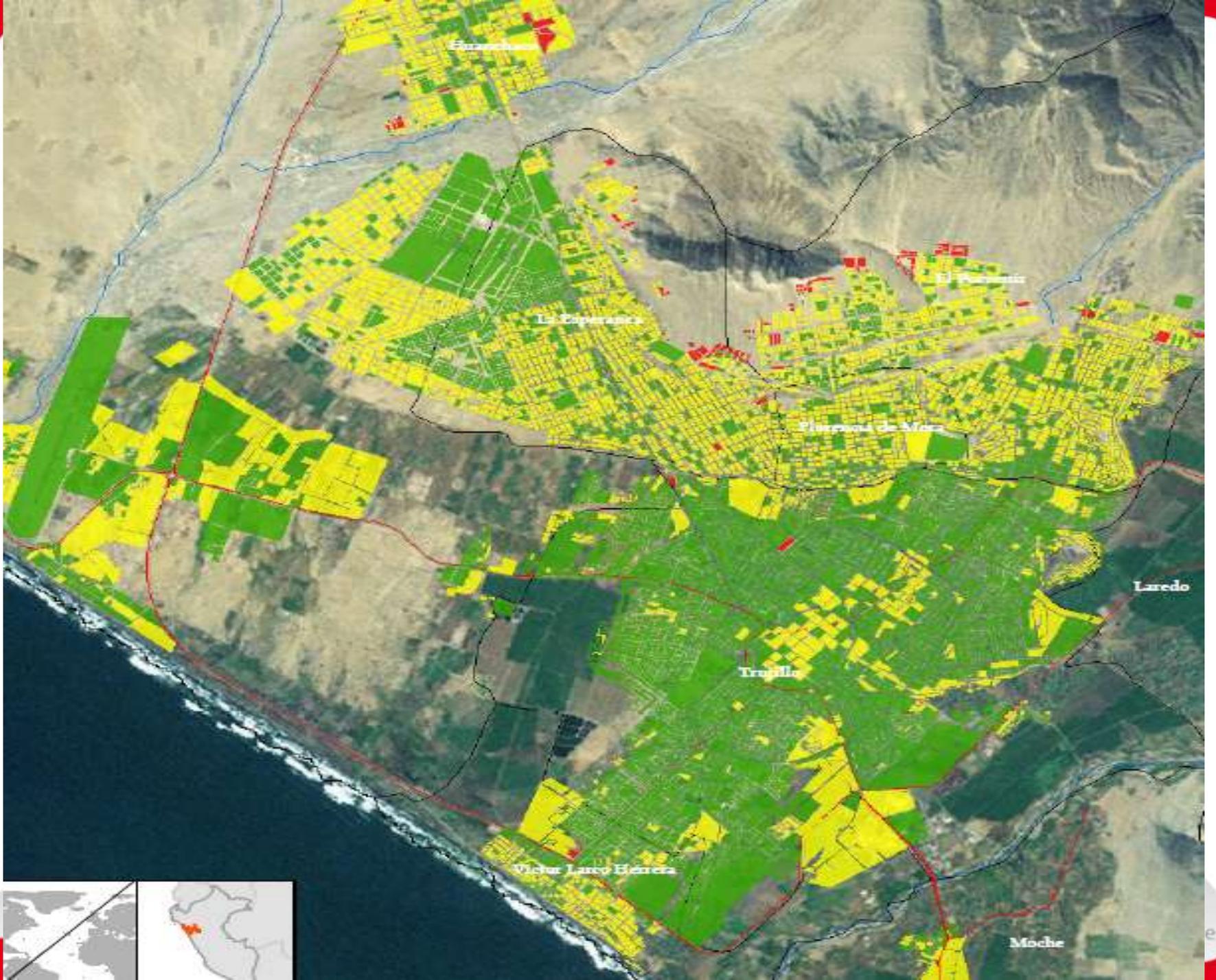


## Mapa de vulnerabilidad:

Densidad poblacional, tipo de edificaciones y capacidad de respuesta.



<p>Evaluación Probabilística de la Peligrosidad y la Vulnerabilidad frente a Desastres Naturales basados en proyecciones de Cambio Climático en el área metropolitana de Trujillo</p>	 The Provisional South American Datum 1956 UTM 17S Universal Transverse Mercator	<p><b>Tipología edificatoria</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Precaria</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Frágil</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Resistente</li> </ul>
<p><b>Tipología Edificatoria</b></p>	<p>Escala:</p> 	<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Distritos Trujillo</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; margin-right: 5px;"></span> Manzanas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid red; margin-right: 5px;"></span> Red de Comunicaciones</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid blue; margin-right: 5px;"></span> Red Fluvial</li> </ul>
<p></p>	<p>Financiado por:  Beneficiario:  Coordinador Técnico: </p>	<p></p>





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

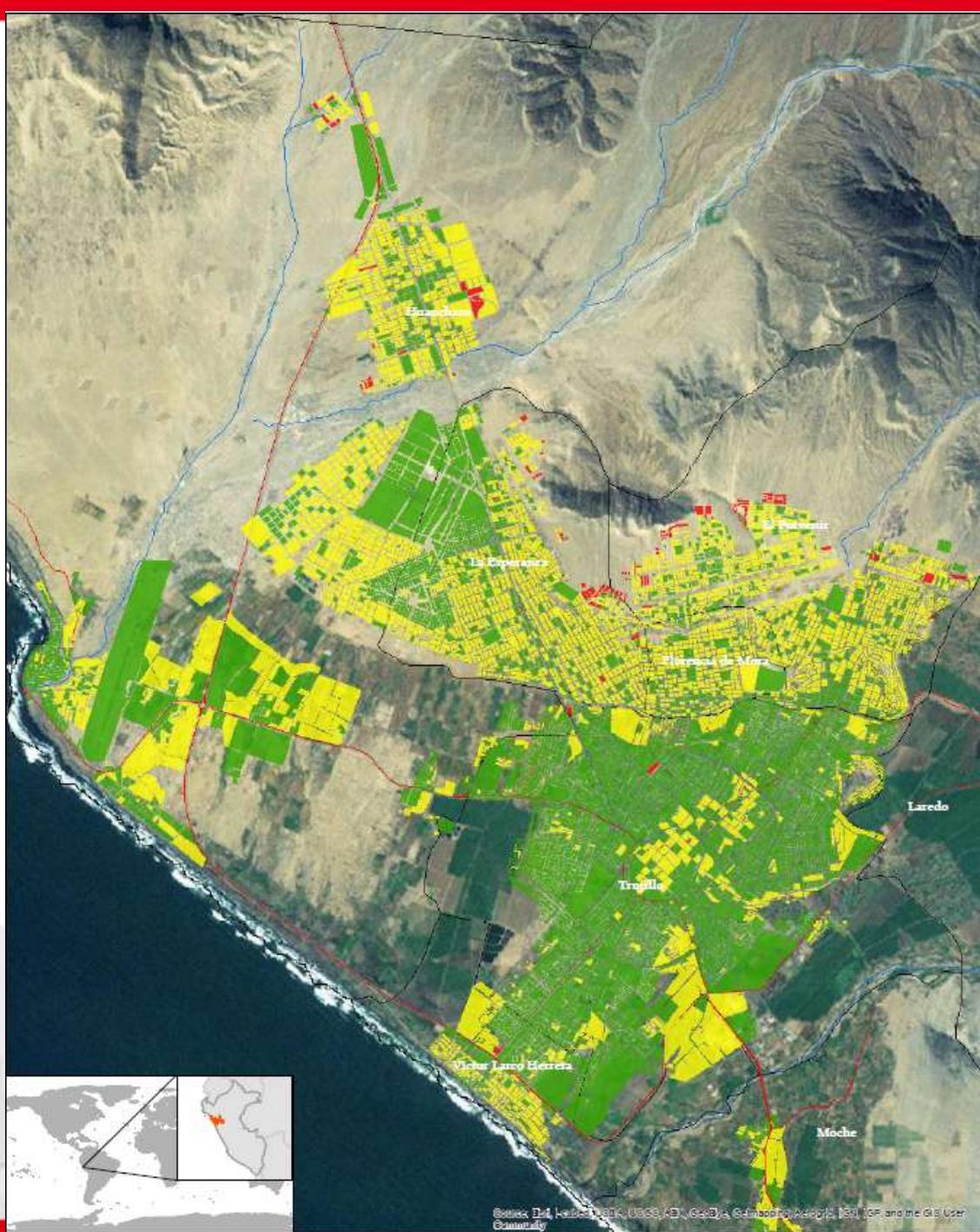
# RESULTADOS



**Sobre el mapa de Mapa de vulnerabilidad sobreponemos los mapas de peligros:**

### **Mapa de Peligro**

- **Calados máximos asociados a la avenida de 25 años.**
- **Calados máximos asociados a la avenida de 100 años**
- **Asociados al Evento C5**
- **Asociados al Evento C6**



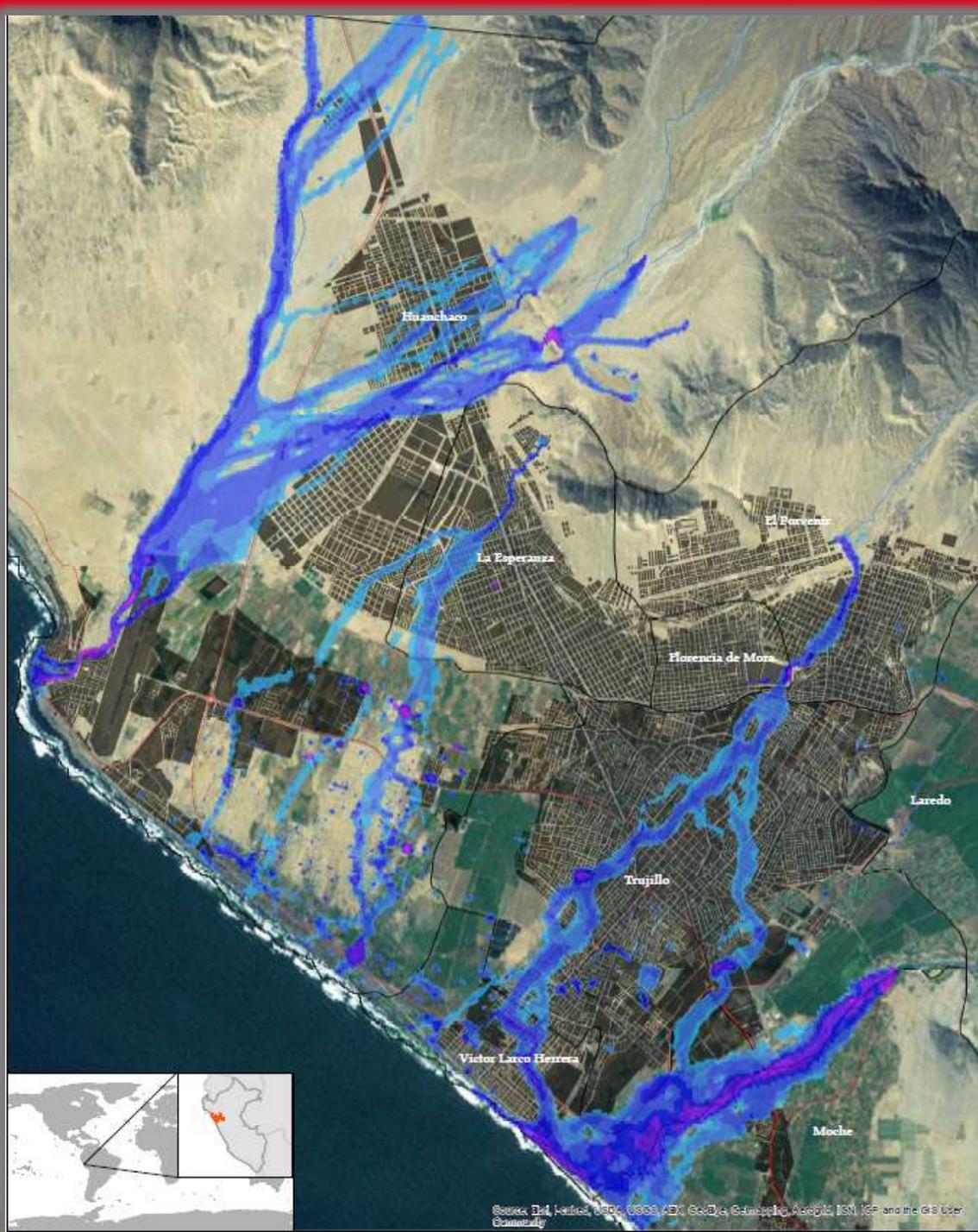


PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## Mapa de Peligro “Clima actual”

Calados máximos asociados a  
la avenida de 100 años.

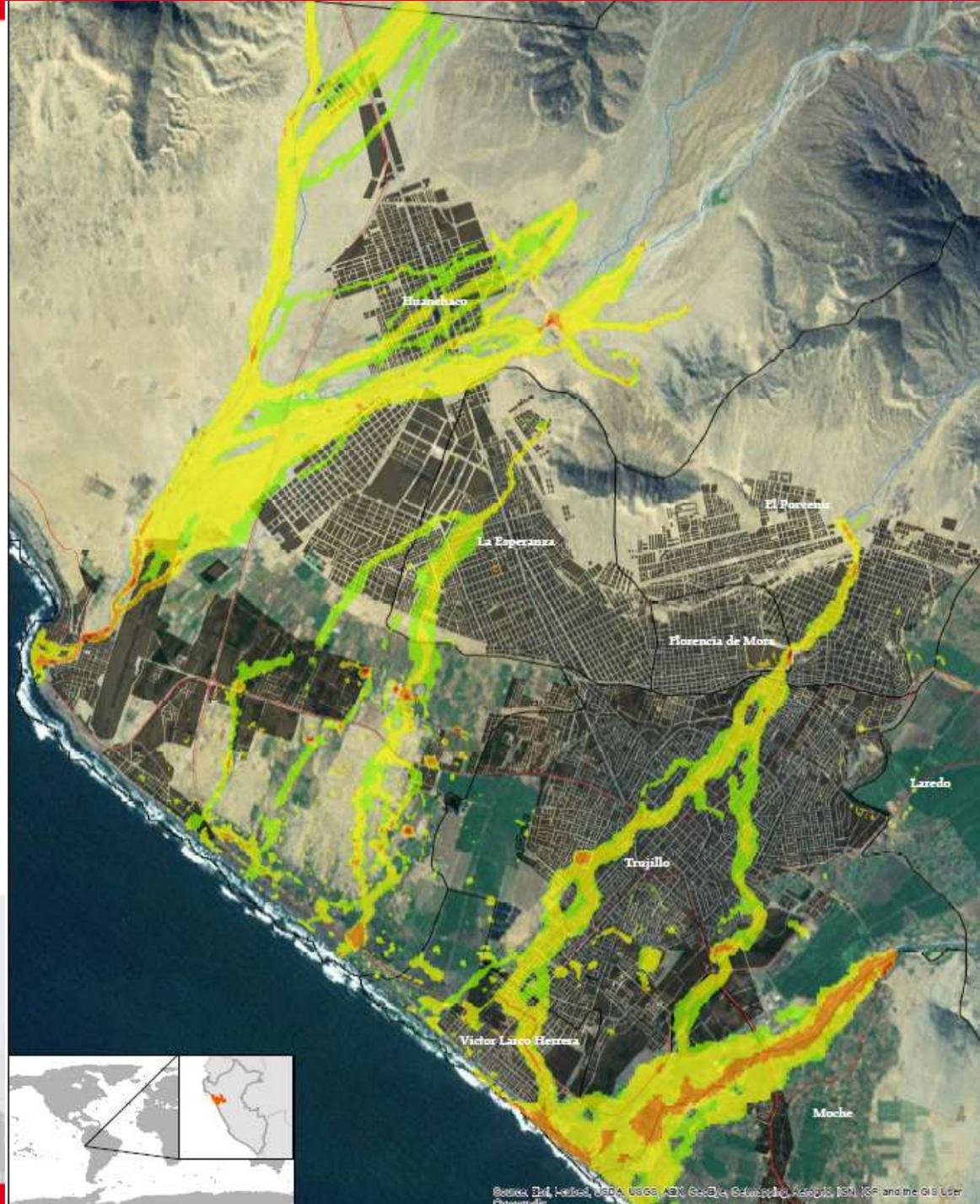




PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## Peligrosidad potencial de vidas humanas asociado a la avenida de 100 años. Clima actual

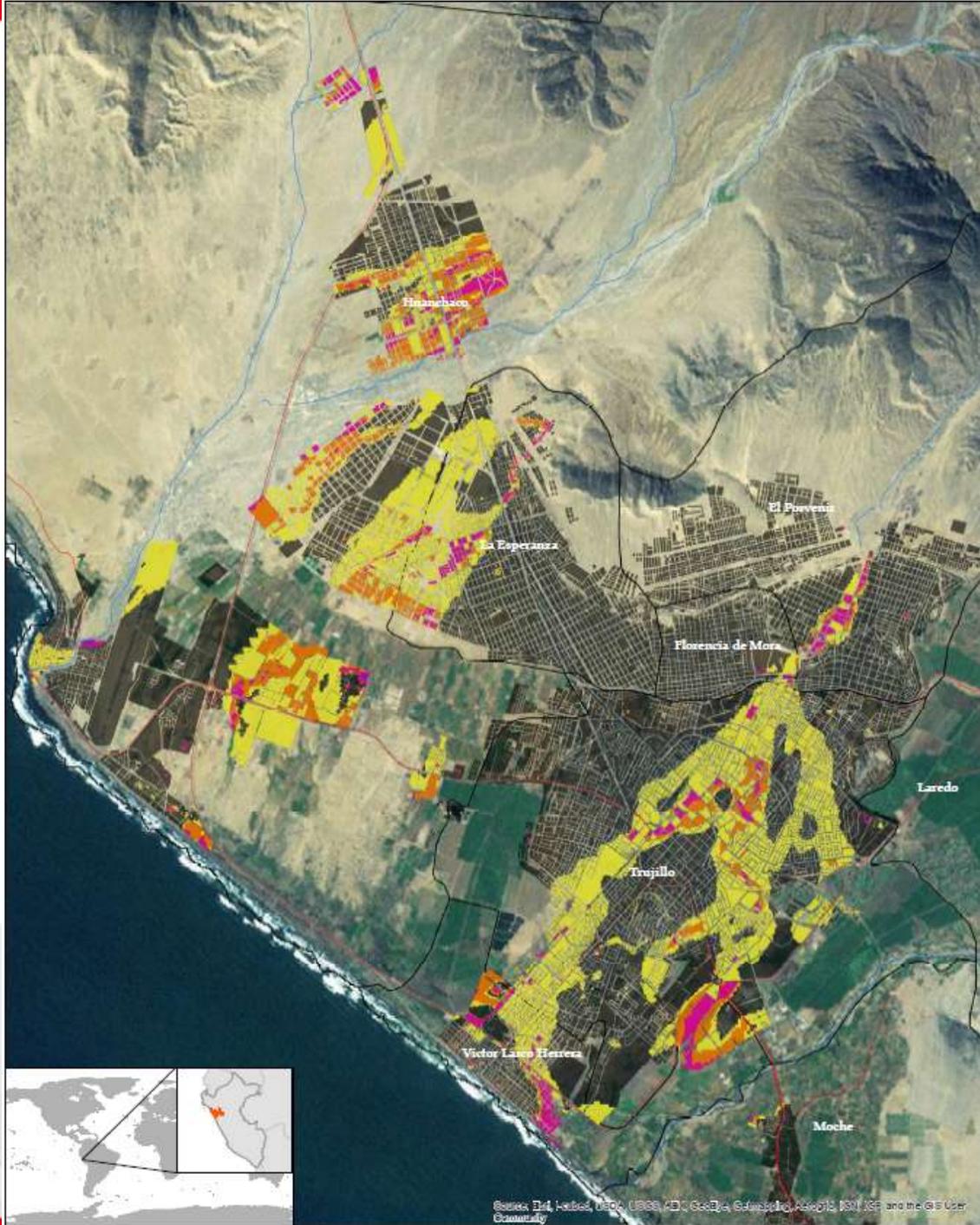




PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## Riesgo en edificaciones asociado a la avenida de 100 años. Clima actual

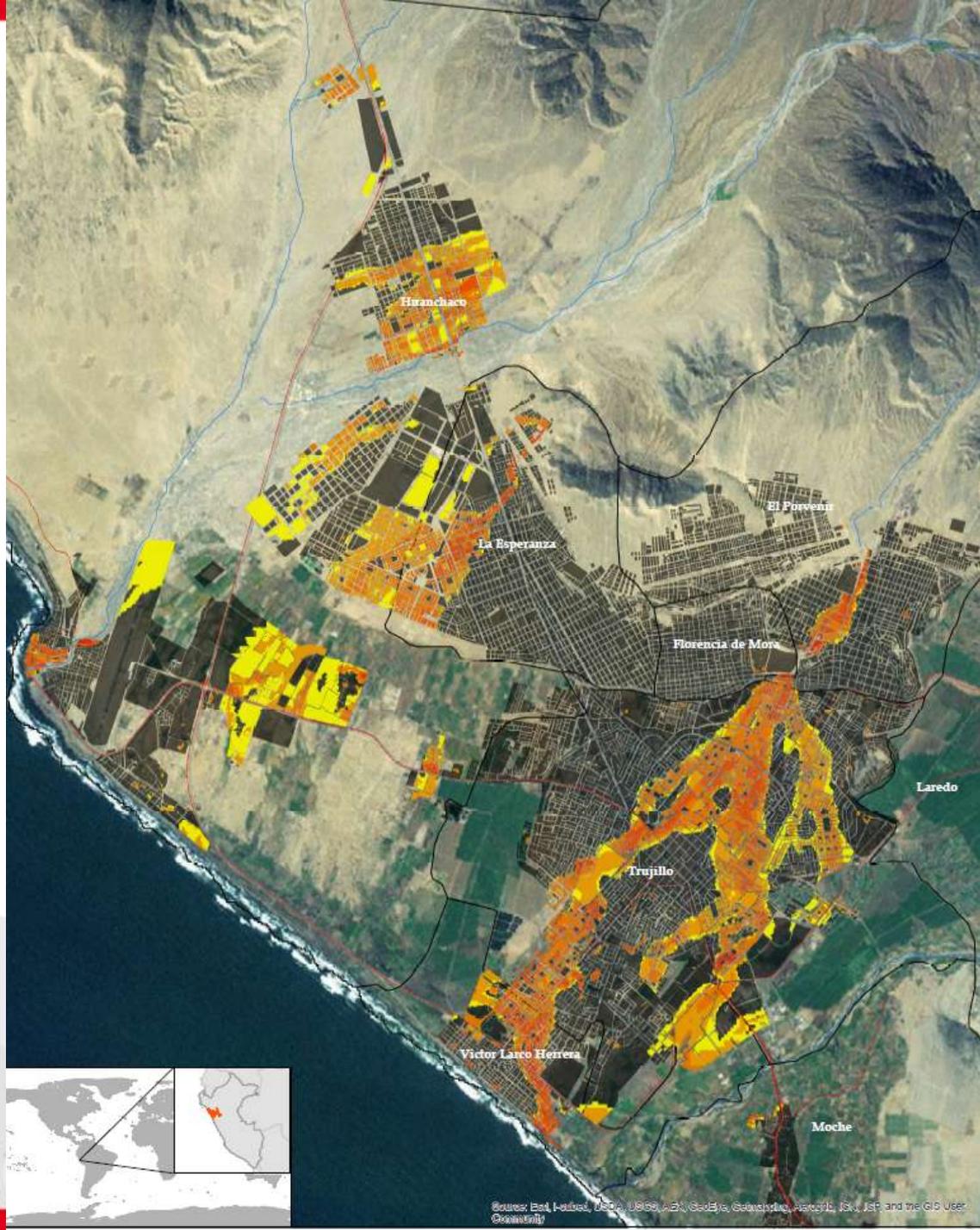




PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## Riesgos de pérdida de vidas humanas asociado a la avenida de 100 años. Clima actual





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

*Presentación:*

*Mg. Ing. Eden Atalaya Haro*

*[eatalaya@minam.gob.pe](mailto:eatalaya@minam.gob.pe)*

*[edenhar@hotmail.com](mailto:edenhar@hotmail.com)*

# GRACIAS...