

Perfil de Riesgo por Inundaciones en Perú

Informe Nacional

Banco Interamericano de Desarrollo

División de Medio
Ambiente, Desarrollo Rural
y Gestión del Riesgo por
Desastres

NOTA TÉCNICA Nº
IDB-TN-844

Perfil de Riesgo por Inundaciones en Perú

Informe Nacional

Banco Interamericano de Desarrollo

Octubre 2015

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Banco Interamericano de Desarrollo
Perfil de riesgo por inundaciones en Perú / Banco Interamericano de
Desarrollo.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 844)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Floods—Peru. 2. Flood damage prevention—Peru. 3. Flood control—Peru.
4. Emergency management—Peru. 5. Disasters—Peru. I. Banco
Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y
Administración de Riesgos por Desastres. II. Título. III. Serie.
IDB-TN-844

JEL code:Q54

Palabras claves: Peru, Inundaciones, Lluvias, Cuencas, Hidrología, Pérdida
Anual Esperada, Hidrometeorología, amenaza, vulnerabilidad.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Contacto: Sergio Lacambra (slacambra@iadb.org); Tsuneki Hori (tsunekih@iadb.org)

Este documento fue preparado por:

Los consultores de la empresa ADASA Sistemas, S.A.: Milagros Ojeda Couchoud, Hugo Félix Sovero Sovero, Rubén D. Vargas, Carlos Pacha Vicente y Jesús Pernas Canadell.

Los especialistas del BID en Gestión del Riesgo: Tsuneki Hori, Sergio Lacambra, Ginés Suárez e Ivelisse Justiniano.

También se contó con valiosos aportes del Gobierno de Perú a través del Centro Nacional de Prevención, Estimación y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y la Dirección de Gestión de Riesgos del Ministerio de Economía y Finanzas.

El desarrollo y publicación de este documento fue financiado por medio de la Cooperación Técnica Regional RG-T2165, financiada por el Fondo Multidonante de Prevención de Desastres con contribuciones de Canadá, España, Japón y Korea.

Contenido

Resumen Ejecutivo	4
1. Introducción	5
2. Metodología General	10
2.1. Selección de cuencas priorizadas	14
2.1.1. Representación geográfica y del fenómeno de las inundaciones	14
2.1.2. Existencia de información	14
2.1.3. Otros criterios: Cuencas sin Estudios de Cálculo de Riesgo por Inundaciones	17
2.2. Selección de tramos críticos	20
2.3. Levantamiento de Información en Cuencas Priorizadas	24
2.3.1. Información general	24
2.3.2. Información referente a las inundaciones (amenaza)	24
2.3.3. Topografía	26
2.3.4. Información hidrológica	27
3. Evaluación de Amenaza por Inundación	32
3.1. Modelo Hidrológico HEC-HMS	33
3.2. Modelo Hidráulico	35
4. Valor Expuesto	39
4.1. Llanuras potenciales de inundación	39
4.2. Inventario de elementos expuestos	44
A) A nivel de tramo seleccionado	44
B) A nivel de cuenca seleccionada	48
C) A nivel nacional o de territorio afectado por El Niño	50
4.3. Estimación del Valor Expuesto	52
4.3.1. Agricultura	52
4.3.2. Edificios y/o viviendas	54
4.3.3. Vías de comunicación	57
4.3.4. Patrimonio histórico	58
4.3.5. Industrial	58
4.3.6. Bosque y/ o Selva	60
4.3.7. Improductivo	60
4.3.8. Resultados de la estimación del valor expuesto	60
4.3.9. Estimación y resultados de población expuesta	76
5. Evaluación de la Vulnerabilidad Física por Inundación	79
5.1. CURVAS DE VULNERABILIDAD	79
6. Estimación del Riesgo por Inundación	89
6.1. Herramientas de estimación de daños	90
6.2. Metodología y resultados	92
6.2.1. Daños directos	92
6.2.2. Daños indirectos	106

6.3.	Evaluación del riesgo en cuencas priorizadas	130
6.3.1.	Pérdida anual esperada (PAE) y Pérdida máxima probable (PML) por sector y territorio.....	131
6.4.	Proyecciones del riesgo de inundación a nivel nacional	146
6.4.1.	Curva híbrida de pérdidas por inundación.....	146
7.	Conclusiones	156
8.	Limitaciones del estudio	158
9.	Recomendaciones	159
10.	Referencias	160

Resumen Ejecutivo

El proyecto para el desarrollo del Perfil del Riesgo de Inundaciones en Perú da repuesta a la necesidad por parte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) de desarrollar una estrategia para la provisión de fondos en caso de desastres por inundaciones. Para ello, se ha elaborado una metodología para la estimación del riesgo probabilístico en términos económicos de este desastre de impacto localizado y de alta frecuencia.

Debido a la gran extensión del país y a la dificultad de llevar a cabo un estudio detallado del riesgo de inundación a lo largo de toda su superficie, la metodología seguida ha consistido en la elección de tres cuencas representativas de las tres regiones principales del país (Costa, Sierra y Selva). Estas cuencas son la cuenca del río Piura, que representa a las cuencas de la región natural de la Costa; la cuenca del río Huallaga, representando a las cuencas de la región de la Selva; y la cuenca del río Vilcanota-Urubamba en la región de la Sierra.

Dentro de cada cuenca se eligieron cinco tramos fluviales que han sido afectados por inundaciones y son representativos de los usos de suelo. Se estimaron las potenciales pérdidas en cada uno de ellos en función de los periodos de retorno considerados (20, 50, 100, 200 y 500 años). Una vez obtenidos los datos de daños o pérdidas en esos tramos, se ha realizado una extrapolación al conjunto del país a partir de dichos datos mediante una metodología en la que se hace uso de información histórica para los períodos de retorno bajos (aproximadamente hasta de 50 años) y de los resultados procedentes de la modelización hidrológico-hidráulica para periodos de retorno más altos. En la afectación geográfica del fenómeno del país a nivel nacional se consideró la distribución de cuencas afectadas por fenómenos como el Niño que afectan a gran parte del país.

En el análisis de la información histórica sobre inundaciones se han consultado diferentes fuentes, Base de Datos DesInventar e información bibliográfica. De este análisis se han obtenido dos tipos de información: por una parte, los datos necesarios para definir la parte baja de la curva de Pérdida Anual Esperada; y por otra parte, estimaciones cuantitativas a nivel nacional sobre pérdidas ocasionadas por fenómenos de baja frecuencia, utilizados para validar los resultados procedentes de la modelización de esos mismos fenómenos, y que definen la parte alta de curva de Pérdida Anual Esperada.

Para realizar la estimación de los daños se ha llevado a cabo un inventario de elementos expuestos (cultivos agrícolas, pastos, bosques, zona urbana, vías de comunicación, zona industrial, elementos patrimoniales, cursos fluviales...etc.), basado en información procedente de organismos oficiales y de trabajos de fotointerpretación. Sobre estos elementos expuestos se han aplicado los resultados de la modelización hidrológica-hidráulica (velocidad y calado de las diferentes láminas de agua correspondientes a los periodos de retorno estudiados), basada en una serie de trabajos topográficos y en información hidrometeorológica procedente de registros históricos. Finalmente, y considerando el valor unitario de cada elemento expuesto, se han aplicado las denominadas curvas de vulnerabilidad (o de calado-daño), a las que se ha incorporado la componente de velocidad, obteniendo finalmente el valor analítico de pérdida para cada uso de suelo y periodo de retorno que podría verse afectado.

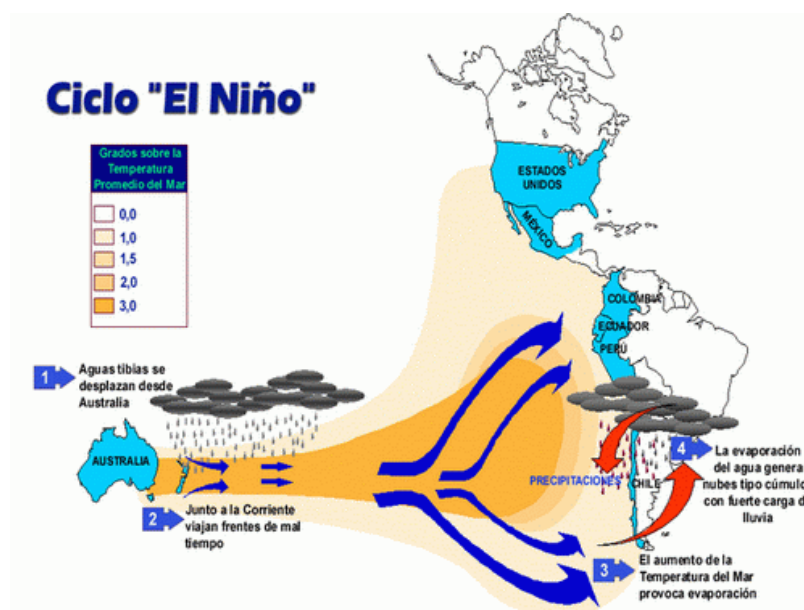
1. Introducción

Las inundaciones en Perú constituyen un fenómeno recurrente entre los meses de noviembre y abril de cada año, en la temporada de lluvias de la región andina. Durante las inundaciones se producen importantes episodios de erosión y sedimentación. La erosión produce importantes daños en vías de comunicación y campos de cultivos ubicados en las llanuras de inundación, siendo por tanto las zonas más afectadas, llanuras y tramos finales de ríos. La mayor parte de las pérdidas por inundaciones se concentra a lo largo de la costa peruana, a excepción de los departamentos de Moguegua y Tacna por su extrema aridez; en la sierra en los departamentos de Junín y Cusco, y en la selva en el departamento de Loreto. En estas zonas las principales ciudades, densamente pobladas, se encuentran establecidas en las llanuras de inundación de los ríos.

Las aguas de inundación destruyen con gran facilidad viviendas de adobe frecuentes en la región, hacen colapsar las redes de alcantarillado, pozos y captaciones de agua. Además, el estancamiento de las aguas facilita la reproducción de insectos que transmiten la malaria, el paludismo, el dengue y otras enfermedades tropicales.

De especial influencia en la gravedad de las inundaciones en Perú es la existencia de los fenómenos de El Niño (ENSO: El Niño Southern Oscillation) y La Niña, ambos fenómenos de gran complejidad. El siguiente esquema muestra el ciclo de este fenómeno y su influencia sobre el país.

Gráfico 1. Esquema del ciclo “El Niño” en el que se aprecia su influencia sobre Perú



Fuente: CTMA IES Berenguer Dalmau

El objetivo del presente estudio es la elaboración del perfil del riesgo por inundaciones en Perú por eventos máximos de inundaciones para varios escenarios de periodo de retorno (de 20, 50, 100, 200 y 500 años). Para realizar el estudio, se ha llevado a cabo una metodología de análisis de riesgo probabilista para el cálculo de riesgo por inundación.

En este informe se presenta la metodología conducente a la elaboración del Perfil de Riesgo de Inundaciones en Perú, así como los resultados obtenidos de los estudios llevados a cabo. El término riesgo por inundación en el marco de este estudio se refiere a la probabilidad de daños en el acervo físico, pérdidas de flujos económicos, pérdidas de vidas humanas y número de personas afectadas.

Durante todo el proceso del estudio se ha mantenido una estrecha coordinación con la contraparte nacional, constituida por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), Organismo encargado de facilitar en la medida de lo posible la información necesaria para la elaboración del presente proyecto y con el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), el cual es parte interesada en que la información que provenga de los estudios técnicos de estimación del riesgo sea suficientemente relevante y utilizable para análisis de tipo financiero necesarios para el diseño de estrategias de protección financiera.

En rasgos generales, la metodología desarrollada se basa en la selección de cinco tramos fluviales de estudio en tres cuencas representativas de Perú y en la extrapolación de los resultados de los análisis realizados en estas tres cuencas, a la máxima superficie del país que se podría ver afectada de forma simultánea por un fenómeno hidrometeorológico de gran envergadura, al ser las inundaciones fenómenos localizados que en ningún caso afectan de manera simultánea a la totalidad del país (como puede ocurrir en el caso de otros desastres naturales como los terremotos) y con el fin de no sobrestimar los daños. En el caso de Perú, uno de estos fenómenos es el de El Niño.

En Perú se distinguen tres grandes regiones hidrográficas: Costa (Cuenca del Pacífico), Selva o región amazónica (Cuenca del Atlántico) y Cuenca del Lago Titicaca (Gráfico 2).

Aunque en un principio la selección de las cuencas representativas para realizar el estudio iba a estar regida por esta división según regiones hidrográficas, tras consultar con los organismos nacionales, regionales y locales así como con las contrapartes nacionales, se recomendó una división parcialmente diferente, coincidente con las tres regiones naturales de Perú (Costa, Sierra y Selva) y utilizada igualmente en estudios previos de estimación de daños por inundación tales como los realizados por la Comisión Europea y Comunidad Andina, 2006.

Gráfico 2. División hidrográfica para el presente proyecto



Fuente: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)

Estas tres regiones naturales cuentan con las siguientes características principales¹:

- **Región de Costa.** Ocupa aproximadamente el 15 % del territorio peruano. Se trata de una zona árida y desértica, de precipitaciones muy escasas, en torno a 50 mm de promedio anual. Durante episodios de El Niño, el aumento de las precipitaciones que se producen, afectan principalmente a la parte norte en los departamentos de Tumbes y Piura. Por otra parte, la región de Costa está atravesada por varios ríos cuyos caudales se relacionan con las épocas de lluvias en la región Andina y algunos por la influencia de la fusión de nieves de las altas montañas.

En la Costa se encuentra el 55 % de la población, que por lo general es localizada en los valles fluviales. En esta región de Costa, se encuentra la mayoría de ciudades principales, entre ellas, Lima-El Callao, Arequipa, Trujillo, Chiclayo y Piura. Perú presenta desde hace casi cinco décadas un proceso de redistribución de la población a través de flujos migratorios desde la región Andina hacia los centros

¹ Fuente: Comisión Europea y Comunidad Andina (2006)

urbanos costeños y centros urbanos de la selva. La Costa ha sido el principal receptor de estos flujos a pesar de ser la región más pequeña del país, lo cual explica en principio la concentración de población.

- **Región de Sierra.** Esta región ocupa aproximadamente el 30 % del territorio peruano y está conformada por la Cordillera de Los Andes incluyendo valles interandinos con condiciones propicias para la agricultura. El clima es seco y con lluvias estacionales. En esta región se localiza el 32 % de la población y ciudades principales como Cusco, Abancay, Ayacucho, Cajamarca, Chachapoyas, Huancavélica, entre otras. La Sierra ha sufrido un proceso de emigración de la población rural hacia las ciudades tanto de la misma región como de la Costa y la Selva, que se intensificó en la década de 1980 con fenómenos como la crisis económica, la violencia del periodo 1981-1993, la debilidad de la articulación entre las cordilleras y la ausencia de servicios a medida que se avanza hacia una mayor altitud.
- **Región de la Selva.** Ocupa aproximadamente el 55 % del territorio peruano, el clima es húmedo y las precipitaciones anuales que superan los 1,000 mm al año, llegando en ocasiones a los 3,000 y hasta 5,000 mm. En esta región se localiza el 13,6 % de la población, la cual ha presentado un considerable incremento en las últimas décadas debido a las migraciones de la región Andina atraídas por la agricultura, la explotación forestal y en ocasiones la economía cocalera, lo cual ha implicado la aparición de importantes centros poblados, en particular en los departamentos de Huánuco y San Martín. De igual manera, la explotación minera atrajo a inmigrantes del altiplano hacia el departamento de Madre de Dios concentrando la población en la capital Puerto Maldonado.

El conjunto del relieve peruano es muy variado y condiciona en gran medida los usos del suelo y el grado de ocupación y por otra parte, la configuración de red hidrográfica y de sus zonas inundables. La región de la Selva Baja, muestra extensas superficies cubiertas de vegetación con pequeñas ondulaciones. La Costa, a menor escala, es también zona donde predominan las llanuras, pero casi desérticas. En los Andes, en altitudes que varían de 3,500 a 4,000 metros, se encuentran las altas mesetas andinas o Punas, configuradas como grandes extensiones de terrenos ligeramente ondulados.

Entre las planicies andinas y los llanos amazónicos y costeros, están las vertientes occidental y oriental andinas, con sus pendientes pronunciadas, en las cuales la erosión de los ríos ha excavado cañones con profundidades superiores a los 4,000 metros en el río Marañón, a escarpas comprendidas entre los 1,000 y 3,000 metros, como las formadas por el río Apurímac, al este, en la vertiente del Atlántico, las de Majes Colca, al oeste, en la vertiente del Pacífico,

los formados por el río Urubamba, en la zona de Machupicchu, por donde el circula el ferrocarril; el denominado Infiernillo en el valle del río Rímac, que es atravesado también por el ferrocarril y la carretera central que van de Lima a La Oroya; el cañón este de Tarma, por donde se ha trazado la carretera que se va a San Ramón y La Merced, en la Selva Central; el Cañón del Pato, por el río Santa al concluir el Callejón de Huaylas, etc.

2. Metodología General

El objetivo final de los trabajos a desarrollar, es la evaluación del riesgo por inundaciones, expresado en términos económicos, y la elaboración del informe de Perfil de Riesgo por Inundación de Perú.

Los estudios de detalle se centran en tres cuencas priorizadas consideradas como representativas del conjunto de Perú. En cada una de estas tres cuencas se han seleccionado cinco tramos estimados como representativos. Estas cuencas son la cuenca del río Piura, que representa a las cuencas de la región natural de la Costa; la cuenca del río Huallaga, representando a las cuencas de la región de la Selva; y la cuenca del río Vilcanota-Urubamba en la región de la Sierra. A partir de los resultados obtenidos en estas tres cuencas representativas, se han extrapolado dichos resultados con las precauciones pertinentes, a aquellas zonas del país que se podrían ver afectadas de forma simultánea por un evento hidrometeorológico extremo, en este caso a aquellas zonas afectadas por el fenómeno de El Niño. Como principales resultados se obtienen la Pérdida Anual Esperada por sector y territorio (proporcionada por el área bajo la Curva de Excedencia de Pérdidas) y la Pérdida Máxima Probable por sector y territorio. Estos resultados a través de la metodología desarrollada, se han obtenido a nivel nacional.

En la estimación del riesgo por inundaciones se han tenido en cuenta tres componentes principales a estudiar: la amenaza (en este caso el fenómeno de la inundación, y la probabilidad con la que se produce dicho fenómeno), la vulnerabilidad de los elementos y la exposición a través de personas expuestas al fenómeno. Para poder abordar el estudio de estas componentes hay que desarrollar una serie de tareas que de modo esquemático y resumido se presentan en el Gráfico 3.

En dicho gráfico se observa que existen unas tareas preliminares correspondientes a la selección de las cuencas y tramos priorizados y a la recolección de información necesaria (hidrometeorológica, cartográfica, geológica, fisiográfica, socioeconómica, levantamiento topográfico de las secciones en los tramos, etc.).

El núcleo central de la metodología lo constituye la estimación del riesgo a partir de las componentes antes mencionadas. El estudio hidrológico proporciona para cada tramo seleccionado una serie foronómica donde se relacionan los caudales máximos con la probabilidad de ocurrencia del evento de amenaza. Estos caudales se propagan por el cauce y llanuras de inundación del tramo seleccionado mediante la modelización hidráulica proporcionando unos resultados (superficie inundada, calado y velocidad) que caracterizarán la intensidad de la inundación. Por otra parte, es necesario conocer la vulnerabilidad de los elementos y personas presentes en la zona susceptible de ser inundada, es decir, en el cauce

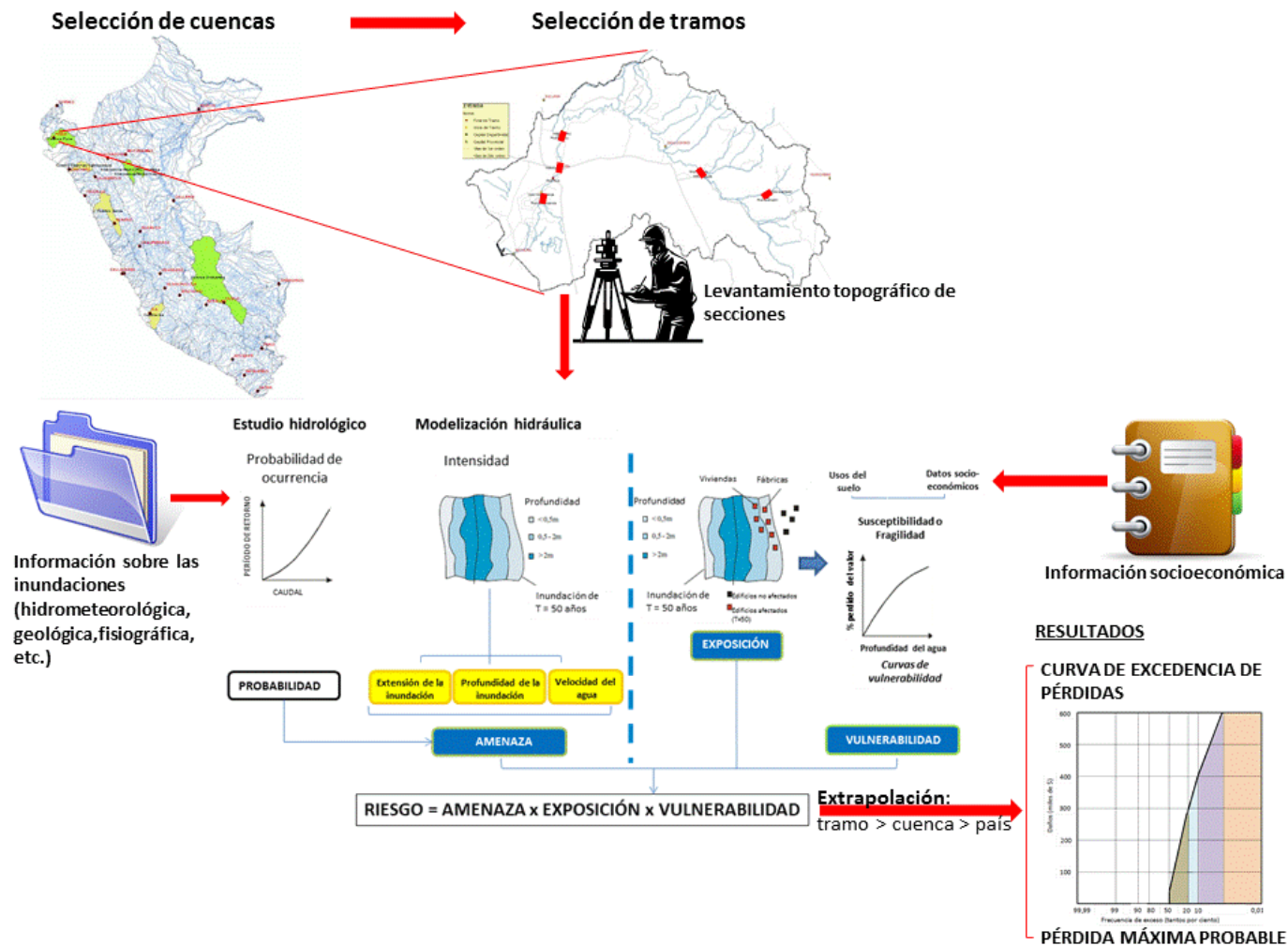
y llanuras de inundación. En este sentido, la vulnerabilidad tiene dos componentes: la exposición y la susceptibilidad. La exposición viene caracterizada por la ubicación geográfica de los elementos presentes en la zona inundable y da cuenta del número de elementos y personas potencialmente afectadas por la inundación. Da respuesta a la pregunta “Qué” y “Quiénes” se verán afectados por la inundación. La susceptibilidad responde a la pregunta de “Cómo” se verán afectados esos elementos y personas. Viene caracterizada por el valor del elemento expuesto y gracias a las llamadas curvas de vulnerabilidad que relacionan el calado y la velocidad del agua con la pérdida porcentual del valor de dicho elemento, se puede conocer el grado de afectación que sufre cada elemento expuesto. Finalmente el Riesgo se obtiene como la combinación de estos tres elementos: amenaza, exposición y vulnerabilidad.

La pérdida anual esperada, PAE (AAL o Average Annual Loss por sus siglas en inglés), se calcula como el área existente bajo la curva de excedencia de pérdidas. En el caso del conjunto del Perú se ha construido una Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas, donde la parte baja de la misma, correspondiente a los períodos de retorno bajos (fenómenos de alta frecuencia) se ha elaborado mediante el uso de información histórica, principalmente la procedente de la Base de Datos DesInventar, mientras que la parte correspondiente a fenómenos de baja frecuencia pero de alta intensidad, se ha construido a partir de la extrapolación de los resultados de la modelización en los tramos seleccionados de las cuencas priorizadas.

En el caso de la Pérdida Máxima Probable, (PML o Probable Maximun Loss), el otro de los resultados proporcionados en este estudio, y aunque suele ser habitual proporcionar el resultado correspondiente a la inundación de periodo de retorno de 500 años, se proporcionan además de éste, los resultados de Pérdida Máxima Probable para todos los periodos de retorno estudiados (20, 50, 100, 200 y 500).

Ambos resultados, PAE y PML, han sido calculados para cada cuenca seleccionada y para el territorio afectado por El Niño al ser considerado como territorio representativo a escala de país, tal y como se ha explicado anteriormente (fenómeno capaz de producir inundaciones simultáneas en gran parte del país).

Gráfico 3. Esquema de la metodología seguida para la estimación del riesgo por inundaciones



Fuente: Elaboración propia basado en Merz et al. (2007), Flood Risk Mapping At The Local Scale: Concepts And Challenges, en S. Begum et al. (eds.), Flood Risk Management in Europe, 231–251, Springer.

Así pues, en el conjunto de los trabajos que componen la **metodología desarrollada en este estudio** se abordaron los siguientes grandes bloques:

- a. Selección de las cuencas priorizadas y de los tramos de estudio.
- b. Recogida de la información necesaria.
- c. Evaluación de la amenaza por inundación.
- d. Estimación de los elementos y población expuestos a las inundaciones, tanto a nivel de tramo, como de cuenca priorizada y de país.
- e. Evaluación de la vulnerabilidad física de los elementos y de la población expuesta a las inundaciones.
- f. Estimación del riesgo en términos económicos y de población afectada tanto a nivel de tramo seleccionado como de cuenca priorizada y de país.

Seguidamente se explican los aspectos metodológicos relacionados con los puntos a y b que pueden considerarse como tareas preliminares al estudio en sí.

A cada uno del resto de puntos (desde el punto c al punto f) se les dedica un capítulo en sí mismo.

2.1. Selección de cuencas priorizadas

La selección de las cuencas obedece al cumplimiento de unos requisitos por parte de dichas cuencas, que son por una parte la representatividad geográfica y del fenómeno de las inundaciones; y por otra, la existencia de información de diferente tipo (general, sobre eventos históricos, hidrometeorológica, topográfica, cartográfica, datos sobre distintos tipos de daños, usos del suelo, etc.) para poder abordar el estudio. A continuación se explican brevemente estos requisitos.

2.1.1. Representación geográfica y del fenómeno de las inundaciones

Uno de los principales requisitos tenidos en cuenta en la elección de las cuencas, ha sido la representatividad de la cuenca a seleccionar con respecto a la zona a la que representa, así como del fenómeno de las inundaciones que se está estudiando. En este estudio se han seleccionado tres cuencas, que se corresponden con las diferentes regiones naturales en las que se divide el país (Costa, Sierra y Selva) La primera propuesta de cuencas se llevó a cabo tras varias reuniones con profesionales de la Contraparte Nacional compuesta por CENEPRED , así como con especialistas del MEF a fin de recabar su punto de vista desde su perspectiva macro-financiera, por lo que teniendo en cuenta los criterios antes mencionados se propusieron las siguientes cuencas:

Región	Cuenca
Costa	• Cuenca de Piura • Cuenca de Chancay-Lambayeque • Cuenca de Santa • Cuenca de Ica
Selva	• Cuenca de Sisa • Cuenca de Picota • Cuenca de Huallaga
Sierra	• Cuenca de Urubamba • Cuenca de Mantaro

2.1.2. Existencia de información

Por otra parte, a la hora de llevar a cabo la selección de cuencas, se ha tenido en cuenta la existencia de información de diferente naturaleza, cuya consecución se ha llevado a cabo a través de las principales instituciones del país, destacando el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) o los diferentes GORE (Gobiernos Regionales) del país en el caso de información general, histórica e hidrometeorológica. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) así como las diferentes ALAs (Autoridades Locales del Agua) han resultado indispensables en la consecución de información topográfica y cartográfica.

Finalmente y con respecto a la información acerca de daños producidos por inundaciones, CENEPRED, INDECI, los diferentes GORE's y Ministerios (Transporte, Agricultura y Cultura), han sido algunas de las fuentes consultadas.

- Información general

Datos de carácter general de las diferentes cuencas, tales como área, perímetro, altura media, densidad de la red de drenaje, pendiente media del río principal...etc., con el objetivo de identificar el tipo de cuenca y sus dimensiones puesto que la representatividad geográfica es uno de los principales puntos a tener en cuenta.

- Información sobre eventos históricos de inundación

Datos sobre inundaciones ocurridas en el pasado a nivel nacional de al menos los últimos 30 años. En este sentido, la consulta de la base histórica de pérdidas por desastres (DesInventar) ha sido fundamental para caracterizar los daños producidos por las inundaciones de alta frecuencia de ocurrencia.

Por otra parte, también se han consultado fuentes hemerográficas peruanas, así como Estudios, Tesis doctorales y Proyectos específicos sobre el tema de las inundaciones en Perú.

- Datos topográficos

En cuanto a la información topográfica necesaria para llevar a cabo el estudio, destaca el Modelo Digital del Terreno (MDT), indispensable por una parte para la realización del modelo hidrológico y un MDT de mayor resolución, necesario para llevar a cabo el modelo hidráulico.

Así mismo, han sido necesarias también ortofotografías, mapas topográficos y secciones transversales de los cauces a modelar.

- Información cartográfica

Esta información recogida en diferentes formatos (papel, imágenes y siempre que ha sido posible, en capas (shapes) de SIG (Sistemas de Información Geográfica)), comprende límites político-administrativos, red hidrográfica, delimitación de cuencas y subcuencas, delimitación de zonas urbanas, localización de infraestructuras hidráulicas, ubicación de estaciones de aforo y pluviométricas, vías de comunicación, ubicación de edificios,

patrimonio histórico y cultural, mapa geológico, geomorfológico, litológico, topográfico, usos de suelo, zonas protegidas etc.

- Registros y datos hidrometeorológicos

Con respecto a este tipo de información, entre los requisitos que se ha buscado que cumplieren las cuencas para ser seleccionadas están los siguientes: existencia de estaciones con series de aforo y precipitación diarias de al menos 30 años; existencia de al menos 3 estaciones de aforo en cada cuenca; información meteorológica de carácter general; datos de aforo; curvas Intensidad Duración Frecuencia (curvas IDF).

- Datos sobre daños producidos por inundaciones

Los daños producidos por una catástrofe natural (en este caso una inundación) pueden dividirse en dos grandes grupos: a) daños tangibles (valorables económicamente de un modo más o menos sencillo) y b) daños intangibles (difícilmente valorables económicamente). Dentro de los daños tangibles pueden distinguirse los daños directos, producidos por el contacto directo del agua y los daños indirectos debidos a la interrupción de los flujos económicos y a otras consecuencias a medio y largo plazo. Los daños intangibles son de difícil evaluación económica y entre ellos se pueden citar los daños psicológicos de la población afectada.

Dentro de la información sobre los daños, la búsqueda se ha centrado principalmente sobre los siguientes elementos:

- Daños sobre edificios

Se ha llevado a cabo una búsqueda de información sobre estudios de vulnerabilidad existentes; de información sobre precios de sustitución/reposición y construcción de las diferentes tipologías de edificios más representativas y de otras características tales como superficie, uso, materiales y promedio de habitantes en cada edificio.

- Datos de daños sobre vías de comunicación

La búsqueda de información se ha centrado al igual que en el caso de los edificios, en estudios de vulnerabilidad existentes, información sobre precios de sustitución/reposición y construcción de vías de comunicación (carretera y ferrocarril).

- Datos de daños sobre usos de suelo

Se llevó a cabo de nuevo una búsqueda de información sobre estudios de vulnerabilidad existentes, precios de pérdida de tipo de uso de suelo (urbano, industrial, cultivos, pastizales, etc.).

- Datos de daños sobre patrimonio histórico

La búsqueda de estudios de vulnerabilidad existentes, así como una descripción del elemento afectado (año de construcción, frecuencia de visitas, grado de importancia social), fueron los parámetros informativos consultados.

2.1.3. Otros criterios: Cuencas sin Estudios de Cálculo de Riesgo por Inundaciones

De cara a evitar duplicidad en los trabajos, han sido descartadas aquellas cuencas donde se han llevado a cabo recientemente estudios de cálculo de riesgo por inundaciones o se estén llevando a cabo en la actualidad.

Para recabar información se han visitado diversos organismos implicados en la gestión de inundaciones como el Gobierno Regional de Piura (Cuenca de Piura); GORE de Lambayeque (Cuenca Chancay-Lambayeque); GORE de Ancash (Cuenca Santa); GORE de Ica (Cuenca Ica) y GORE de Cusco (Cuenca Urubamba).

Una vez realizada la fase de búsqueda de información y con la finalidad de llevar a cabo una selección de cuencas de la forma más objetiva posible teniendo en cuenta los criterios de selección de cuencas anteriormente citados, se ha elaborado una matriz en la que se ha evaluado la información obtenida para cada una de las cuencas. En este sentido, cuando el nivel de la información obtenido en cada uno de los requerimientos informativos evaluados ha sido suficiente, se ha dado un valor de 1 a la cuenca que cumpla ese requisito, cuando la información es únicamente parcial, se le ha puntuado con 0,5 y cuando no existe información el valor otorgado ha sido nulo. La matriz en la que se muestran los resultados, así como el análisis de los criterios tenidos en cuenta en la selección de cuencas queda reflejado con mayor detalle en el *Anexo I: “Obtención de la llanura potencial de inundación”*.

Como resultado final, las cuencas seleccionadas al obtener una mayor puntuación son: **PIURA, URUBAMBA Y HUALLAGA**. A continuación se presentan brevemente.

Gráfico 4. Ubicación de las cuencas seleccionadas: Piura, Huallaga y Urubamba



- *Cuenca del río Piura*

Cuenta con un área total de 10,872.09 km², siendo de 292.5 km la longitud del curso principal. Los terrenos susceptibles de sufrir pérdidas por inundación son principalmente agrícolas (cultivos de plátano, papaya, cacao, arroz, etc.). Las poblaciones son de tipo disperso, siendo Piura el núcleo poblado más importante.

En este estudio, la cuenca del río Piura se denotada con la letra A.

- *Cuenca del Huallaga*

Cuenta con una superficie de 89,654.15 km², siendo el curso principal de unos 1,138 km. Los terrenos susceptibles de ocasionar pérdidas por inundación son mayoritariamente de tipo agrícola (palma aceitera, arroz, yuca, tabaco, cacao, maíz amarillo duro, café, algodón, tubérculos, cereales y frutales como naranja, coco y plátanos). También es importante la producción de vegetales tropicales. La mayoría de los núcleos poblados son de tipo

disperso, siendo los más importantes, Huánuco, Tingo María, Tocache, Juanjuí, Bellavista, y Picota.

En este estudio, la cuenca del Huallaga se denota con la letra B.

- *Cuenca del Urubamba*

Su extensión aproximada es de 76,200 km², contando su curso principal con una longitud de 862 km. La población asentada en la Cuenca del Río Urubamba desarrolla diversas actividades como la agricultura, ganadería, minería, energía, turismo y otros, siendo la agricultura, la energética y la turística las actividades económicas más importantes de esta cuenca. Los principales cultivos son el té, el cacao, el café, la papa, el maíz o la coca. Con respecto a los núcleos de población, destaca el distrito de Cusco con una población de 108,798 habitantes según el Censo del año 2007 del INEI.

En este estudio se denota con la letra C.

2.2. Selección de tramos críticos

Dentro de cada cuenca priorizada se han seleccionado cinco tramos con el fin de llevar a cabo la modelización hidráulica de las inundaciones de los períodos de retorno mencionados con anterioridad (20, 50, 100, 200 y 500 años) así como el cálculo detallado de las pérdidas por ellas producidas. Los tramos a modelizar seleccionados, pretenden ser representativos de los usos del suelo afectados por las inundaciones en cada una de las cuencas elegidas.

Para su elección se ha seleccionado la red de drenaje de la cuenca y delimitado mediante herramientas SIG los usos de suelo susceptibles de ser afectados por inundaciones teniendo en cuenta las características de la cuenca y el desarrollo de las llanuras de inundación, de cara a identificar la tipología y porcentaje de cada uso de suelo en el conjunto de la superficie considerada y procurando que la superficie de los de los mismos dentro de los tramos sea ponderada respecto al total de la superficie afectada por las inundaciones, no siendo por tanto una muestra sesgada.

La existencia de una o varias estaciones hidrométricas en las proximidades del tramo estudiado ha sido otro de los factores considerados, ya que el uso de datos primarios (caudales registrados), en vez de secundarios (caudales procedentes de la simulación hidrológica), facilita el proceso de modelización.

Finalmente, cabe destacar que en todo momento se ha consultado con las instituciones especializadas tanto a nivel nacional como regional y local.

Observación:

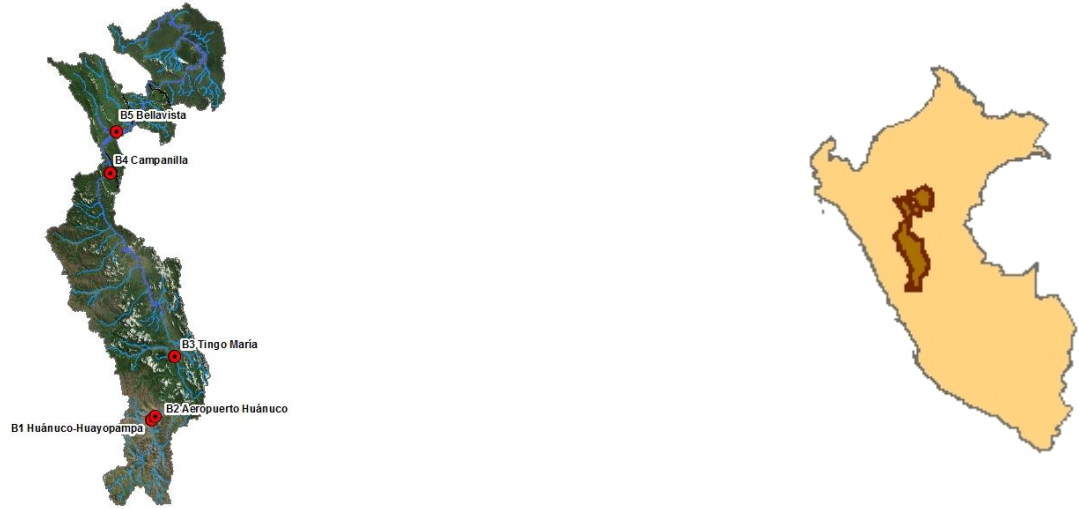
Los tramos han sido escogidos procurando que sean representativos de los usos del suelo afectados por las inundaciones y crecidas fluviales y han sido escogidos utilizando la mejor información disponible, lo cual no implica que dicha información contenga el detalle deseable. Por otra parte, se han tenido en cuenta las indicaciones de las instituciones peruanas competentes en esta materia.

Siguiendo estos criterios, en las cuencas seleccionadas, Piura, Huallaga y Urubamba, se han seleccionado los siguientes tramos:

Cuadro 1. Características y ubicación de los tramos seleccionados en la cuenca de Piura

PIURA					
	Tramo A.1.	Tramo A.2.	Tramo A.3.	Tramo A.4.	Tramo A.5.
Denominación	La Quemazón	La Huaquilla	S. Juan de Curumuy	Piura	Puente Independencia
Longitud apróx. (km)	2.0 km	3.5 km	2.5 km	7.5 km	4.3 km
Usos del suelo potencialmente afectados por inundaciones	Agricultura, viviendas, carreteras	Agricultura, viviendas, carreteras, puentes	Agricultura, viviendas, carreteras, ETAP, Central eléctrica	Urbano, agricultura	Agricultura, viviendas, carreteras
Estación hidrométrica	Bigote (Barrios): Cod. 200410	Carrasquilla: Cod. 200409	Puntarena: Cod. 200413	Presa los Ejidos: Cod. 200427/ Puente Piura: Cod. 200407; Estación de Sánchez Cerro	Puente Piura: Cod. 200407
Zona Natural	Bosque seco ecuatorial/Chala (Costa)	Bosque seco ecuatorial/Chala (Costa)	Bosque seco ecuatorial/Chala (Costa)	Bosque seco ecuatorial/Chala (Costa)	Bosque seco ecuatorial/Chala (Costa)

Cuadro 2. Características y ubicación de los tramos seleccionados en la cuenca del Huallaga

HUALLAGA					
	Tramo B.1.	Tramo B.2.	Tramo B.3.	Tramo B.4.	Tramo B.5.
Denominación	Huánuco (Pte. Esteban Pavletich-Huayopampa)	Aeropuerto de Huánuco	Tingo María	Campanilla	Bellavista
Longitud apróx. (m)	2.0 km	3.5 km	5.8 km	1.5 km	5.0 km
Usos del suelo potencialmente afectados por inundaciones	Urbano	Aeropuerto, carreteras y agricultura	Viviendas, agricultura, aeropuerto y carreteras	Agricultura y viviendas	Agricultura y vivienda
Estación hidrométrica	Higueras: Cod. 221813 Puente Taruca: Cod. 221809	Puente Taruca: Cod. 221809	Puerto Corpac: Cod. 221904	Campanilla: Cod. 221902	Huayabamba: Cod. 230504 San Cristóbal: Cod. 221803
Zona Natural	Selva alta (Yungas) Rupa Rupa	Selva alta (Yungas) Rupa Rupa	Selva Tropical Amazónica/Selva baja	Selva Tropical Amazónica/Selva baja	Selva Tropical Amazónica/Selva baja

Cuadro 3. Características y ubicación de los tramos seleccionados en la cuenca del Urubamba

URUBAMBA VILCANOTA					
	Tramo C.1.	Tramo C.2.	Tramo C.3.	Tramo C.4.	Tramo C.5.
Denominación	San Pedro San Pablo	Calca	Huasao (Huatanay)	Bocatoma CH – Aguas Calientes	CH Machu-Picchu-Aobamba
Longitud apróx. (m)	11.0 km	9.0 km	3.8 km	5.0 km	2.1 km
Usos del suelo potencialmente afectados por inundaciones	Agricultura, urbano, ferrocarril	Agricultura, urbano	Agricultura, urbano, infraestructuras viarias	Vía férrea; urbano, turístico, industrial, agricultura	Industrial
Estación hidrométrica	NO	Pisac 230401 Chilca 230402	Granja Kayra: Cod. 230404	Estación de Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A (EGEMSA) (Bocatoma)	Teresita: Cod. 230929
Zona Natural	Suni Templado-frío	Suni Templado	Suni Templado	Selva Alta	Selva Alta

2.3. Levantamiento de Información en Cuencas Priorizadas

Se han recopilado, de forma coordinada con CENEPRED y el Ministerio de Economía y Finanzas (las contrapartes nacionales), los datos necesarios para realizar los cálculos precisos para modelizar las avenidas de los distintos períodos de retorno considerados. Por otro lado, también se ha llevado a cabo la recopilación de información de distinta tipología (histórica, socio-económica, datos históricos de los niveles, extensión y otras características de las inundaciones, así como de los daños ocasionados por las mismas en las cuencas priorizadas, usos del suelo, etc.). Seguidamente se detalla en qué ha consistido esta información en cada una de las cuencas priorizadas.

2.3.1. Información general

Se ha llevado a cabo en cada una de las cuencas priorizadas una recopilación de las características principales de las mismas, tales como región hidrográfica a la que pertenece, superficie de la cuenca, longitud del río principal, principales usos de suelo etc.

2.3.2. Información referente a las inundaciones (amenaza)

. Marcas de inundación (niveles)

De forma simultánea al levantamiento de las secciones topográficas se ha recopilado información de los niveles y extensión alcanzados por inundaciones históricas. Durante las visitas de campo se ha intentado obtener información acerca de la altura del agua sobre el terreno a partir de marcas o placas colocadas para dejar testimonio de la inundación, señales en viviendas, fotografías o testimonios directos de las personas.

En la siguiente imagen se muestran los niveles alcanzados por el agua en una inundación, cuyos datos han sido obtenidos a través del testimonio directo de los habitantes del lugar.

Gráfico 5. Marcas de una inundación histórica en el tramo de Campanilla (Cuenca del Huallaga)



Por otra parte, la información obtenida en campo ha sido completada con otras fuentes documentales. En este sentido, en la cuenca de Piura se han detectado marcas de inundación en poblaciones, puentes y red vial, principalmente. Las principales poblaciones en las que se han identificado indicios o marcas históricas de inundación son Curamori, Tambo Grande o Chato Chico, los puentes Carrasquillo, Tumbes, Bolognesio o Puente Independencia han sido los que en más ocasiones han sufrido daños, reflejando la magnitud de estas inundaciones. La afección a carreteras como la de Piura-Morropón, Carrasquillo-Morropón o Tambogrande-Chulucanas indica la extensión de determinadas inundaciones históricas.

En la cuenca del Huallaga, edificios públicos de la ciudad de Ambo, determinadas zonas de la comunidad Brisas del Huallaga o ciertas calles de Bellavista muestran los límites alcanzados por las inundaciones acaecidas en el pasado. En cuanto a las vías de comunicación la vía de acceso a Vainillas ha resultado afectada en diversas ocasiones, mostrando de esta manera la superficie de agua cubierta por el agua.

Finalmente, en la cuenca del Urubamba, destacan los poblados de Huayronccolloc Pampa (las aguas llegaron hasta la iglesia y su plaza principal), o la ciudad de Urubamba, en cuyo caso las aguas llegaron a sus principales calles. En esta cuenca, la mayor parte de las marcas de inundación históricas se detectan en las vías de comunicación, encontrando afecciones a las líneas férreas Machu Picchu-Maranura, Machu Pichu-Quillabamba (Km

122-148) y a la de Ollantaytambo – Aguas Calientes o en las carreteras Santa Teresa-Quillabamba, Cusco Quincemil o Ollantaytambo – Piscaycucho.

. Base de Datos DesInventar

Igualmente, se ha llevado a cabo una recopilación de los daños producidos por las inundaciones históricas recogidas en la Base de Datos DesInventar. Concretamente y con respecto al fenómeno de las inundaciones, esta base de datos contiene información desde el año 1970 hasta el 2011. En este sentido se ha llevado a cabo el análisis de los 3,298 registros sobre inundaciones históricas contenidos en dicha base de datos.

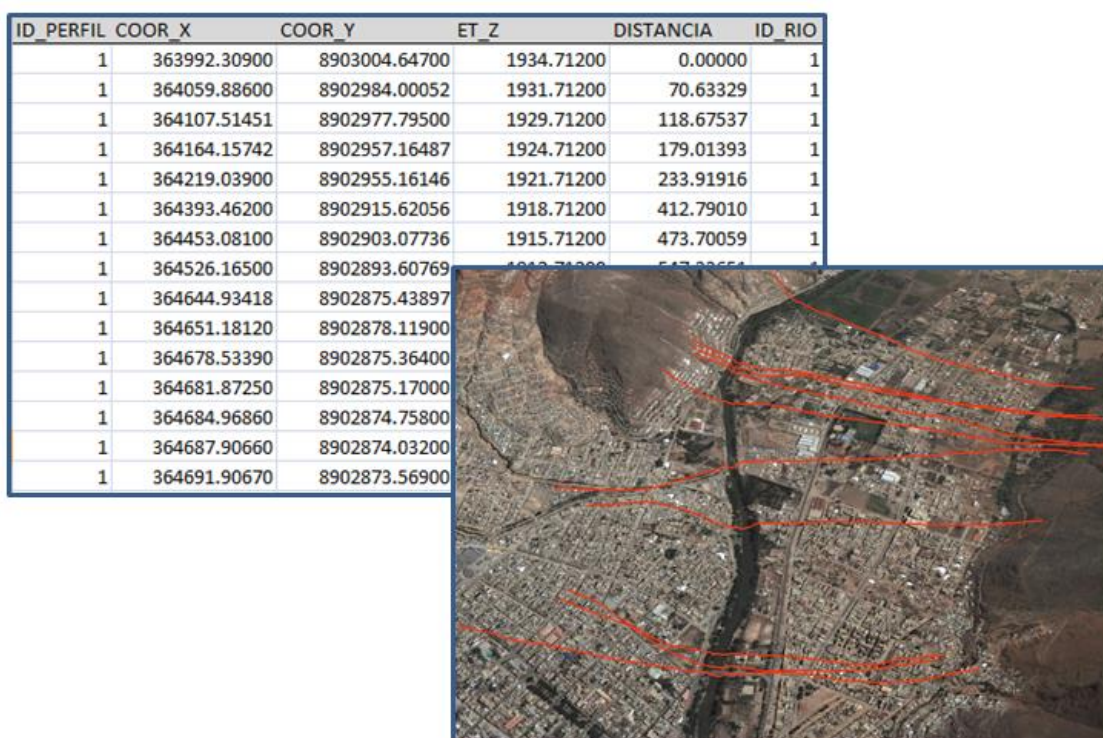
2.3.3. Topografía

Se ha realizado el levantamiento topográfico de secciones transversales en los tramos seleccionados de las cuencas priorizadas, con el objetivo de obtener de una forma fiable tanto el trazado del río, como las distintas profundidades del cauce principal y de las llanuras de inundación. Datos que conformarán la estructura del modelo de simulación hidráulica desarrollado en una fase posterior.

Como principales fuentes de información consultadas destacan el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Cartas Nacionales, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) e imágenes satelitales tales como Google Earth.

A continuación puede verse un ejemplo de los resultados obtenidos tras la realización de los trabajos topográficos: tabla de resultados con ubicación y coordenadas (x,y,z) de los puntos topográficos que conforman cada sección, así como visualización de los datos en formato shape.

Gráfico 6. Ejemplo de resultados de los trabajos topográficos realizados (Tramo Huánuco-Huayopampa)



2.3.4. Información hidrológica

- Procedimiento de obtención de los caudales

Uno de los requisitos tenidos en cuenta a la hora de seleccionar los tramos de estudio de las cuencas priorizadas, ha sido además del carácter representativo de los diferentes usos de suelo, la existencia de una estación hidrométrica bien al inicio del tramo o cerca del mismo, de tal forma que se obtuviesen de forma directa los caudales circulantes por dicho tramo de estudio. En caso de que alguno de los tramos haya carecido de la presencia de estación hidrométrica, se ha realizado un modelo hidrológico, el cual, partiendo de los datos de lluvias de las correspondientes estaciones meteorológicas y tras la simulación del proceso lluvia escorrentía, proporciona los caudales presentes en dicho tramo.

En el caso de contar con una estación hidrométrica en los tramos de estudio, el segundo de los pasos a seguir ha sido el analizar si la amplitud de la serie de datos es suficiente, así como la calidad de los mismos.

A continuación se ha analizado la existencia y la calidad de la información hidrológica en cada uno de los tramos seleccionados. Se han identificado aquellos tramos en los que se ha contado con una estación hidrométrica con una serie foronómica de longitud y calidad suficientes larga y que permiten obtener los caudales correspondientes a los diferentes

Períodos de Retorno aplicando simplemente un análisis de frecuencia a dichas series, de aquellos tramos en los que ha sido necesario llevar a cabo un modelo hidrológico para la obtención de los mismos de los caudales (lo cual es siempre menos deseable). Se indica también la amplitud de la serie de datos, la calidad de los registros y la solución finalmente adoptada en cada uno de los tramos de estudio.

- Análisis de la información foronómica existente en los tramos seleccionados.

Cuadro 4. Tramos seleccionados en la cuenca de Piura

	Piura				
	Tramo A.1.	Tramo A.2.	Tramo A.3.	Tramo A.4.	Tramo A.5.
Denominación	La Quemazón	La Huaquilla	S. Juan de Curumuy	Piura	Puente Independencia
Estación hidrométrica	Bigote (Barrios): Cod. 200410	Puente Carrasquillo: Cod. 200409	Tambo Grande	Presa los Ejidos: Cod. 200427/ Puente Piura: Cod. 200407;	Presa los Ejidos: Cod. 200427/ Puente Piura: Cod. 200407;
Longitud de la serie	Septiembre 1967 – Diciembre 1982	Septiembre 1962 – Diciembre 1982	Septiembre 1991 – Abril 1995	Presa los Ejidos: Marzo 1991 – Julio 1995 Puente Piura: Cod. Septiembre 1925 – Octubre 2009	Presa los Ejidos: Marzo 1991 – Julio 1995 Puente Piura: Cod. Septiembre 1925 – Octubre 2009
Calidad de la serie	1967-71: Caudales medios diarios 1971-82: Caudales máximos diarios Continuidad de los registros	Caudales máximos diarios Continuidad de los registros	Caudales máximos diarios Serie muy corta	Presa los Ejidos: Serie muy corta Puente Piura: Cod. Discontinuidades Discordancias entre los datos de ambas estaciones	Presa los Ejidos: Serie muy corta Puente Piura: Cod. Discontinuidades Discordancias entre los datos de ambas estaciones
Solución adoptada	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico

Cuadro 5. Tramos seleccionados en la cuenca del Huallaga

	Huallaga				
	Tramo B.1.	Tramo B.2.	Tramo B.3.	Tramo B.4.	Tramo B.5.
Denominación	Huánuco - Huayopampa	Aeropuerto de Huánuco	Tingo María	Campanilla	Bellavista
Estación hidrométrica	Puente Taruca: Cod. 221809	Puente Taruca: Cod. 221809	Puerto Corpac: Cod. 221904 Tingo María	Campanilla: Cod. 221902	San Cristóbal: Cod. 221803
Longitud de la serie	Julio 1966 – Enero 1976	Julio 1966 – Enero 1976	Puerto Corpac: Cod. 221904: Marzo 1995 – Octubre 1995 Tingo María: Septiembre 2001- Marzo 2014	Diciembre 1998 – Octubre 2013	Diciembre 1975 – Diciembre 1980
Calidad de la serie	Caudales máximos diarios	Caudales máximos diarios	Niveles máximos diarios Serie de Corpac muy corta	Niveles máximos diarios	Niveles máximos diarios Serie corta
Solución adoptada	Modelo hidrológico (HEC-HMS)/Modelo hidráulico	Modelo hidrológico (HEC-HMS)/Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Modelo hidrológico (HEC-HMS)/Modelo hidráulico	Modelo hidrológico (HEC-HMS)/Modelo hidráulico

Cuadro 6. Tramos seleccionados en la cuenca del Vilcanota-Urubamba

	Urubamba - Vilcanota				
	Tramo C.1.	Tramo C.2.	Tramo C.3.	Tramo C.4.	Tramo C.5.
Denominación	San Pedro San Pablo	Calca	Huasao (Huatanay)	Bocatoma CH – Aguas Calientes	CH Machu-Picchu-Aobamba
Estación hidrométrica	NO	Pisac 230401	Granja Kayra: Cod. 230404	Estación de Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A (EGEMSA) (Bocatoma)	Estación de Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A (EGEMSA) (Bocatoma)
Longitud de la serie	---	---	Enero 2006 – Marzo 2013	1958 - Actualidad	1958 - Actualidad
Calidad de la serie	---	No hay datos	Niveles máximos diarios	Caudales diarios	Caudales diarios
Solución adoptada	Modelo hidrológico/Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico	Tratamiento matemático de la serie y estudio de frecuencias/ Modelo hidráulico

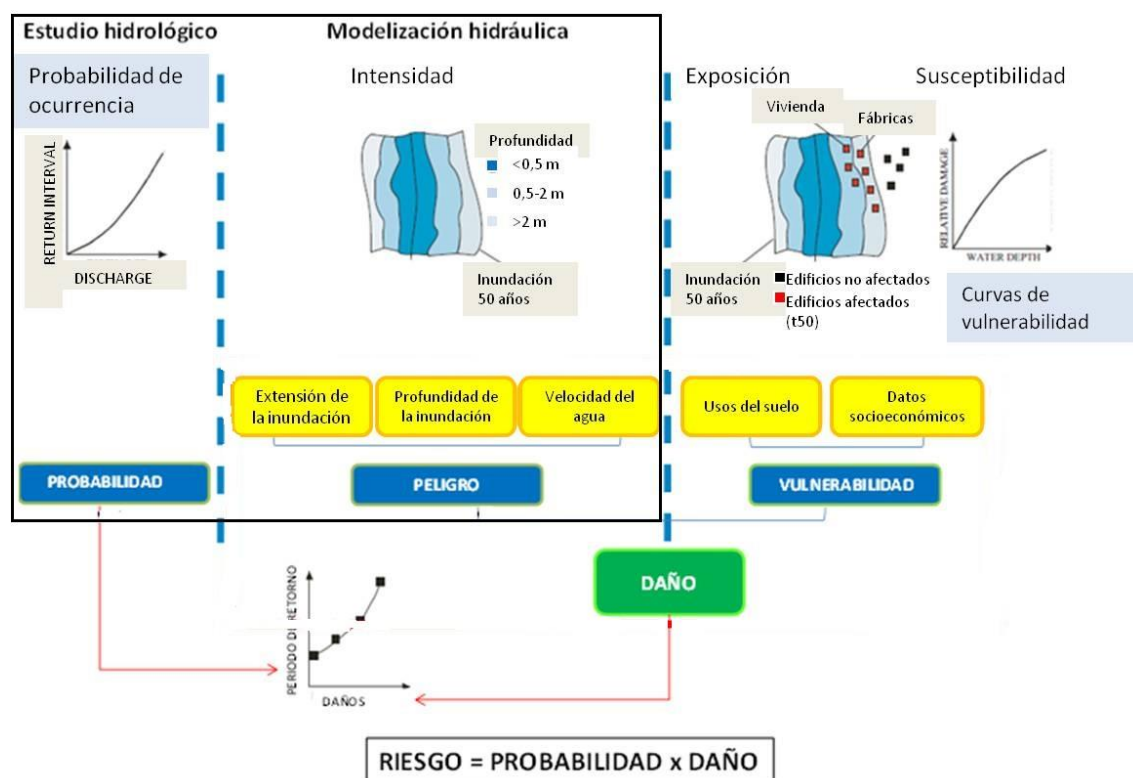
3. Evaluación de Amenaza por Inundación

A) Tramo

Con respecto a la caracterización de la amenaza de inundación en el presente estudio y acorde a la metodología propuesta, se ha llevado a cabo a nivel de tramos seleccionados, realizando su correspondiente estudio hidrológico y modelización hidráulica. Se han empleado los datos estadísticos de aforo y lluvia para los periodos de retorno considerados (20, 50, 100, 200 y 500 años) y datos de inundaciones históricas para calibrar y ajustar los resultados proporcionados por la modelización.

Dentro del esquema metodológico presentado en el Gráfico 7, en esta parte del estudio se realizan los trabajos enmarcados en el gráfico siguiente.

Gráfico 7. Estudio hidrológico y modelización hidráulica en el conjunto de la metodología



El estudio hidrológico de series foronómicas (caudales) permite obtener caudales correspondientes a los períodos de retorno deseados. Se ha priorizado el uso de registros foronómicos frente a los de lluvia, ya que proporcionan información primaria de los caudales circulantes por tramo de estudio. De modo general, para la obtención de los caudales de entrada a los tramos de estudio, se han buscado registros de caudales históricos en las

estaciones de aforo más convenientes (normalmente ubicadas a unos pocos kilómetros aguas arriba de los tramos de estudio). Una vez identificadas series de datos históricos lo suficientemente largas (y al ser posible de caudales máximos diarios), se ha procedido a analizar la consistencia de dicha serie y a un posterior análisis estadístico con el fin de ajustar la serie de datos a funciones de distribución de probabilidad especializadas en valores extremos.

En el caso de no disponer de registros foronómicos para un tramo seleccionado, se ha recurrido a la simulación del proceso de lluvia-escorrentía mediante el modelo hidrológico HEC-HMS para obtener los caudales en estos tramos. Los caudales obtenidos se propagaron por el cauce y las llanuras de inundación del tramo seleccionado utilizando el modelo hidráulico HEC-RAS para obtener la extensión de la inundación y los valores de calado y velocidad del agua en los distintos puntos del tramo estudiado.

Ambos modelos citados han sido desarrollados por el USACE (US Army Corps of Engineers), son de libre distribución y ampliamente utilizados.

A continuación se hace una breve descripción de estos dos modelos.

3.1. Modelo Hidrológico HEC-HMS

El modelo hidrológico utilizado para la obtención de caudales a través de la simulación del proceso lluvia-escorrentía, en aquellos tramos en los cuales no se ha contado con datos foronómicos, ha sido el modelo HEC-HMS. Software creado por el US Army Corps of Engineers.

A continuación se muestra un cuadro de recopilación de los caudales obtenidos en cada uno de los tramos y periodos de retorno estudiados (tantos los obtenidos a través de la simulación con este software como los obtenidos a través de otras fuentes).

Cuadro 7. Resumen de los resultados del estudio hidrológico

			Caudales Máximos Instantáneos (Q) m ³ /s para cada T (años)					Función Distribución (Método de ajuste)/ Modelización
Cuenca	Tramo		T20	T50	T100	T200	T500	
A: Piura	Tramo A.1.	La Quemazón	605	762	875	987	1,134	Gumbel (MPP)
	Tramo A.2.	Huaquilla	1,697	2,159	2,498	2,838	3,666	Estudios realizados
	Tramo A.3.	Curumuy	2,013	3,254	4,056	4,962	6,345	GEV (MPP)
	Tramo A.4.	Piura	3,570	4,440	5,270	6,110	7,610	GEV (MPP)
	Tramo A.5.	Independencia	3,570	4,440	5,270	6,110	7,610	GEV (MPP)
B: Huallaga	Tramo B.1.	Huánuco- Huayopampa	483	802	905	1,275	1,694	HEC-HMS
	Tramo B.2.	Huánuco Aeropuerto	495	831	931	1,320	1,752	HEC-HMS
	Tramo B.3.	Tingo María	2,012	2,417	2,594	2,663	2,873	Estudios realizados
	Tramo B.4.	Campanilla	4,014	5,150	6,137	7,156	8,611	HEC-HMS
	Tramo B.5.	Bellavista	5,481	6,939	8,117	8,117	11,002	Estudios realizados
C: Vilcanota- Urubamba	Tramo C.1.	Cerca Punco	76	151	213	284	385	HEC-HMS
	Tramo C.2.	Calca	335	382	419	458	510	SQRT
	Tramo C.3.	Huasao	240	288	329	373	447	Estudios realizados
	Tramo C.4.	Aguas Calientes	910	1,089	1,206	1,333	1,519	SQRT
	Tramo C.5.	Machupicchu	910	1,089	1,206	1,333	1,519	SQRT

NOTAS.

- . MPP: Momentos Ponderados Probabilísticamente
- . GEV: Función de distribución General de Valores Extremos
- . SQRT: modelo de ley desarrollado para el análisis de lluvias
- . Referencia bibliográfica: los datos utilizados proceden de estudios hidrológicos e hidráulicos previos realizados en la zona de estudio

3.2. Modelo Hidráulico

Para la realización de los modelos hidráulicos se ha utilizado el software HEC-RAS del US Army Corps of Engineers. Dentro de todas las opciones de modelizado que ofrece este programa, teniendo en cuenta la longitud de los tramos modelizados y a los propios objetivos del proyecto, se ha utilizado la modalidad de flujo en régimen permanente, es decir, caudal invariable en el espacio y en el tiempo.

Para definir la geometría de los modelos hidráulicos, se ha realizado, como ya se ha indicado, un levantamiento topográfico del cauce de los ríos objetivo y de los terrenos adyacentes a dicho cauce. Para ello se han realizado campañas topográficas en cada uno de los tramos a modelizar. La distancia en la toma de datos topográficos ha sido la de aproximadamente 500 metros. En las campañas topográficas también se han tomado las medidas de todas aquellas infraestructuras transversales al flujo de agua que pueden causar una alteración del flujo, y por tanto la inundación de los terrenos adyacentes.

Por otro lado, con el objetivo de definir la rugosidad del cauce a modelizar y de las llanuras de inundación, se han tomado las ortofotos como referencia, asignando un valor del coeficiente de rugosidad de Manning distinto en función del tipo de cobertura existente.

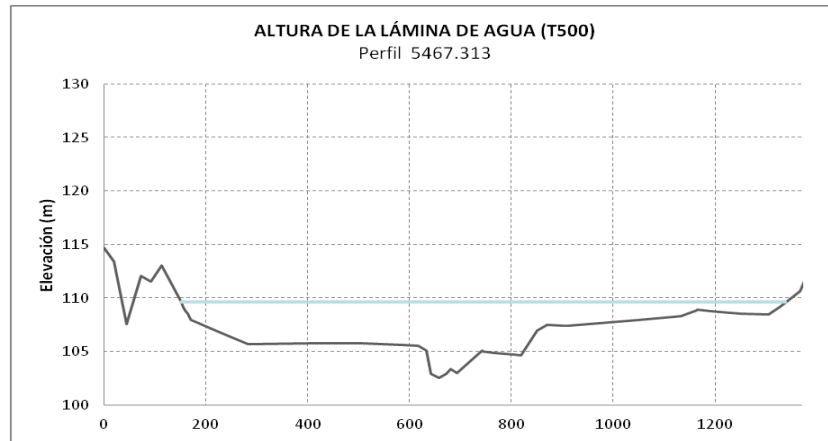
Para la inclusión de los puentes en el modelo, se han tomado dos secciones transversales a pocos metros del puente, una aguas arriba del mismo y otra aguas abajo, con el fin de plasmar con una mayor exactitud la topografía del terreno en las inmediaciones del puente. De igual forma, también se ha incluido la geometría de los puentes a partir de mediciones tomadas en campo.

Por último conviene mencionar que debido a las limitaciones que conlleva modelizar hidráulicamente con la modalidad de flujo en régimen permanente (caudal constante en tiempo y en espacio), en aquellos tramos a modelizar que presentan cambios bruscos entre 2 secciones transversales consecutivas, es posible que aparezcan inestabilidades que hagan aumentar o disminuir la cota de la lámina de agua de forma repentina y sin una lógica clara. En cualquier caso, estos cambios de calado en una misma sección y entre periodos de retorno consecutivos, que en un principio pueden parecer que no son lógicos, son siempre del orden de unos pocos centímetros (normalmente menor a 10 cm). Por consiguiente, estas inestabilidades se pueden despreciar.

Como resultado del proceso de modelización se han obtenido los niveles de agua en cada una de las secciones topográficas consideradas, así como las manchas de inundación o superficie inundada para cada tramo de estudio y periodo de retorno considerado.

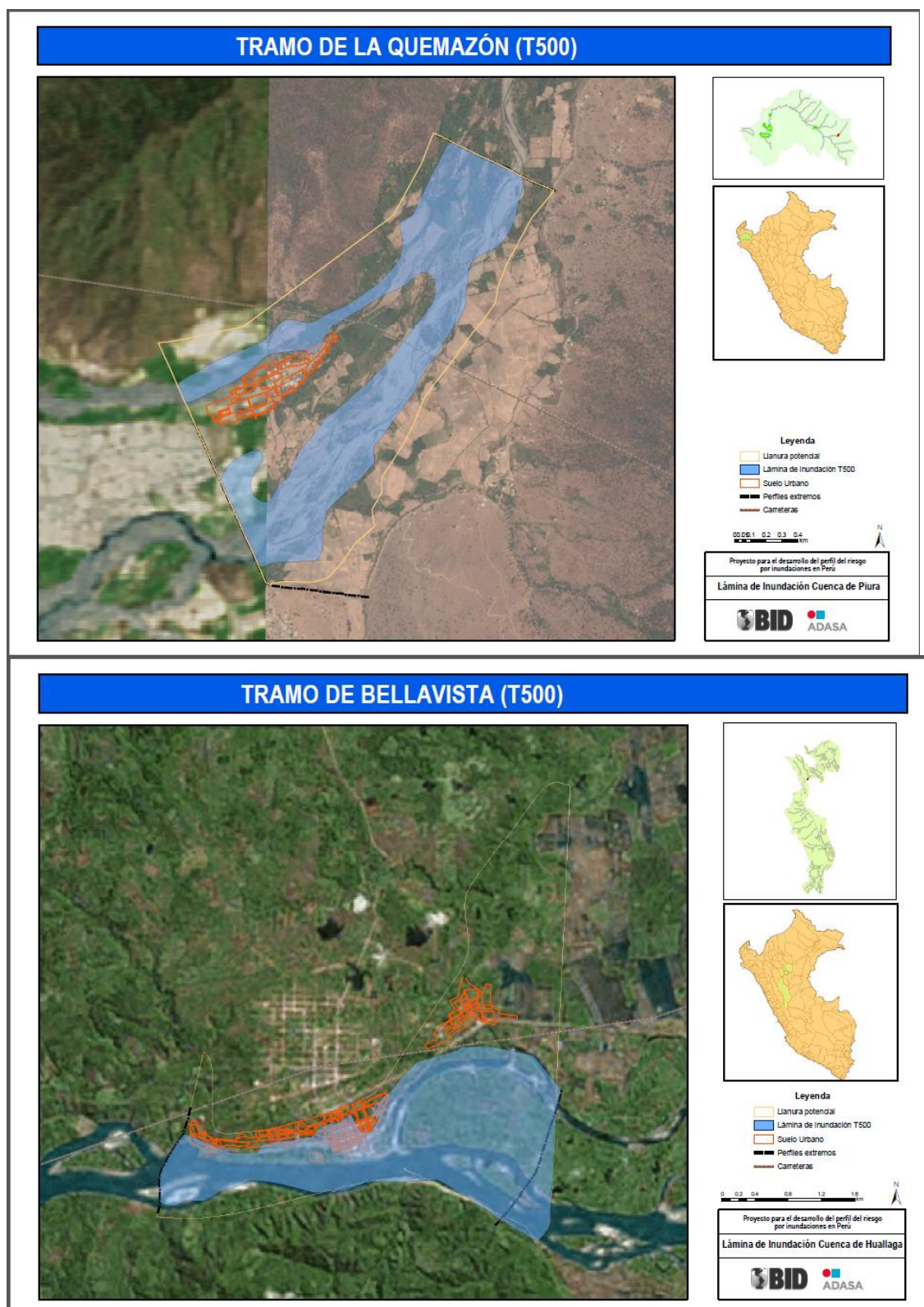
A continuación se muestran algunos ejemplos de los resultados obtenidos:

Gráfico 8. Ejemplo de perfil topográfico transversal del tramo de La Huaquilla (cuenca de Piura), donde se muestra la altura de la lámina de agua para el periodo de retorno de 500 años



Otro de los resultados obtenidos del modelo hidráulico como se ha comentado con anterioridad son las láminas o áreas de inundación, estimadas para cada tramo de estudio y periodo de retorno considerado.

Gráfico 9. Ejemplos de lámina de inundación para el periodo de retorno de 500 años en los tramos de La Quemazón (cuenca de Piura), Bellavista (cuenca del Huallaga) y Huasao (cuenca del Urubamba)



TRAMO DE HUASAO (T500)



Leyenda

- Llanura potencial
- Lámina de inundación T500
- Suelo Urbano
- Perfiles extremos
- Carreteras

0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 km

Proyecto para el desarrollo del perfil del riesgo
por inundaciones en Perú

Lámina de Inundación Cuenca de Urubamba

BID

ADASA

4. Valor Expuesto

Para la estimación del valor expuesto, se ha llevado a cabo un inventario de elementos presentes a nivel de todo el país, con un nivel de detalle creciente a medida que el estudio se va centrando en las zonas de estudio (país, cuencas seleccionadas y tramos seleccionados). Como se explica más adelante, debido a que el fenómeno de las inundaciones no afecta a la totalidad del territorio, sino que se circunscribe a las llanuras adyacentes a los cauces fluviales, ha sido necesario aislar estas áreas para poder realizar el inventario únicamente en estas superficies, a través del trazado de la llanura potencial de inundación (máxima extensión del terreno que podría llegar a inundarse, lo que no significa que se corresponda con la máxima extensión inundada por el periodo de retorno más grande del presente estudio (500 años, T500).

Los elementos incluidos dentro de este inventario se pueden englobar dentro de las siguientes categorías:

- Agricultura
- Pastizales y/o prados naturales
- Edificios (viviendas)
- Industrial
- Bosque y/o selva
- Vías de comunicación
- Patrimonio
- Improductivo

En este sentido se ha recogido información de poblaciones y núcleos urbanos, infraestructuras críticas tales como carreteras y vías de ferrocarril, localización de tierras de cultivos...etc., superficie de todos ellos así como valor unitario de los activos entre otros. Esta información ha sido levantada aplicando una metodología de clasificación supervisada, utilizando para ello sensores remotos (fotografía e imágenes disponibles, principalmente de Google Earth al no disponer de ortofotografía aérea), pero realizando visitas de campo para verificar las características de las distintas unidades identificadas.

4.1. Llanuras potenciales de inundación

Debido a que las inundaciones son fenómenos que, como se ha dicho con anterioridad, únicamente afectan a las zonas aledañas a los cursos fluviales, ha sido necesario aislar el área potencial de afectación por inundación.

A) A nivel de cuencas seleccionadas

A nivel de cuencas de estudio (Piura, Huallaga y Urubamba), en los recorridos fluviales comprendidos entre los diferentes tramos de estudio seleccionados, y de cara a llevar a cabo el inventario de elementos y una delimitación de la superficie a la cuál extrapolar los resultados obtenidos en cada tramo seleccionado con mayor grado de detalle que a nivel de país, se ha llevado a cabo una delimitación de las llanuras potenciales de inundación para cada uno de los periodos de retorno estudiados, denominándose llanuras potenciales intertramo, a las cuáles se han extrapolado los resultados obtenidos a nivel de tramo y periodo de retorno correspondiente. Para su delimitación, se han tenido en cuenta criterios geomorfológico-históricos, así como los resultados obtenidos tras la modelización de los diferentes Periodos de Retorno de los tramos seleccionados en las respectivas cuencas de estudio.

B) A nivel nacional o de territorio afectado por El Niño

A nivel nacional, y teniendo en cuenta en este caso criterios geomorfológicos e históricos, se ha llevado a cabo una delimitación de las llanuras potenciales de inundación para todo el país (máxima superficie que se podría llegar a ver inundada y que no tiene por qué ser coincidente con la llanura de inundación correspondiente al periodo de retorno más grande tratado en el presente estudio, T500), resultando útil para la determinación de la superficie a la que extrapolar los resultados obtenidos a nivel de cuenca seleccionada.

La metodología utilizada para su estimación, es una metodología geográfica (basada en GIS). A continuación se muestra un ejemplo de las llanuras de inundación potenciales en los intertramos de red fluvial de las cuencas seleccionadas (correspondientes a los diferentes periodos de retorno estudiados), así como de las llanuras potenciales a nivel tanto de cuenca seleccionada como de todo Perú.

Gráfico 10. Ejemplo de llanuras potenciales en los intertramos de las cuencas seleccionadas correspondientes a los diferentes periodos de retorno estudiados

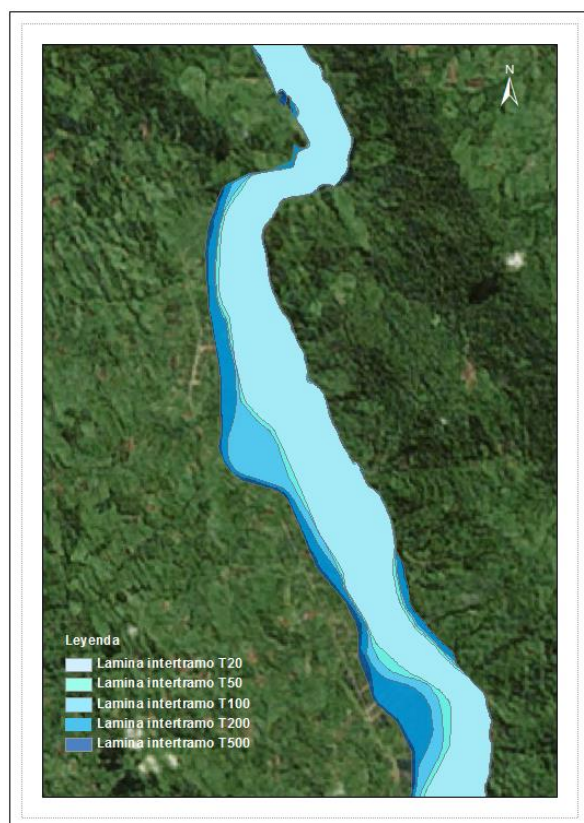


Gráfico 11. Llanura potencial de inundación estimada en Perú y en la cuenca de Piura

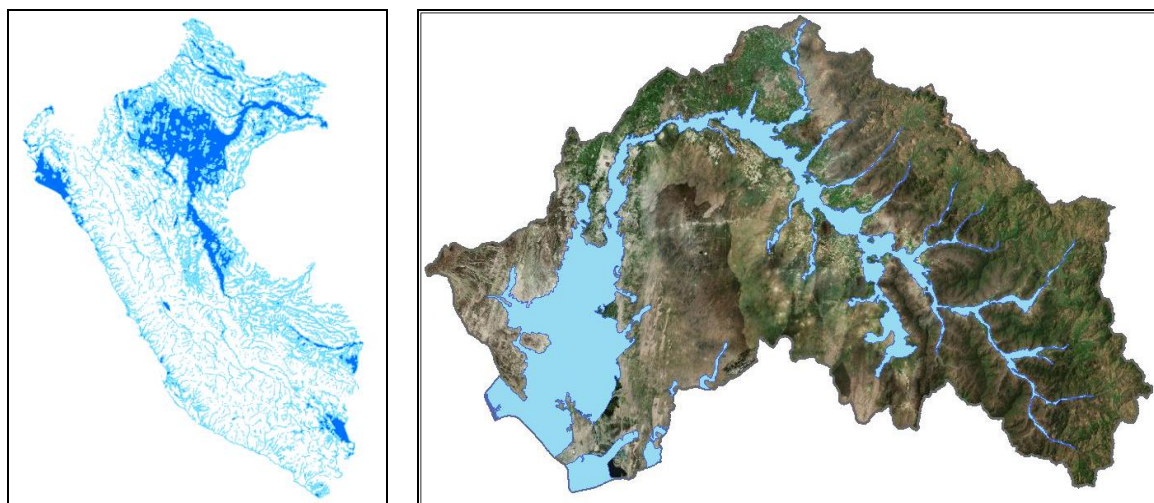


Gráfico 12. Llanura potencial de inundación estimada de la cuenca de Huallaga

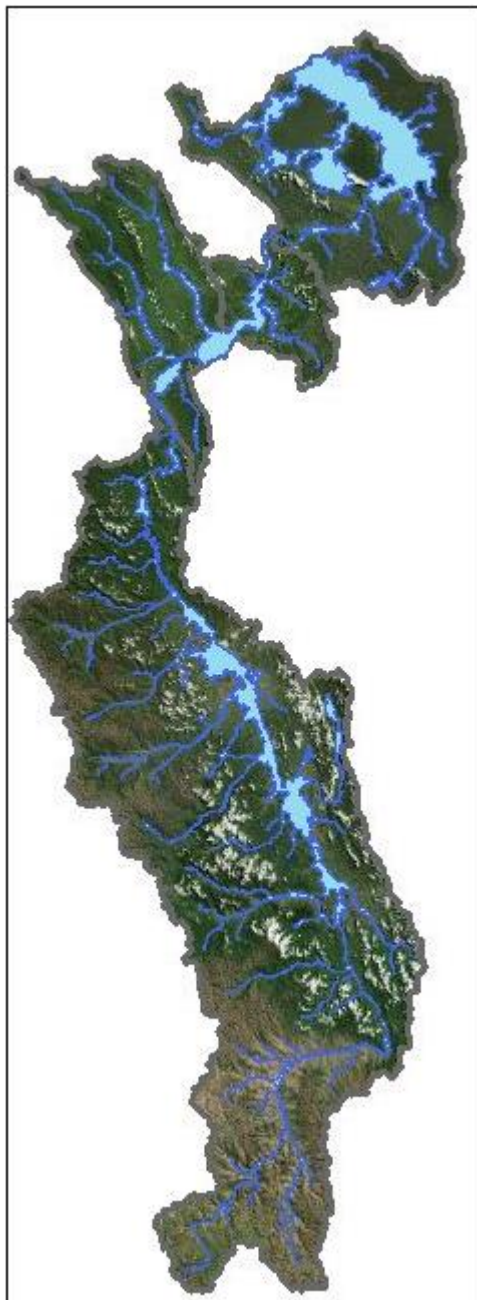
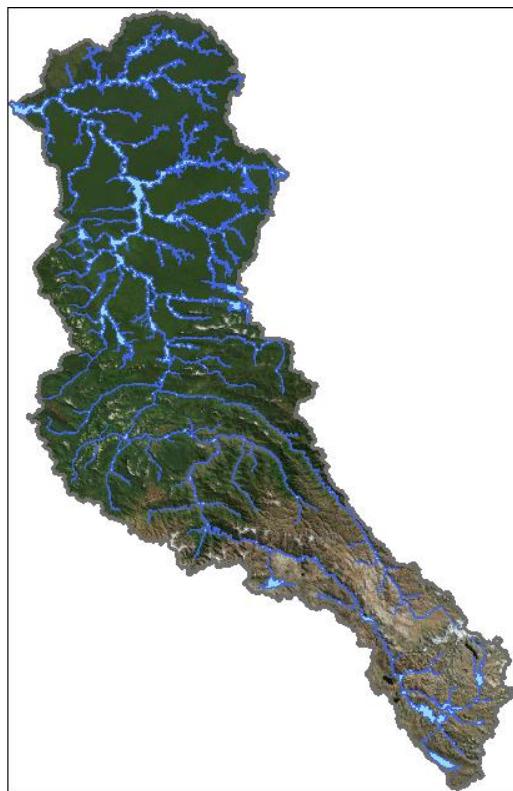
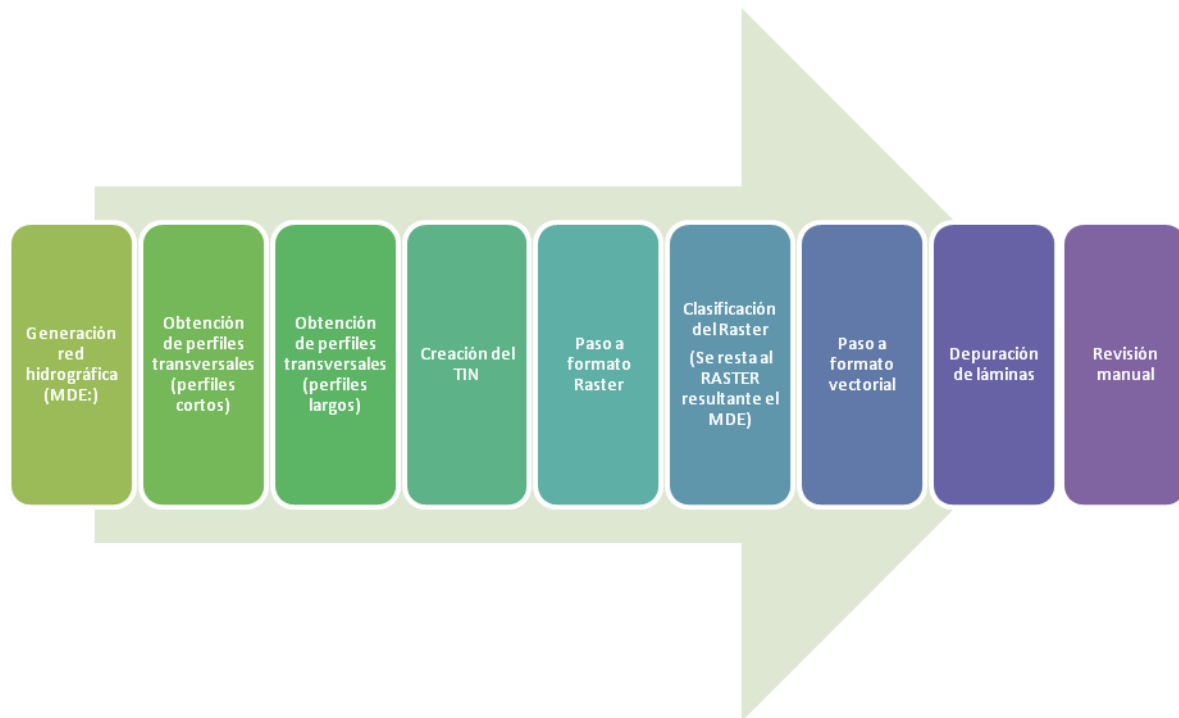


Gráfico 13. Llanura potencial de inundación estimada de la cuenca de Urubamba



El siguiente gráfico explica brevemente el procedimiento seguido para la obtención de ambas llanuras (potenciales e intertramos), teniendo en cuenta que a lo largo del proceso se consideran distintos aspectos particulares que las diferencian.

Gráfico 14. Esquema general de trabajo para la generación de llanuras potenciales e intertramo (no se recogen particularidades)



MDE: Modelo Digital de Elevaciones

TIN: Triangulated Irregular Network

4.2. Inventario de elementos expuestos

Seguidamente se explica el procedimiento utilizado en la elaboración del inventario de los diferentes tipos de elementos expuestos. Debido a las diferentes escalas a las que se ha trabajado, se han realizado tres tipos de inventarios (escala de tramo, cuenca y país).

El inventario de elementos expuestos permite conocer qué elementos y población puede ser afectada por las inundaciones.

Posteriormente se ha de asignar un valor económico a cada elemento expuesto, en función de su superficie y de su valor unitario, a veces difícil de obtener. Teniendo que recurrir en algunos casos a valores obtenidos en otros países de la zona y adaptarlos al caso de estudio.

A) A nivel de tramo seleccionado

• Usos de Suelo

Para llevar a cabo el inventario de los diferentes usos de suelo presentes en los tramos de estudio, se ha llevado a cabo un análisis de la información disponible (recopilada a través de la consulta a diferentes fuentes de internet y tras la visita a diferentes organismos oficiales como CENEPRED, SENAMHI, GOREs...etc.), concluyendo que ésta no es uniforme al proceder de distintas fuentes, ni tampoco cuenta con el grado de detalle deseable. En este sentido, se ha llevado a cabo un análisis más detallado de los usos de suelo a nivel de tramo de estudio, mediante fotointerpretación a través de Google Earth.

Como base para la agrupación de los usos de suelo presentes en las llanuras de inundación de los tramos de estudio, se ha tomado como referencia la filosofía de clasificación del Corine Land Cover, que cataloga la cobertura y el uso del territorio en Europa. Esta clasificación general elimina la incertidumbre que podría ocasionar un nivel con mayor grado de detalle al tratarse de regiones diferentes con especies vegetales diferentes. Pudiendo afirmar que esta clasificación de coberturas y uso del territorio general es de ámbito universal.

A continuación se muestra la tabla usada para la clasificación de coberturas y uso del suelo, así como un ejemplo de usos de suelo fotointerpretados con Google Earth en uno de los tramos de estudio.

Cuadro 8. Clasificación del uso del suelo según el Corine Land Cover

Uso del suelo	Uso del suelo
Zona urbana continua	Huertos/Frutales
Zona urbana discontinua	Pastos
Unidades industriales y comerciales	Mosaico de cultivos
Redes de transporte y espacios asociados	Tierras agrícolas con alto porcentaje de vegetación natural
Aeropuertos	Terrenos agroforestales
Zonas de extracción minera	Bosque de frondosas
Vertederos y escombreras	Bosque de coníferas
Zonas en construcción	Bosques mixtos
Zonas verdes urbanas	Prados naturales
Instalaciones recreativas y deportivas	Landas y matorrales
Cultivos de secano	Matorral boscoso de transición
Cultivos de regadío permanentes	Playas, dunas y arenales
Arrozales	Roquedos
Viñedos	Zonas con vegetación dispersa
Turberas	

Gráfico 15. Ejemplo de usos de suelo fotointerpretados a nivel de tramo de mediante Google Earth. Tramo A.3. Curumuy (Cuenca Piura)



Como se puede apreciar, la clasificación del uso del suelo del Corine Land Cover, permite llevar a cabo la agrupación de dichos usos dentro de las grandes categorías citadas anteriormente: agricultura, pastizales y/o prados naturales, edificios y/o viviendas, industrial, bosque y/o selva, vías de comunicación, suelo improductivo.

Como actividad común al inventario de todas las categorías de uso de suelo, se ha llevado a cabo una fotointerpretación mediante el uso de Google Earth, de cara a obtener la ubicación de los diferentes elementos expuestos o a mejorar la información de partida.

- **Agricultura, pastizales y/o prados naturales, bosque y/o selva e improductivo**

La identificación e inventario de esta tipología de uso de suelo, ha sido realizada fundamentalmente mediante fotointerpretación con Google Earth.

- **Edificios y/o viviendas**

En este caso, se ha tomado como base la capa de Sistemas de Información Geográfica proporcionada por CENEPRED, con información de las tres cuencas seleccionadas (Piura, Huallaga y Urubamba). Esta capa ha sido actualizada y mejorada a nivel de tramo mediante trabajos de fotointerpretación y digitalización con Google Earth.

Todas las mejoras realizadas sobre esta capa se han incorporado sobre la misma, obteniendo una capa final en formato shape, en la que cada registro representa una “manzana de edificios” y que cuenta con información acerca del tramo donde se ubica la nueva manzana digitalizada, el número total de viviendas que contiene, así como el número de habitantes y material de las mismas (concreto, mampostería o madera). A continuación se muestran unas imágenes con la diferente tipología de edificios según su material de construcción.

Gráfico 16. Edificaciones de madera en el Tramo B4 Campanilla. (Cuenca del Huallaga)



Gráfico 17. Edificaciones de caña en el Tramo B4 Campanilla. (Cuenca del Huallaga)



• Industrial

Tras la consulta a diferentes instituciones tales como CENEPRED o IMA (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente), y partiendo de capas de información geográfica de las tres cuencas de estudio con datos sobre la ubicación de diferentes elementos industriales, una vez llevados a cabo los trabajos necesarios para su adecuación, ésta capa y siguiendo el mismo procedimiento que para el resto de usos de suelo, ha sido completada mediante fotointerpretación con Google Earth.

Entre las diferentes tipologías de elementos contemplados en esta capa, se encuentran: centrales hidroeléctricas, aeropuertos, helipuertos, oleoductos, minas, polígonos industriales y edificios de uso público tales como oficinas, naves industriales, hospitales, restaurantes, hoteles, edificios educativos...etc.

• Vías de Comunicación

A la hora de llevar a cabo la identificación de la red de vías de comunicación existente, se ha partido de la capa en formato shape proporcionada por CENEPRED, que cuenta con información sobre red ferroviaria y red vial vecinal, nacional y departamental.

En el caso de las vías urbanas, esta red se ha obtenido a través de procesos GIS partiendo de la capa de manzanas poblacionales y del contorno de núcleo urbano, como superficie existente entre manzanas consecutivas.

Los trabajos de fotointerpretación se han llevado a cabo en el caso de haber sido necesario.

• Patrimonio Histórico

De nuevo se ha partido de capas de información geográfica para cada una de las tres cuencas de estudio proporcionadas por CENEPRED, que recogen la ubicación y delimitación de sitios con interés arqueológico. Dicha información ha sido completada a través de trabajos de fotointerpretación con Google Earth, identificándose un total de 102 elementos patrimoniales potencialmente afectados a partir de ambas fuentes.

El siguiente cuadro muestra el número de bienes histórico-culturales identificados y su categoría en cada tramo.

Cuadro 9. Bienes histórico-culturales identificados según categoría en los tramos de estudio

	Categorías de los bienes histórico-culturales identificados							Total
	Patrimoniales						No patrimoniales	
Tramo	Histórico o patrimonial	Museo	Sitio arqueológico	Templo religioso	Cementerio	Monumento histórico o natural	Espacio cultural	
A.2.			1					1
A.4.		1		15	3		2	21
A.5.			5	1	1			7
B.1.			5	9	2			16
B.2.			3					3
B.3.		1		1	2	1		5
C.1.	19		14	1				34
C.2.			2	1				3
C.3.			1	2				3
C.4.		1	5			1		7
C.5.			2					2
Total	19	3	38	30	8	2	2	102

B) A nivel de cuenca seleccionada

▪ Usos de Suelo

La superficie correspondiente a cada uso de suelo en las cuencas seleccionadas, ha sido estimada usando la capa de usos de suelos de Perú, a la que se le ha añadido toda la superficie fotointerpretada a nivel de tramo de estudio, así como la red oficial de carreteras del estado en dichas cuencas.

▪ Edificios

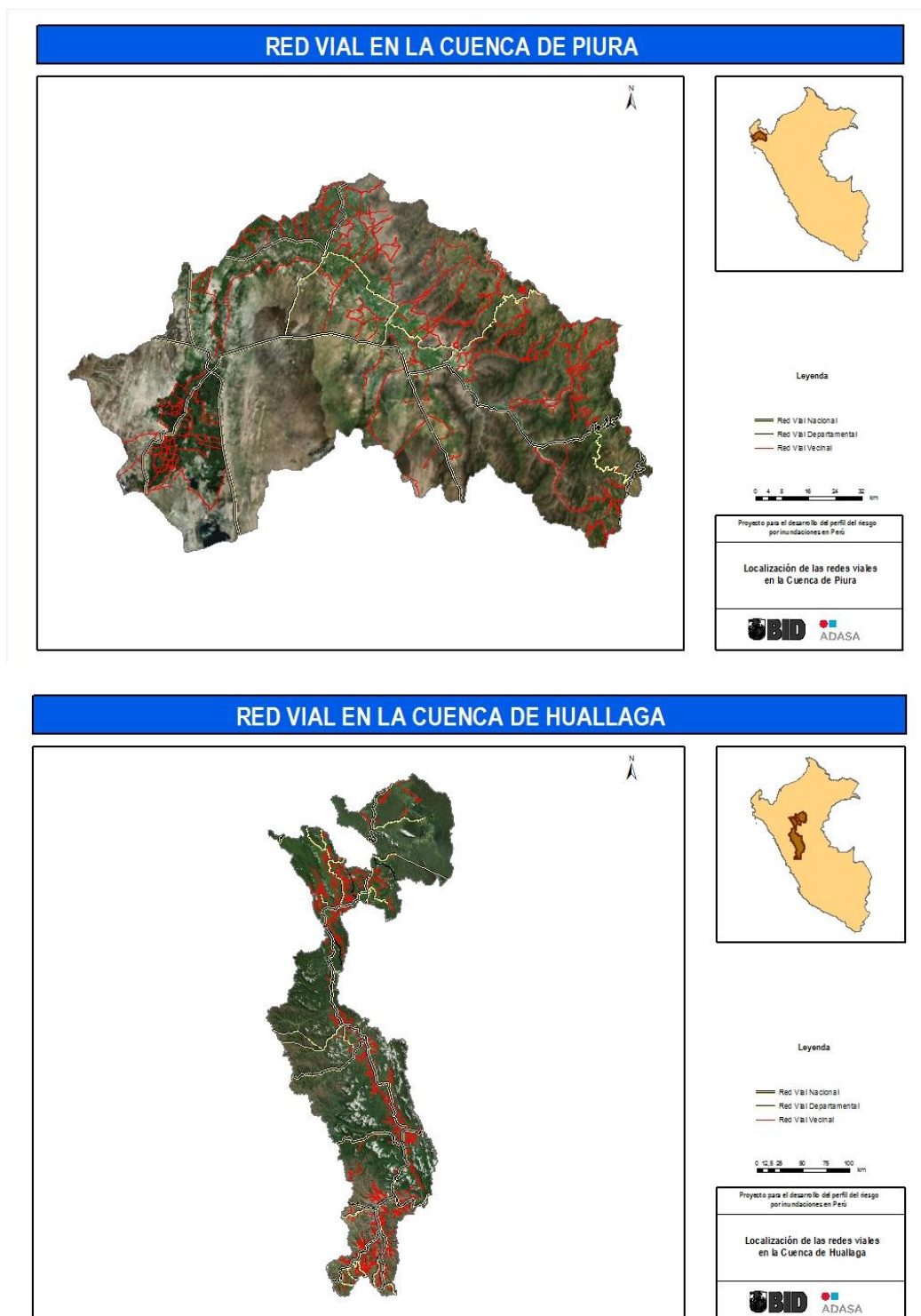
La identificación de las zonas urbanas en las cuencas seleccionadas, se ha llevado a cabo partiendo de la capa de usos de suelo de Perú, a la que se le ha añadido toda la superficie fotointerpretada de los tramos seleccionados en cada una de las cuencas, del mismo modo que se ha procedido en el caso anterior.

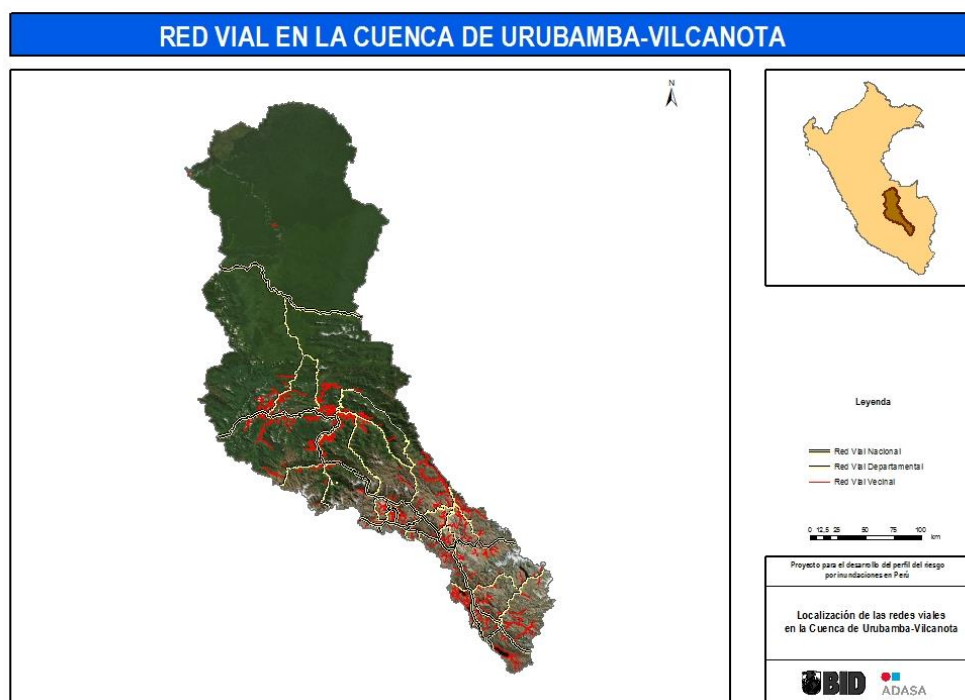
▪ Vías de Comunicación

La información acerca de la red vial usada en el proyecto para cada una de las cuencas seleccionadas (Piura, Huallaga y Urubamba), ha sido obtenida de fuentes oficiales tales como CENEPRED, a través de capas de información geográfica.

A continuación se muestra la distribución de la red vial en las cuencas seleccionadas.

Gráfico 18. Red vial de carreteras en cuencas seleccionadas (Piura, Hualлага y Urubamba)





▪ **Patrimonio Histórico**

La información utilizada para la estimación de los bienes histórico-culturales a nivel de cuenca seleccionada procede del Ministerio de Cultura del Perú, tratándose de un listado con los sitios declarados como “Patrimonio Cultural de la Nación”. Al carecer de información con la ubicación geográfica exacta de cada elemento patrimonial, ha sido preciso asumir que la distribución de estos elementos es homogénea. Esta información ha sido plasmada dentro de una capa de información geográfica.

▪ **Industrial**

Para llevar a cabo la estimación de las zonas industriales presentes en las cuencas de estudio, se ha consultado la web del IGN (Instituto Geográfico Nacional Peruano), organismo del cual se ha obtenido información acerca de zonas mineras, oleoductos y gasoductos existentes. A esta información y a modo de mejora se le ha añadido toda la superficie fotointerpretada a nivel de tramo de estudio correspondiente a cada una de las cuencas seleccionadas.

C) A nivel nacional o de territorio afectado por El Niño

▪ **Usos de Suelo**

Para determinar la superficie correspondiente a cada uso del suelo en el territorio afectado por El Niño, se ha hecho uso de nuevo de la capa de usos de suelo de Perú, a la que se le ha añadido toda la información recopilada a nivel de cuenca seleccionada, incluyendo por

tanto la superficie fotointerpretada a nivel de tramo de estudio y la red oficial de carreteras del estado.

▪ Edificios

A este nivel, la superficie urbana ha sido estimada a través de la capa de usos de suelo de Perú, a la que se le ha añadido toda la información recopilada a nivel de cuenca seleccionada, incluyendo por tanto la superficie fotointerpretada a nivel de tramo de estudio de forma análoga al caso anterior.

▪ Vías de Comunicación

Para llevar a cabo la estimación de la red vial a nivel de territorio afectado por El Niño, se ha hecho uso tanto de la información obtenida a nivel de cuenca, como de diferentes fuentes documentales tales como “*Intervenciones en la Red Vial Nacional*”, de Raúl Torres Trujillo, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Viceministerio de Transportes. Lima, diciembre de 2011. Documento en el que se estima la longitud de redes según ejes viales y por tipo de administración.

Cuadro 10. Longitud de redes según ejes viales y por tipo de administración (Datos en Km)

Red Vial	Pavimentada	No Pavimentada	Adicionales 2/	Existente	En Proyecto	Total
Nacional	12,358	10,715		23,072	2,458	25,530
Departamental	1,500	21,500		23,000	6,000	29,000
Vecinal	700	37,500	40,800	79,000	2,000	81,000
				125,072	10,458	135,530

1/ DS 036-2011-MTC

2/ Rutas Vecinales adicionales:

i) Vecinales indentificadas a ser incluídas	18,500
ii) Vecinales en proceso de identificación	22,300
	40,800

EJES VIALES	TIPO DE ADMINISTRACIÓN				TOTAL	Estruct. (%)
	RVN NO CONCESIONADA		RVN CONCESIONADA			
	Longitud (Km.)	%	Longitud (Km.)	%		
Longitudinal Costa	1,272	7	1,298	24	2,571	11
Longitudinal Sierra	2,715	15	590	11	3,305	14
Longitudinal Selva	1,317	7	421	8	1,738	8
Variantes y Ramales	3,386	19	485	9	3,871	17
Transversales	9,019	51	2,569	48	11,588	50
TOTAL	17.709	100	5.363	100	23.072	100

Fuente: DGCF-MTC

▪ **Patrimonio Histórico**

De la misma forma que en el caso del inventario de patrimonio histórico a nivel de cuenca, la información utilizada para la estimación de los bienes histórico-culturales a nivel de territorio afectado por El Niño, procede del Ministerio de Cultura del Perú, tratándose de un listado con los sitios declarados como “Patrimonio Cultural de la Nación”. Al carecer de información con la ubicación geográfica exacta de cada elemento patrimonial, ha sido preciso asumir que la distribución de estos elementos es homogénea dentro de cada distrito, plasmando finalmente dicha información dentro de una capa de información geográfica, en la que se detalla el número de elementos patrimoniales por unidad de superficie dentro de cada distrito.

▪ **Industrial**

Para llevar a cabo la estimación del resto de zonas industriales en territorio afectado por El Niño, se ha consultado al igual que a nivel de cuenca seleccionada, la web del IGN (Instituto Geográfico Nacional Peruano), organismo del cual se ha obtenido información acerca de zonas mineras, oleoductos y gasoductos a nivel de todo el país, así como la web Natural Earth (<http://www.naturearthdata.com/>), con información diversa a nivel mundial y de la que se ha obtenido la ubicación de los principales aeropuertos del Perú. A esta información y a modo de mejora se le ha añadido toda la superficie fotointerpretada a nivel de tramo de estudio.

4.3. Estimación del Valor Expuesto

Para llevar a cabo la estimación del valor de los bienes expuestos potencialmente afectados por eventos de inundación, se ha recurrido a la consulta de diferentes fuentes de carácter oficial del país, en aras de conseguir un valor unitario por unidad de superficie del bien en cuestión. Estos valores unitarios, han sido multiplicados por la superficie que los mismos ocupan a lo largo de la llanura potencial de inundación calculada dentro del apartado “Inundaciones Históricas” del presente informe.

4.3.1. Agricultura

La principal fuente de información consultada para la estimación del valor de los bienes expuestos potencialmente afectados ha sido CENEPRED.

A la hora de obtener el valor unitario de un cultivo es necesario incidir en que el valor total por unidad de superficie es el derivado de considerar una serie de costes directos como es la propia cosecha, así como una serie de valores indirectos como son los asociados a la mano de obra y maquinaria necesaria para poder conseguir producir una unidad de superficie de ese cultivo.

A través de CENEPRED, se han conseguido fichas de costes de producción por unidad de superficie (Ha) de los diferentes cultivos más representativos del Perú.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de producción de 1 Ha de un determinado cultivo.

Cuadro 11. Ejemplo de ficha de cálculo de costos de producción del maíz amarillo duro

COSTOS DE PRODUCCIÓN CEREALES						
Cultivo:	MAÍZ AMARILLO DURO		Nivel de Tecnología:	Media		
Variedad:	Local		Nivel de Fertilización:	62 - 62 - 65		
Distanciamiento:	0.50 x 0.50 x 1.00		Densidad:	40.000 Plantas/Ha.		
Periodo Vegetativo:	8 meses		Extensión:	1.00 Ha.		
Época de Siembra:	Oct. - Dic.		Tipo de Cambio:	2.55		
Época de Cosecha:	May. - Jun.		Fecha:	Marzo - Junio 2013		
Departamento:	Cusco		Provincia:	La Convención, Paucartambo		
ACTIVIDAD	Unidad	Cantidad	Costo Unitario S/.	Sub total USD	Total USD	Porcentaje %
A. COSTOS DIRECTOS						
1.- Preparación de Terreno					114.46	7.36
Roca y quema	Jornal	10	8.80	88.05		
Limpieza	Jornal	3	8.80	26.41		
2. Siembra					88.05	5.66
Siembra	Jornal	10	8.80	88.05		
3. Labores Agrícolas					220.12	14.16
Primer deshierbo	Jornal	10	8.80	88.05		
Segundo deshierbo	Jornal	10	8.80	88.05		
Fertilización	Jornal	5	8.80	44.02		
4. Cosecha					290.56	18.69
Cosecha	Jornal	10	8.80	88.05		
Desgrane	Jornal	15	8.80	132.07		
Traslado	Jornal	8	8.80	70.44		
5. Insumos					321.40	20.68
Semillas	Kgs.	50	1.41	70.44		
Urea	Kgs.	137	0.56	77.20		
Roca fosfórica	Kgs.	134	0.32	43.42		
Sulfato de Potasio	Kgs.	108	0.77	83.68		
Insecticida	Lts.	1	21.13	21.13		
Fungicida	Lts.	1	24.65	24.65		
Adherente	Lts.	0.25	3.52	0.88		
6. Otros Gastos					422.63	27.19
Alquiler de terreno	Ha.	1	352.19	352.19		
Mochila pulverizadora	Unidad	1	70.44	70.44		
TOTAL:					1457.21	93.74
B. COSTOS INDIRECTOS						
Gastos Administrativos (5%)					72.86	
Asistencia Técnica (5%)					72.86	
TOTAL:					145.72	9.37
RESUMEN						
1. Costos Directos					1457.21	93.74
2. Costos Indirectos					145.72	9.37
TOTAL					1554.51	100.00
RESUMEN GENERAL			OBSERVACIONES			
Costos Directos	1457.21		Nivel de Fertilización de acuerdo al análisis de suelos Costo unitario de mano de obra promedio en la región			
Costos Indirectos	145.72					
TOTAL	1602.94					

Fuente: CENEPRED.

Posteriormente, se ha hecho una asignación directa del coste total final a cada tipología de cultivo, distinguiéndose las siguientes categorías:

- Cereales
- Hortalizas
- Legumbres
- Tuberosas y raíces
- Frutícolas subtropicales
- Tropicales industriales
- Frutos anuales

Cuadro 12. Ejemplos de valores unitarios (soles/Ha y US\$/Ha) según tipología de cultivo

Costos Produce Cereales.			Costos Produce Hortalizas		
Cultivo (Variedad)	Soles/Ha	US\$/Ha		Soles/Ha	US\$/Ha
SORGO GRANO (Local)	5,351.61	1,897.31	ARRÓZ (Estaquilla)	5,835.47	2,068.85
SORGOS (Local)	3,815.79	1,352.81	SORGO GRANO (Local)	6,052.53	2,145.80
MAÍZ amarillo duro (Local)	4,933.61	1,749.11	MAÍZ amarillo duro (Local)	5,551.77	1,968.27
MAÍZ amarillo duro (Local)	4,413.84	1,564.84	ZANAHORIA (Chantenay)	7,172.54	2,542.88
MAÍZ (Blanco gigante del Cuzco)	10,023.75	3,553.72	ZAPALLO (Macre)	5,247.95	1,860.55
MAÍZ (Blanco Quispicanchino)	8,752.70	3,103.09	TOMATE (Mejorado)	8,440.19	2,992.30
MAÍZ (Blanco Urubamba)	4,068.75	1,442.49	FRIJOL VAINITAS (Procesor)	6,188.27	2,193.93
TRIGO (Andino Gavilan Ollanta)	3,670.83	1,301.42	MAÍZ CHOCLO (Blanco Urubamba)	6,876.45	2,437.91
TRIGO (Andino Gavilan Ollanta)	2,423.30	859.13	CEBOLLA (Roja Arequipaña)	7,301.56	2,588.62
CEBADA grano (Mejorada)	3,918.53	1,389.24	COL (Mejorada)	5,788.31	2,052.13
AVENA grano (Local)	3,672.59	1,302.04	AJO (Local)	6,682.61	2,369.19
KIWICHA (Oscar Blanco)	4,847.02	1,718.41	HABA (Verde Anta)	5,915.80	2,097.33
QUINUA (Amarilla Marangani)	5,876.86	2,083.52	ARVEJA grano verde (Mejorada)	5,960.13	2,113.04
CAÑIHUA (Local)	3,692.70	1,309.17	ARVEJA grano verde (Mejorada)	3,338.50	1,183.60
ARRÓZ (Estaquilla)	4,188.56	1,484.97	ROCOTO (Local)	4,303.75	1,525.81

Para finalizar, se ha llevado a cabo la búsqueda a través de diferentes fuentes de los cultivos representativos presentes en las zonas de estudio de cara a obtener un valor medio del uso agrícola en cada zona de estudio, obteniéndose los siguientes valores unitarios a través de la media del valor de los cultivos presentes en cada zona:

Cuadro 13. Valor unitario cultivos agrícolas según región

Región hidrográfica	Valor unitario (sol/m ²)	Valor unitario (US\$/m ²)
Costa	1.30	0.46
Selva	1.36	0.48
Sierra	0.73	0.26

Con respecto a los pastos, se les ha asignado un valor unitario de 0.01 US\$/m² (0.038 soles/m²)

4.3.2. Edificios y/o viviendas

Para la obtención de los valores unitarios en edificación, se ha consultado el “Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificaciones para la zona de Costa, Sierra y Selva. Año 2014. Publicado en Octubre de 2013 por la Resolución Ministerial N° 278-2013- Vivienda del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento”

Cuadro 14. Ejemplo de valor unitario para una edificación en la zona de Costa según el Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificaciones para el Año 2014 (en soles y en US\$)

RM Nº 278-2013-VIVIENDA FECHA: 28 de octubre de 2013

VALORES POR PARTIDAS EN NUEVOS SOLES POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
ESTRUCTURAS		ACABADOS				INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS
MUROS Y COLUMNAS (1)	TECHOS (2)	PISOS (3)	PUERTAS Y VENTANAS (4)	REVESTIMIENTOS (5)	BAÑOS (6)	(7)
ESTRUCTURAS LAMINARES CURVADAS DE CONCRETO ARMADO QUE INCLUYEN EN UNA SOLA ARMADURA LA CIMENTACION Y EL TECHO, PARA ESTE CASO NO SE CONSIDERA LOS VALORES DE LA COLUMNA N°2	LOSA O ALIGERADO DE CONCRETO ARMADO CON LUCES MAYORES DE 6 M. CON SOBRECARGA MAYOR A 300 KG/M2	MÁRMOL IMPORTADO, PIEDRAS NATURALES IMPORTADAS, PORCELANATO	ALUMINO PESADO CON PERFILES ESPECIALES MADERA FINA ORNAMENTAL (CAOBA, CEDRO O PINO SELECTO) VIDRIO INSULADO (1)	MÁRMOL IMPORTADO, MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) BALDOSA ACÚSTICO EN TECHO O SIMILAR	BAÑOS COMPLETOS (7) DE LUJO IMPORTADO CON ENCHAPE FINO (MÁRMOL O SIMILAR)	AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACION ESPECIAL, VENTILACIÓN FORZADA, SIST. HIDRONEUMÁTICO, AGUA CALIENTE Y FRÍA, INTERCOMUNICADOR, ALARMAS, ASCENSOR, SISTEMA BOMBEO DE AGUA Y DESAGUE (5) TELÉFONO.
420.49	255.39	225.54	228.20	245.96	83.00	239.52
VALORES POR PARTIDAS EN US \$ POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
149.08	90.54	79.96	80.90	87.20	29.43	84.92

Cuadro 15. Ejemplo de valor unitario para una edificación en la zona de Sierra según el Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificaciones para el Año 2014 (en soles y en US\$)

RM Nº 278-2013-VIVIENDA FECHA: 28 de octubre de 2013

VALORES POR PARTIDAS EN NUEVOS SOLES POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
ESTRUCTURAS		ACABADOS				INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS
MUROS Y COLUMNAS (1)	TECHOS (2)	PISOS (3)	PUERTAS Y VENTANAS (4)	REVESTIMIENTOS (5)	BAÑOS (6)	(7)
ESTRUCTURAS LAMINARES CURVADAS DE CONCRETO ARMADO QUE INCLUYEN EN UNA SOLA ARMADURA LA CIMENTACION Y EL TECHO, PARA ESTE CASO NO SE CONSIDERA LOS VALORES DE LA COLUMNA N°2	LOSA O ALIGERADO DE CONCRETO ARMADO CON LUCES MAYORES DE 6 M. CON SOBRECARGA MAYOR A 300 KG/M2	MÁRMOL IMPORTADO, PIEDRAS NATURALES IMPORTADAS, PORCELANATO	ALUMINO PESADO CON PERFILES ESPECIALES MADERA FINA ORNAMENTAL (CAOBA, CEDRO O PINO SELECTO) VIDRIO INSULADO (1)	MÁRMOL IMPORTADO, MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) BALDOSA ACÚSTICO EN TECHO O SIMILAR	BAÑOS COMPLETOS (7) DE LUJO IMPORTADO CON ENCHAPE FINO (MÁRMOL O SIMILAR)	AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACION ESPECIAL, VENTILACIÓN FORZADA, SIST. HIDRONEUMÁTICO, AGUA CALIENTE Y FRÍA, INTERCOMUNICADOR, ALARMAS, ASCENSOR, SISTEMA BOMBEO DE AGUA Y DESAGUE (5) TELÉFONO.
468.40	243.56	172.82	184.87	233.28	82.74	294.83
VALORES POR PARTIDAS EN US \$ POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
166.06	86.35	61.27	65.54	82.71	29.33	104.53

Cuadro 16. Ejemplo de valor unitario para una edificación en la zona de Selva según el Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificaciones para el Año 2014 (en soles y en US\$)

RM Nº 278-2013-VIVIENDA		FECHA: 28 de octubre de 2013				
VALORES POR PARTIDAS EN NUEVOS SOLES POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
ESTRUCTURAS		ACABADOS				INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS (7)
MUROS Y COLUMNAS (1)	TECHOS (2)	PISOS (3)	PUERTAS Y VENTANAS (4)	REVESTI- MIENTOS (5)	BAÑOS (6)	
ESTRUCTURAS LAMINA RES CURVADAS DE CONCRETO ARMADO QUE INCLUYEN EN UNA SOLA ARMADURA LA CIMENTACION Y EL TECHO. PARA ESTE CASO NO SE CONSIDERA LOS VALORES DE LA COLUMNA Nº2	LOS ALOJERADO DE CONCRETO ARMADO CON LUCES MAYORES DE 6 M. CON SOBRE- CARGA MAYOR A 300 KG/M2	MÁRMOL IMPORTADO, PIEDRAS NATURALES IMPORTADAS, PORCELANATO	ALUMINIO PESADO CON PERRILES ESPECIALES MADERA FINA ORNA- MENTAL (CACABA, CEDRO O PINO SELECTO) VIDRIO INSULADO. (1)	MÁRMOL IMPORTADO, MADERA FINA (CACABA O SIMILAR) BALDOSA ACUSTICO EN TECHO O SIMILAR	BAÑOS COMPLETOS (8) DE LUJO IMPORTADO CON ENCHAPE FINO (MÁRMOL O SIMILAR)	AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACIÓN ESPECIAL, VENTILACIÓN FORZADA, SIST. HIDRONEUMÁTICO, AGUA CALIENTE Y FRIA, INTERCOMUNICADOR, ALARMAS, ASCENSOR, SISTEMA BOMBEO DE AGUA Y DE SANGRE (5) TELÉFONO
490.62	251.27	306.28	207.84	246.45	89.92	303.96
VALORES POR PARTIDAS EN US \$ POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA						
173.94	89.08	108.59	73.69	87.37	31.88	107.76

Como se ha dicho anteriormente, se ha llevado a cabo una agrupación de los edificios de viviendas en función del material de construcción. La agrupación llevada a cabo se debe fundamentalmente a la similitud entre los materiales y a la existencia de curvas calado-porcentaje de daño procedentes de fuentes oficiales (HAZUS, FEMA, CAPRA...etc.). Dicha agrupación en función del material que ya ha sido descrita anteriormente es la siguiente:

- Tipo I: Concreto
- Tipo II: Mampostería
- Tipo III: Madera

Una vez realizada dicha agrupación, se ha estimado la media del valor unitario de los edificios pertenecientes al mismo grupo. La fuente consultada para obtener el valor unitario de cada tipología de vivienda según región, ha sido el “Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificación Lima Metropolitana y Provincia Constitucional del Callao, Costa, Sierra y Selva. Ejercicio Fiscal 2014” (Resolución Ministerial Nº 278-2013-Vivienda. Lima, 28 de octubre de 2013)

Seguidamente se muestran los cuadros con los cálculos realizados, según zona geográfica: Costa, Selva y Sierra.

Cuadro 17. Valor unitario edificaciones según región

Región hidrográfica	Material	Valor unitario (sol/m ²)	Valor unitario (US\$/ m ²)
COSTA	Mampostería (Tipo II)	407.62	144.51
	Concreto (Tipo I)	906.24	321.29
	Madera (Tipo III)	235.56	83.51
	Media aritmética	516.47	183.11
SELVA	Mampostería (Tipo II)	359.46	127.44
	Concreto (Tipo I)	1,019.33	361.39
	Madera (Tipo III)	118.15	41.89
	Media aritmética	498.98	176.90
SIERRA	Mampostería (Tipo II)	450.89	159.86
	Concreto (Tipo I)	932.23	330.51
	Madera (Tipo III)	246.42	87.36
	Media aritmética	543.13	192.56

4.3.3. Vías de comunicación

Para llevar a cabo la estimación del valor unitario de las vías de comunicación, se han consultado las siguientes fuentes:

- *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*
- *Plan Intermodal de Transportes del Perú - OGPP Informe Final - Parte 4 - Consorcio BCEOM-GMI-WSA*
- *Ministerio de Economía y Finanzas*
- *CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe).*

A la hora de llevar a cabo la estimación del valor unitario en vías de comunicación, se han contemplado las categorías de carretera, ferrocarril y vía urbana, así como otros daños asociados a este tipo de elementos, como daños en la red de distribución de agua y alcantarillado en el caso de las vías urbanas, o las obras de emergencia necesarias para mantener un mínimo de comunicación durante la catástrofe en el caso de las carreteras.

Para ello, se han consultado fuentes tales como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, o el Plan Intermodal de Transportes del Perú, en las que se detalla el precio unitario de carretera y ferrocarril; el Ministerio de Economía y Finanzas en el caso de las redes de distribución de agua, así como otras fuentes de información tales como el

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe), organismo que ha llevado a cabo estudios y publicaciones acerca de la cuantificación de los daños ocasionados por desastres sobre este tipo de elementos (vías de comunicación). Obteniéndose los siguientes valores unitarios:

Cuadro 18. Valor unitario promedio de vías de comunicación

	Valor unitario (Sol/m ²)	Valor unitario (US\$/m ²)
CARRETERAS	710	250
VÍAS DE FERROCARRIL	170	60
VÍAS URBANAS	820	290
TOTAL	1,700	600

4.3.4. Patrimonio histórico

La estimación del valor del patrimonio histórico tiene dos componentes: una componente cuantificable económicamente y una segunda componente cuya cuantificación es cualitativa ya que se considera que el patrimonio histórico tiene un valor que va más allá de una mera cifra económica debido a sus características intrínsecas tales como su valor histórico y social.

En este sentido, económicamente el valor del patrimonio histórico ha sido calculado como si de un edificio público más se tratase, utilizando su mismo valor unitario.

4.3.5. Industrial

Se considera bajo este epígrafe al elenco de edificios públicos, educativos, centros comerciales, oficinas, restaurantes, hoteles, naves industriales, zonas mineras, etc. Debido a que no se ha contado con una fuente fiable propia de Perú para la obtención de los valores unitarios de este elenco, se ha recurrido al uso de datos proxy mediante la búsqueda de esta información en países de la zona (LATAM) con información fiable y con el grado de detalle que requiere el presente estudio. En este caso, se ha obtenido la información de Costa Rica, a través del “*Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva. Órgano de Normalización Técnica 2013. Ministerio de Hacienda de Costa Rica*”, al ser uno de los países de la zona que cuenta con la información adecuada para el presente estudio. Posteriormente, esta información se ha adaptado a Perú, tal y como se muestra en el siguiente epígrafe.

Para la estimación del valor expuesto en zona industrial, se ha utilizado, como se ha comentado anteriormente, información sobre valor unitario de los diferentes tipos de

edificios industriales, concretamente la procedente de Costa Rica, adaptando dichos valores a Perú a través de la comparativa entre el PIB per cápita (Producto Interior Bruto), de ambos países. La información de partida data del año 2013, siendo actualizada por tanto al 2014 a través de la Tasa de Inflación.

Cabe destacar que la mayor parte de la superficie industrial encontrada se corresponde con zonas mineras (entorno al 70%), siendo el 30% restante el correspondiente a las demás actividades industriales, por lo que se ha dado un mayor peso al valor unitario de las minería a la hora de estimar el valor unitario final para uso industrial.

- Comparativa del PIB per cápita a lo largo de los últimos años entre Costa Rica y Perú, y estimación de la media de dicha relación

Cuadro 19. Comparativa PIB per cápita entre Costa Rica y Perú

	Costa Rica	Perú	Ratio	Media Ratio
2009	6,386	4,495	0.70	
2010	7,773	5,386	0.69	
2011	8,661	6,112	0.71	
2012	9,386	6,796	0.72	
Total			2.83	0.71

- Equivalencia entre colón costarricense (CRC) y nuevo sol peruano (PEN) en el año 2013: 1 PEN=178.78 CRC
- Tasa de Inflación media en Perú hasta Abril de 2014 con respecto el año 2013: 2,8%

Cuadro 20. Precios unitarios uso industrial en Perú año 2014

INDUSTRIAL		
Tasa Inflación media en Perú hasta abril 2014 (2.8%)	Precios 2014 (sol/m ²)	Precios 2014 (US\$/m ²)
EDIFICIOS EDUCATIVOS TOTAL	1,766.86	632.84
HOSPITALES TOTAL	2,859.39	1,024.16
EDIFICIOS RELIGIOSOS TOTAL	1,570.72	562.59
LOCALES COMERCIALES TOTAL	1,128.19	404.09
EDIFICIOS COMERCIALES TOTAL	1,432.94	513.24
CENTROS COMERCIALES TOTAL	1,770.10	634.00
NAVES COMERCIALES TOTAL	1,355.13	485.37
EDIFICIOS DE OFICINAS TOTAL	2,384.21	853.96
RESTAURANTES TOTAL	2,450.90	877.85
HOTELES TOTAL	2,513.15	900.14
CINES TOTAL	1,030.94	369.26
TEATROS TOTAL	1,050.39	376.22
GIMNASIOS TOTAL	1,348.65	483.05
BODEGAS TOTAL	1,121.71	401.77
NAVES INDUSTRIALES TOTAL	1,330.49	476.55
MEDIA	1,674	600
MINAS	3.03	1.09
30% Edificios	502.28	179.90
70% Minas	2.12	0.76
TOTAL	505	180

4.3.6. Bosque y/ o Selva

Debido a que las inundaciones sobre este tipo de uso de suelo es algo intrínseco al propio funcionamiento de la naturaleza, no se ha cuantificado económicamente las pérdidas por inundaciones sobre estos elementos.

4.3.7. Improductivo

Componen esta tipología de uso de suelo aquellos usos sin ningún tipo de aprovechamiento económico, clasificándose dentro de esta categoría glaciares, pedregales, cuerpos de agua, etc.

4.3.8. Resultados de la estimación del valor expuesto

El valor expuesto es el valor susceptible de perderse por inundaciones de diferente periodo de retorno, al proceder de los diferentes elementos o usos de suelo presentes dentro de la llanura de inundación potencial; lo que no quiere decir que todo el valor expuesto se vea

afectado por las inundaciones de los periodos de retorno considerados en el presente estudio.

A continuación se muestra una recopilación de los resultados obtenidos.

A) Nivel de tramo seleccionado

Cuadro 21. Valor expuesto en tramos seleccionados

			VALOR EXPUESTO DENTRO DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN POTENCIAL (US\$)						TOTAL (millones US\$)
Código de tramo	Nombre de tramo	Tipo de Cuenca	Edificios	Agricultura	Pastos	Selva	Vías	Industria	
A1	LA QUEMAZÓN	COSTA	28,639,390.65	681,980.83	0.00	0.00	11,617,629.62	0.00	40.94
A2	LA HUAQUILLA	COSTA	8,357,467.97	3,122,075.40	1,246.72	0.00	6,635,867.08	0.00	18.12
A3	CURUMUY	COSTA	97,531,720.66	717,580.88	76.04	0.00	32,769,374.17	0.00	131.02
A4	PIURA	COSTA	3,373,081,720.86	6,248,038.72	277,064.70	0.00	130,475,232.45	45,583,140.01	3,555.67
A5	PUENTE INDEPENDENCIA	COSTA	497,592,732.60	24,942,579.70	53,328.90	0.00	47,838,421.37	11,498,815.15	581.93
CUENCA PIURA (millones US\$)			4,005.20	35.71	0.33	0.00	229.34	57.08	4,327.67
B1	HUÁNUCO - HUAYOPAMPA	SELVA	318,291,443.94	260.97	5,009.00	0.00	3,560,220.77	0.00	321.86
B2	AEROPUERTO DE HUÁNACO	SELVA	97,304,124.09	907,202.41	3,868.88	0.00	10,369,941.24	53,744,353.66	162.33
B3	TINGO MARÍA	SELVA	755,372,309.15	568,301.37	0.00	0.00	7,378,478.91	110,108,080.28	873.43
B4	CAMPANILLA	SELVA	99,528,239.09	364,663.72	0.00	0.00	20,090,294.79	0.00	119.98
B5	BELLAVISTA	SELVA	165,757,932.19	1,949,286.28	0.00	0.00	9,197,343.87	2,820,771.61	179.73
CUENCA HUALLAGA (millones US\$)			1436.25	3.79	0.01	0.00	50.60	166.67	1,657.32
C1	SAN PEDRO SAN PABLO	SIERRA	1,225,184,149.98	2,193,735.53	289,181.71	0.00	81,709,884.39	0.00	1,309.38
C2	CALCA	SIERRA	438,908,881.05	675,550.53	2,044.80	0.00	24,166,767.22	1,906,421.51	465.66
C3	HUASAO	SIERRA	270,230,016.02	215,398.34	746.81	0.00	16,196,877.72	6,874,880.67	293.52
C4	BOCATOMA CH- AGUAS CALIENTES	SIERRA	35,954,106.61	6,602.65	0.00	0.00	7,387,880.53	5,452,170.02	48.80
C5	CH MACHU PICCHU-AOBAMBA	SIERRA	1,376,278.41	32,956.09	0.00	0.00	0.00	6,192,242.30	7.60
CUENCA URUBAMBA (millones US\$)			1,971.65	3.12	0.29	0.00	129.46	20.43	2,124.96

- Tramos de la cuenca de Piura

Atendiendo a los resultados obtenidos tras la evaluación del valor expuesto en los tramos seleccionados en la cuenca de Piura, (llevada a cabo a través del inventario de elementos expuestos, cálculo de valor unitario y superficie de los mismos dentro de la llanura potencial de inundación). La tipología de elementos que constituyen el mayor porcentaje del valor total de exposición en los tramos seleccionados de esta cuenca corresponde a edificios. En este sentido, si nos fijamos en la distribución del valor expuesto conformado por los edificios en los tramos de estudio de la cuenca (ver gráfico más abajo), este valor se localiza prácticamente en su totalidad en los tramos situados en grandes poblaciones, principalmente Piura, con el 84% del valor expuesto. Este resultado resulta lógico dado que la mayor parte de los tramos seleccionados se ubican en zonas urbanas con una gran densidad de edificios y contando los mismos con un valor más elevado con respecto a los ubicados en zonas rurales.

Respecto a las vías, ésta es la segunda categoría de elementos que aporta un mayor porcentaje respecto al cómputo general, comprobándose que éstas, se ubican tanto en tramos rurales como urbanos, si bien, como cabría esperar, es en éstos últimos donde el nivel de valor expuesto es más elevado al contar con una mayor densidad y por tanto con una mayor superficie de esta tipología de uso de suelo.

Gráfico 19. Valores expuestos para tramos de la Cuenca de Piura por uso de suelo

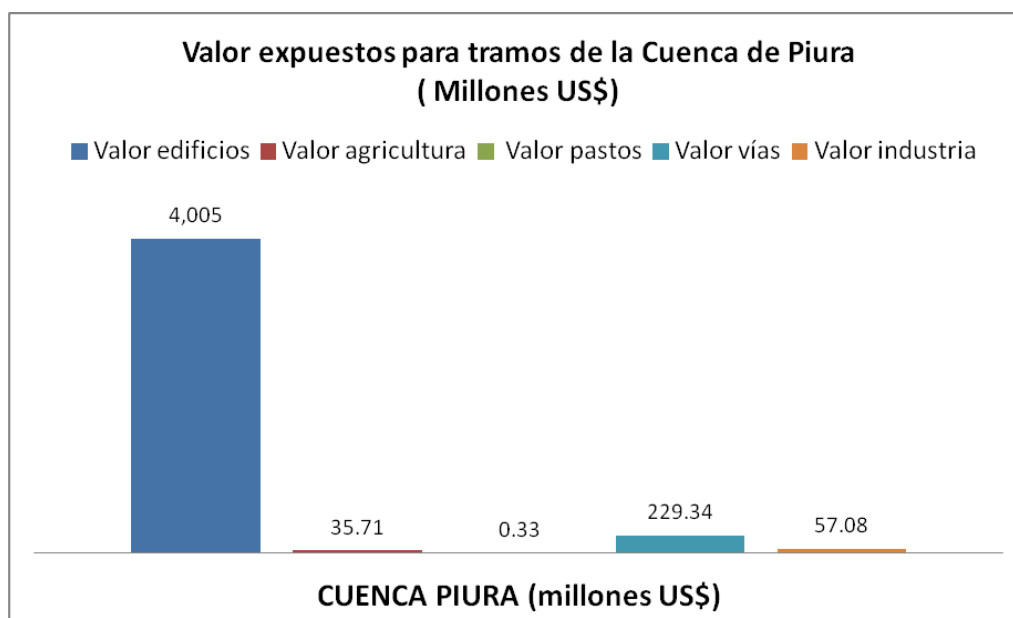
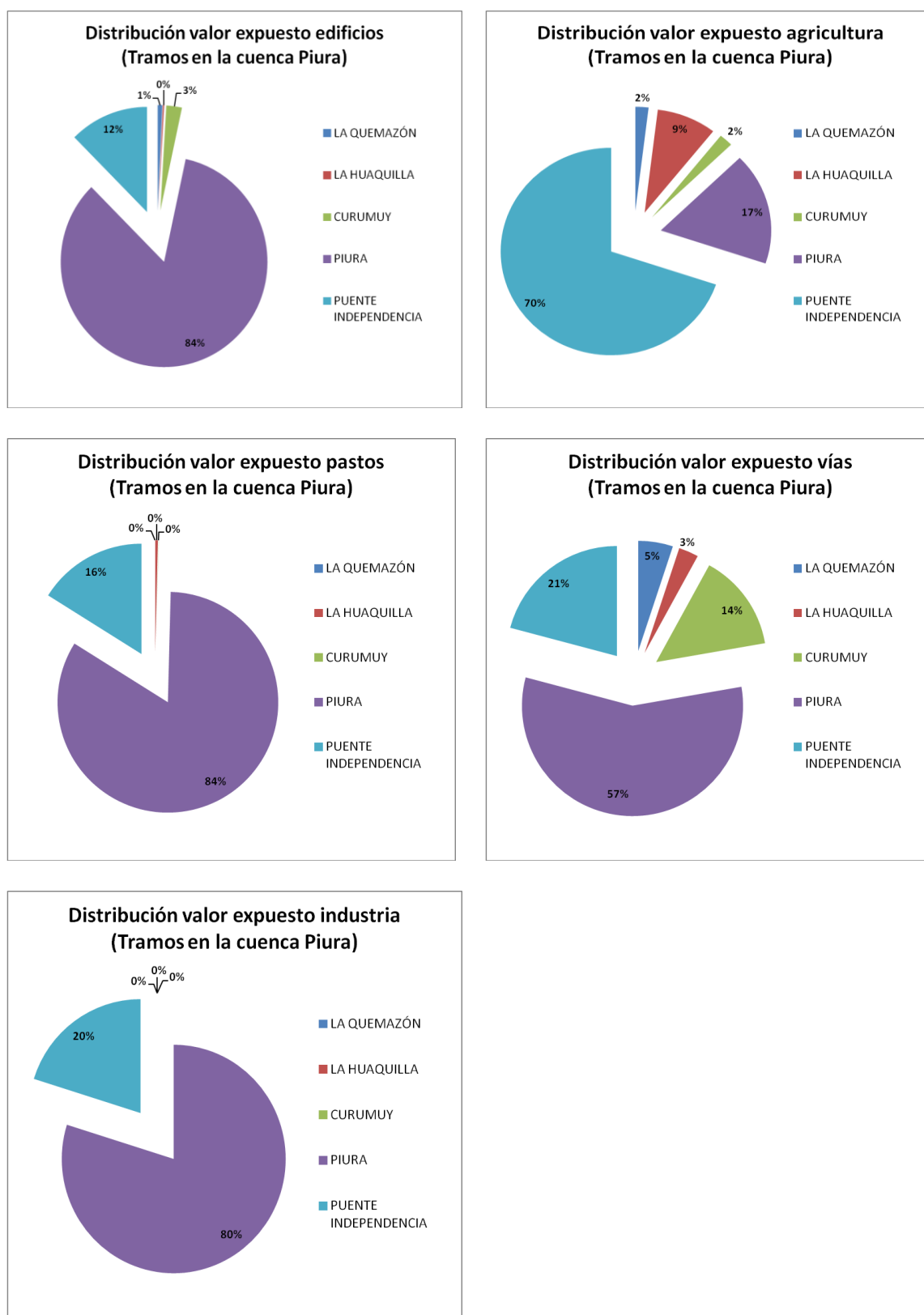
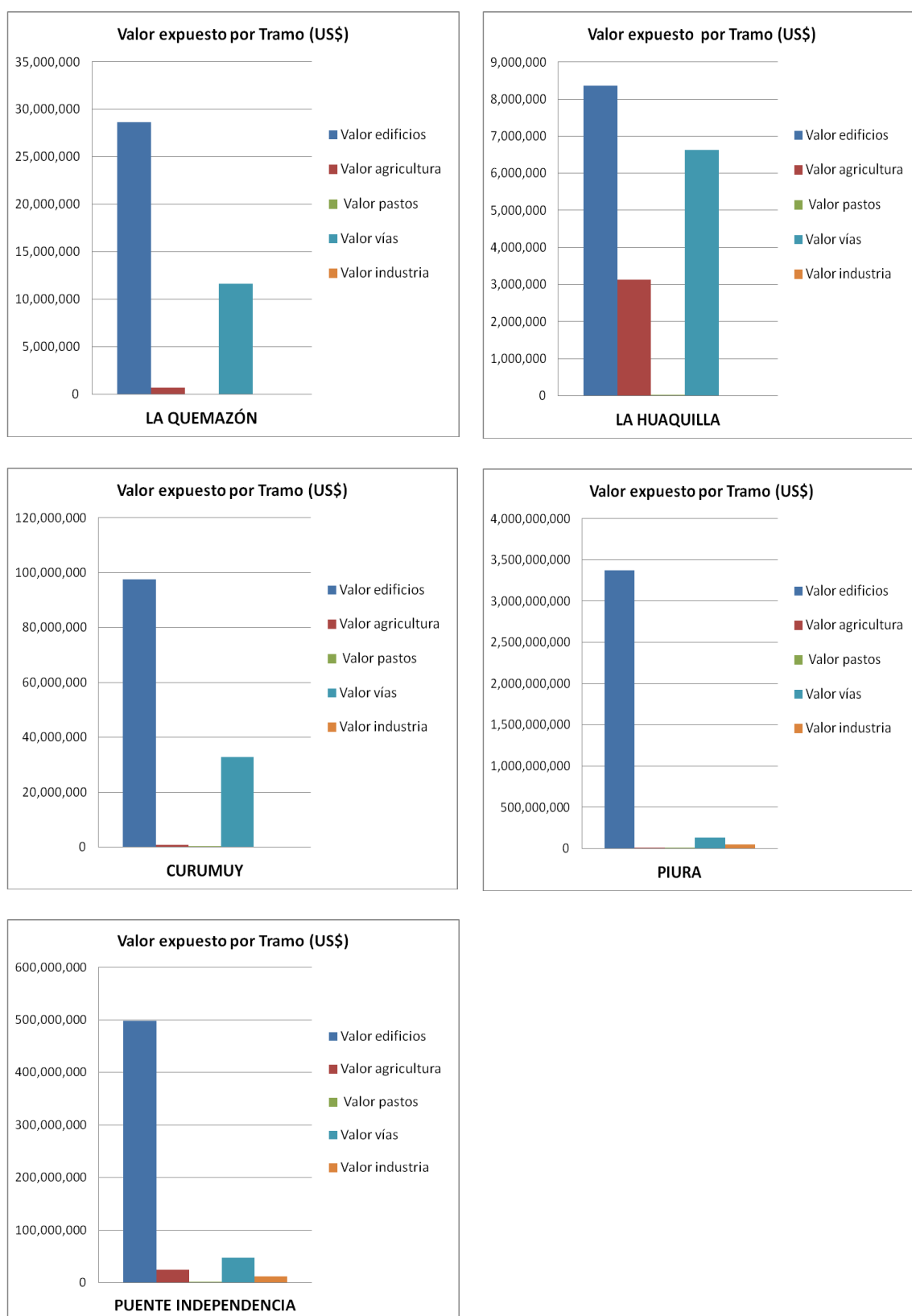


Gráfico 20. Distribuciones de valores expuestos para tramos de la Cuenca Piura por uso de suelo



A continuación se muestra el desglose de los valores expuestos por categoría de elemento y tramo.

Gráfico 21. Valores expuestos por categoría de elemento y tramo



- Tramos de la cuenca de Huallaga

En los tramos estudiados de la cuenca de Huallaga, al igual que sucedía en la de Piura, se comprueba que los edificios es la tipología de elementos que constituyen el mayor porcentaje de valor expuesto con respecto al valor total de exposición estimado para los tramos seleccionados de esta cuenca.

Es reseñable igualmente que el valor expuesto relativo a industria, distribuyéndose prácticamente en su totalidad entre los tramos de Huánuco Aeropuerto y Tingo María.

En cuanto a las vías de comunicación, el valor expuesto de esta tipología dentro de los tramos de la cuenca del Huallaga es menor que en los tramos seleccionados de la cuenca de Piura, debido a que se trata de una zona con una densidad de vías (carreteras, ferrocarril y vías urbanas), más reducida.

Por otra parte, el valor expuesto relativo a agricultura es despreciable respecto a los elementos comentados anteriormente. Situándose un alto porcentaje de los mismos en el tramo de Bellavista.

Finalmente, respecto a pastos se puede concluir que el valor expuesto es prácticamente nulo en los tramos seleccionados de esta cuenca, concentrándose en las zonas de cabecera de los ríos.

Gráfico 22. Valores expuestos para tramos de la Cuenca de Huallaga por uso de suelo

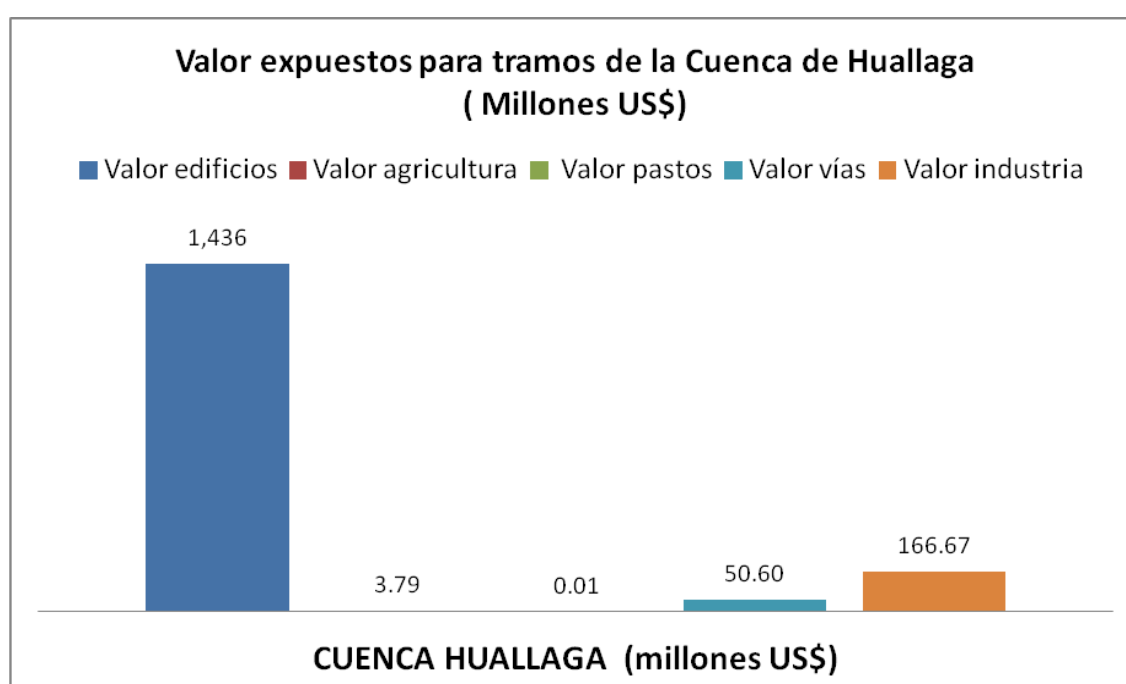
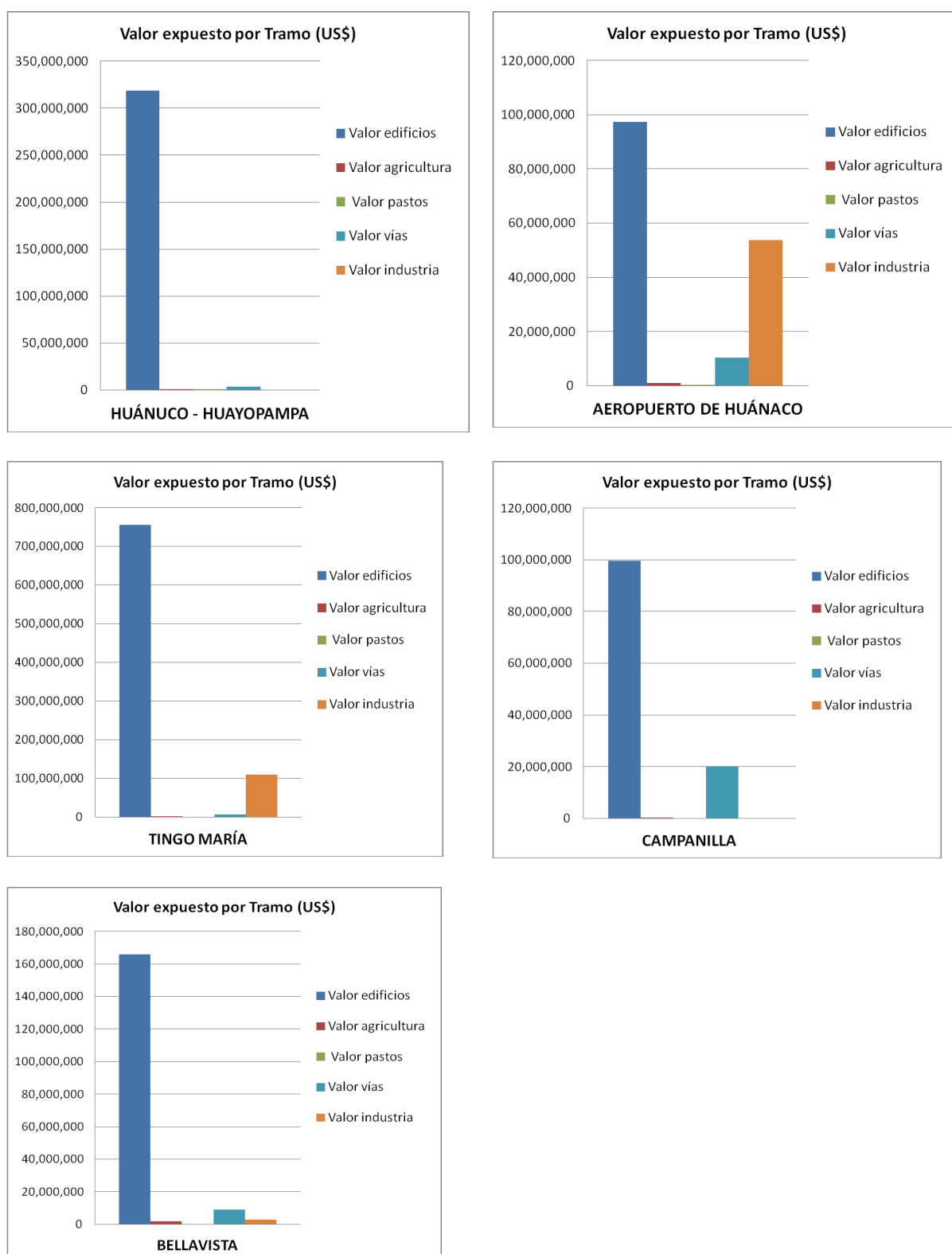


Gráfico 23. Distribuciones de valores expuestos tramos de la Cuenca Huallaga por uso de suelo



A continuación se muestra el desglose de los valores expuestos por categoría de elemento y tramo.

Gráfico 24. Desglose de los valores expuestos por tramo y uso de suelo



- Tramos de la cuenca de Urubamba

En los tramos situados en la cuenca de Urubamba, son de nuevo los edificios la tipología de elemento que representa un mayor valor expuesto con respecto al cómputo total, seguido de las vías de comunicación.

El valor expuesto correspondiente a pastos y a agricultura es reducido y se produce principalmente en los dos primeros tramos estudiados (“San Pedro – San Pablo” y “Calca”). En el primero de estos tramos (San Pedro – San Pablo), se concentra el mayor porcentaje de valor expuesto de las distintas tipologías (al ser el tramo con mayor longitud de los estudiados y por tanto con mayor superficie), salvo en el caso de la industria, cuyo valor expuesto también es importante en los dos últimos tramos (“Bocatoma CH- Aguas Calientes” y “CH Machu Picchu-Aobamba), al encontrarse ubicada la central hidroeléctrica del mismo nombre.

Gráfico 25. Valor expuesto para tramos de la Cuenca de Urubamba por uso de suelo

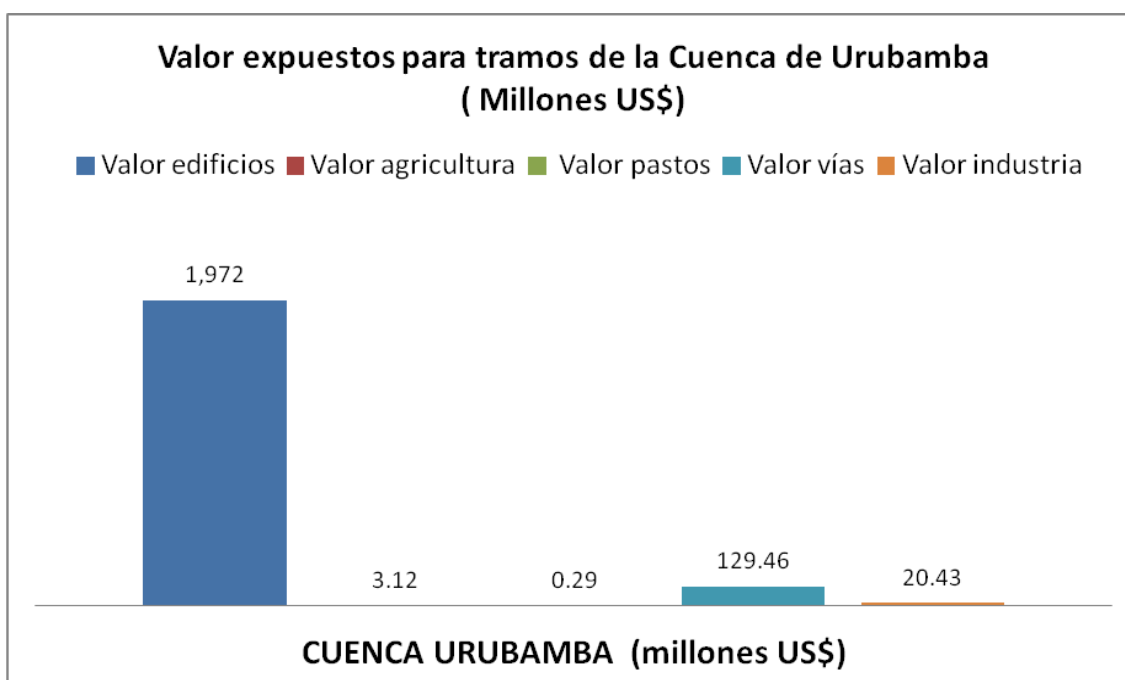
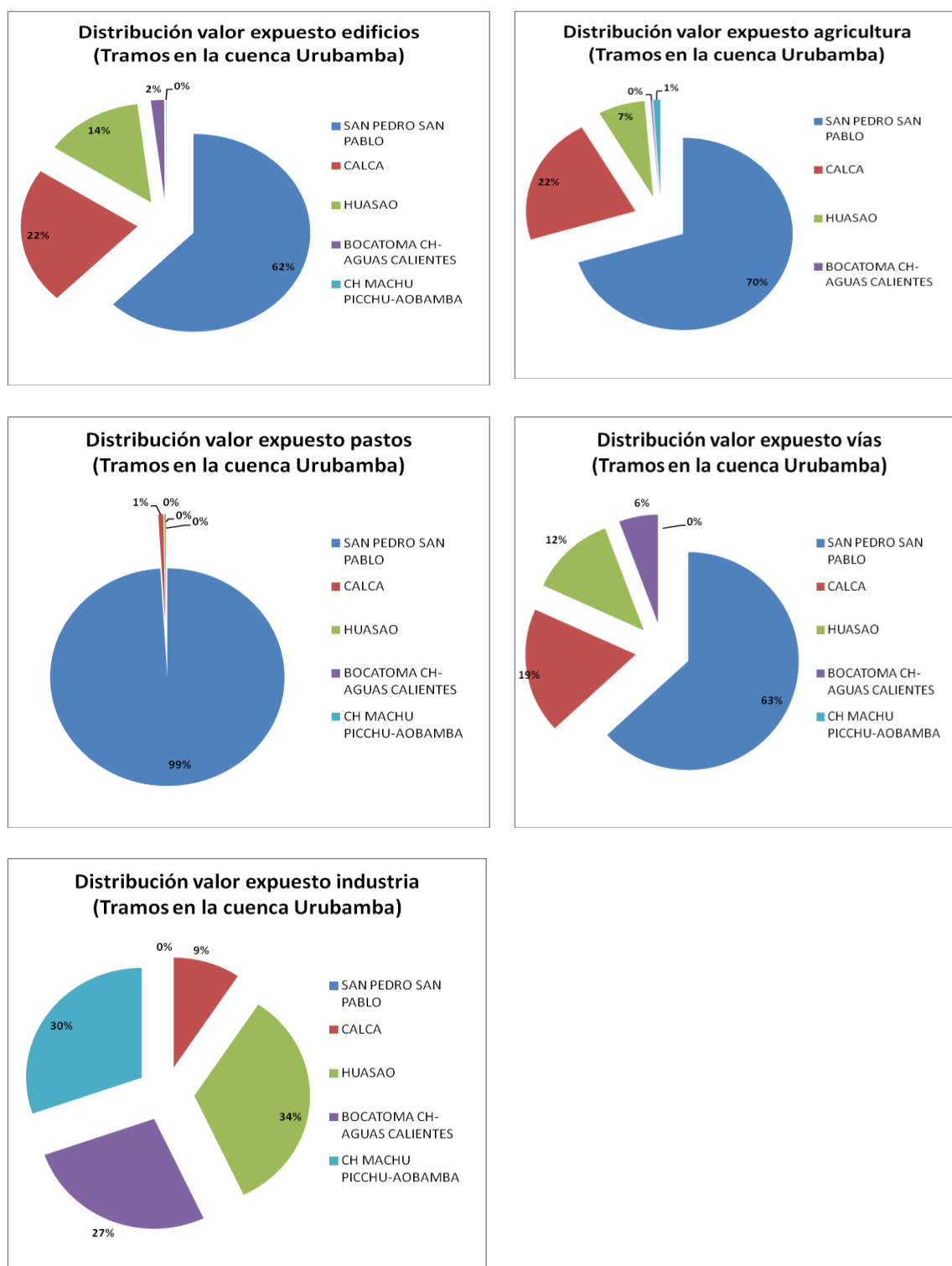
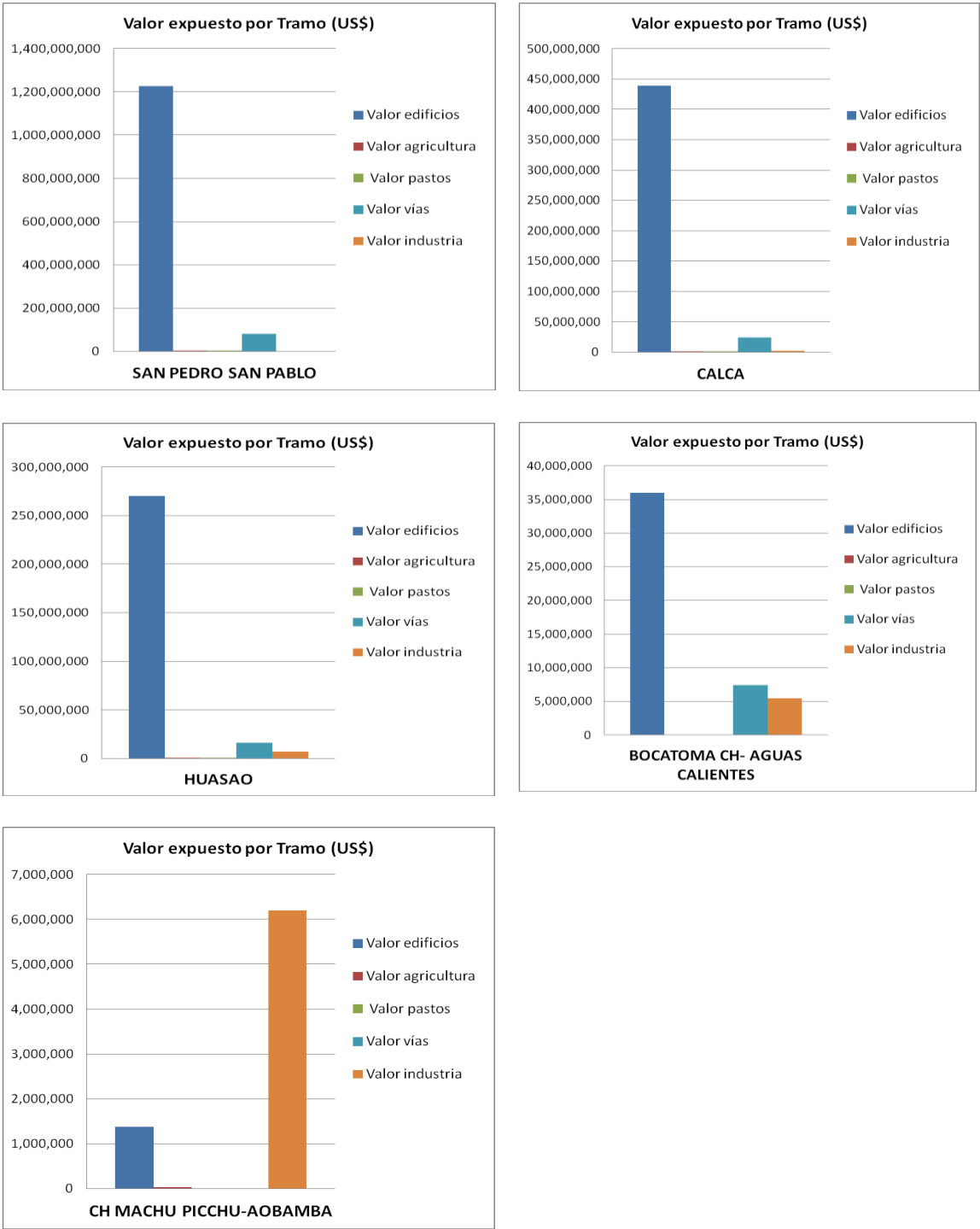


Gráfico 26. Distribuciones de valor expuesto para tramos de la Cuenca Urubamba por uso de suelo



A continuación se muestra el desglose de los valores expuestos por categoría de elemento y tramo.

Gráfico 27. Valores expuestos por tramo y uso de suelo



B) Nivel de cuencas seleccionadas

Tal y como podemos observar en los siguientes cuadros, la cuenca de Huallaga es la que presenta un mayor valor expuesto total, al ser la cuenca con mayor superficie dentro de las seleccionadas. No obstante, si nos referimos a términos unitarios, es la cuenca de Piura la que presenta un mayor valor expuesto por unidad de superficie, con una media de 11.18 US\$/m², al tratarse de una cuenca con un porcentaje de superficie urbana dentro de la llanura de inundación potencial considerable, y siendo por otro lado el valor unitario de esta tipología de usos de suelo, uno de los más elevados, por lo que el valor susceptible de ser afectado es el mayor de las tres cuencas seleccionadas.

En cuanto a los elementos que suponen un mayor porcentaje dentro del valor expuesto total en cada una de las cuencas de estudio seleccionadas, se trata de los edificios, seguidos por las vías de comunicación y la industria, ya que la mayoría de los tramos contienen núcleos de población (ya sean urbanos o rurales), contando los mismos con un valor unitario elevado (valor por unidad de superficie). La categoría vías de comunicación, es la segunda categoría de usos de suelo que supone un mayor porcentaje dentro del cómputo total del valor expuesto en las cuencas de Piura y Urubamba, mientras que este puesto es ocupado por la industria en la cuenca del Huallaga.

En cuanto al elemento que representa el menor valor expuesto, se trata de la selva, al considerar que las inundaciones son efectos naturales, intrínsecos al funcionamiento de estos ecosistemas.

Cuadro 22. Valor expuesto en las cuencas de estudio (Piura, Huallaga y Urubamba)

Nombre de la Cuenca	VALOR EXPUESTO (Millones US\$)						TOTAL
	Edificios	Agricultura	Pastos	Selva	Vías	Industria	
PIURA	18,629	444	10	0	1,448	85	20,616
URUBAMBA	9,400	215	5	0	1,534	825	11,979
HUALLAGA	20,359	1,650	2	0	2,053	4,270	28,334

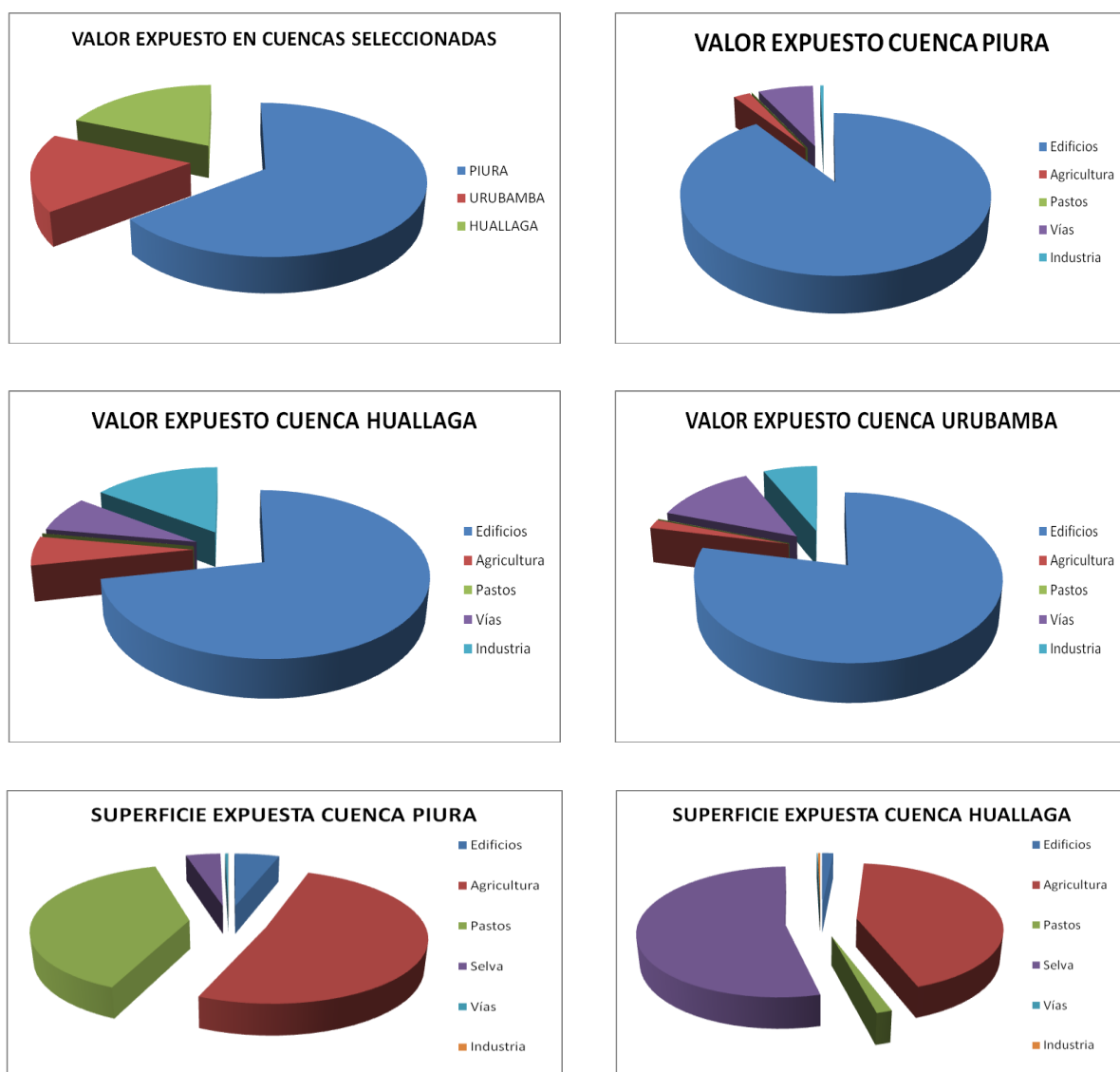
Cuadro 23. Valor expuesto unitario en las cuencas seleccionadas

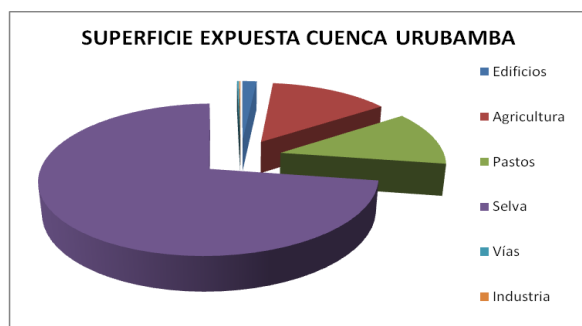
Nombre de la Cuenca	Superficie total localizada en llanura de inundación potencial (millones de m ²)	Total Valor Expuesto (millones de US\$)	Valor Expuesto (US\$/m ²)
PIURA	1,845	20,616	11.18
URUBAMBA	4,128	11,979	2.90
HUALLAGA	8,804	28,334	3.22

Cuadro 24. Porcentaje de superficie expuesta según tipología de elementos dentro de la llanura potencial de inundación en las cuencas seleccionadas

Nombre de la Cuenca	% respecto al total de la superficie de la llanura de inundación potencial						
	Superficie Edificios	Superficie Agricultura	Superficie Pastos	Superficie Selva	Superficie Vías	Superficie Industria	Superficie Otros (improductivo, cuerpos de agua...etc)
PIURA	5.52	51.58	37.99	4.24	0.37	0.03	0.27
URUBAMBA	1.29	10.87	9.54	57.13	0.17	0.11	20.89
HUALLAGA	1.31	39.06	1.33	48.52	0.11	0.27	9.4

Gráfico 28. Valor expuesto y superficie expuesta en las cuencas de estudio (Piura, Huallaga y Urubamba)





C) Nivel nacional o de territorio afectado por El Niño

Es prácticamente imposible que se produzca un episodio de lluvias capaces de originar inundaciones que afecten a la totalidad del territorio peruano de modo simultáneo. En el caso de Perú, el fenómeno que más se acerca a esta situación es el fenómeno de El Niño o ENSO (El Niño-Southern Oscillation), el cual produce lluvias generalizadas en gran parte del territorio nacional. Por ello, y tal y como se ha comentado al inicio de este informe, para realizar la extrapolación a nivel nacional se ha tomado como patrón de afectación la distribución espacial de territorios afectados durante episodios de El Niño de fuerte intensidad (en concreto los de 1982-83 y 1997-98), cuya definición se basa en estudios llevados a cabo por CENEPRED, tales como su documento “*Escenarios de riesgos ante la probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño*”, para la Presidencia del Consejo de Ministros en Octubre de 2012). A continuación, se muestran los resultados del valor expuesto de las zonas afectadas por El Niño, considerada como la mayor superficie que se podría llegar a ver afectada al mismo tiempo por un evento de gran envergadura (Cuadro 22).

En este sentido el valor expuesto en la superficie del territorio afectado por el fenómeno de El Niño asciende a unos US\$88,000 millones, siendo las vías de comunicación y los edificios la tipología de bienes con mayor valor expuesto susceptible de ser afectado, seguidos muy de cerca por el uso industrial. El desglose del valor expuesto según tipología de elementos se muestra a continuación:

Nota: se recuerda que el valor expuesto es el máximo valor que se encuentra dentro de la llanura de inundación potencial, lo cual no quiere decir que sea el valor realmente afectado por las diferentes inundaciones correspondientes a los periodos de retorno considerados en el presente estudio, que en todos los caso es inferior.

Cuadro 25. Valor expuesto en el territorio afectado por El Niño según tipología de elementos

	TOTAL VALOR EXPUESTO (Millones US\$) EN LOS DISTRITOS AFECTADOS POR NIÑO						
	Valor edificios	Valor agricultura	Valor pastos	Valor Selva	Valor vías	Valor industria	
TOTAL (Millones US\$) distritos Niño	54,677.92	3,186.29	144.60	0.00	14,639.17	15,283.75	87,931.73
TOTAL (% Millones US\$) distritos Niño	62.18%	3.62%	0.16%	0.00%	16.65%	17.38%	100.00%

Gráfico 29. Valor expuesto total en los distritos afectados por El Niño

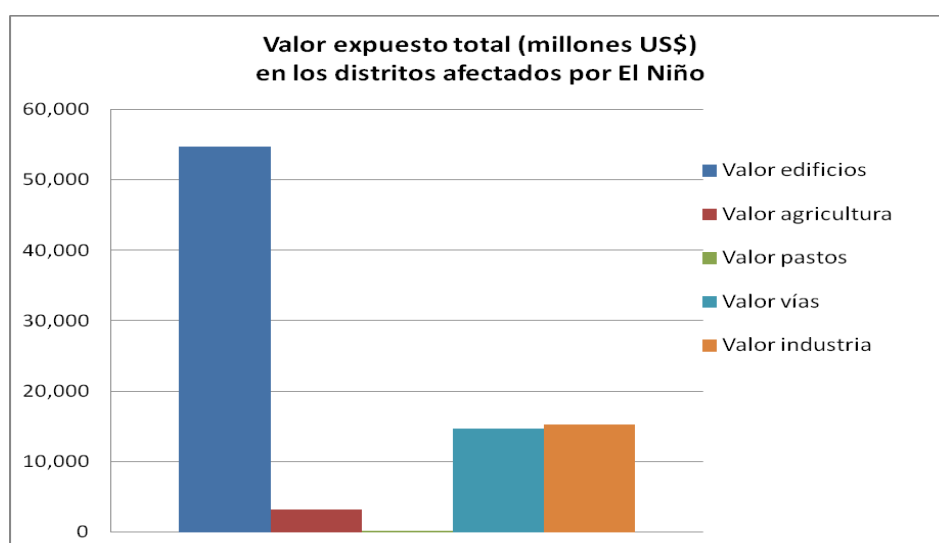
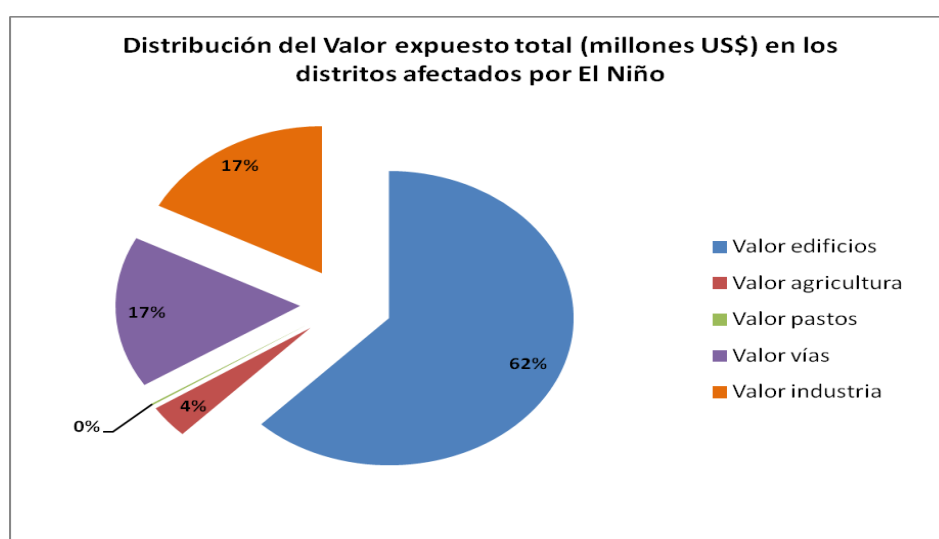


Gráfico 30. Distribución del valor expuesto total en los distritos afectados por El Niño



4.3.9. Estimación y resultados de población expuesta

A) Nivel de tramo seleccionado

Para estimar la población expuesta en cada uno de los tramos seleccionados, se ha partido de la capa de información geográfica de “manzanas poblacionales”, proporcionada por CENEPRED, que contiene información tanto del número de viviendas, como del número de habitantes en cada vivienda. Esta capa ha sido mejorada mediante fotointerpretación con Google Earth.

Por otra parte, el polígono de inundación correspondiente a la llanura potencial de inundación, ha determinado la superficie de uso urbano que podría verse afectado, y por ende, el número de viviendas y habitantes.

Con respecto a los resultados obtenidos, se concluye que es el tramo de Piura el tramo con mayor población expuesta al ser un tramo que discurre prácticamente en su totalidad a lo largo de núcleo urbano.

Cuadro 26. Población expuesta dentro de la llanura potencial en los tramos de estudio

TRAMO	NOMBRE TRAMO	POBLACIÓN EXPUESTA (dentro de la llanura potencial de inundación)
A1	Quemazón	612
A2	Huaquilla	233
A3	Curumuy	545
A4	Piura	123,253
A5	Independencia	12,386
B1	Huánuco	11,527
B2	Aeropuerto Huánuco	2,172
B3	Tingo María	29,449
B4	Campanilla	2,102
B5	Bellavista	3,936
C1	San Pedro San Pablo	14,929
C2	Calca	6,626
C3	Huasao	2,620
C4	Aguas Calientes	4,624
C5	Machu Picchu	45

215,061

B) Nivel de cuencas seleccionadas

Para llevar a cabo la estimación de la población expuesta en las cuencas seleccionadas, se han seguido una serie de procesos GIS, en los que se ha partido de la información contenida en el Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú acerca de la población total a 30 de Junio de 2014 según distrito, así como de las capas de información geográfica de núcleos de población, cuencas y distritos propiamente dichos.

En primer lugar, se han estimado los distritos y la superficie que cada uno de ellos tiene dentro de cada cuenca seleccionada.

Por otra parte, conociendo el total de población existente en cada distrito, se ha estimado de forma proporcional la existente en cada porción de distrito existente en cada cuenca seleccionada y se ha distribuido entre los diferentes núcleos poblacionales de forma proporcional a su superficie.

Finalmente, se ha tenido en cuenta la superficie que cada uno de esos núcleos urbanos contiene dentro de la llanura de inundación, para estimar de esta forma la población expuesta a partir de su densidad de población.

Tras llevar a cabo esta serie de operaciones se concluye que la cuenca de Piura es la que mayor población expuesta a las inundaciones tiene.

Cuadro 27. Población expuesta dentro de la llanura potencial en las cuencas de estudio

CUENCA	POBLACIÓN EXPUESTA (dentro de la llanura potencial de inundación)
PIURA	617,034
HUALLAGA	519,475
URUBAMBA	247,249

C) Nivel de territorio afectado por El Niño

Para llevar a cabo la estimación de la población expuesta a nivel de territorio afectado por El Niño, se ha seguido el mismo procedimiento que a nivel de cuenca, dando como resultado que aproximadamente 2.7 millones de habitantes quedan expuestos frente al fenómeno de inundaciones.

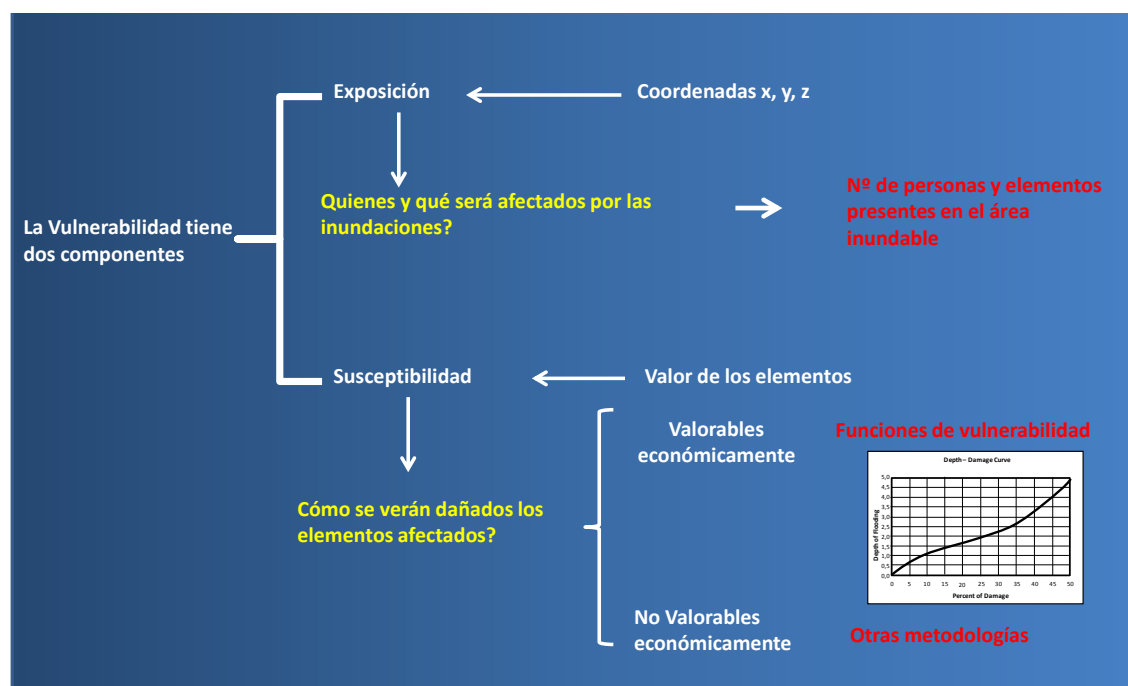
Cuadro 28. Población expuesta dentro de la llanura potencial en el territorio afectado por El Niño

Categoría población afectada por distrito	Población expuesta	Nº distritos incluidos en la categoría
<10000	472,409	163
>10000 y <30000	263,241	16
>30000 y <50000	341,856	8
>50000 y <100000	595,729	8
>100000 y >370000	1,114,207	6
TOTALES	2,787,442	201

5. Evaluación de la Vulnerabilidad Física por Inundación

De acuerdo con Metz (2007) y como ya se ha dicho con anterioridad, la vulnerabilidad tiene dos componentes: la exposición y la susceptibilidad. La exposición viene caracterizada por las coordenadas de los elementos presentes en la zona inundable y da cuenta del número de elementos y personas potencialmente afectadas por la inundación. Da respuesta a la pregunta “Qué y quiénes se verán afectados por la inundación”. Esta componente, la exposición, ya ha sido analizada en el capítulo anterior. La susceptibilidad responde a la pregunta de “Cómo se verán afectados esos elementos y personas”. Viene caracterizada por el valor del elemento y gracias a las llamadas curvas de vulnerabilidad que relacionan el calado y la velocidad del agua con la pérdida porcentual del valor del elemento expuesto, se puede conocer el grado de afectación que sufre cada elemento expuesto.

Gráfico 31. Componentes de la vulnerabilidad



Fuente: propia basado en Metz, 2007.

5.1. CURVAS DE VULNERABILIDAD

• Componentes

Como ya se ha comentado, las curvas de vulnerabilidad relacionan el calado y la velocidad del agua con la pérdida porcentual del valor del elemento expuesto. En estas curvas, el **calado** se corresponde con la altura alcanzada por el agua sobre un determinado bien y es

uno de los resultados obtenidos tras el proceso de modelización hidráulica como ya se ha visto en apartados anteriores.

Por otra parte, la **velocidad** del agua es otro de los parámetros que autores como Clausen (1989), consideran clave por su influencia en el grado de afectación, cobrando especial importancia también en edificaciones. En este sentido, y según este autor, con una velocidad baja (menor a 1 m/s), las inundaciones son poco peligrosas, pero inundaciones con altas velocidades de flujo, producen un aumento significativo de los daños.

Debido por tanto a la consideración de la velocidad como un factor relevante a tener en cuenta (además del calado), para la evaluación de la magnitud de los daños durante los fenómenos de inundación, en el presente estudio tras la aplicación de las curvas (calado-porcentaje de daño), se ha contemplado el factor velocidad a través de un porcentaje adicional a los daños producidos por el calado.

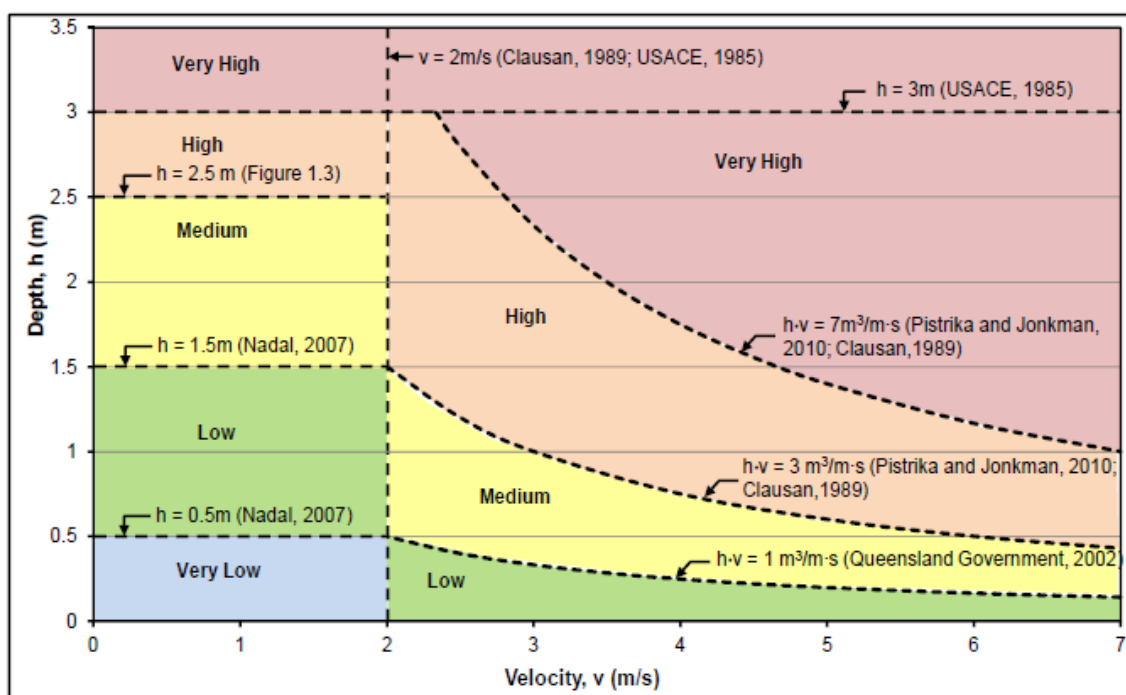
Gráfico 32. Pantalla de “Cálculo de Riesgo” del software aplicado en el presente estudio en el que se indica la posibilidad de considerar la velocidad en combinación con el calado para la estimación de las pérdidas

The screenshot shows the 'CÁLCULO RIESGO' software interface. On the left, there's a 'BASE DE DATOS' section with a button for 'EXCEL DAÑOS INDIRECTOS' and a dropdown for 'SELECCIONA TABLA CON DATOS'. Below that is another dropdown for 'SELECCIONA TRAMO'. A red box highlights a section titled 'USAR DATOS DE VELOCIDAD' which has a checked checkbox and three input fields: 'VELOCIDAD' with the value '2', 'VELOCIDAD * PROFUNDIDAD' with the value '3', and 'INCREMENTO PÉRDIDA (%)' with the value '15'. Below this section are three buttons: 'CÁLCULO', 'EXTRAPOLACIÓN TRAMOS', and 'EXTRAPOLACIÓN SUBUCUENCAS'. On the right side, there are two tables labeled 'CUENCA' and 'DISTRITO'. To the right of these tables are buttons for 'NIÑO', 'NIÑA', and 'TODOS'. Below the tables are buttons for 'EXTRAPOLACIÓN CUENCAS' and 'EXTRAPOLACIÓN DISTRITOS'. At the bottom right, there's a 'MAPAS' section with a 'VER MAPA' button.

Este porcentaje ha sido fijado teniendo en cuenta los umbrales establecidos por Clausen (1989) o Dassanayake. Este último autor, en sus estudios acerca de los daños producidos por inundaciones sobre edificaciones patrimoniales, muestra cómo se incrementan los mismos al incorporar la componente velocidad.

El siguiente gráfico refleja el incremento de los daños producidos por una inundación al considerar no sólo el calado (parte izquierda del gráfico), sino también la velocidad (parte derecha).

Gráfico 33. Nivel de daño físico en bienes histórico-culturales (edificios históricos, museos, bibliotecas, iglesias...etc., no se consideran parques recreativos), relacionado con el calado y la velocidad del flujo



Fuente: Level of physical damage in cultural assets related to flood depth and velocity (damage criteria are adopted from USACE, 1985; Clausan, 1989).

• Curvas seleccionadas

Las curvas de vulnerabilidad varían en función del elemento expuesto sobre el que se producen los daños, y dan respuesta a la pregunta “¿Cómo se verán afectados esos elementos por las inundaciones?”. Tienen como denominador común que se trata de funciones con valores que oscilan entre 0 y 1. El 0 significa que no hay daño y el 1 que el daño es máximo. En algunos casos como en los edificios, será necesario un calado de varios metros para producir el daño máximo (1), mientras que en otros, como en el caso de la agricultura, serán varios centímetros los suficientes como para producir ese mismo daño.

En este sentido, las curvas de vulnerabilidad se han aplicado sobre los siguientes elementos:

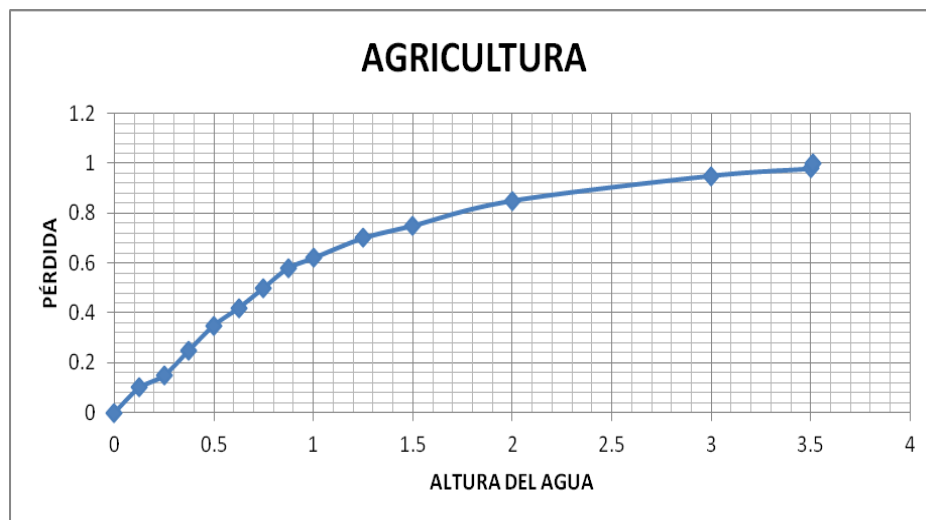
- Agricultura
- Patrimonio
- Edificios (incluyendo viviendas)
- Industrias
- Vías de Comunicación

A la hora de llevar a cabo la selección de curvas de vulnerabilidad, se han analizado diferentes fuentes que tratan sobre el análisis y evaluación de riesgos como son la plataforma CAPRA (Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment) y el software de estimación de daños Hazus, consultando también USACE (United States Army Corps of Engineers) y FEMA (Federal Emergency Management Agency).

Tras la consulta a todas ellas y atendiendo a las características de la información de partida acerca de elementos expuestos con la que se ha contado, se han seleccionado las funciones de vulnerabilidad que se reflejan en el apartado siguiente. En el caso de la agricultura, zona industrial y vías de comunicación se han utilizado las curvas genéricas de ámbito internacional de FEMA, mientras que en el caso de los edificios, las curvas utilizadas proceden de CAPRA y se corresponden con las diferentes tipologías de edificios en función de su material de construcción.

- Agricultura

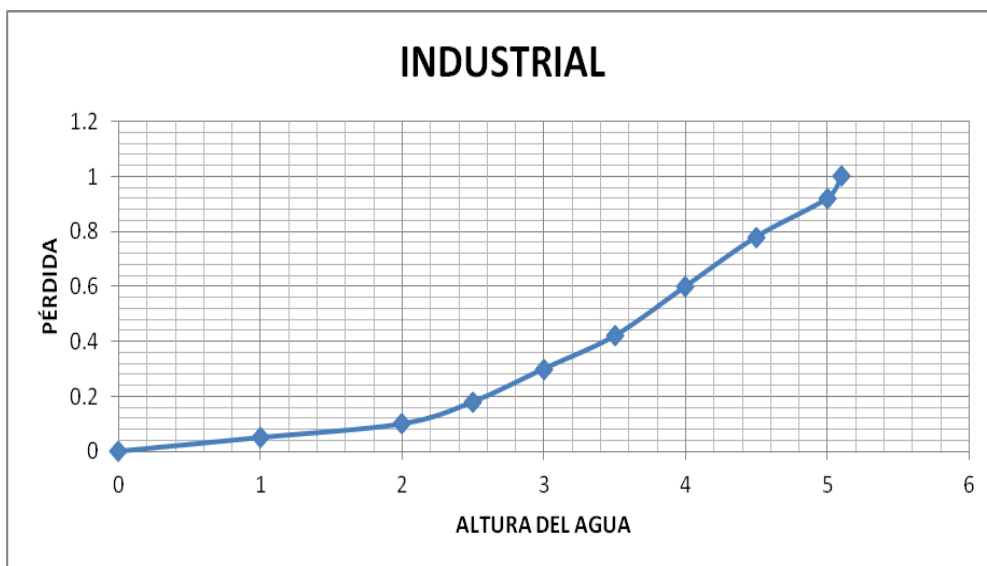
Gráfico 34. Curva de vulnerabilidad en la agricultura



Fuente: FEMA (Federal Emergency Management Agency).

- Industrial

Gráfico 35. Curva de vulnerabilidad en el uso industrial



Fuente: FEMA (Federal Emergency Management Agency).

- Vías de comunicación

Gráfico 36. Curva de vulnerabilidad en las vías de comunicación



Fuente: FEMA (Federal Emergency Management Agency)

- Edificios y/o viviendas

En el caso de los edificios y/o viviendas y debido a que el comportamiento de los mismos frente a las inundaciones está intrínsecamente ligado a su material de construcción, se han utilizado diferentes curvas de vulnerabilidad, específicas para

cada tipología de edificio identificado según su material de construcción (concreto, mampostería y madera). Del mismo modo, para la estimación del porcentaje de daño producido, se ha tenido en cuenta el número de pisos.

Por otra parte, la caracterización de la vulnerabilidad se hace asignando una única función de vulnerabilidad para la afectación física y otra función de vulnerabilidad única para la afectación humana.

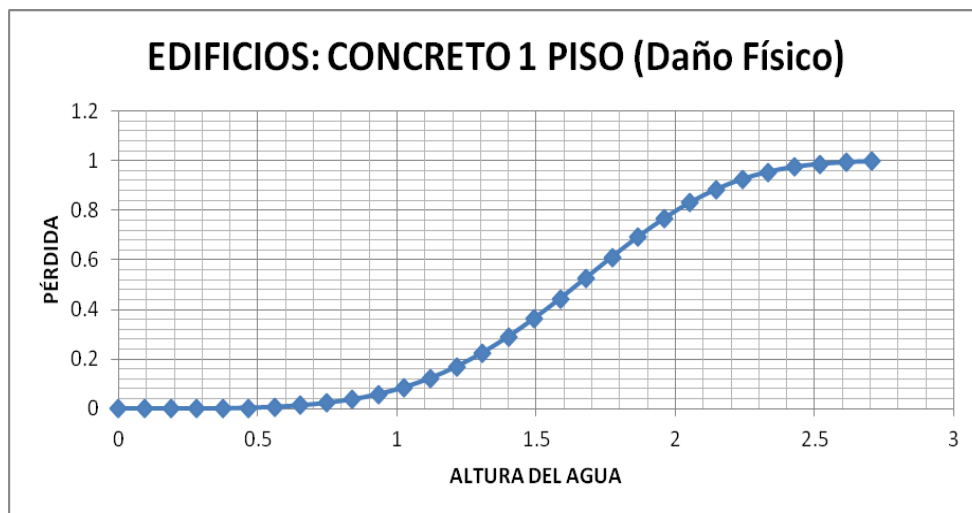
A continuación se muestran las curvas de vulnerabilidad física de las diferentes edificaciones según material y número de pisos utilizadas.

- Vulnerabilidad Física

Con respecto a la vulnerabilidad física frente a eventos de inundación, se ha tenido en cuenta tanto el tipo de material de la edificación como el número de pisos.

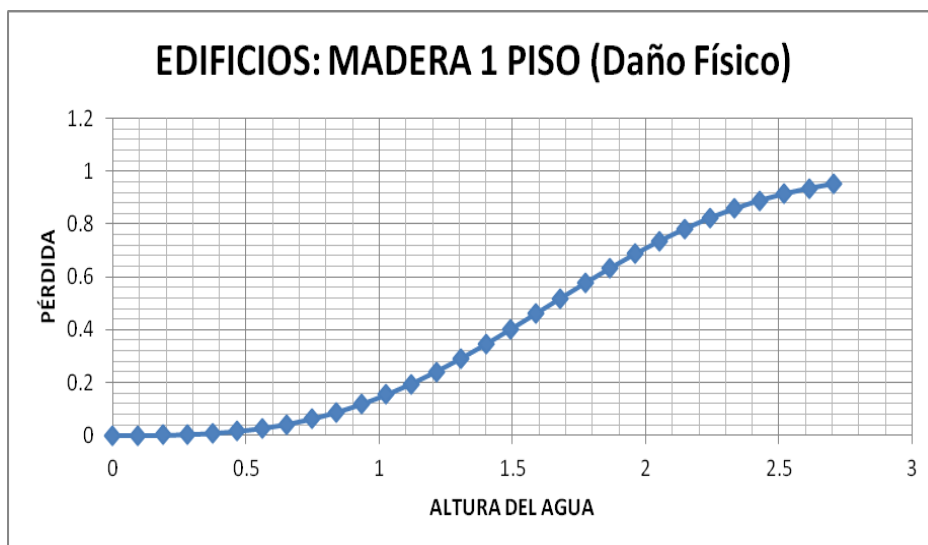
A continuación se muestran algunas de las curvas de vulnerabilidad física en edificios (o viviendas) usadas en el presente estudio.

Gráfico 37. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de tipo I de 1 piso (Daño Físico)



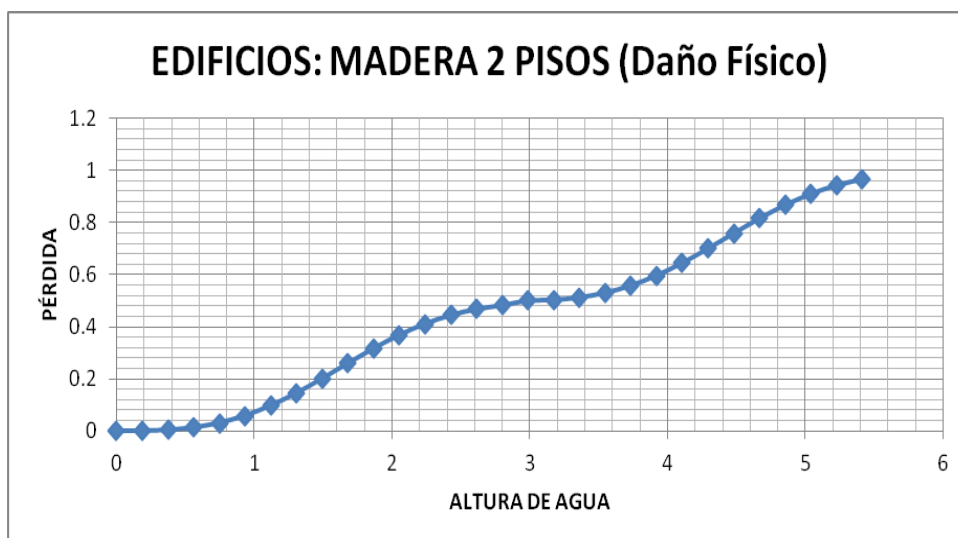
Fuente: CAPRA

Gráfico 38. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de tipo III de 1 piso (Daño Físico)



Fuente: CAPRA

Gráfico 39. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de tipo III de 2 pisos (Daño Físico)



Fuente: CAPRA

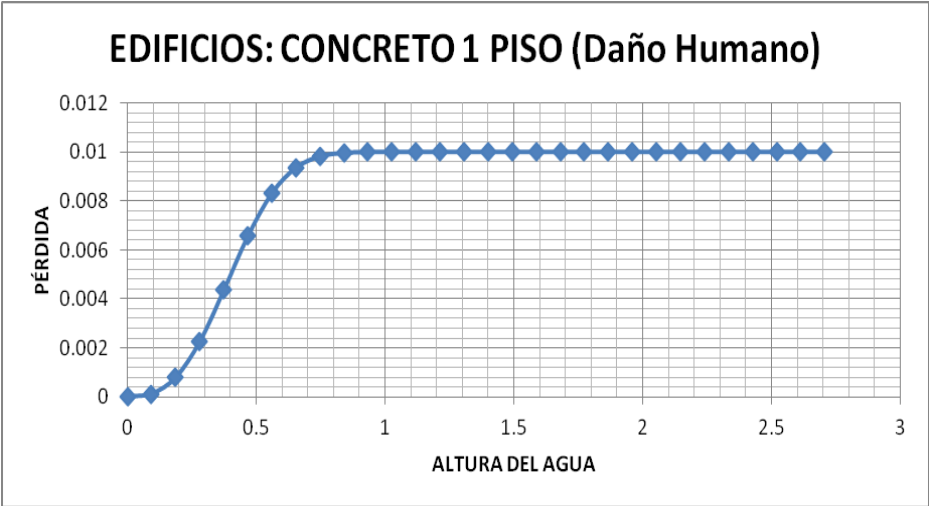
- Vulnerabilidad Humana

En cuanto a la vulnerabilidad humana, ésta se expresa mediante el número esperado de víctimas (heridos, fallecidos, afectados...etc.). Considerándose como un porcentaje de los daños producidos, por lo que el máximo valor alcanzado en las curvas de edificios y/o viviendas con respecto al daño humano no alcanzará el 1 (valor máximo). A modo de ejemplo, una inundación de 2.5 metros sobre un edificio de concreto de 1

piso, produce un daño físico total, lo cual no significa que mueran todos sus habitantes.

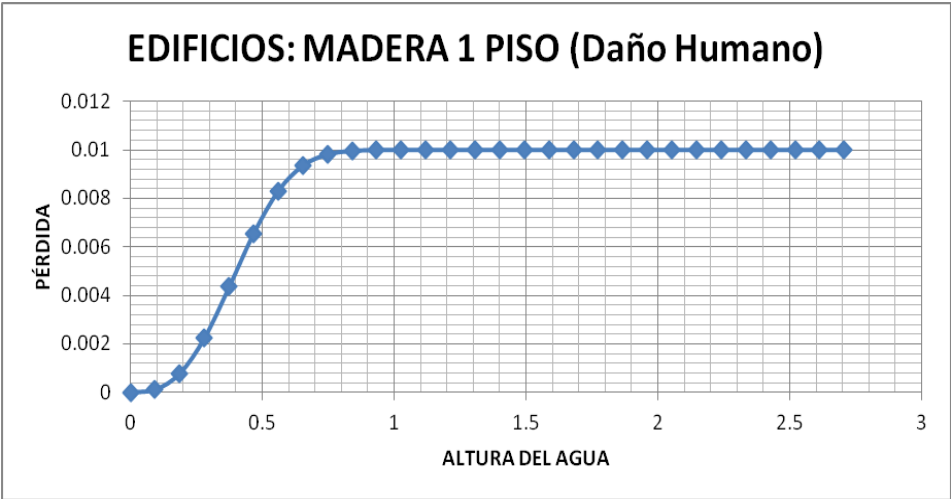
A continuación se muestran algunos ejemplos.

Gráfico 40. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de concreto de 1 piso (Daño Humano).



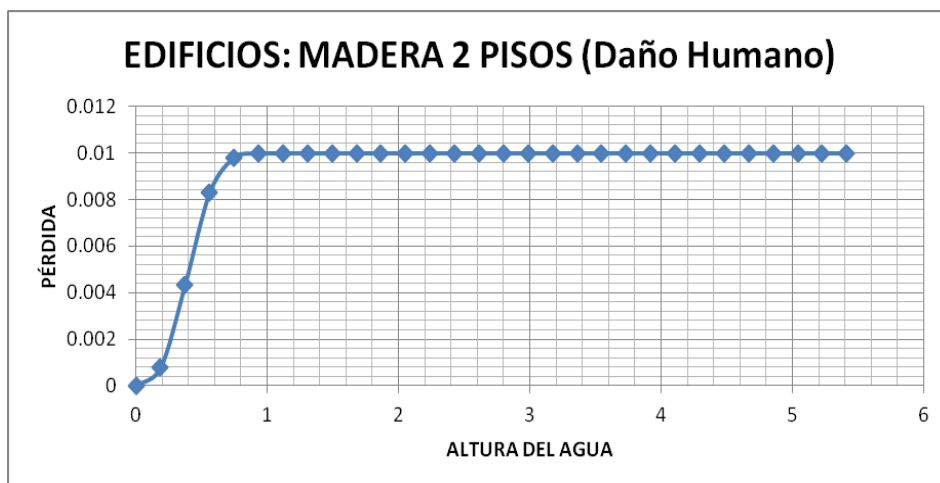
Fuente: CAPRA

Gráfico 41. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de madera de 1 piso (Daño Humano).



Fuente: CAPRA

Gráfico 42. Curva de vulnerabilidad sobre edificios y/o viviendas de madera de 2 pisos (Daño Humano)



Fuente: CAPRA

La metodología usada en el presente proyecto ha considerado edificaciones de 1 solo piso en el ámbito rural y de 2 pisos en el ámbito urbano. Existiendo según la tipología de material edificaciones de mampostería, concreto y madera en ambos ámbitos.

Tras la aplicación de las curvas de vulnerabilidad mostradas con anterioridad para llevar a cabo el cálculo de los daños producidos por el calado sobre los diferentes elementos expuestos y teniendo en cuenta estudios ya existentes llevados a cabo principalmente por Dassanayake (2002), se han estimado los daños que produciría la velocidad como un porcentaje adicional a los producidos por el calado en aquellas zonas donde la velocidad del agua es superior a los 2 m/s, al ser ésta la velocidad a partir de la cual los daños producidos comienzan a ser significativos.

- Patrimonio

En cuanto al patrimonio, la evaluación de las pérdidas se ha llevado a cabo mediante la combinación del nivel de daño físico que el elemento patrimonial sufre a causa de una inundación y del nivel del valor cultural.

- El daño físico queda evaluado en función de las características propias de la inundación, como son el calado (o altura del nivel del agua), y la velocidad del flujo.

La fuente documental más relevante en la que se describe la metodología seguida en la evaluación de los daños sobre el patrimonio cultural es la obra de Dassanayake et al. (2002). Siguiendo sus recomendaciones, y con respecto a daño físico, fija en varios niveles los cambios en la velocidad del flujo con respecto

a su influencia en el daño, definiendo por tanto su curva o esquema de vulnerabilidad.

En el siguiente cuadro se muestra la evaluación del daño físico tras la combinación de la aplicación de velocidad y calado sobre los bienes histórico-culturales.

Cuadro 29. Matriz para la evaluación de daños físico

Nivel de daño	Criterio de daños para velocidades de flujo < 2 m/s	Criterio de daños para velocidades de flujo > 2 m/s
1 – Muy bajo	$h < 0.5 \text{ m}$	-
2 – Bajo	$0.5 \text{ m} < h < 1.5 \text{ m}$	$h \cdot v < 1 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
3 – Medio	$1.5 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$	$1 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} < h \cdot v < 3 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
4 – Alto	$2.5 \text{ m} < h < 3 \text{ m}$	$3 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} < h \cdot v < 7 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
5 – Muy alto	$h > 3 \text{ m}$	$h > 3 \text{ m}$, o bien, $h \cdot v > 7 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$

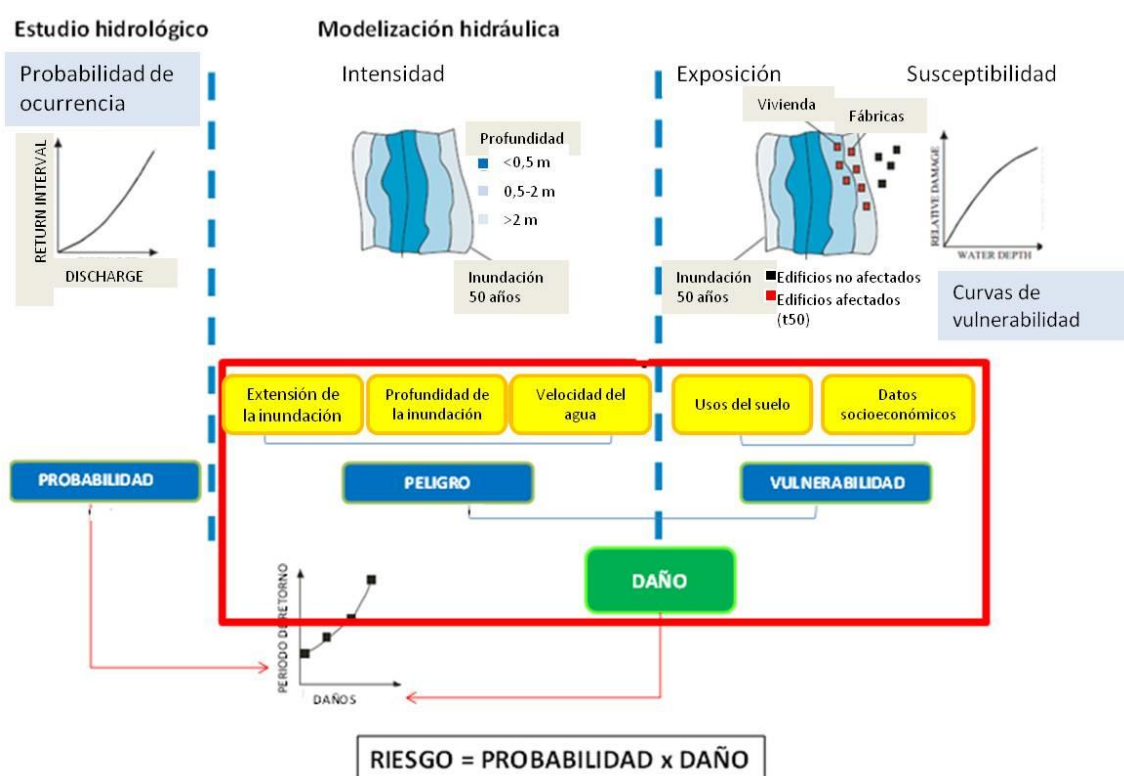
El valor cultural de un determinado elemento patrimonial o histórico, se ha evaluado en función de su importancia Histórica o antigüedad (HS) y de su importancia Social (SS), que podría traducirse en el número de visitas recibidas por el elemento patrimonial.

6. Estimación del Riesgo por Inundación

Una vez obtenida la extensión, profundidad y velocidad del agua (todos ellos componentes de la amenaza), a través del proceso de modelización hidráulica y tras disponer de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, estimada a través de la aplicación de las correspondientes curvas de vulnerabilidad sobre los elementos inventariados, se procede a la estimación de los daños a partir del efecto de los componentes de la amenaza (extensión, profundidad y velocidad del agua), sobre los elementos expuestos vulnerables.

Los daños producidos por una inundación de una determinada probabilidad de ocurrencia definirán finalmente el riesgo.

Gráfico 43. Estimación del daño producido por inundaciones dentro del esquema general de la metodología aplicada



En cuanto a los daños producidos en una inundación y como ya se comentó en el inicio del presente informe, pueden dividirse en dos grandes bloques: daños tangibles o fácilmente valorables económicamente y daños intangibles o difíciles de valorar en términos monetarios. Dentro de los daños tangibles encontramos los daños directos, producidos por el contacto directo del agua y los daños indirectos producidos por la

interrupción de los flujos económicos y a otras consecuencias a medio y largo plazo. Los daños intangibles son de difícil evaluación económica, pudiendo citar entre ellos a modo de ejemplo los daños psicológicos de la población afectada.

En este capítulo se describen las herramientas y metodología utilizada para la estimación de los daños directos, indirectos y sobre el patrimonio producidos por las diferentes inundaciones de periodos de retorno estudiados, así como los resultados obtenidos.

6.1. Herramientas de estimación de daños

En cuanto a las herramientas manejadas para la estimación de los daños, y pese a existir varias de ellas de reconocido prestigio (software Hazus ó plataforma CAPRA), basándonos en los objetivos a alcanzar en este estudio, a la metodología desarrollada para alcanzarlos y principalmente a las características de la información de partida con la que se ha contado, ha sido necesario desarrollar un software o aplicación basada en GIS específica para llevar a cabo la estimación de daños planteada en la metodología (estimación de daños a nivel de tramo y cuenca seleccionada y extrapolación de los resultados obtenidos al territorio afectado por fenómenos hidrometeorológicos de gran envergadura como lo es el fenómeno de El Niño), ya que tras el análisis de los diferentes software existentes de estimación de esta tipología de daños, se llegó a la conclusión de que o bien no cumplían con todos los objetivos del estudio (ya que ninguno de todos ellos está desarrollado por ejemplo para llevar a cabo la extrapolación de resultados a otras zonas a partir de los cálculos realizados en zonas más reducidas (tramos de cuencas seleccionadas), o no se adaptaban a las características de la información con la que se partía al exigir formatos de información concretos, tomando como solución el desarrollo de este software o desarrollo GIS específico.

De forma general, el cuadro que se muestra a continuación muestra un resumen de la comparativa llevada a cabo para determinar la herramienta de estimación de daños más adecuada a utilizar en el presente estudio. Concluyendo que un desarrollo específico basado en GIS es la solución que mejor se adapta, debido principalmente a:

- **Formatos:** La información de partida cuenta con estructuras y formatos heterogéneos. Los softwares Hazus y CAPRA, requieren formatos concretos, mientras que el nuevo desarrollo GIS admite una amplia variedad de ellos.
- **Procesado de la información:** para la realización de los cálculos, es la aplicación GIS la que permite una obtención de resultados finales de forma

más directa, sin necesidad de realizar un gran número de adaptaciones posteriores ni previas al cálculo.

- Naturaleza de la información: el desarrollo GIS sigue una metodología transparente en sus cálculos, lo que permite hacer un seguimiento del proceso en todo momento, así como las adaptaciones necesarias. Permite llevar a cabo la estimación de daños sobre todo tipo de usos de suelo (edificios y/o viviendas, agricultura, vías de comunicación...etc.), tras la aplicación de las curvas de vulnerabilidad correspondientes y mediante el uso de fórmulas y procesos personalizados (Model Builder, Visual Basic...etc.).
- Formato de resultados: el desarrollo GIS ofrece resultados en forma de capas, tablas e informes personalizados.

Finalmente y como ya se ha comentado, este desarrollo apoyado en GIS, permite llevar a cabo la extrapolación de resultados llevados en zonas concretas a otras zonas.

Cuadro 30. Comparativa de los software de estimación de daños

FORMATO DE DATOS	GIS	CAPRA	HAZUS
FORMATO DE DATOS			
AMENAZA	Raster (grid, img, tiff...)	AME	Raster (grid, img, tiff...)
EXPOSICIÓN	Shapefile con estructura flexible	Shapefile con estructura cerrada	Shapefile con estructura cerrada
VULNERABILIDAD	Tablas con estructura flexible	Formato propio cerrado (.dat y .fvu)	Formato propio cerrado
PROCESADO DE LA INFORMACION			
AMENAZA	Depuración de lámina de agua	Depuración de lámina y conversión manual a AME	Depuración de lámina
EXPOSICIÓN	Edición de capas de usos del suelo	Edición de capas y adaptación de formatos	Edición de capas y adaptación de formatos
VULNERABILIDAD	Creación de tablas a partir de curvas	Creación y edición de curvas (ERN VULNERABILIDAD)	Modificación de tablas
NATURALEZA DE LA INFORMACIÓN			
AMENAZA	Altura máxima del agua y velocidad opcional	Altura máxima del agua y desviación estándar obligatoria	Altura máxima del agua
EXPOSICIÓN	Todo tipo de usos del suelo y parámetros	Solamente edificios y parámetros fijos	Solamente elementos del inventario y parámetros fijos
VULNERABILIDAD	Curvas adaptables a todos los usos del suelo	Curvas adaptables a edificios	Curvas adaptables a elementos del inventario
CALCULO RESULTADOS	Fórmulas y procesos personalizados con Modelo Boulder, VB, Pitón etc.	Proceso no modificable y poco transparente	Proceso no modificable y poco transparente
FORMATO RESULTADOS	Capas, tablas e informes personalizados	Capas y tablas con estructura cerrada	Capas y tablas con estructura cerrada

6.2. Metodología y resultados

Se ha llevado a cabo una metodología específica tanto para la determinación de los daños directos, como para los indirectos y de patrimonio, tanto a nivel de tramo de estudio, como a nivel de país o territorio afectado por el fenómeno de El Niño. A continuación se muestra dicha metodología así como los resultados obtenidos tras su aplicación.

6.2.1. Daños directos

A) Daños directos a nivel de tramo de estudio

En la metodología seguida para la estimación de los daños directos producidos por las inundaciones de los diferentes periodos de retorno estudiados, se ha partido de la capa de exposición georeferenciada en formato shp. (construida a partir de la información procedente de fuentes oficiales como CENEPRED y mejorada a través de fotointerpretación con Google Earth), y de los datos procedentes de la modelización (superficie, altura y velocidad del agua en cada periodo de retorno) en formato raster para cada periodo de retorno. El cálculo se ha realizado a partir de la aplicación de las correspondientes curvas de vulnerabilidad (o de calado/daño), a las que se les ha añadido la componente de la velocidad. Todo el proceso se ha llevado a cabo a través de la aplicación basada en GIS de cálculo de daños desarrollada para el presente proyecto, cuya idoneidad de aplicación en el mismo se ha explicado en el apartado anterior.

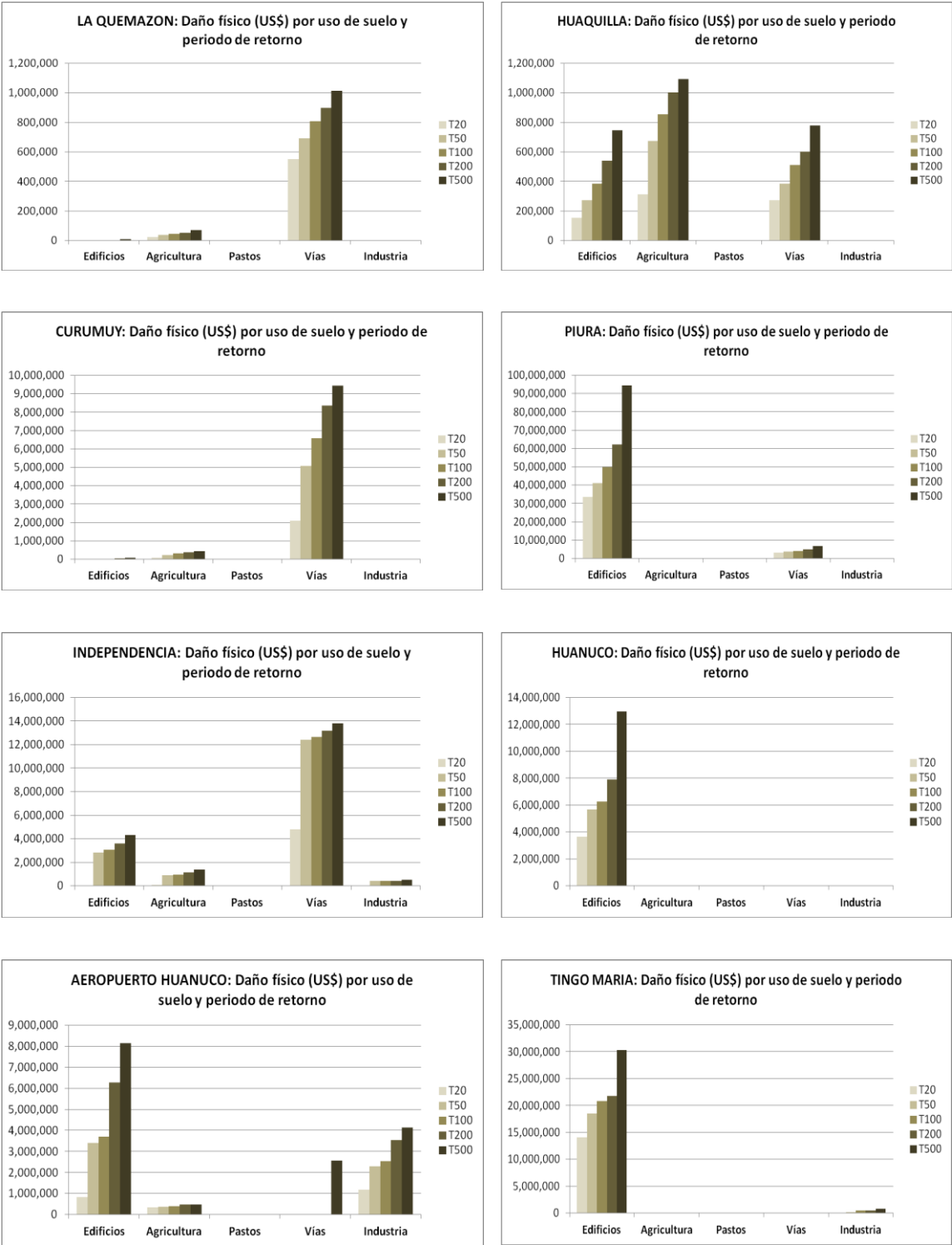
Los elementos sobre los que se han estimado los daños, han sido:

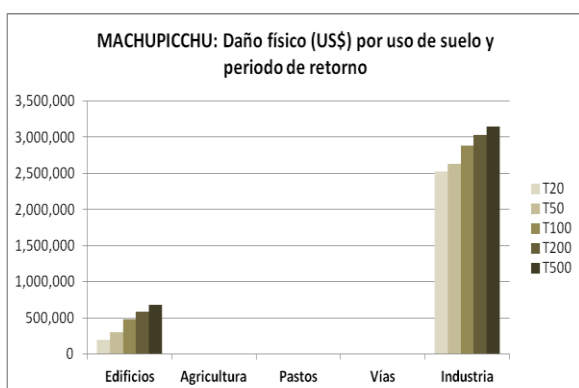
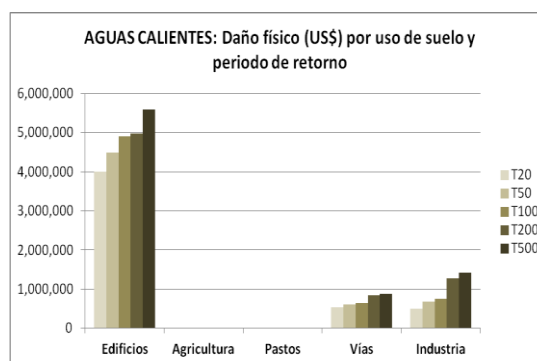
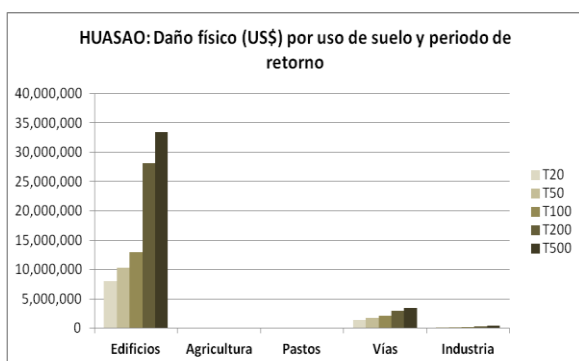
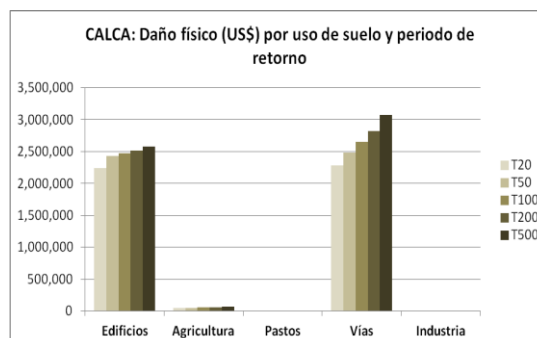
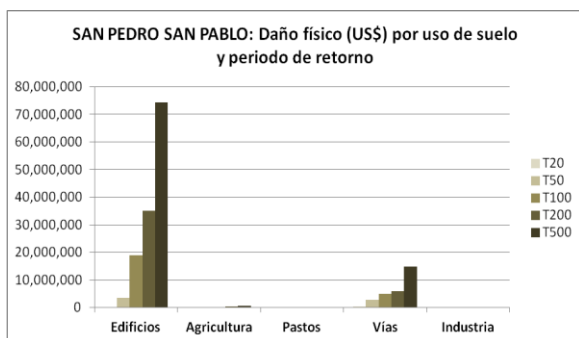
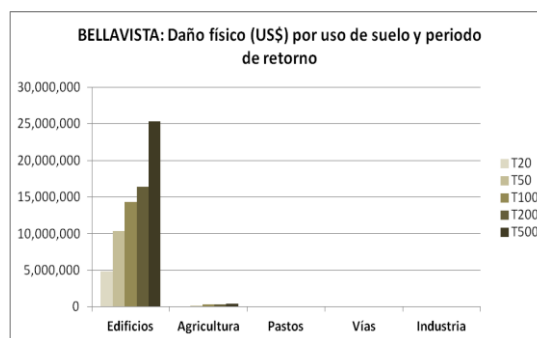
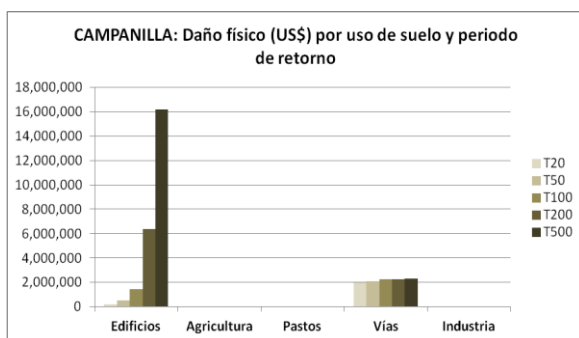
- Agricultura y pastos
- Edificios y/o viviendas
- Vías de comunicación
- Uso Industrial
- Población

Tras la aplicación de la metodología se concluye que es en las edificaciones, seguidas de las vías de comunicación donde se generan la mayor parte de las pérdidas económicas.

A continuación se ofrece un desglose de los principales resultados obtenidos en los 15 tramos de estudio seleccionados, siendo el tramo de Piura el tramo en el que se originan mayores pérdidas, procedentes principalmente de los daños sobre edificios y/o viviendas.

Gráfico 44. Daños físicos por uso de suelo en los tramos seleccionados y periodo de retorno

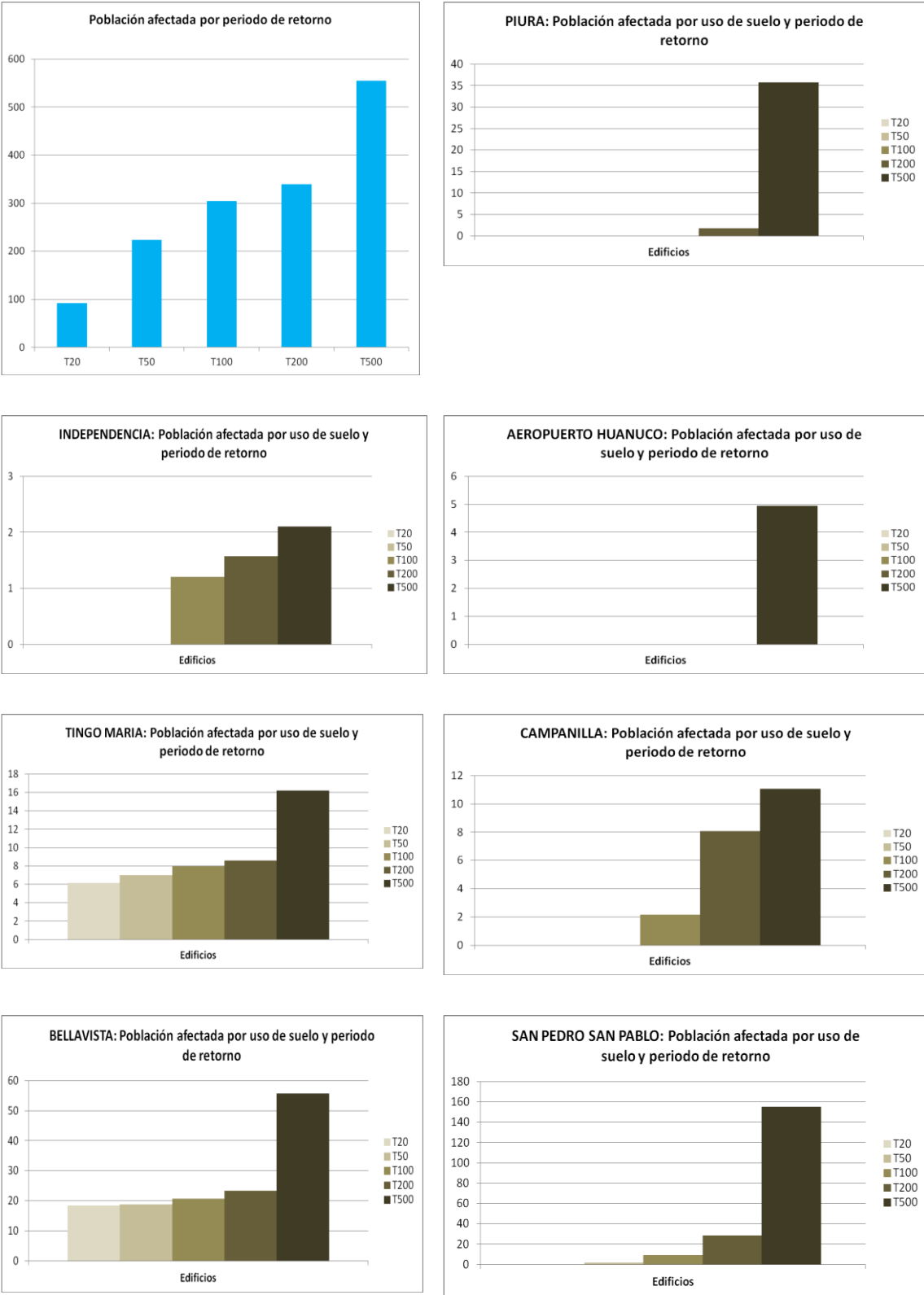


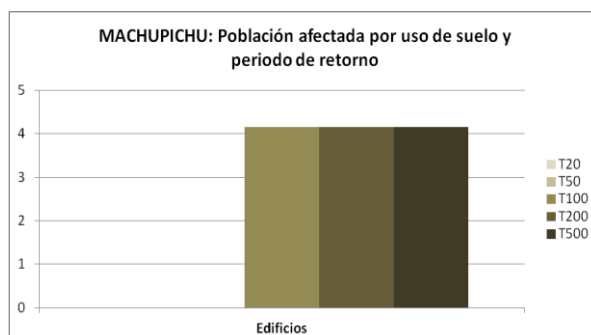
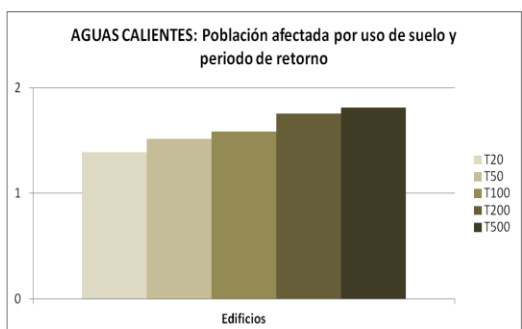
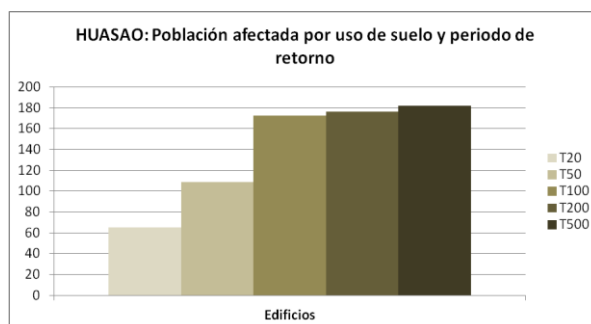
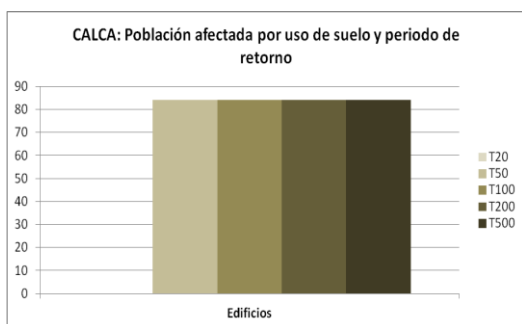


A continuación se muestran los principales resultados sobre la población afectada en los tramos seleccionados según periodo de retorno, concluyéndose que el tramo de Huasao es uno de los tramos seleccionados con mayor número de habitantes potencialmente afectados en todos los periodos de retorno estudiados, mientras que

en los tramos de La Quemazón, Huaquilla, Curumuy y Huánuco, la probabilidad de afección a la población por inundaciones es escasa o nula.

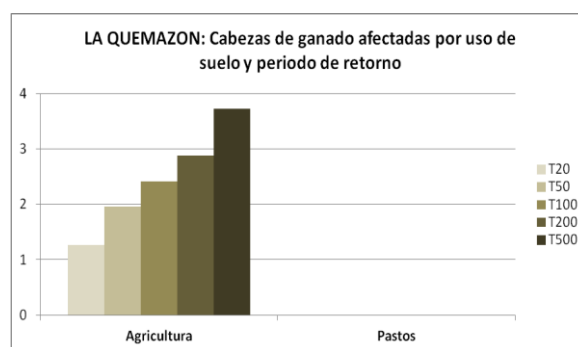
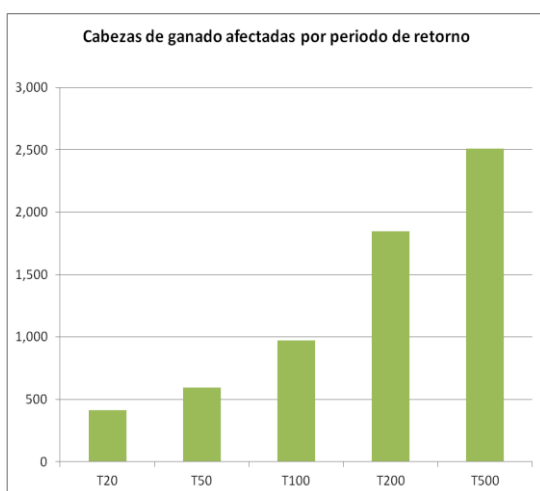
Gráfico 45. Población afectada por uso de suelo y periodo de retorno en los tramos seleccionados

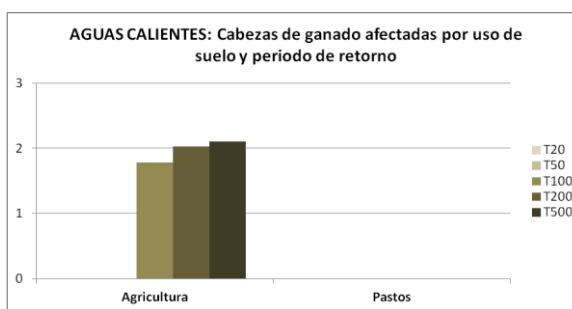
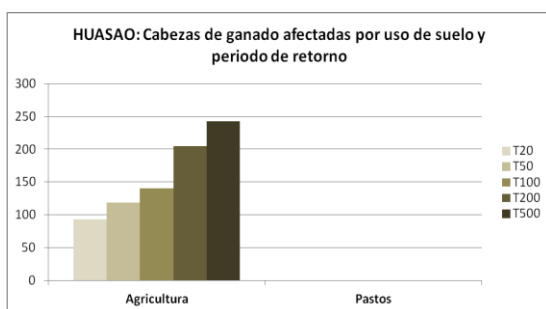
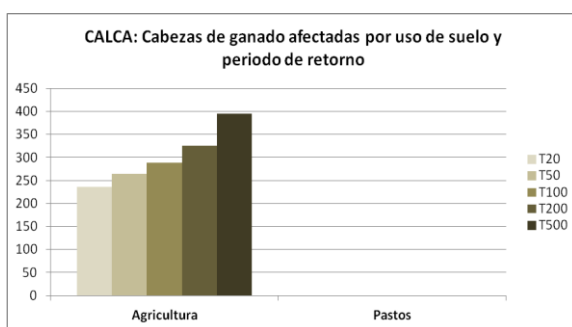
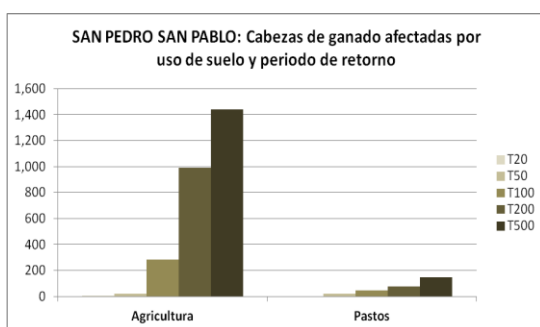
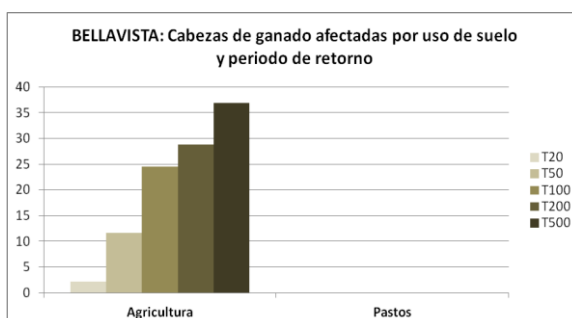
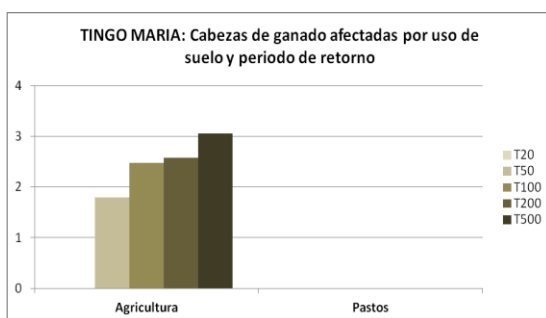
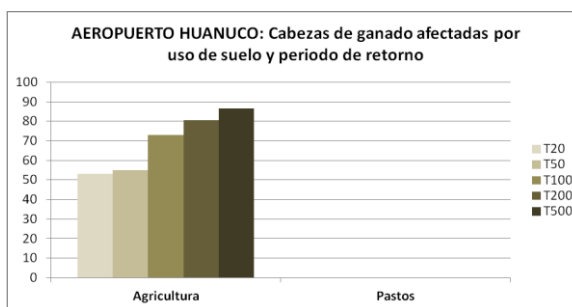
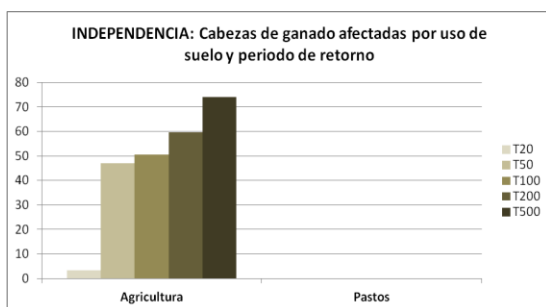
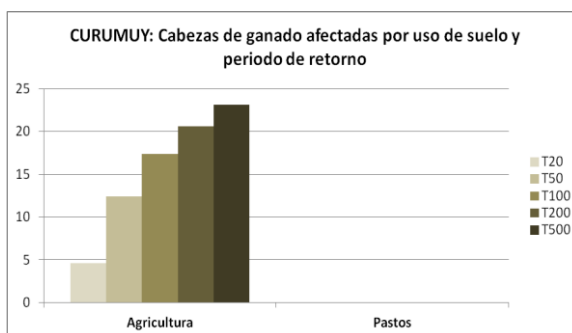
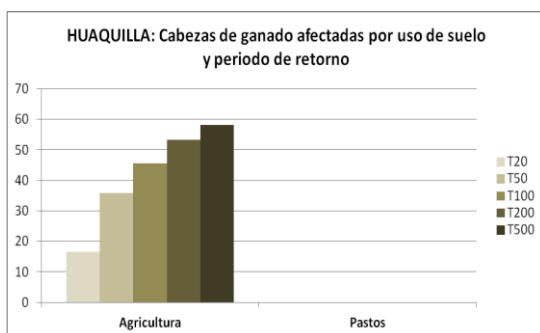




En la evaluación de los daños sobre cabezas de ganado se ha tenido en cuenta la superficie agrícola o de pastos afectada, ya que es sobre este tipo de uso donde aparece vinculada la ganadería. En este sentido y con respecto a los datos de daños sobre cabezas de ganado, son los tramos de Calca, San Pedro y Huasao, los que reportan mayores pérdidas, mientras que en los tramos de Piura, Huánuco-Huayopampa, Campanilla y Machu Picchu, los daños sobre cabezas de ganado son escasos o nulos.

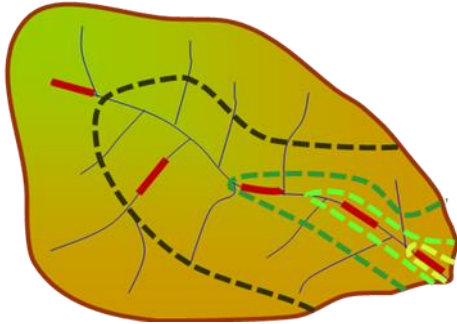
Gráfico 46. Cabezas de ganado afectadas por uso de suelo y periodo de retorno en los tramos seleccionados





B) Daños directos a nivel de cuenca seleccionada

Para llevar a cabo la extrapolación de los resultados de daños obtenidos a nivel de tramo a las cuencas seleccionadas, se ha llevado a cabo una división de cada una de las cuencas piloto en cinco zonas (sub-áreas), según la representatividad de cada uno de los cinco tramos seleccionados.



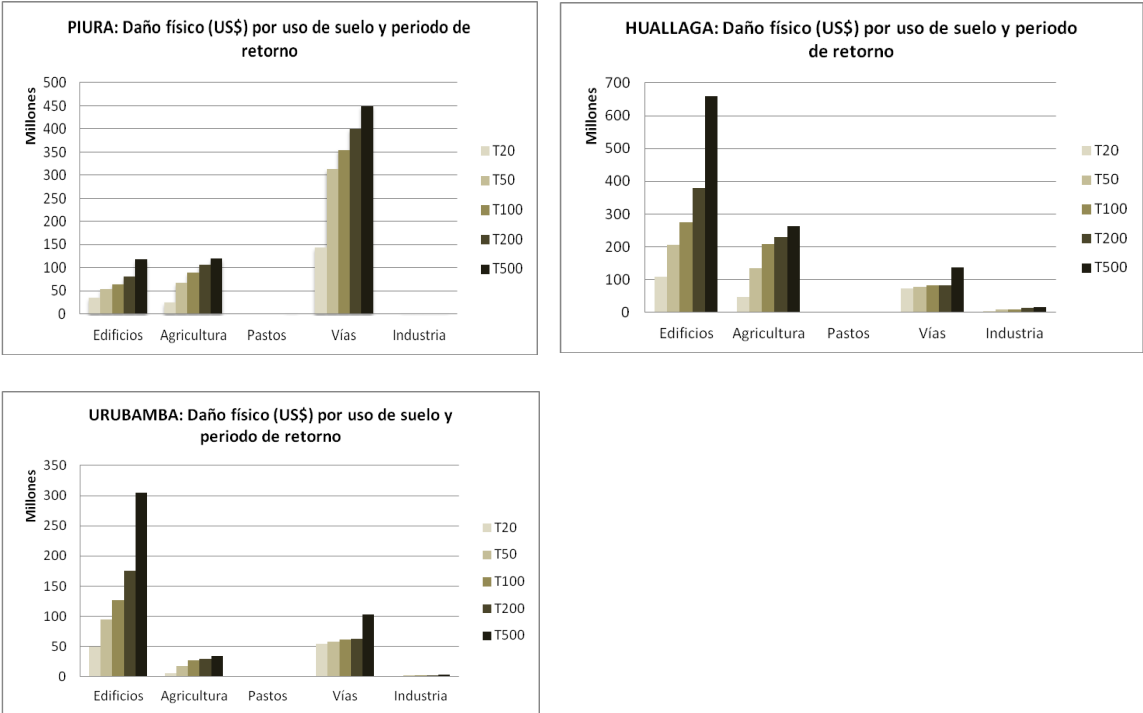
En esta imagen se muestra una cuenca idealizada donde se han seleccionado cinco tramos (en rojo) considerados representativos de unas determinadas zonas de la cuenca (que se han limitado con líneas de trazos de diferentes tonalidades de color verde).

Posteriormente, se ha llevado a cabo una delimitación de las llanuras de inundación para los diferentes Periodos de Retorno (T) en los intertramos de red fluvial (red fluvial comprendida entre los diferentes tramos de estudio), presente en cada sub-área de las cuencas seleccionadas, para finalmente obtener el valor de la pérdida por unidad de área en la cuenca piloto siguiendo las siguientes pautas:

- . Obtención de los valores de pérdidas para cada uso de suelo y periodo de retorno en cada tramo seleccionado.
- . Estimación del valor total de las pérdidas en cada sub-área para cada uso de suelo y periodo de retorno.
- . Cálculo de la pérdida por unidad de superficie por uso de suelo y periodo de retorno en cada sub-área.
- . Cálculo para el conjunto de la cuenca de la pérdida media por unidad de superficie para cada uso de suelo y periodo de retorno.

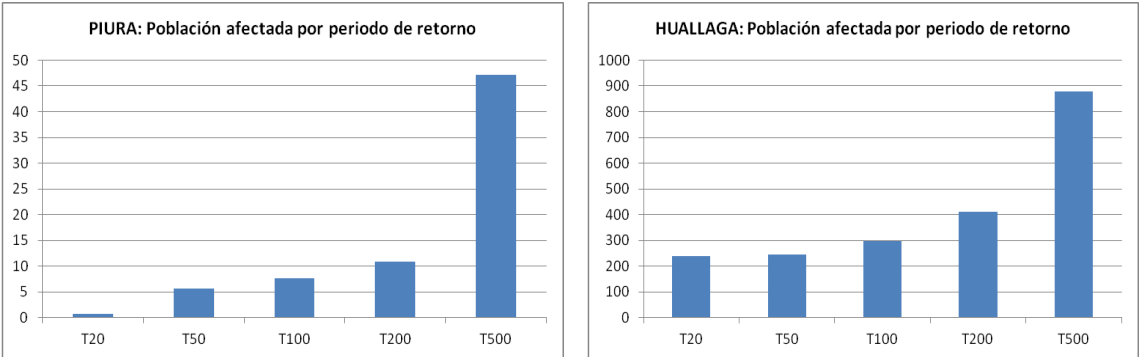
Como principales resultados se desprende que en términos generales las mayores pérdidas se producen sobre los edificios y las vías de comunicación, al ser los elementos con un mayor valor unitario.

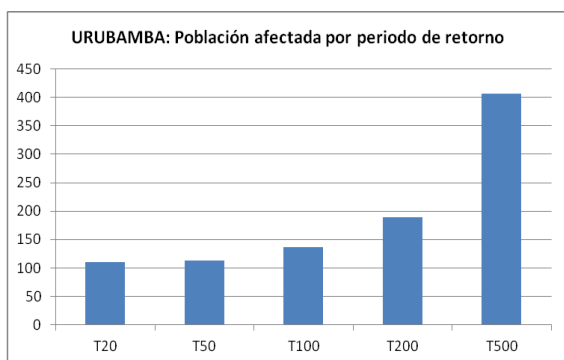
Gráfico 47. Daño físico por uso de suelo y periodo de retorno en tres cuencas (Piura, Huallaga y Urubamba)



En cuanto a la población afectada, la cuenca del Huallaga es la cuenca con un mayor número de potenciales víctimas, al ser la que presenta una mayor superficie, conteniendo por ende una mayor superficie urbana y por tanto mayor número de población expuesta a las inundaciones aumentando la probabilidad de ser afectada.

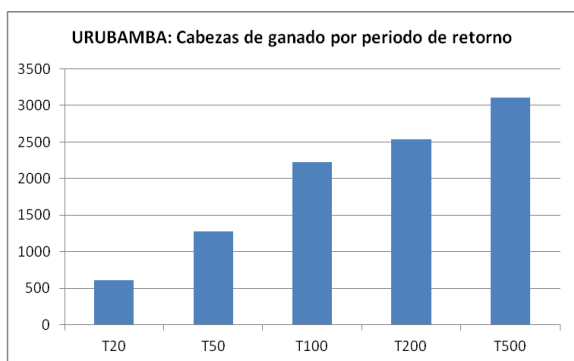
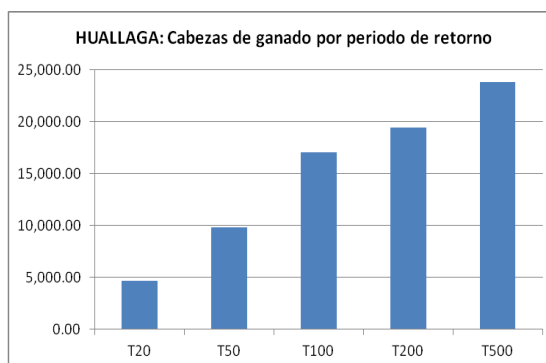
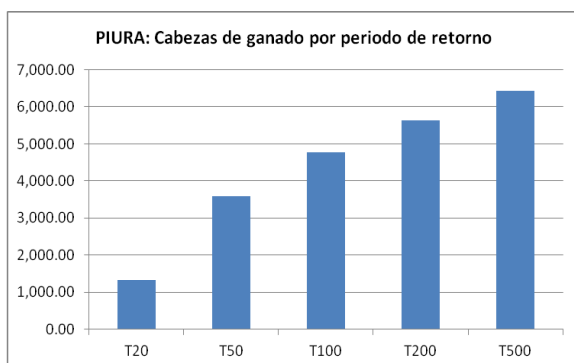
Gráfico 48. Potencial de población a ser afectada por periodo de retorno en tres cuencas (Piura, Huallaga y Urubamba)





Si nos referimos a las cabezas de ganado, las mayores pérdidas se dan en la cuenca del Huallaga, al tener esta cuenca una mayor superficie agrícola.

Gráfico 49. Potencial de cabeza de ganado a ser afectada por periodo de retorno en tres cuencas (Piura, Huallaga y Urubamba)



C) Daños directos a nivel nacional o de territorio afectado por El Niño

Para la estimación de los daños directos a nivel de territorio afectado por El Niño, se ha llevado a cabo una metodología que en rasgos generales consiste en el cálculo de los valores medios de pérdida de cada elemento expuesto por unidad de superficie y periodo de retorno en los tramos seleccionados y la multiplicación de dicho valor por el área total expuesta de cada elemento contenida dentro de la llanura potencial de la región hidrográfica correspondiente, (incidiendo en que se asume que los tramos seleccionados son representativos de la región o zona hidrográfica a la que pertenecen: costa, sierra y selva).

En cuanto a los resultados obtenidos en términos generales, la mayor cuantía de los daños directos a nivel de territorio afectado por El Niño, se producen sobre edificios (viviendas) y vías de comunicación, estando los distritos de Sechura, Olmos, Chimbote, Yurimaguas o Piura entre los distritos que potencialmente podrían sufrir mayores daños.

Los principales resultados de obtención de daños directos sobre las diferentes tipologías de elementos expuestos obtenidos tras la aplicación de la metodología propuesta en el presente estudio pueden verse de forma resumida en los siguientes gráficos.

Gráfico 50. Daño físico (millones US\$) para cada periodo de retorno y según uso de suelo

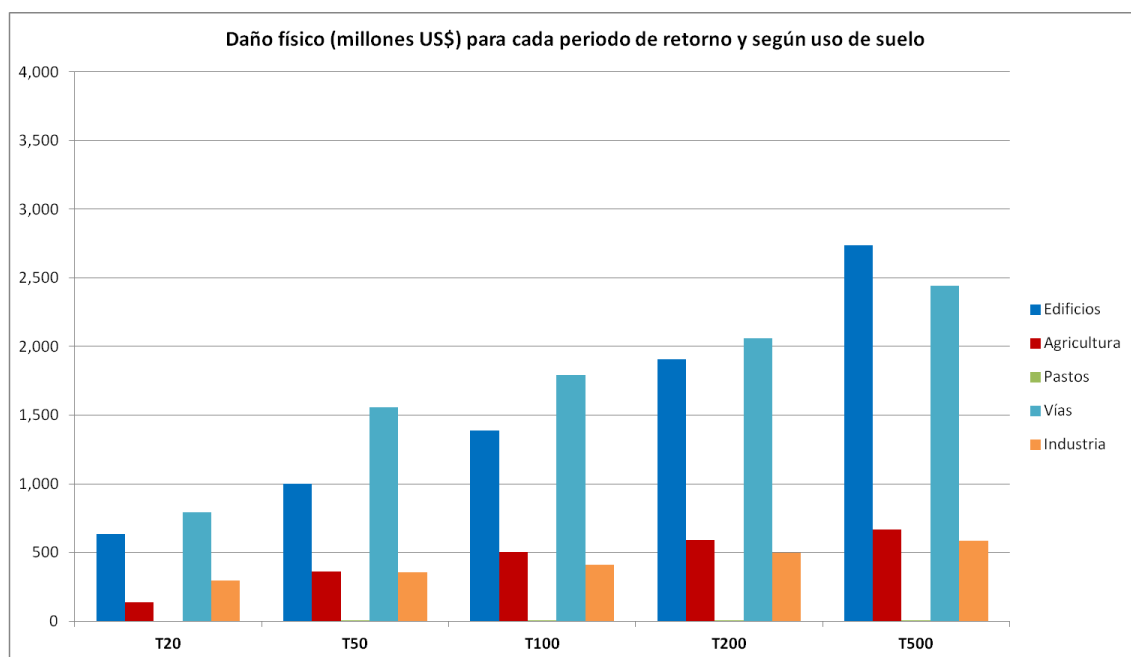
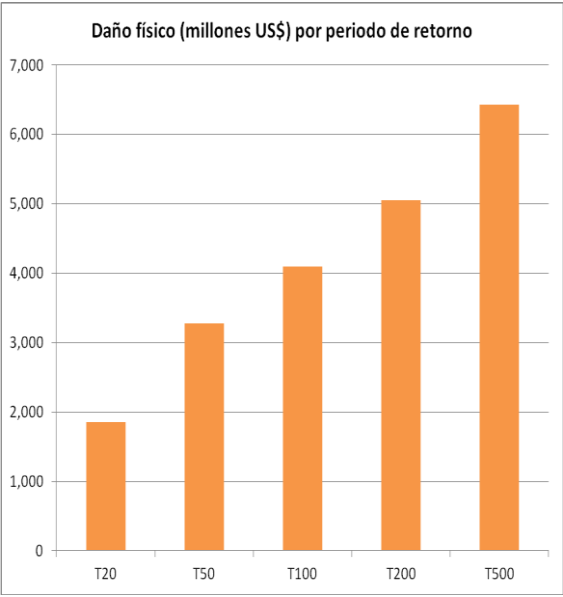
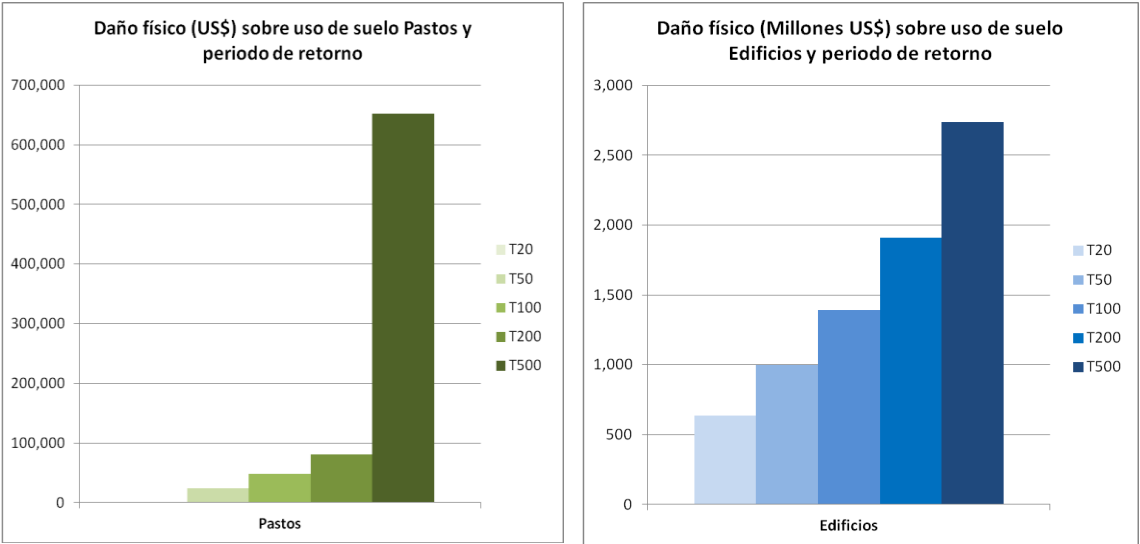


Gráfico 51. Daño físico (millones US\$) por periodo de retorno



PERIODO DE RETORNO	T20	T50	T100	T200	T500
(millones de US\$)	1,859	3,274	4,096	5,054	6,429

Gráfico 52. Daño físico (millones US\$) sobre diferentes usos de suelo y periodo de retorno



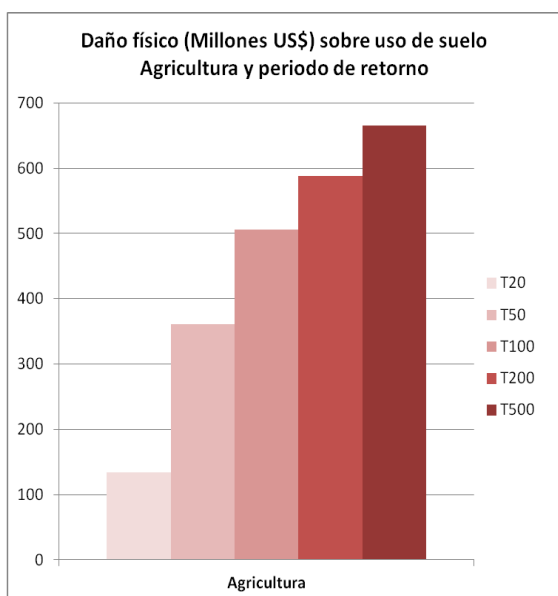
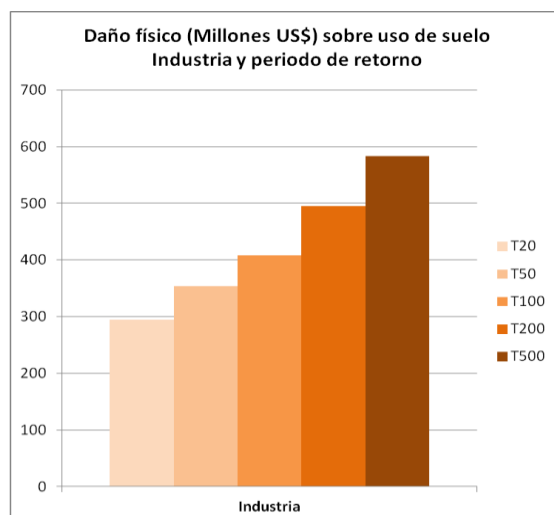
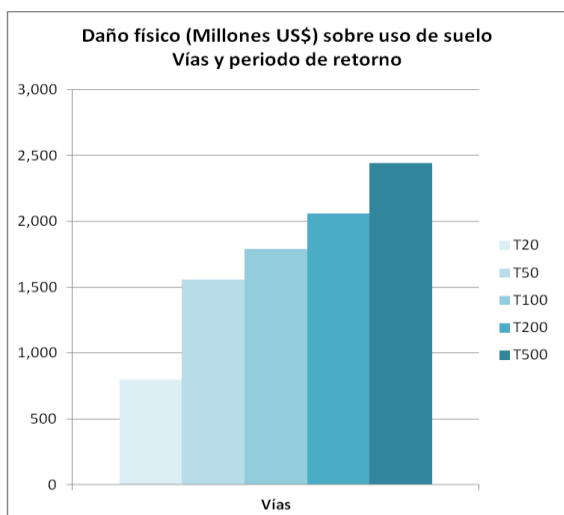
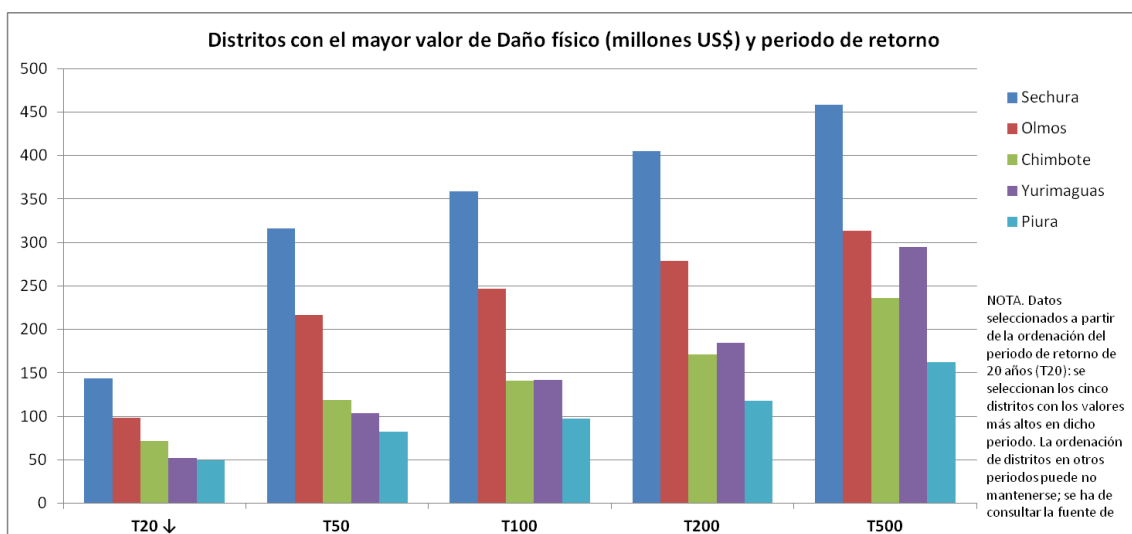


Gráfico 53. Distritos con el mayor valor de daño físico (millones US\$) y periodo de retorno



En cuanto a los datos sobre población afectada (fallecidos), los siguientes cuadros y gráficos muestran los resultados obtenidos dentro del territorio afectado por el fenómeno de El Niño. Los distritos de Yurimaguas, Jaen, Yarinacocha, Huaraz e Independencia, se encuentran entre los distritos que potencialmente podrían sufrir más víctimas mortales sobre su población.

Gráfico 54. Víctimas potenciales según periodo de retorno

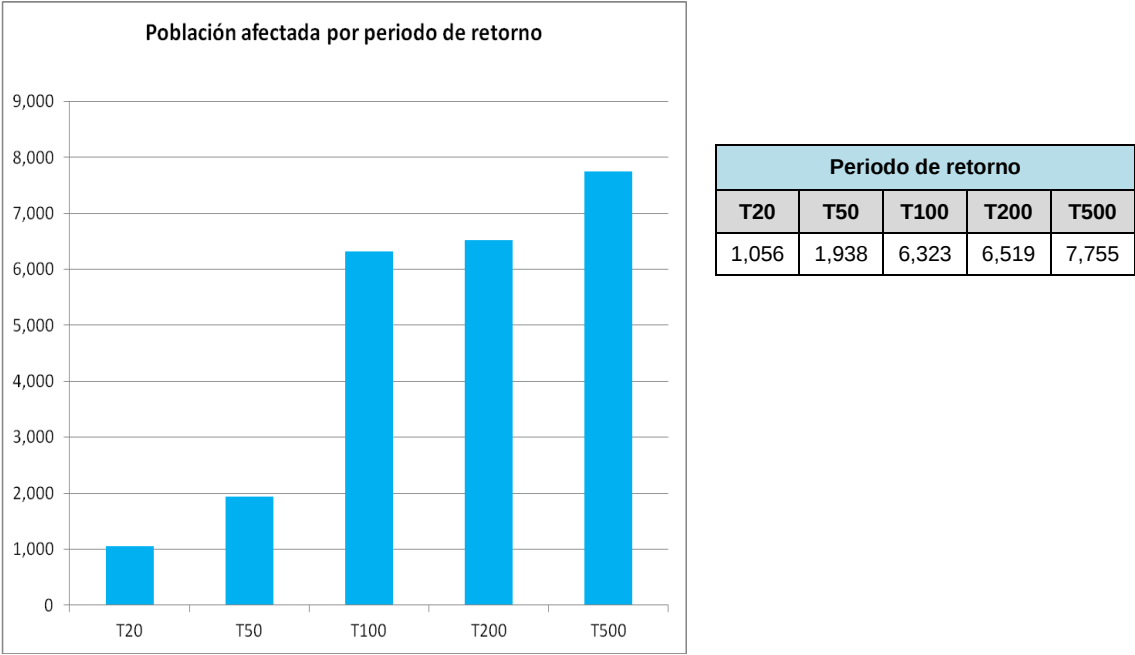
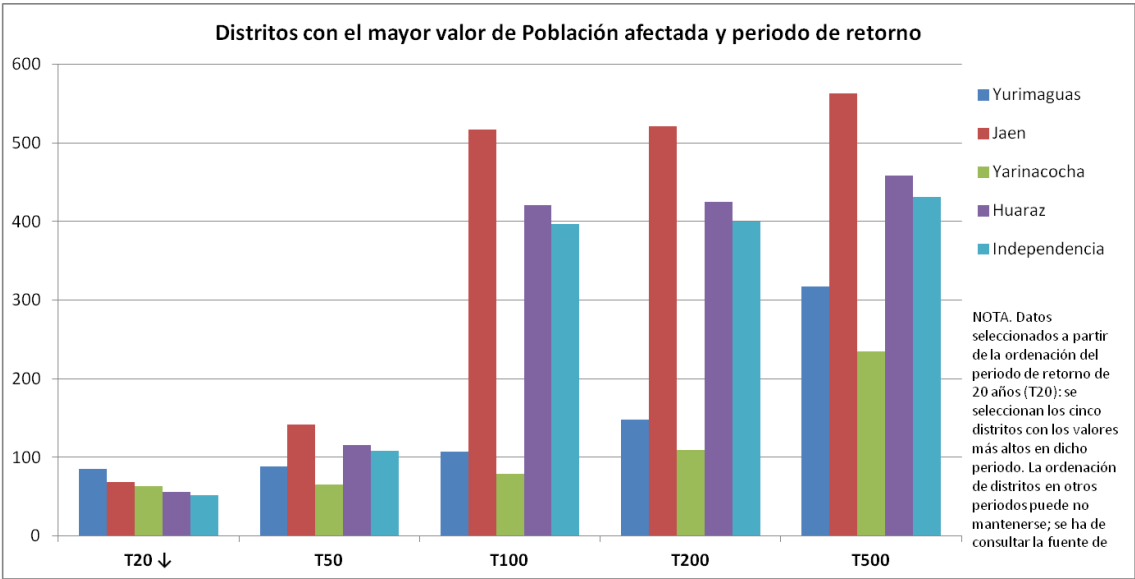


Gráfico 55. Distritos con el mayor valor de población afectada por periodo de retorno



Finalmente, si nos referimos a los datos de daños sobre cabezas de ganado que se podrían ver afectados, la mayor afectación se encuentran en los distritos de Acora, Bellavista, Yurimaguas, El Milagro o Campoverde entre otros. Los siguientes cuadros y gráficos muestran los resultados obtenidos dentro del territorio afectado por el fenómeno de El Niño.

Gráfico 56. Cabezas de ganado afectadas según periodo de retorno

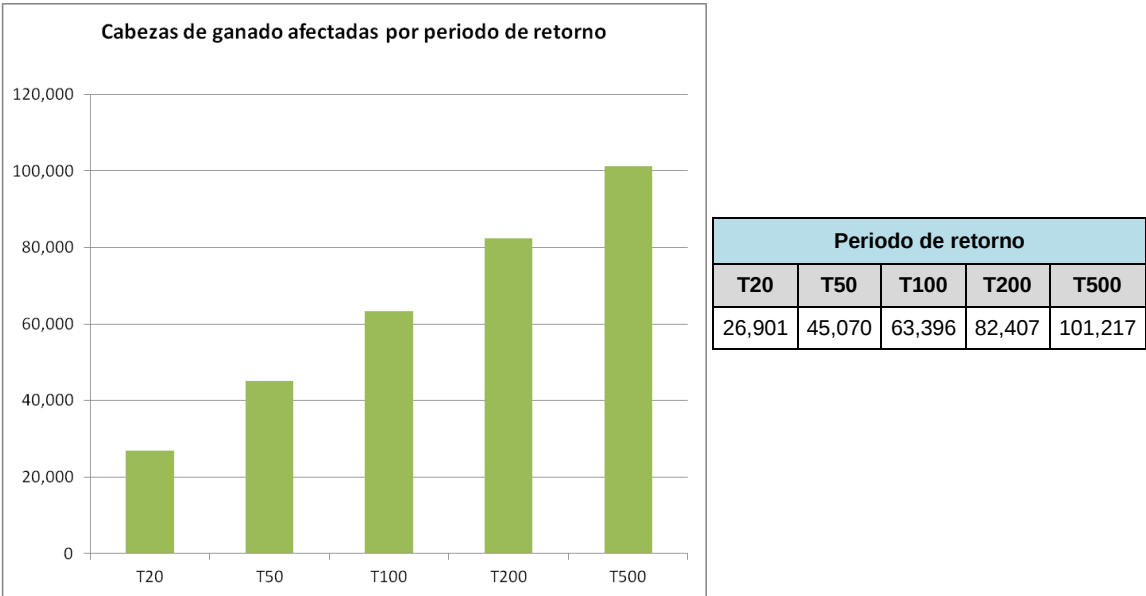
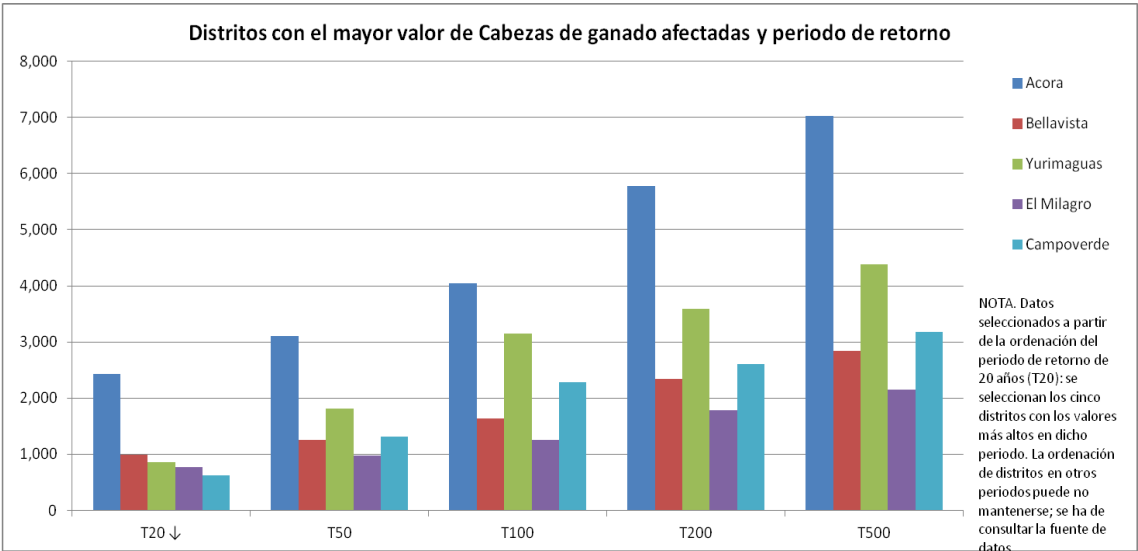


Gráfico 57. Distritos con el mayor valor de cabezas de ganado afectadas por periodo de retorno



6.2.2. Daños indirectos

A) Daños indirectos a nivel de tramo de estudio

Los daños indirectos, ligados intrínsecamente a los directos, han sido estimados teniendo en cuenta datos obtenidos de fuentes bibliográficas, y han sido referidos a una unidad de superficie (Km^2) de cara a poder hacer la extrapolación de los mismos de forma sencilla.

La metodología de estimación de daños indirectos se ha llevado a cabo sobre las siguientes categorías:

- i. *Comercio e industria:* los daños indirectos que tras un evento de inundación se producen sobre comercios e industrias, se deben principalmente a los derivados de su posterior limpieza y adecuación, así como de la pérdida de clientes y/o explotación que se origina durante los días de afección ligado a la falta de actividad comercial.
- ii. *Agricultura y ganadería:* como costes indirectos asociados a la agricultura y a la ganadería destacan las pérdidas producidas por la cantidad de carne, leche y otros productos derivados que se dejan de producir a medio y largo plazo tras un episodio de inundación, debido a que la producción ganadera se ve reducida por la influencia emocional de los animales ante los fenómenos naturales que les afectan.
- iii. *Viviendas:* en muchas ocasiones las inundaciones hacen necesario el realojo de la población a un lugar seguro, así como la limpieza de las viviendas afectadas como ocurre en el caso de comercios e industrias.
- iv. *Servicios públicos:* los daños sobre el suministro de agua potable o de electricidad, son algunos de los daños indirectos producidos en los servicios públicos.
- v. *Medio ambiente:* las inundaciones son fenómenos naturales, por lo que sus efectos quedan dentro del normal funcionamiento de los ecosistemas. No obstante, los potenciales impactos negativos se producen cuando entra a jugar parte la componente antropogénica, al producirse por ejemplo el derrame de sustancias perjudiciales como aceites, combustible u otros productos químicos. En este caso, el daño indirecto asociado, tendrá su principal causa en las modificaciones de bienes y servicios que surgen ante la imposibilidad de utilizar los

recursos ambientales durante el desastre y la fase de recuperación posterior.

A continuación se detalla la metodología seguida para la estimación de daños indirectos sobre dichos elementos, así como los resultados obtenidos.

· Comercio e industria

1. *Limpieza*

$$\text{Daño Indirecto Limpieza} = \text{coste día limpieza} \times \text{nº días estimados de afección} \times \text{nº comercio/industria}$$

Ante la falta de datos al respecto se ha considerado adecuado tomar como referencia el sueldo medio en Perú, el cual es aproximadamente 498 US\$/mes (1,418 soles/mes). Este salario se ha dividido entre los 30 días naturales que tiene el mes para obtener el coste/día de limpieza, es decir, 16.61 US\$, (unos 45 soles).

El nº de días empleados para la limpieza de los negocios se ha estimado en función de encuestas locales e información de hemerotecas.

Cuadro 31. Número de días empleados para la limpieza de negocios según periodo de retorno

PERIODO DE RETORNO	Nº DÍAS
20	2
50	3
100	4
200	5
500	6

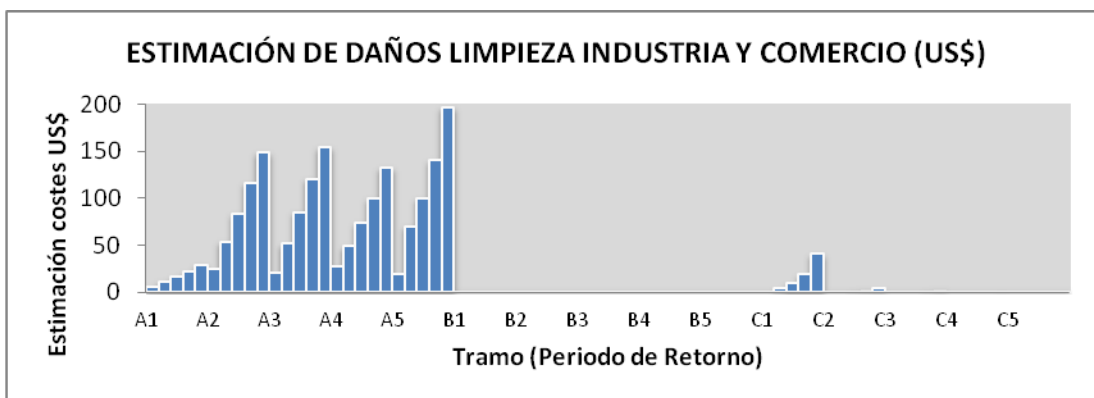
Para la estimación del número de comercios/ industrias presentes en la superficie afectada se ha recurrido a la consulta del Sistema de Información Regional de Ayuda para la Toma de Decisiones del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú cuenta con información económica respecto del nº de establecimientos censados de cada actividad económica. Cifra que ha sido dividida por la superficie total del Departamento para obtener el valor medio de establecimientos por unidad de superficie.

Una vez se ha obtenido la lámina o límites de inundación para cada periodo de retorno con este valor se realiza una estimación de los negocios afectados por las inundaciones en el tramo estudiado y, por tanto, del coste de los trabajos de limpieza.

Con respecto a los resultados obtenidos, tal y como se observa en los siguientes gráficos en cuanto a la estimación de pérdidas en comercio e industria en cada tramo para cada periodo de retorno, los tramos con una mayor sensibilidad respecto a éstos daños indirectos son los tramos situados en la cuenca del Piura, así como el tramo de San Pedro San Pablo, en la cuenca del Urubamba.

Entre las diferentes tipologías de elementos contemplados en la información de *Industria*, se encuentran: centrales hidroeléctricas, aeropuertos, helipuertos, oleoductos, minas, polígonos industriales y edificios de uso público tales como oficinas, naves industriales, hospitales, restaurantes, hoteles, edificios educativos...etc. Es decir estas tipologías quedan incluidas en el elemento expuesto denominado Industria conforme al alcance y nivel de detalle del presente estudio. La obtención del valor expuesto así como de los daños para una determinada categoría, por ejemplo, para centrales hidroeléctricas, supondría la realización de un estudio específico si bien el resultado de daños que se obtendría utilizando estos estudios específicos no conllevaría una diferencia sustancial en el cómputo de daños.

Gráfico 58. Estimación daños indirectos por limpieza de industria y comercio para cada tramo y periodo de retorno



2. Pérdida de clientes y mercados

$$\text{Daño Indirecto Pérdida Clientes} = \text{Ingreso diario} \times \text{nº días de afección}$$

El nº de días empleados para la limpieza de los negocios se estimará en función de encuestas locales e información de hemerotecas.

Cuadro 32. Número de días empleados para la limpieza de negocios según periodo de retorno

PERIODO DE RETORNO	Nº DÍAS
20	2
50	3
100	4
200	5
500	6

Respecto a los ingresos diarios se toma como referencia la información del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú del Producto Interior Bruto por departamento y por actividad económica. Al no disponer de información geográfica sobre la localización de los diferentes negocios una vez más se recurre a la estimación del PIB por unidad de superficie.

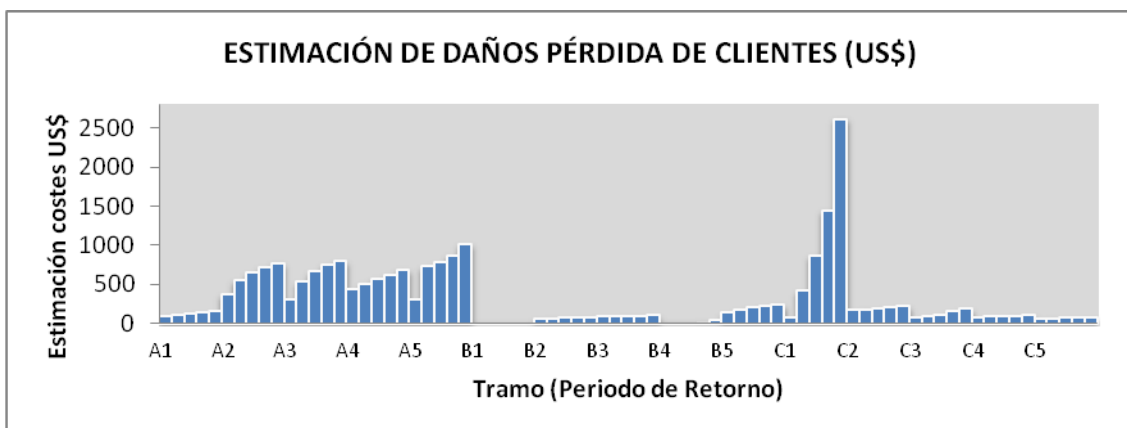
Cuadro 33. PIB anual 2011 por unidad de superficie

	PIURA	HUANUCO	SAN MARTÍN	CUSCO
PIB ANUAL 2011 (miles de nuevos soles)	8,081,089	1,914,020	2,598,101	17,783,609
PIB ANUAL 2011 (miles de dólares)	2,856,346	676,530	918,326	6,285,804

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

A continuación se refleja el resultado a nivel de tramo de estudio de los daños indirectos con respecto a la pérdida de clientes.

Gráfico 59. Estimación daños indirectos debido a la pérdida de clientes para cada tramo y periodo de retorno



3. Pérdida de explotación

La fuente bibliográfica utilizada ha sido el estudio "*Evaluation of the impact of floods and associated protection policies*", el cuál propone la siguiente fórmula para estimar los daños:

$$OL=TO/12 \times (d+r) \times Sf$$

Siendo:

OL = pérdidas de operación

TO = facturación

D = duración de la inundación en meses

r = tiempo de restauración en meses

Sf = factor específico dependiendo de la actividad

0,3 venta al por menor

0,5 industria

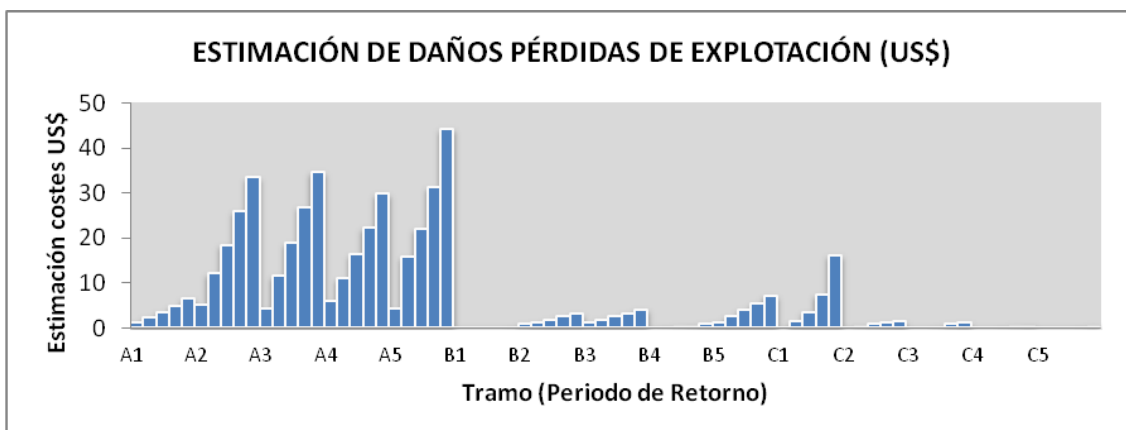
0,4 almacenes/bodegas

0,6 hoteles y restaurantes

0,9 transportes y servicios

Obteniéndose los siguientes resultados:

Gráfico 60. Estimación daños indirectos debido a la pérdida de explotación para cada tramo y periodo de retorno



• Agricultura y ganadería

1. *Producción de carne*

PC = km² superficie inundada de uso ganadero x precio x kg carne por unidad de superficie agrícola

La cuantificación de este tipo de efectos indirectos es difícil de realizar y usualmente se estima en base en una reducción de hasta un 20% de la producción normal. Por ello, en función del ganado presente en la zona de estudio se ha cuantificado la productividad asociada a cada tipo y se ha multiplicado por el número de cabezas estimadas que se verán afectadas por la inundación. Para contabilizar las cabezas de ganado afectadas se ha tenido en cuenta como unidad de medida las unidades ganaderas (UG) (unidad de medida basada en la comparativa de las distintas categorías de animales con una unidad de peso, igual a 400 kg de peso vivo). Para ello, ha sido necesario conocer el peso promedio de cada categoría y el número de animales de la misma. El peso promedio de cada categoría se ha obtenido de diversas fuentes bibliográficas y el número de cabezas de ganado se ha consultado tanto en las Direcciones Regionales de Agricultura de los distintos departamentos como en el Sistema de Ayuda a la Decisión del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

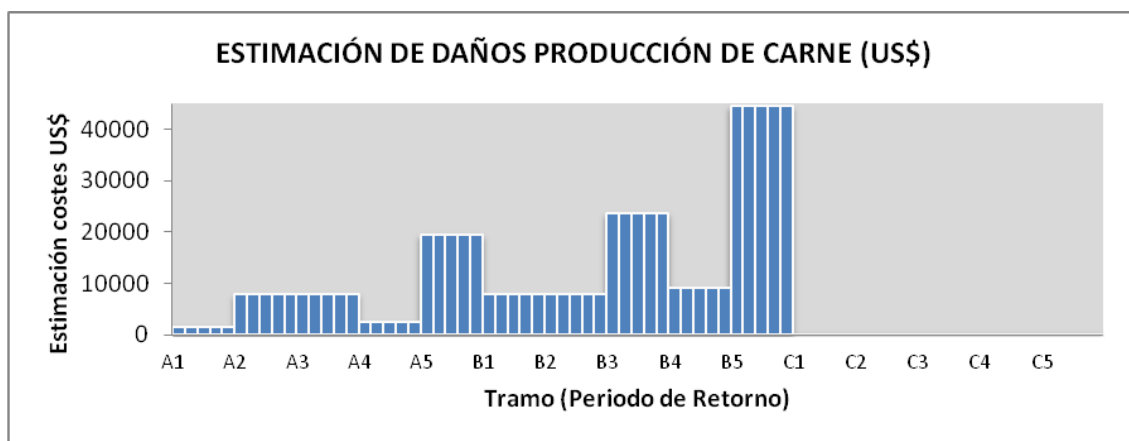
Por un lado, la productividad asociada depende de la especie, por lo que se ha buscado el porcentaje que cada especie representa dentro de los departamentos de la zona estudio. Por otro lado, se ha obtenido el dato correspondiente con el número de cabezas de ganado presentes en cada departamento de la zona de estudio. Dato relacionado de forma directa con la superficie cubierta por el uso de suelo “agricultura”

y “pastizal” dentro de cada departamento, al ser los usos de suelo donde se da la actividad pecuaria.

Finalmente, para cada uno de los departamentos se ha estimado tanto el porcentaje de aprovechamiento en carne de cada animal predominante, como el precio del kg de carne.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Gráfico 61. Estimación daños indirectos debido a la pérdida de producción de carne para cada tramo y periodo de retorno



2. Producción de leche

$$PC = N^{\circ} \text{ Cabezas de ganado} \times \text{Productividad asociada} \times \text{tiempo}$$

El número de cabezas de ganado por km² de uso de suelo agrícola y de pasto se ha obtenido a través de la consulta al Instituto de Estadística e Informática de Perú y de la capa de usos de suelo a nivel nacional existente.

La estimación de producción de leche de cada una de las posibles especies lecheras se ha realizado por separado, obteniendo que una vaca produce de media 20 l/día, una cabra 2 l/día y una oveja 0.75 l/día.

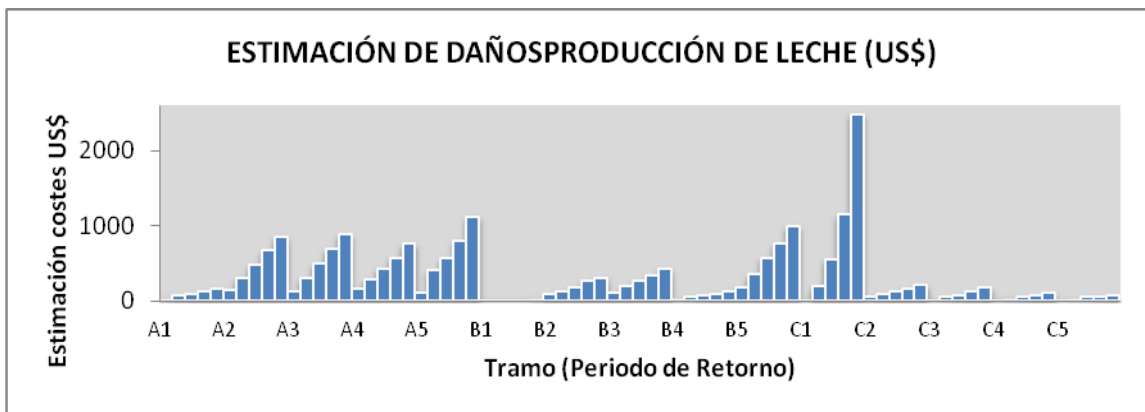
Respecto al precio de la leche, de la información obtenida en la Dirección General de Agricultura de Piura se observa que de acuerdo con la información de los precios de los subproductos pecuarios se puede tomar como referencia el precio de 0.53 US\$/kg, (1.47 soles/kg), es decir, aproximadamente 0.53 US\$/litro (1.47 soles/litro).

Por otro lado, a la hora de estimar los costes indirectos asociados a la producción de leche se ha de tener en cuenta que no toda la población de vacas, cabras y ovejas se encuentran produciendo leche en el momento del episodio de inundación. Esto puede deberse a la edad del animal, el momento reproductivo o el tipo de explotación. De

manera general, se tendrá en cuenta que entorno a 25% del ganado considerado se encuentra produciendo leche.

Obteniéndose los siguientes resultados:

Gráfico 62. Estimación daños indirectos debido a la pérdida de producción de leche para cada tramo y periodo de retorno



• Viviendas

1. *Gastos de realojo*

*Nº de personas a realojar = Número medio de personas por hogar * viviendas afectadas*

A través de las diferentes láminas de inundación calculadas para cada periodo de retorno estudiado, se han estimado las viviendas afectadas y a su vez las personas potencialmente afectadas tomando como base la capa de información geográfica sobre “manzanas poblacionales” proporcionada por CENEPRED y mejorada a través de fotointerpretación con Google Earth, y en cuyos atributos se estipulan tanto el número de viviendas por manzana, como el número de habitantes por vivienda.

Una vez estimados el número de habitantes susceptibles de necesitar un realojo para cada evento de inundación, se ha llevado a cabo el cálculo de los gastos de realojo a través de la siguiente fórmula:

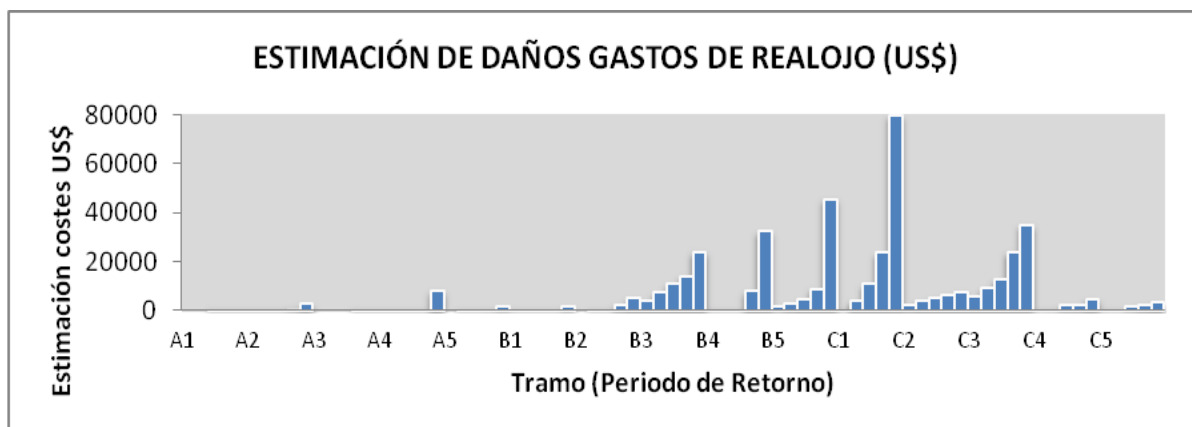
Gastos de realojo = nº personas x nº días x coste medio de alojamiento

A través de la consulta de diferentes fuentes se ha estimado que de media el alojamiento cuenta con un coste aproximadamente unos 15 US\$ por persona y día (unos 42 nuevos soles).

El número de días de alojamiento necesario se ha estimado en trabajo de campo, mediante consulta a la población.

Tras la aplicación de la metodología se desprenden los siguientes resultados:

Gráfico 63. Estimación daños indirectos debido a los gastos de realojo para cada tramo y periodo de retorno



2. Gastos de limpieza

Al igual que para el caso de comercios e industrias, los gastos de limpieza se calculan multiplicando el coste por unidad de tiempo (hora ó día), que supone un servicio de limpieza por el número de horas o días estimados.

$$\text{Daño Indirecto Limpieza} = \text{coste hora-día limpieza} * \text{nº horas-días estimados de afección} * \text{nº viviendas}$$

Debido a la falta de datos respecto a los costes de limpieza, se ha considerado adecuado al igual que en el caso de los comercios e industrias tomar como referencia el sueldo medio en Perú, aproximadamente 498.21 US\$/mes (1,394 soles/mes). Este salario se ha dividido entre los 30 días naturales que tiene el mes obteniendo un coste al día por limpieza de 16.61 US\$ (46.46 soles).

El nº de días empleados para la limpieza de los negocios se ha estimado en función de encuestas locales e información de hemerotecas.

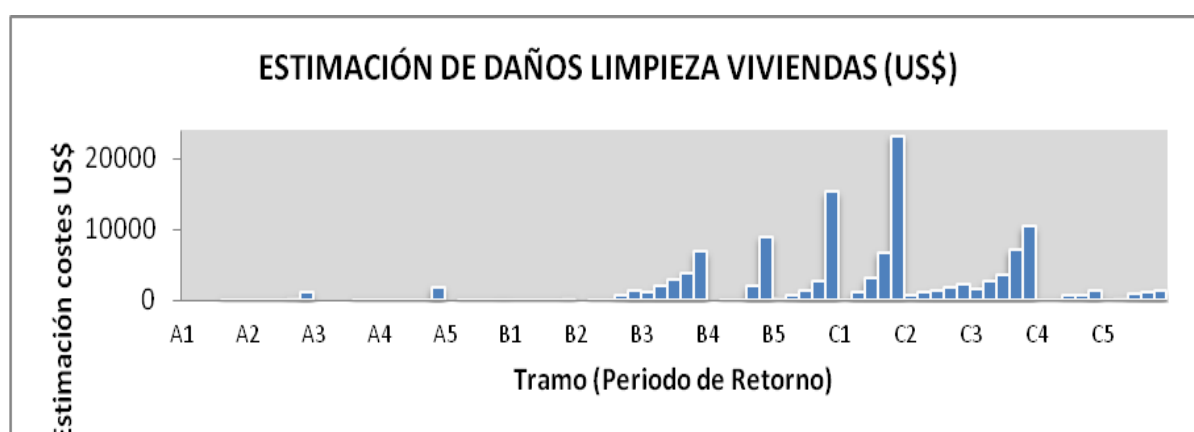
Cuadro 32. Número de días empleados para la limpieza de negocios según periodo de retorno

PERIODO DE RETORNO	Nº DÍAS
20	2
50	3
100	4
200	5
500	6

El número de viviendas afectadas se ha estimado de la misma forma que en el caso de los gastos de realojo.

Obteniéndose los siguientes resultados:

Gráfico 64. Estimación daños indirectos debido a los costes de limpieza de viviendas para cada tramo y periodo de retorno



- Servicios públicos

En cuanto a la metodología para la evaluación de estos daños está escasamente documentada a nivel internacional debido principalmente a:

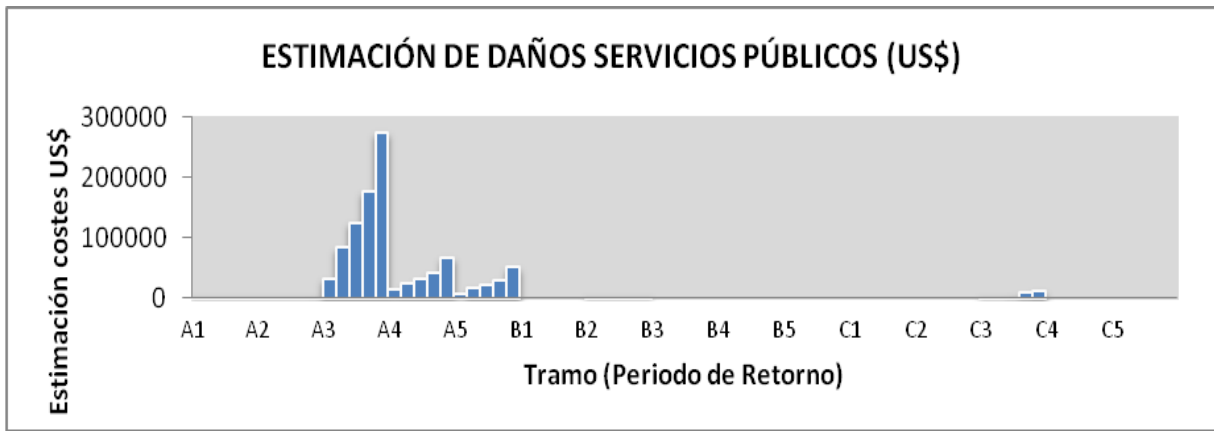
- a) La atención se pone en los daños producidos a viviendas y a la actividad económica
- b) En muchos casos estos daños no están asegurados o solamente muy parcialmente
- c) Los daños a edificios públicos se encuentran generalmente recogidos en categorías heterogéneas, junto con daños a redes e incluso costes de rescates y servicios médicos.

Por tanto, en el caso de los daños indirectos a servicios públicos se concluye que la aproximación más adecuada es la aplicación de un coeficiente sobre los daños directos cuantificados. Del estudio casuístico de inundaciones en otras cuencas se ha encontrado que los valores máximos de coeficientes asignables para la estimación de los daños indirectos superan difícilmente el 55% adicional, de acuerdo con el documento “*Plan medioambiental del Ebro y tramo bajo del Cinca*”, llevado a cabo por la empresa Iberinsa (2005).

Por otra parte y de acuerdo con la información en el informe “*El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones*”, respecto a la relación entre los daños directos e indirectos producidos por el fenómeno meteorológico se observa que en cuanto a los daños a los sistemas de agua potable y alcantarillado los daños indirectos son un 10% de los directos. En el caso de los daños por el suministro de electricidad los daños suponen un 33% de los daños directos aproximadamente. Por lo que se fija un coeficiente para daños indirectos dentro de un rango de valores comprendido entre 1 y 1.55 dependiendo del nivel socioeconómico de la zona afectada- Así, para zonas urbanas se propone un coeficiente de 1.20 mientras que para las zonas rurales se propone un coeficiente de 1. Los daños directos tomados como referencia serán aquellos que afectan a las viviendas.

Se han obtenido los siguientes resultados:

Gráfico 65. Estimación daños indirectos debido a los costes en servicios públicos para cada tramo y periodo de retorno



• Medio ambiente

Las inundaciones constituyen un proceso natural inherente a los ecosistemas existentes por lo que los cambios ambientales producidos no suponen transformaciones que vayan a alterar el equilibrio ecológico. Por ello, los impactos ambientales identificados se han referido solamente a ambientes transformados por la actividad antropogénica.

1. *Incremento de la acumulación de basuras y deshechos*

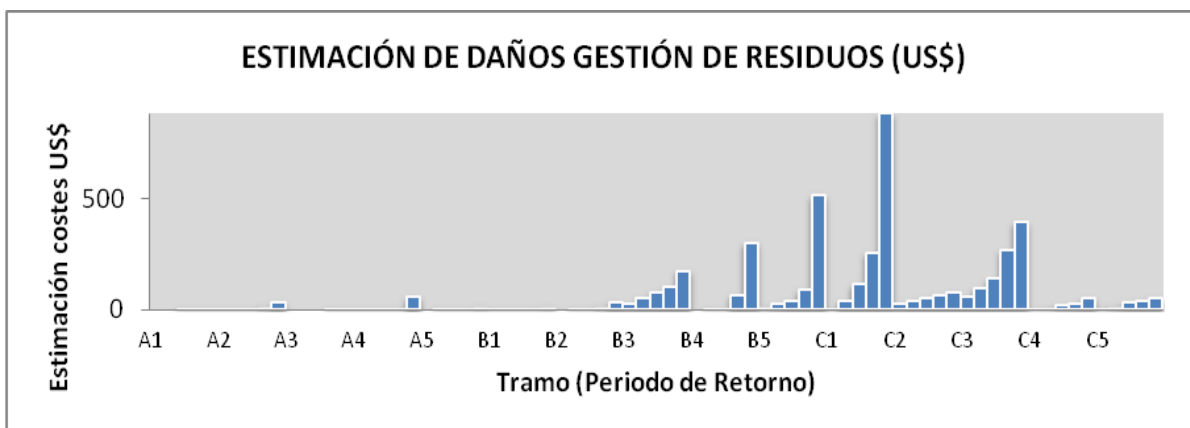
Tras un episodio de inundación, se generan toneladas adicionales de residuos frente a las condiciones normales requiriendo por tanto de una gestión adicional. Tras la consulta a diferentes fuentes bibliográficas tales como el “*Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales*” o el estudio sobre “*Gestión de residuos sólidos en situaciones de desastre. Serie salud ambiental y desastres n° I*”. Se concluye que tras un episodio de inundación se generará una cantidad de residuos 2.5 veces superior a la cantidad habitual.

Por otra parte, el coste de recoger un residuo de kg sólido en base al documento “*Estudio sobre la determinación de la tasa por arbitrios municipales*” es aproximadamente de 0.10 US\$/kg (0.27 soles/kg).

A partir de los residuos que se estima se generen al día, el coste de su recogida y el número de días durante los cuales no será posible la recolección de los mismos se ha estimado el coste de daños indirectos, teniendo en cuenta además el número de viviendas afectadas y, por ende, el número de personas.

Tras la aplicación de la metodología descrita se han obtenido los siguientes resultados:

Gráfico 66. Estimación daños indirectos debido a los costes en gestión de residuos para cada tramo y periodo de retorno



2. Presencia de balsas de residuos

Respecto a la posibilidad de arrastre de productos químicos peligrosos en cantidades significativas que puedan causar desastres similares al ocurrido en Kolontar (Hungría), se ha realizado una inspección visual de la zona concluyendo que no existe en los tramos objeto de estudio ninguna balsa que pudiese conducir a una catástrofe aún mayor que lo que supone el episodio de inundación en sí misma.

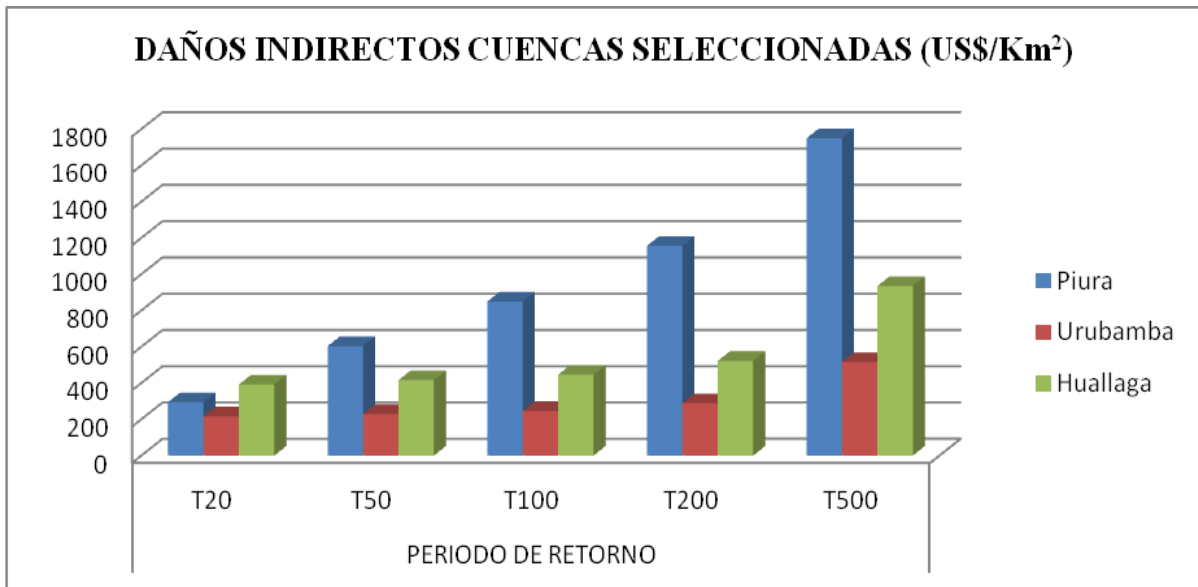
B) Daños indirectos a nivel de cuenca seleccionada

A continuación se muestran los datos de daños indirectos en las cuencas seleccionadas, así como su valor por Km². Concluyéndose que es en la cuenca de Piura donde se producen mayores daños en la mayor parte de los periodos de retorno.

CUENCA (millones de US\$)	PERIODO DE RETORNO				
	T20	T50	T100	T200	T500
Piura	3	7	9	13	19
Urubamba	16	17	19	22	39
Huallaga	35	37	40	47	84

CUENCA (US\$/Km ²)	PERIODO DE RETORNO				
	T20	T50	T100	T200	T500
Piura	294	603	849	1,156	1,749
Urubamba	216	229	246	288	516
Huallaga	392	416	446	522	935

Gráfico 67. Daños indirectos en las cuencas seleccionadas: Piura, Huallaga y Urubamba



C) Daños indirectos a nivel nacional de territorio afectado por El Niño

Para llevar a cabo la extrapolación de los resultados de daños indirectos producidos a nivel de tramo de estudio al resto del territorio del país susceptible de ser afectado por fenómenos de gran envergadura (y cuya superficie de afectación se ha tomado como base para llevar a cabo dicha extrapolación tal y como se ha comentado a lo largo del presente informe), y al igual que en el resto de daños, se ha procedido a obtener el valor unitario para cada tipología de daño indirecto y se ha multiplicado por la superficie que su daño directo asociado ocupa dentro de la llanura potencial de inundación dentro del territorio afectado por El Niño. Ej. el valor unitario correspondiente a la pérdida de producción de carne (daño indirecto), se ha multiplicado por la superficie de agricultura (daño directo asociado al estar el ganado a su vez vinculado a este tipo de uso de suelo) existente dentro de la llanura potencial en el territorio afectado por El Niño.

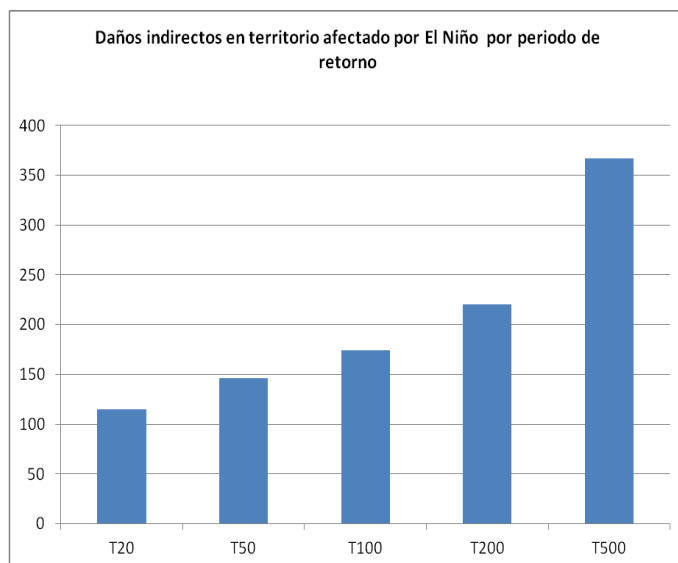
A continuación se muestra un cuadro en la que se recogen los resultados de los daños indirectos producidos en el territorio del país afectado por el fenómeno El Niño y que son susceptibles de verse afectados de nuevo. El fenómeno El Niño representa el mayor evento climático que se produce en el Perú y con el objeto de no sobredimensionar los aprovisionamientos necesarios para enfrentar el mayor evento que se puede dar, se han restringido los cálculos a dicha superficie como ya se ha comentado en apartados anteriores.

Cuadro 33. Daños indirectos estimados a nivel de distritos afectados por El Niño

Periodo de Retorno	20	50	100	200	500
Distrito (millones de US\$)	115	146	174	220	367

El valor de la pérdida máxima probable respecto a los daños indirectos se expone a continuación.

Gráfico 68. Valor de pérdida máxima probable respecto a los daños indirectos



RESULTADOS		
Valor Expuesto	US\$ millones	418,467.30
PML		
Periodo de retorno	Pérdida	
AÑOS	US\$ millones	% Valor Expuesto
20	115	0.027
50	146	0.034
100	174	0.041
200	220	0.052
500	367	0.087

• Daños sobre Patrimonio

A) Daños sobre el Patrimonio a nivel de tramo

Tras el inventario de elementos patrimoniales expuestos a nivel de tramo y del cálculo de la velocidad y calado de las diferentes inundaciones correspondientes a los periodos de retorno estudiados, se ha aplicado la siguiente metodología de evaluación de daños sobre patrimonio, en la que se han contemplado dos aspectos:

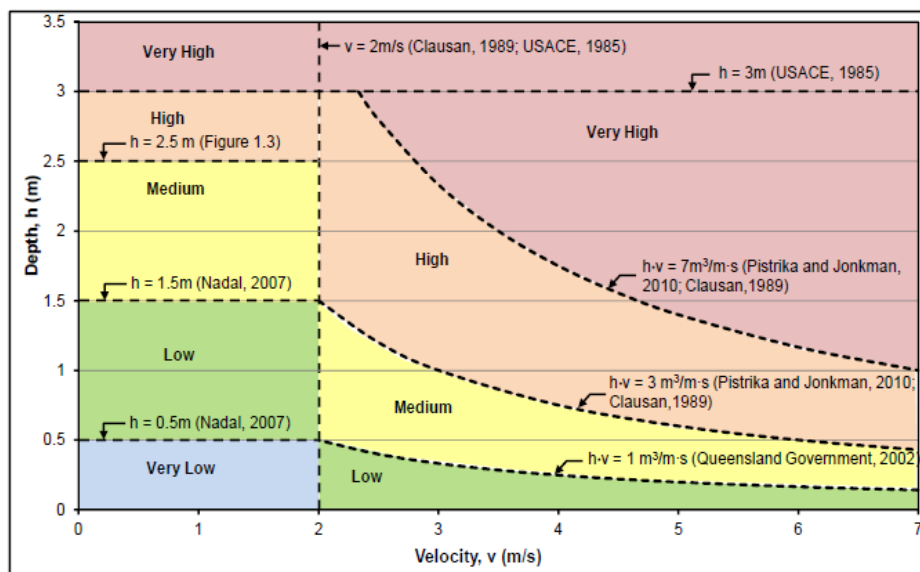
- Evaluación del daño físico:* estimada a partir de características propias de las inundaciones como son el calado (o altura de lámina de agua) y la velocidad. En este sentido se ha tenido en cuenta el estudio llevado a cabo por Dassanayake acerca del efecto de estas dos componentes sobre este tipo de bienes.

El cuadro siguiente muestra los criterios propuestos para la evaluación del nivel de daño físico en los bienes histórico-culturales, basados en el estudio de Dassanayake anteriormente citado.

Cuadro 34. Criterios propuestos para el daño a bienes histórico-culturales por inundación

Nivel de daño	Criterio de daños para velocidades de flujo $< 2 \text{ m/s}$	Criterio de daños para velocidades de flujo $> 2 \text{ m/s}$
1 – Muy bajo	$h < 0.5 \text{ m}$	-
2 – Bajo	$0.5 \text{ m} < h < 1.5 \text{ m}$	$h \cdot v < 1 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
3 – Medio	$1.5 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$	$1 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} < h \cdot v < 3 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
4 – Alto	$2.5 \text{ m} < h < 3 \text{ m}$	$3 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} < h \cdot v < 7 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$
5 – Muy alto	$h > 3 \text{ m}$	$h > 3 \text{ m}$, o bien, $h \cdot v > 7 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$

Gráfico 69. Nivel de daño físico en bienes histórico-culturales relacionado con el calado y la velocidad del flujo



Fuente: Damage criteria are adopted from USACE, 1985; Clausan, 1989.

Obteniéndose los siguientes resultados para cada uno de los periodos de retorno estudiados:

Cuadro 35. Nivel de daño físico obtenido para los bienes histórico-culturales seleccionados en los periodos de retorno estudiados (20, 50, 100, 200 y 500 años)

Tramo	Denominación	Nivel daño físico				
		T20	T50	T100	T200	T500
A4	Iglesia María Auxiliadora	-	-	-	2 Calado (m) = 0.825	3 Calado (m) = 2.493
A4	Iglesia del Carmen y Museo de Arte Religioso	-	-	-	1 Calado (m) = 0.054	3 Calado (m) = 1.638
B1	Capilla Señor de Huayopampa	-	-	-	-	2 Calado (m) = 0.677
C1	Qhapaq Ñan	-	1 Calado (m) = 0.003	1 Calado (m) = 0.006	1 Calado (m) = 0.102	1 Calado (m) = 0.213

Muy bajo
 Bajo
 Medio
 Alto
 Muy alto

* El valor nulo del daño físico en las casillas correspondientes a determinados periodos de retorno significa que el polígono que representa la superficie de la lámina de inundación de dicho periodo no afecta a ningún bien histórico-cultural al tener dichas lámina una menor extensión.

- b. *Evaluación del valor cultural:* en la que se ha considerado tanto la importancia histórica (HS) del elemento, definida como su relevancia desde el punto de vista de su antigüedad, como social (SS) en función del número de visitas que recibe.

Los siguientes cuadros reflejan los criterios propuestos para la evaluación tanto de su importancia histórica (HS), como social (SS).

Cuadro 36. Criterios propuestos para el nivel de importancia histórica (HS) de los bienes histórico-culturales

Escala	Criterios
5 – Muy alto	Importancia internacional y antigüedad o año de construcción anterior al siglo XVI. Sitios incluidos en la Lista patrimonio de la humanidad de la UNESCO así como sitios nominados para su inclusión en dicha lista.
4 – Alto	Importancia internacional y antigüedad o año de construcción entre el siglo XVI y el siglo XX.
3 – Medio	Importancia nacional y antigüedad o año de construcción después del siglo XVI.
2 – Bajo	Importancia nacional y antigüedad o año de construcción entre el siglo XVI y el siglo XX.
1 – Muy bajo	Importancia regional o local y antigüedad o año de construcción después del siglo XX.

Cuadro 37. Criterios propuestos para el nivel de importancia social (SS) de los bienes histórico-culturales

Escala	Criterios
5 – Muy alto	Número de visitas alto en los 7 días de la semana o con importancia mundial.
4 – Alto	Número de visitas alto y solo en fin de semana o con importancia nacional
3 – Medio	Número de visitas bajo en los 7 días de la semana o con importancia regional.
2 – Bajo	Número de visitas bajo y solo en fin de semana o con importancia local.
1 – Muy bajo	Número de visitas muy bajo o sin visitas o con importancia local.

Como paso previo a la aplicación de los criterios para la estimación final del HS y SS de los elementos de patrimonio histórico-cultural considerados, es necesario determinar el valor cultural de los constituyentes de cada tipo de bien patrimonial, tales como su carácter histórico, simbólico, social, estética, espiritual o religioso, recreativo o educativo. En este sentido y a modo de ejemplo, un templo religioso tendrá un carácter histórico, simbólico, social, estético y religioso, pero no educativo ni recreativo.

A continuación se muestra la matriz propuesta para la evaluación de los constituyentes de los valores culturales.

Cuadro 38. Evaluación de los constituyentes de los valores culturales

Bienes histórico-culturales		Constituyentes de los valores culturales						
		Histórico	Simbólico	Social	Estético	Espiritual/ Religioso	Recreativo	Educativo
		HS		SS				
Patrimoniales	Construcción histórica o patrimonial	√	√	√	√			
	Museo	√	√		√		√	√
	Sitio arqueológico	√	√		√	√	√	√
	Biblioteca o archivo	√	√	√				√
	Templos religiosos	√	√	√	√	√		
	Cementerio	√	√			√		
	Monumentos históricos o naturales	√	√					
No patrimonial	Espacio cultural			√	√	√	√	√
	Biblioteca			√				√
	Parque recreativo			√	√		√	
	Monumentos		√		√			

Los bienes histórico-culturales *patrimoniales* constan tanto de valores de importancia histórica (HS) como de importancia social (SS), pero en una escala diferente. Por lo que se debe introducir factores de ponderación para la estimación del valor cultural total.

A continuación, se explica mediante un ejemplo, la estimación de los constituyentes de los valores culturales para cada bien histórico-cultural así como la aplicación de los factores de ponderación para la estimación del valor cultural total.

En el cuadro anterior se han marcado con el símbolo “√”, los constituyentes de los valores culturales para cada una de las tipologías de bienes histórico-culturales considerados. A cada símbolo “√” se le asigna un valor igual a 1. El factor de significancia histórica (HS) se calcula como el total del valor cultural de los constituyentes, para todos los bienes patrimoniales, dividido por el número de constituyentes. En este caso, son catorce “√” y dos constituyentes, de manera que queda $14/2 = 7$. De la misma manera, se calcula el factor de significancia social (SS): $15/5 = 3$. Con esta información se calculan los factores de ponderación que indican el peso que tiene la parte histórica y el peso que tiene la parte social de los bienes histórico-culturales de carácter *patrimonial*:

$$HS_w = 7 / (7+3) = 0.7$$

$$SS_w = 3 / (7+3) = 0.3$$

Finalmente, el nivel de valor cultural para los bienes de carácter *patrimonial* se estima empleando los factores de ponderación (HS_w y SS_w) y los valores de los cuadros 39 y 40. Obteniéndose para cada bien de carácter *patrimonial*:

$$\text{Nivel del valor cultural de importancia histórica} = (HS * HS_w) = 1 * 0.7 = 0.7$$

$$\text{Nivel del valor cultural de importancia social} = (SS * SS_w) = 2 * 0.3 = 0.6$$

$$\text{Valor cultural total} = (HS * HS_w) + (SS * SS_w) = 0.7 + 0.6 = 1.3 \approx 1$$

El siguiente cuadro representa el nivel del valor cultural para bienes histórico-culturales de carácter patrimonial, indicado por el código de colores.

Cuadro 39. Matriz para la determinación del nivel del valor cultural de los bienes histórico-culturales de carácter patrimonial

HS	SS				
	1	2	3	4	5
1	1	1.3 ≈ 1	1.6 ≈ 2	1.9 ≈ 2	2.2 ≈ 2
2	1.7 ≈ 2	2	2.3 ≈ 2	2.6 ≈ 3	2.9 ≈ 3
3	2.4 ≈ 2	2.7 ≈ 3	3	3.3 ≈ 3	3.6 ≈ 4
4	3.1 ≈ 3	3.4 ≈ 3	3.7 ≈ 4	4	4.3 ≈ 4
5	3.8 ≈ 4	4.1 ≈ 4	4.4 ≈ 4	4.7 ≈ 5	5

Muy bajo
 Bajo
 Medio
 Alto
 Muy alto

En el ejemplo anterior, el valor cultural total del bien histórico-cultural de carácter patrimonial que se extrae de la matriz ($1.3 \approx 1$) es: Muy bajo.

Una vez estimados tanto la pérdida cultural como el daño físico, ambos son ponderados para llevar a cabo el cálculo de la pérdida cultural total. En este caso se ha considerado que ambos factores tienen el mismo nivel de significancia dentro del cómputo total, asumiendo un factor de ponderación de 0.5 para ambos niveles.

$$\text{Pérdida cultural total} = (\text{Nivel daño físico} * 0.5) + (\text{Nivel valor cultural} * 0.5)$$

Una vez ponderados ambos valores (daño físico y valor cultural), éstos han sido integrados dentro de la matriz para la determinación del nivel de pérdidas culturales, en la que se indica a través de un código de colores dicho nivel.

Cuadro 40. Matriz de evaluación del nivel de valor cultural

Nivel de Valor cultural	Nivel de Daño físico				
	1	2	3	4	5
1	1	$1.5 \approx 2$	2	$2.5 \approx 3$	3
2	$1.5 \approx 2$	2	$2.5 \approx 3$	3	$3.5 \approx 4$
3	2	$2.5 \approx 3$	3	$3.5 \approx 4$	4
4	$2.5 \approx 3$	3	$3.5 \approx 4$	4	$4.5 \approx 5$
5	3	$3.5 \approx 4$	4	$4.5 \approx 5$	5

Muy bajo
 Bajo
 Medio
 Alto
 Muy alto

En esta matriz se refleja cómo varía el nivel de pérdidas culturales con el nivel de daño físico así como con el nivel del valor cultural de los bienes.

Concluyendo que si un bien histórico-cultural con un valor cultural muy alto sufre un daño físico muy bajo, el nivel general de pérdida cultural será medio, debido a que el bien puede ser reparado y llevado a su situación original en un breve periodo de tiempo con un bajo coste. Aunque el número de “beneficiarios” del bien sea elevado debido a su alto valor cultural, éstos no se verán afectados en gran medida por el daño.

Por otra parte, muestra que si un bien histórico-cultural tiene un valor cultural bajo, pero sufre un daño físico muy alto, el nivel de pérdida cultural, de acuerdo a la matriz, será también medio. Esta situación es posible dado que puede conllevar largos tiempos para su reparación, el coste sería elevado y puede tener efecto a largo plazo sobre los beneficiarios (aunque el número podría ser bajo).

El siguiente cuadro recoge el resumen del resultado de la determinación del valor cultural de los bienes histórico-culturales que han resultado seleccionados tras la

aplicación de la metodología indicada. (Calculado en función de su importancia histórica (HS) y social (SS)).

Cuadro 41. Nivel cultural obtenido para los bienes histórico-culturales seleccionados

Tramo	Denominación	Nivel cultural
A4	Iglesia María Auxiliadora	2 – Bajo
A4	Iglesia del Carmen y Museo de Arte Religioso	3 – Medio
B1	Capilla Señor de Huayopampa	3 – Medio
C1	Qhapaq Ñan	5 – Muy alto

Para comprender cómo se han obtenido estos valores, a continuación y a modo de ejemplo se detalla el proceso seguido para la obtención del valor cultural de la Iglesia María Auxiliadora mostrado en el cuadro anterior.

Cuadro 42. Ejemplo del proceso de obtención del valor cultural (Iglesia María Auxiliadora)

A4 “Iglesia María Auxiliadora”		
HS	1	Muy bajo. Importancia regional o local y antigüedad o año de construcción después del siglo XX.
SS	3	Medio. Número de visitas bajo en los 7 días de la semana o con importancia regional.
HS_const	2	Templo religioso: Histórico y Simbólico.
SS_const	3	Templo religioso: Social, Estético y Espiritual/ Religioso.
HS_factor cuenca	2	Puesto que en la cuenca del Piura hay 2 bienes histórico-culturales seleccionados, la suma de todos los constituyentes de la cuenca es igual es: - Suma de los constituyentes HS = $2 + 2 = 4$ - Suma de los constituyentes SS = $3 + 3 = 6$ De esta manera, los factores de significancia histórica y social se han calculado como se indica a continuación: - Suma constituyentes HS/ N° consituyentes = $4/2 = 2$ - Suma constituyentes SS/ N° consituyentes = $6/5 = 1.2$
SS_factor cuenca	1.2	
HSw	0.625	El cálculo para la obtención de los factores de ponderación es el siguiente: - $HS_w = 2 / (2+1.2) = 0.625$ - $SS_w = 1.2 / (2+1.2) = 0.375$
SSw	0.375	
HS_valor	0.625	El cálculo de los niveles de los valores culturales se ha calculado como sigue: - $HS_valor = (HS * HS_w) = 1 * 0.625 = 0.625$ - $SS_valor = (SS * SS_w) = 3 * 0.375 = 1.125$
SS_valor	1.125	
Res_cult	1.75	El resultado del valor cultural total se obtiene de: - Valor cultural total = $(HS * HS_w) + (SS * SS_w) = 0.625 + 1.125 = 1.75$
VALOR_CULT	2	

A4 “Iglesia María Auxiliadora”	
Nivel cultural:	Se ha determinado que el nivel del valor cultural del bien histórico-cultural evaluado Iglesia María Auxiliadora es bajo .

a. *Pérdida cultural total*

Finalmente la determinación de la pérdida cultural total se obtiene a partir de la combinación ponderada del nivel de daño físico y del valor cultural:

$$\text{Pérdida cultural total} = (\text{Nivel daño físico} * 0.5) + (\text{Nivel valor cultural} * 0.5)$$

Y a través de la integración de los daños físicos y culturales de los bienes histórico-culturales dentro de la matriz de evaluación de pérdida cultural, se obtienen los siguientes valores:

Cuadro 43. Evaluación de pérdida cultural para los bienes afectados según periodo de retorno

Tramo	Denominación	T20	T50	T100	T200	T500
A4	Iglesia María Auxiliadora	-	-	-	2	3
A4	Iglesia del Carmen y Museo de Arte Religioso	-	-	-	2	3
B1	Capilla Señor de Huayopampa	-	-	-	-	3
C1	Qhapaq Ñan	-	3	3	3	3

	Muy bajo		Bajo		Medio		Alto		Muy alto
---	----------	---	------	---	-------	---	------	--	----------

* Los bienes histórico-culturales que tienen periodos de retorno con la pérdida cultural vacía es porque la lámina de inundación de dichos periodos no afecta a los elementos.

B) Daños sobre Patrimonio nivel de cuencas seleccionadas

La extrapolación de las pérdidas culturales se ha realizado tomando como partida los datos obtenidos en los elementos de patrimonio de cada uno de los tramos por periodo y el número total de elementos de cada tramo.

Se han sumado todos los valores de pérdida en cada tramo y periodo de retorno y se han dividido por el total de elementos de patrimonio del tramo, de esta forma se ha obtenido el valor de pérdida patrimonial por tramo y periodo de retorno.

Este valor se ha aplicado a la subcuenca de la que es representativa cada tramo y mediante una media ponderada de los valores de las subcuencas se ha obtenido el valor de pérdida de patrimonio de cada cuenca modelo.

C) Daños sobre Patrimonio nivel nacional o territorio afectado por El Niño

Para trasladar el valor de los resultados obtenidos a nivel de cuenca al territorio (distritos) afectados por El Niño, se ha tenido en cuenta la asignación que relaciona cada distrito con un tipo de cuenca modelo (Costa, Sierra, Selva).

En el siguiente cuadro se resume la evaluación de la pérdida cultural para los distritos afectados por El Niño, siguiendo la metodología indicada con anterioridad, llegando a la conclusión de que en todos ellos el nivel de pérdida cultural, cuando lo hay, es “Muy bajo”.

Cuadro 44. Resultado de la evaluación de la pérdida cultural para los distritos afectados por El Niño según periodo de retorno (años) (Solamente se muestran los distritos que tienen pérdidas)

Departamento/Provincia/Distrito	Periodo de retorno				
	T20	T50	T100	T200	T500
Ancash					
Antonio Raymondi					
Llamellin	-	1	1	1	1
Pallasca					
Bolognesi	-	1	1	1	1
Síhuas					
Huayllabamba	-	1	1	1	1
Arequipa					
Caylloma					
Cabanaconde	-	1	1	1	1
Cajamarca					
Cajamarca					
Cajamarca	-	1	1	1	1
Los Baños del Inca	-	1	1	1	1
Huánuco					
Marañón					
Huacrachuco	-	1	1	1	1
Junín					
Chupaca					
Chupaca	-	1	1	1	1
Huamancaca Chico	-	1	1	1	1
Concepción					
Matahuasi	-	1	1	1	1
Huancayo					
Sicaya	-	1	1	1	1
Jauja					
Acolla	-	1	1	1	1
Ataura	-	1	1	1	1
Huaripampa	-	1	1	1	1
Jauja	-	1	1	1	1

6.3. Evaluación del riesgo en cuencas priorizadas

En base a los resultados de los modelos hidrológicos e hidráulicos acerca del calado y la velocidad del agua para los diferentes periodos de retorno (T) estudiados en los tramos seleccionados de las cuencas priorizadas, y tras la aplicación de las correspondientes curvas de vulnerabilidad sobre los diferentes elementos expuestos inventariados, se han obtenido los daños que potenciales eventos de inundación de distinta magnitud podrían llegar a ocasionar. Tras la obtención de dichos resultados se puede desarrollar un modelo de análisis probabilístico para cada una de las cuencas seleccionadas.

El análisis probabilista se plantea teniendo en cuenta una serie de escenarios de amenaza que representan los diferentes eventos de inundación de diferente magnitud, que pueden presentarse en las cuencas a estudio. Cada uno de estos escenarios tiene asignada por tanto una frecuencia o probabilidad de ocurrencia específica. El cálculo probabilista ha consistido como se ha explicado con anterioridad, en evaluar las pérdidas económicas para cada uno de los activos expuestos y para cada uno de los escenarios de amenaza (en este caso los correspondientes a los periodos de retorno estudiados: 20, 50, 100, 200 y 500 años).

Para el cálculo de la Pérdida Anual Esperada (PAE) y la estimación de la Pérdida Máxima Probable (PML) en cada cuenca seleccionada y para cada uno de los cinco periodos de retorno (T) estudiados, se han tenido en cuenta los datos analíticos extrapolados procedentes de la modelización de tramos seleccionados. En este caso y a diferencia de la construcción de la curva híbrida de Pérdida Anual Esperada a nivel nacional, sólo se han tenido en cuenta los datos analíticos procedentes de la modelización debido a que las fuentes históricas analizadas entre las que se encuentra DesInventar, no proporcionan datos a nivel de cuenca (en algunos casos se presentan a nivel de distrito, en otros a nivel de provincia y en otros a nivel de departamento), por lo que su utilización conllevaría un alto grado de inexactitud (debido a que la cuenca hidrográfica es una unidad natural que no tiene por qué coincidir con las unidades administrativas).

A continuación se muestran cuadros para cada una de las cuencas de estudio donde se expone el valor expuesto, la PAE y la Pérdida Máxima Probable obtenidos a partir del proceso de modelización hidrológico-hidráulica de los tramos seleccionados y posterior extrapolación al resto de la cuenca.

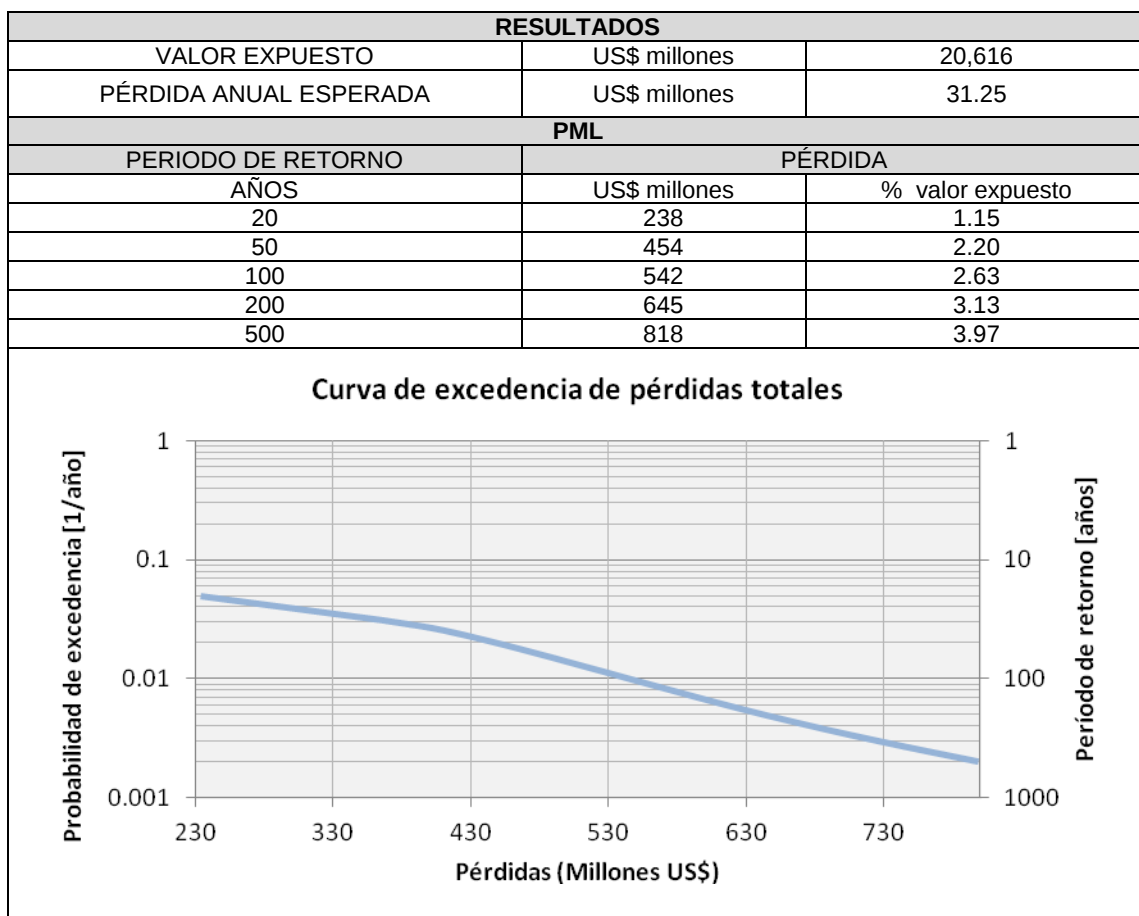
6.3.1. Pérdida anual esperada (PAE) y Pérdida máxima probable (PML) por sector y territorio

6.3.1.1. Piura

6.3.1.1.1. Pérdidas totales

En el siguiente cuadro se expone el valor expuesto de la cuenca del Piura, la pérdida anual esperada y los valores de pérdida máxima probable obtenidos a partir de la modelización hidrológica-hidráulica.

Cuadro 45. PAE y PML Cuenca Piura

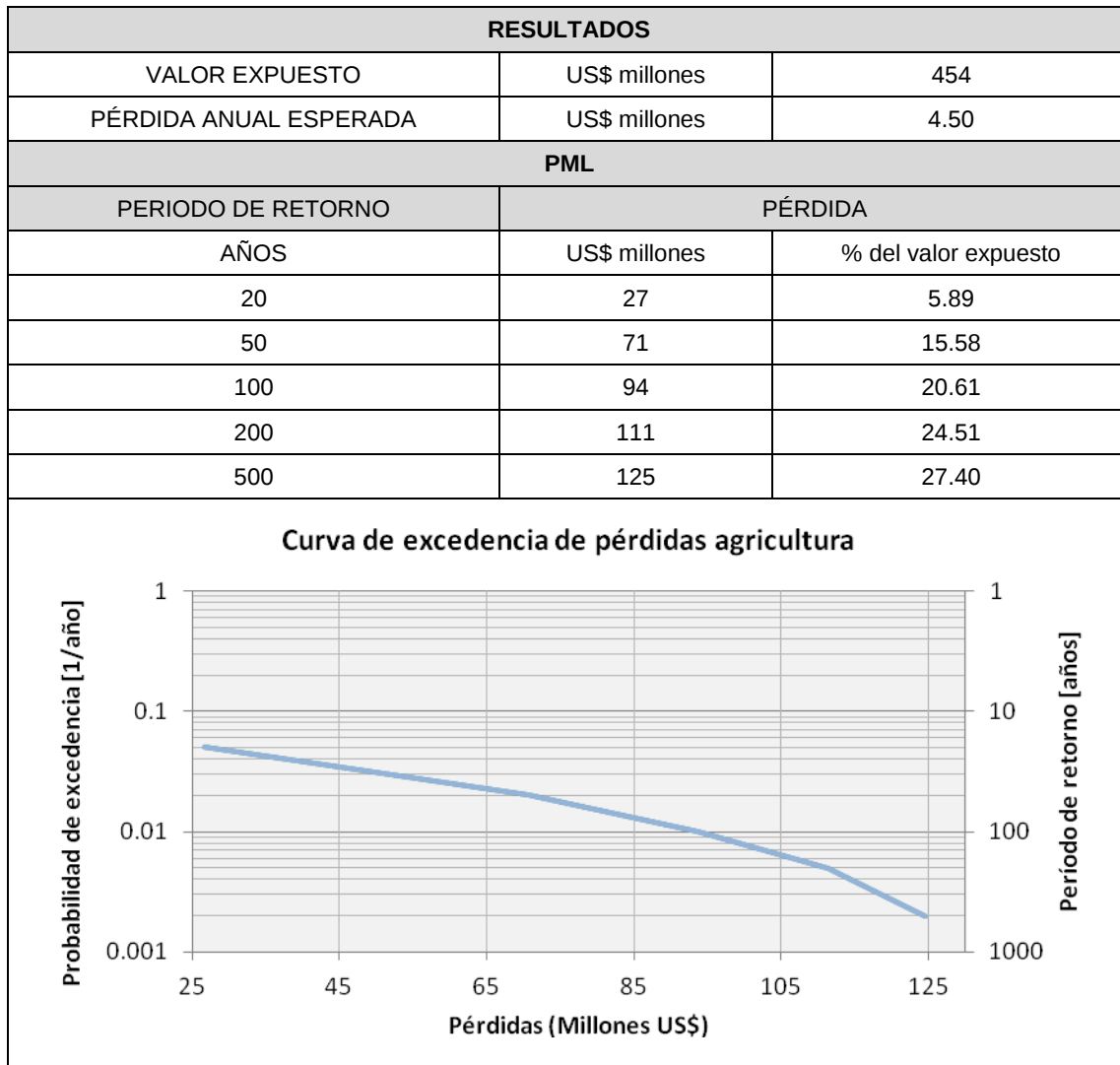


NOTA: US\$ (Dólares americanos)

6.3.1.1.2. Pérdidas por sector

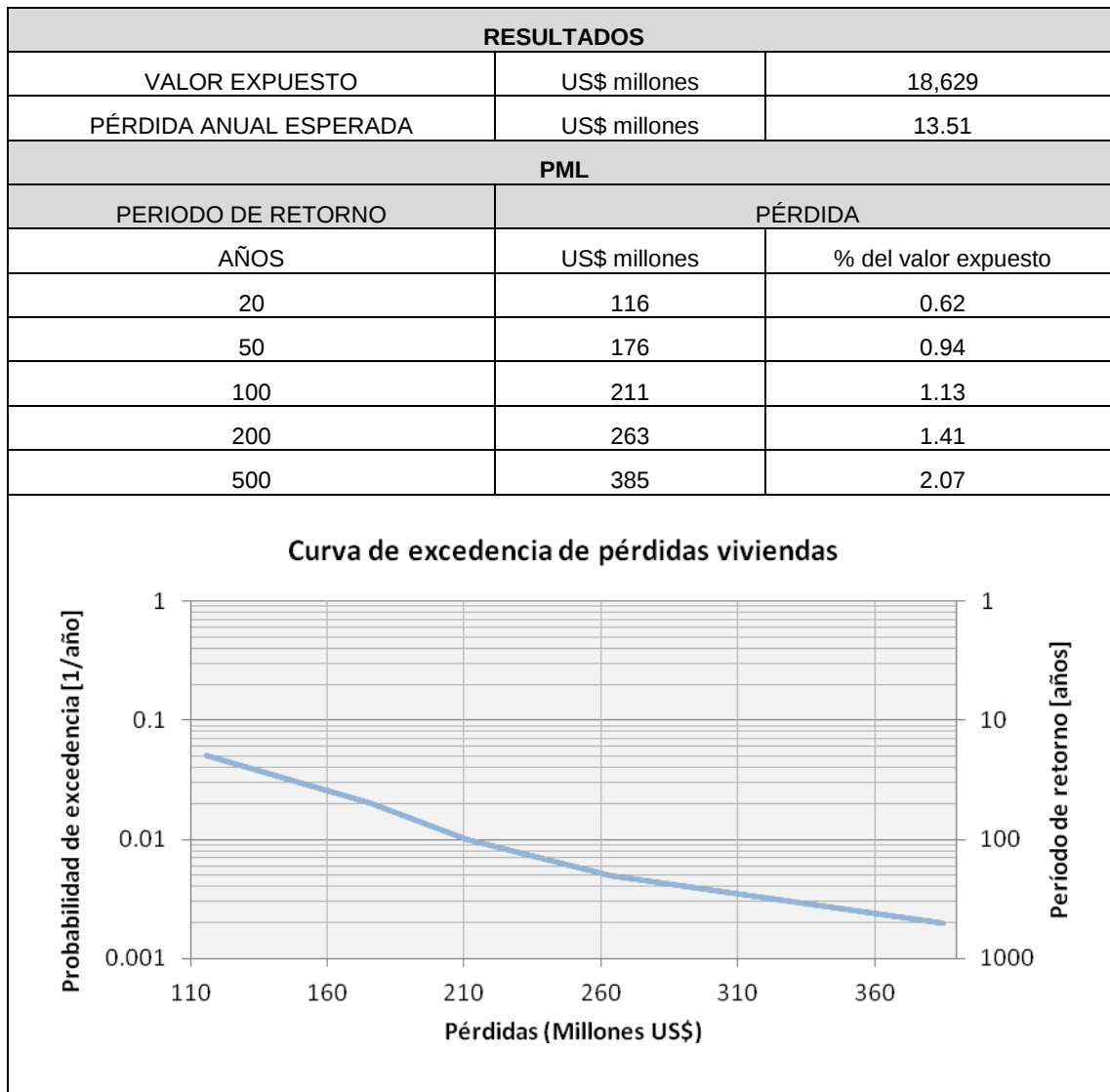
Agricultura

Cuadro 46. PAE y PML de Agricultura en la cuenca de Piura



Viviendas

Cuadro 47. PAE y PML de Viviendas en la cuenca de Piura



Vías de comunicación

Cuadro 48. PAE y PML de Vías de Comunicación en la cuenca de Piura

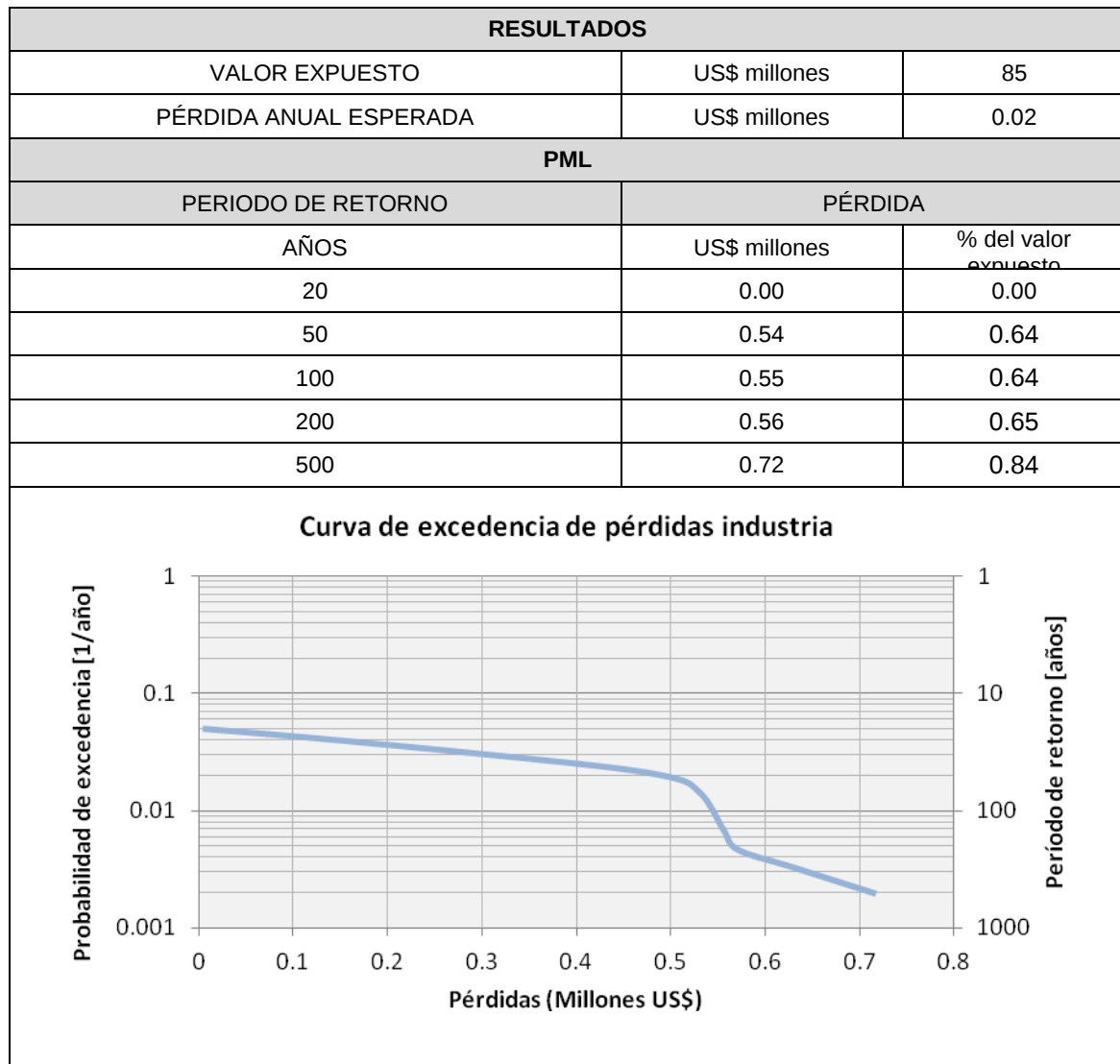
RESULTADOS		
VALOR EXPUESTO	US\$ millones	1,448
PÉRDIDA ANUAL ESPERADA	US\$ millones	13.22
PML		
PERIODO DE RETORNO	PÉRDIDA	
AÑOS	US\$ millones	% del valor expuesto
20	95	6.55
50	207	14.32
100	237	16.36
200	269	18.61
500	308	21.27

Curva de excedencia de pérdidas vías de comunicación

Período de retorno [años]	Pérdidas (Millones US\$)
20	95
50	207
100	237
200	269
500	308

Industria

Cuadro 49. PAE y PML de Industria en la cuenca de Piura

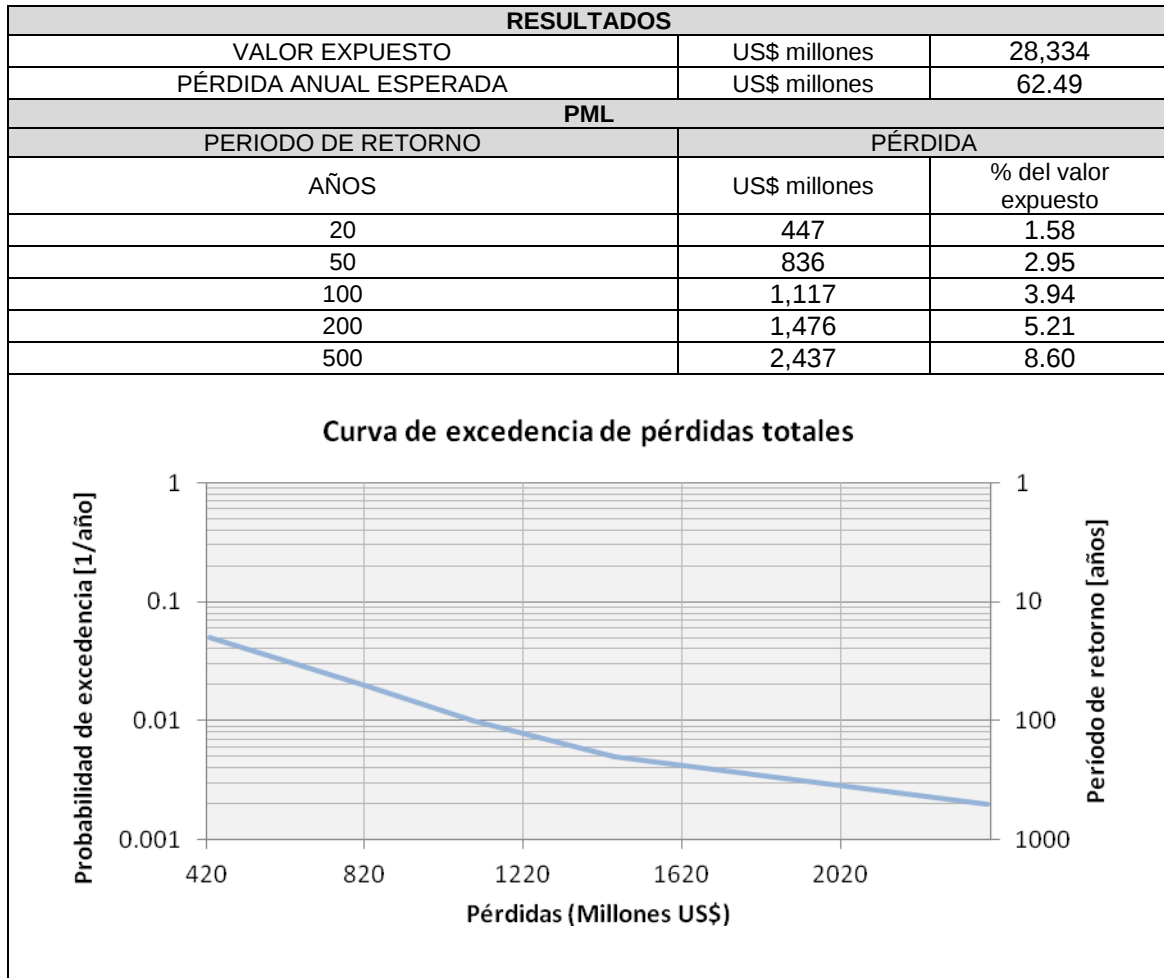


6.3.1.2. Huallaga

6.3.1.2.1. Pérdidas totales

En el siguiente cuadro se expone el valor expuesto de la cuenca del Huallaga, la pérdida anual esperada y los valores de pérdida máxima probable obtenidos a partir de la modelización hidrológica-hidráulica.

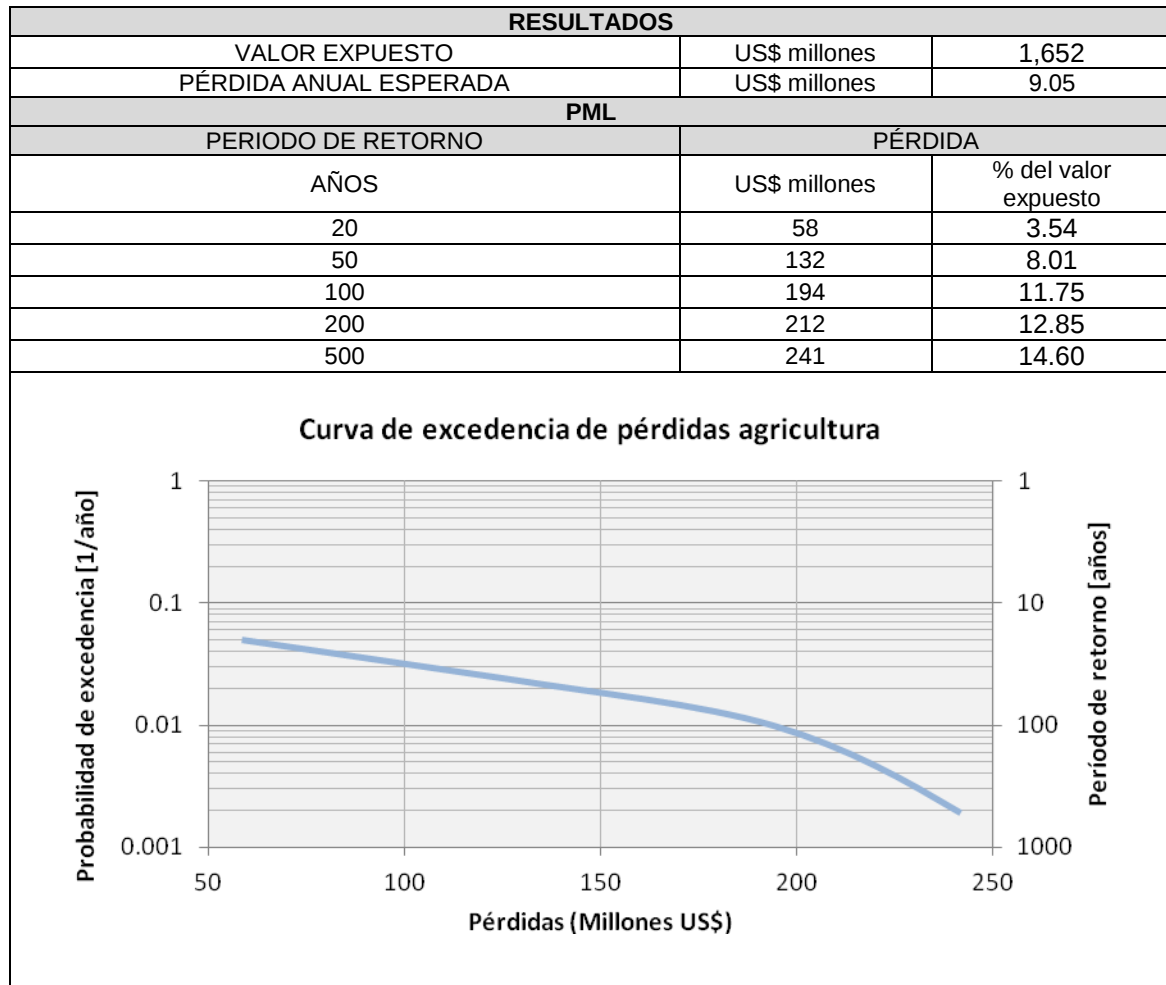
Cuadro 50. PAE y PML cuenca Huallaga



6.3.1.2.2. Pérdidas por sector

Agricultura

Cuadro 51. PAE y PML de Agricultura en la cuenca del Huallaga



Viviendas

Cuadro 52. PAE y PML de Viviendas en la cuenca del Huallaga

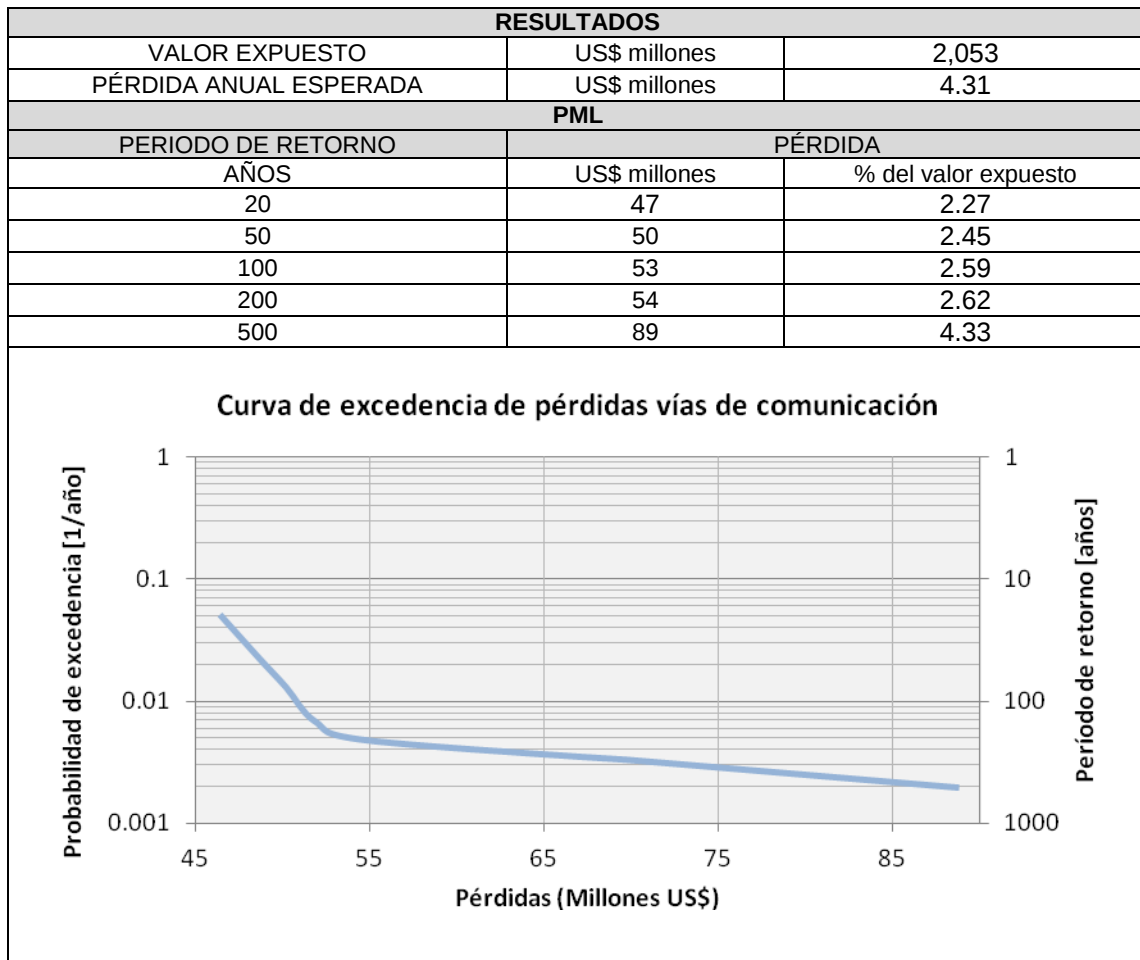
RESULTADOS		
VALOR EXPUESTO	US\$ millones	20,359
PÉRDIDA ANUAL ESPERADA	US\$ millones	48.60
PML		
PERIODO DE RETORNO	PÉRDIDA	
AÑOS	US\$ millones	% del valor expuesto
20	339	1.67
50	645	3.17
100	859	4.22
200	1,196	5.87
500	2,090	10.26

Curva de excedencia de pérdidas viviendas

Periodo de retorno [años]	Pérdidas (Millones US\$)	Probabilidad de excedencia [1/año]
20	339	0.052
50	645	0.025
100	859	0.019
200	1,196	0.013
500	2,090	0.008

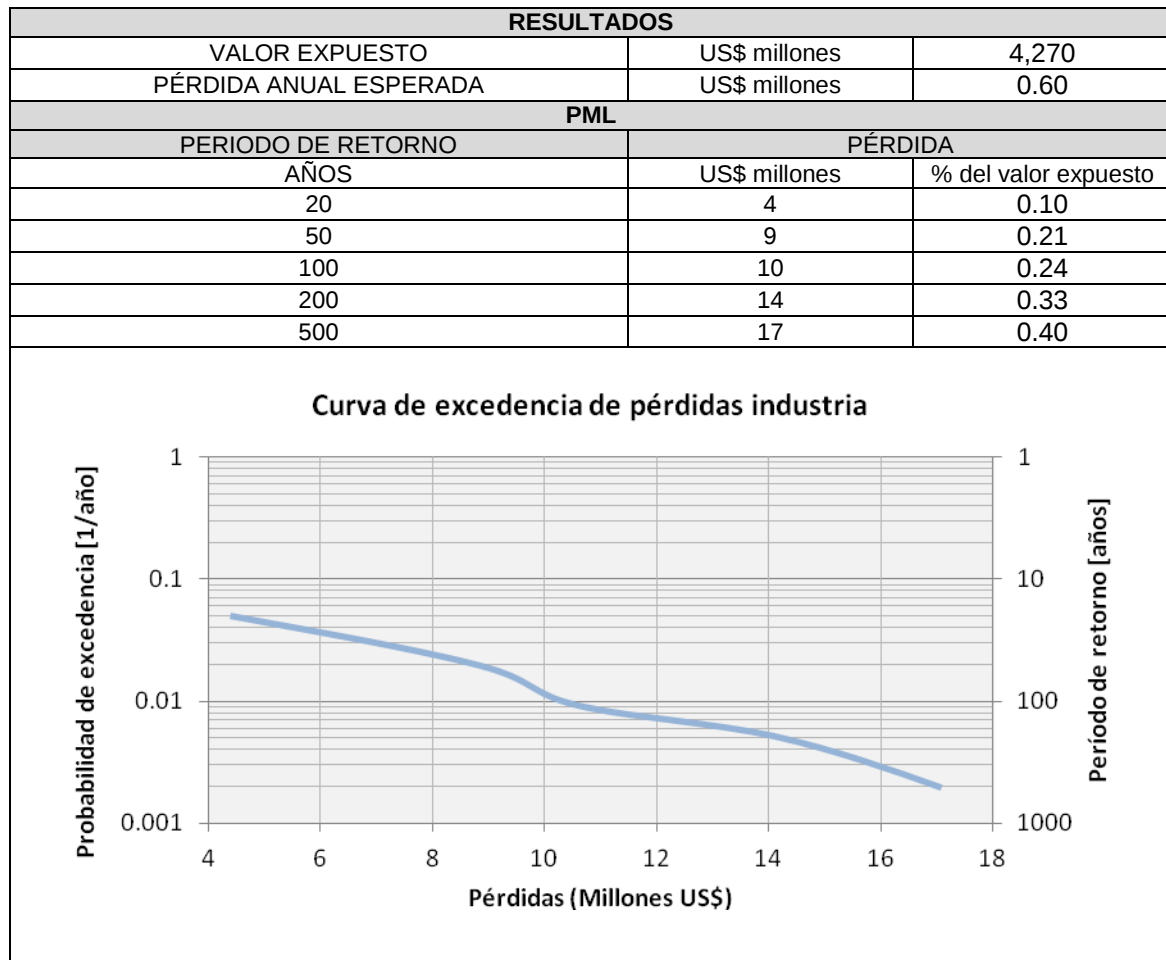
Vías de comunicación

Cuadro 53. PAE y PML de Vías de Comunicación en la cuenca del Huallaga



Industria

Cuadro 54. PAE y PML de Industria en la cuenca del Huallaga

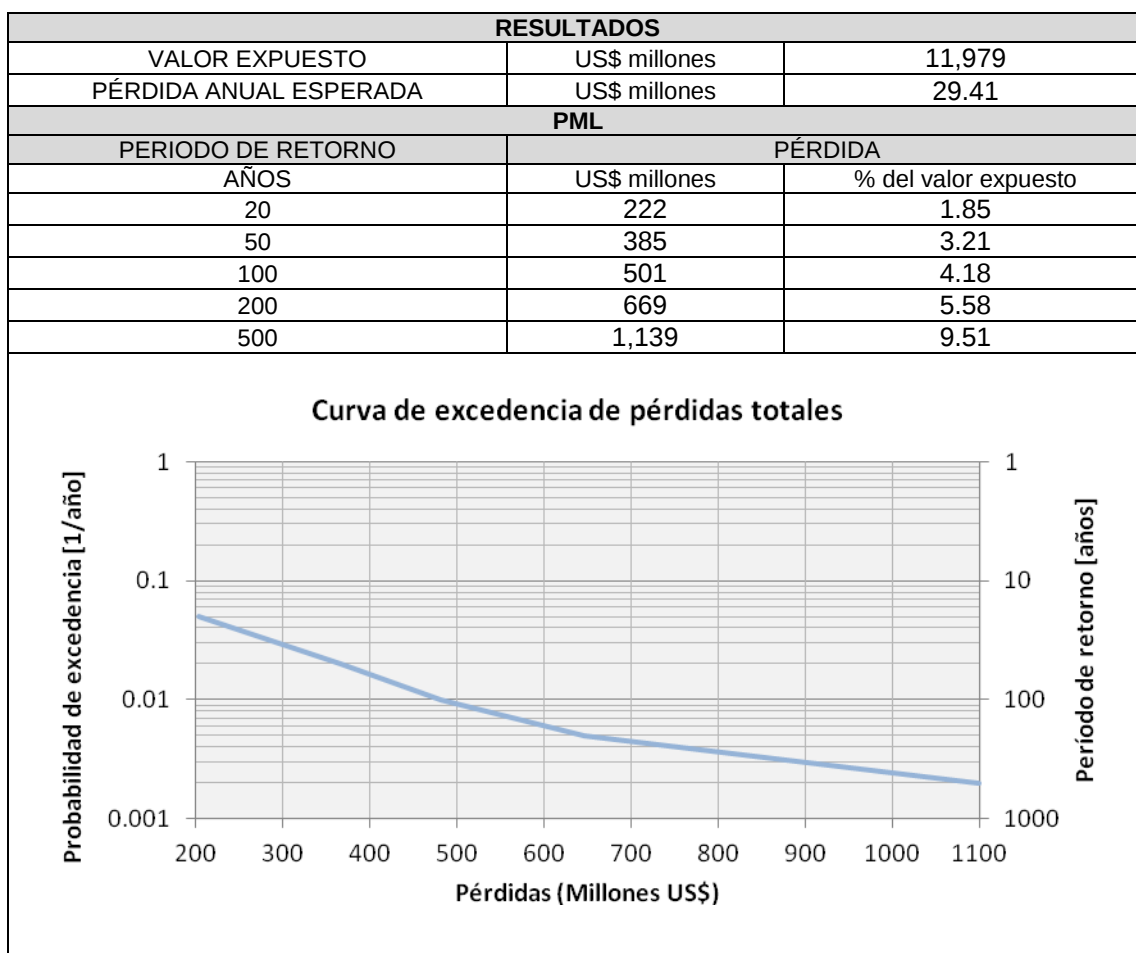


6.3.1.3. Urubamba

6.3.1.3.1. Pérdidas totales

En el siguiente cuadro se expone el valor expuesto de la cuenca del Urubamba, la pérdida anual esperada y los valores de pérdida máxima probable obtenidos a partir de la modelización hidrológica-hidráulica.

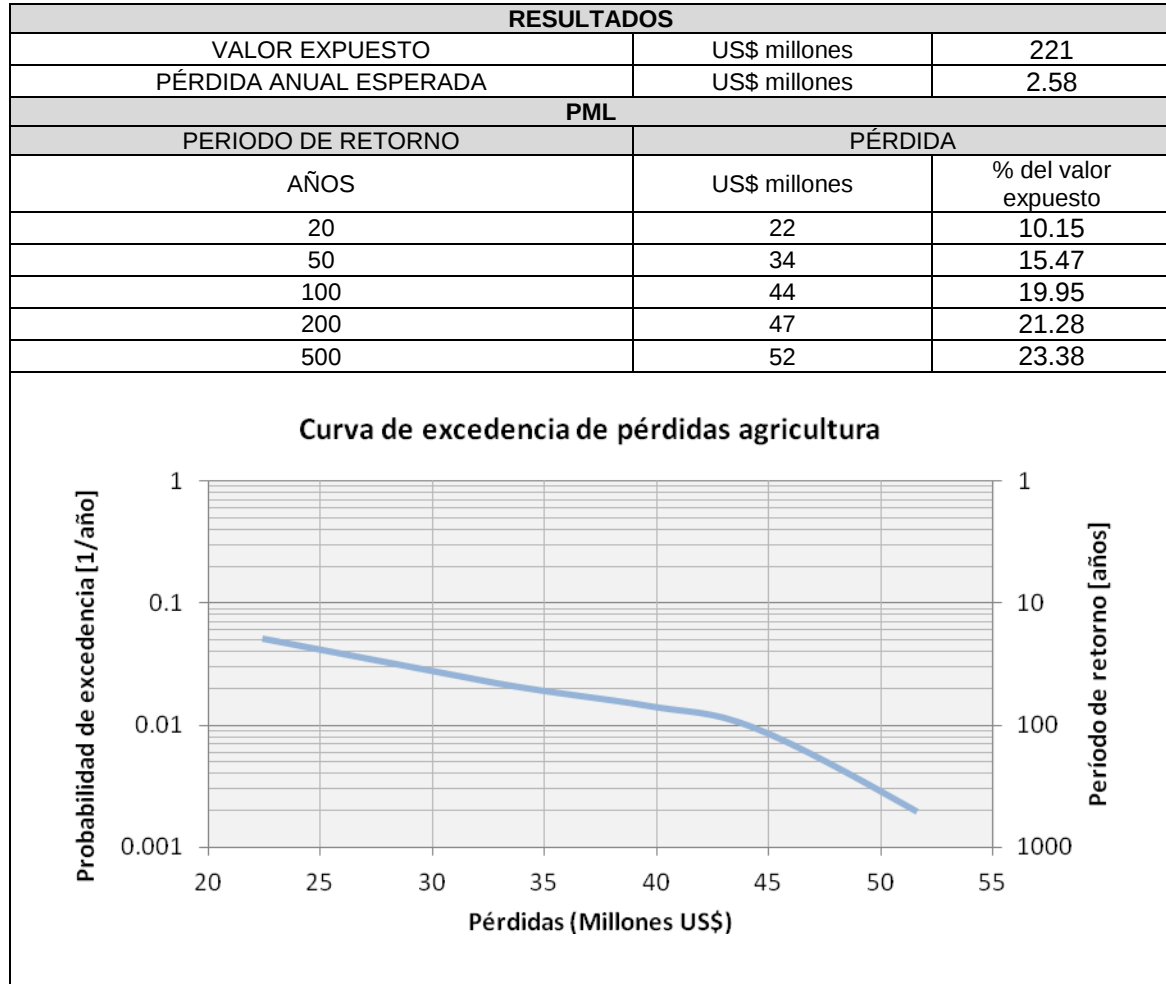
Cuadro 55. PAE y PML en la cuenca del Urubamba



6.3.1.3.2. Pérdidas por sector

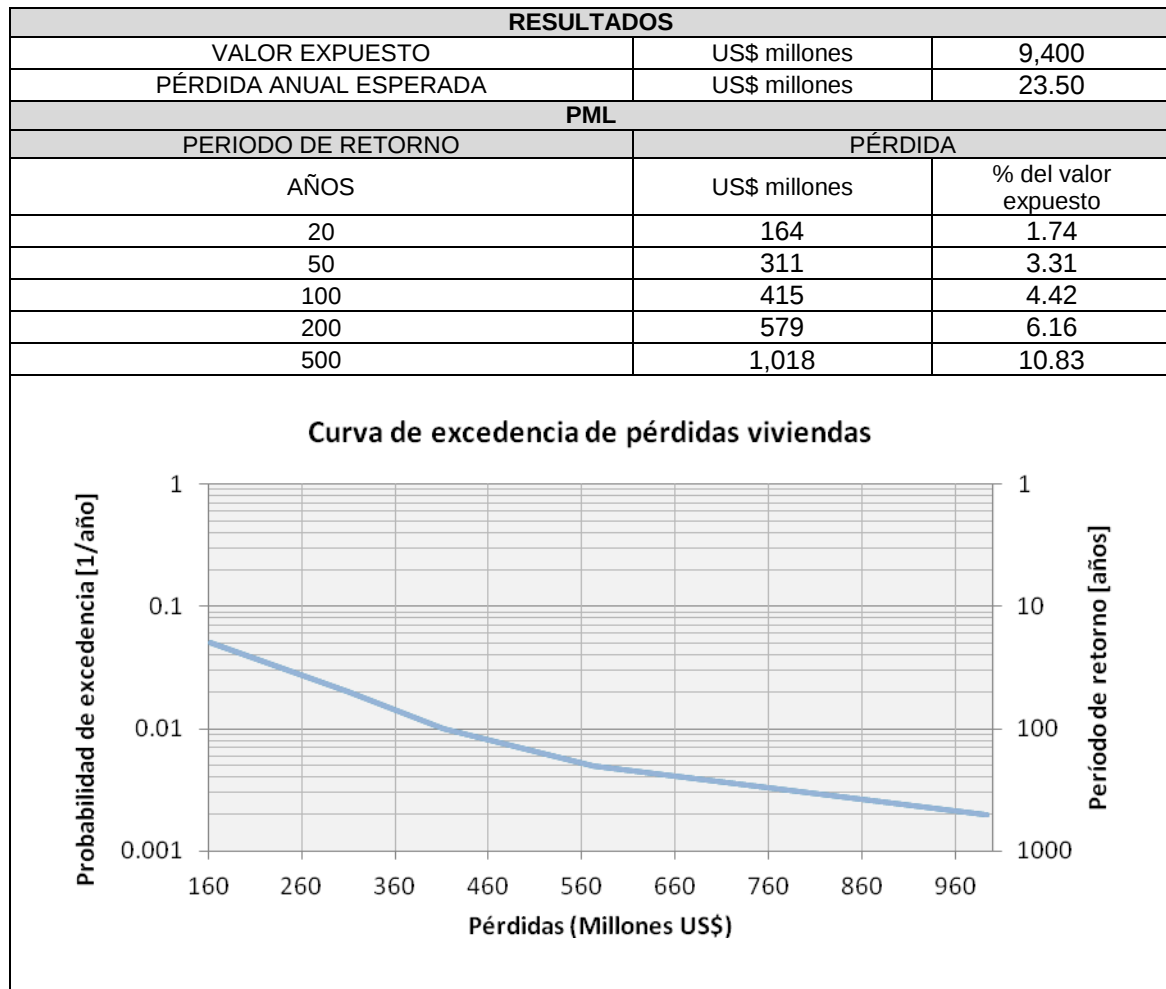
Agricultura

Cuadro 56. PAE y PML en Agricultura en la cuenca del Urubamba



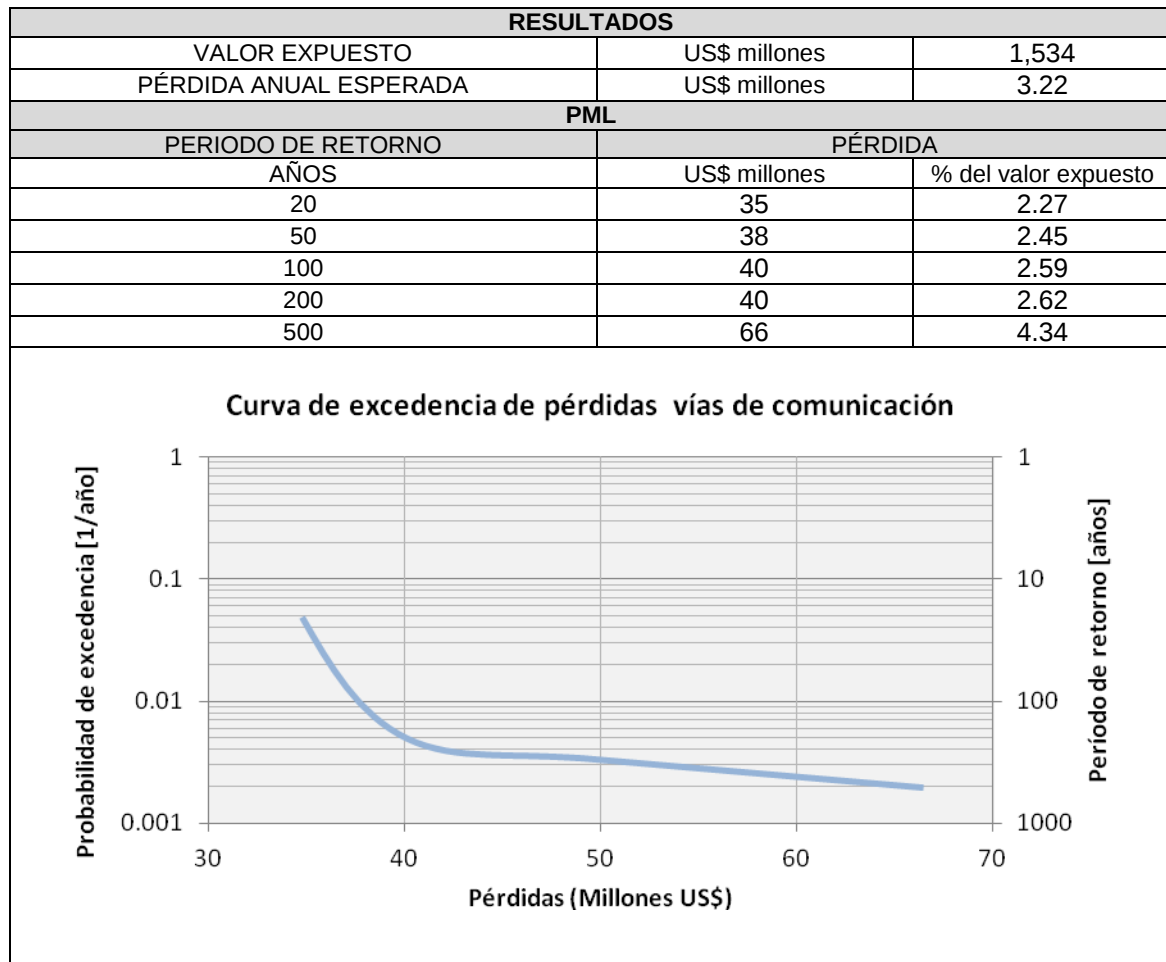
Viviendas

Cuadro 57. PAE y PML en Viviendas en la cuenca del Urubamba



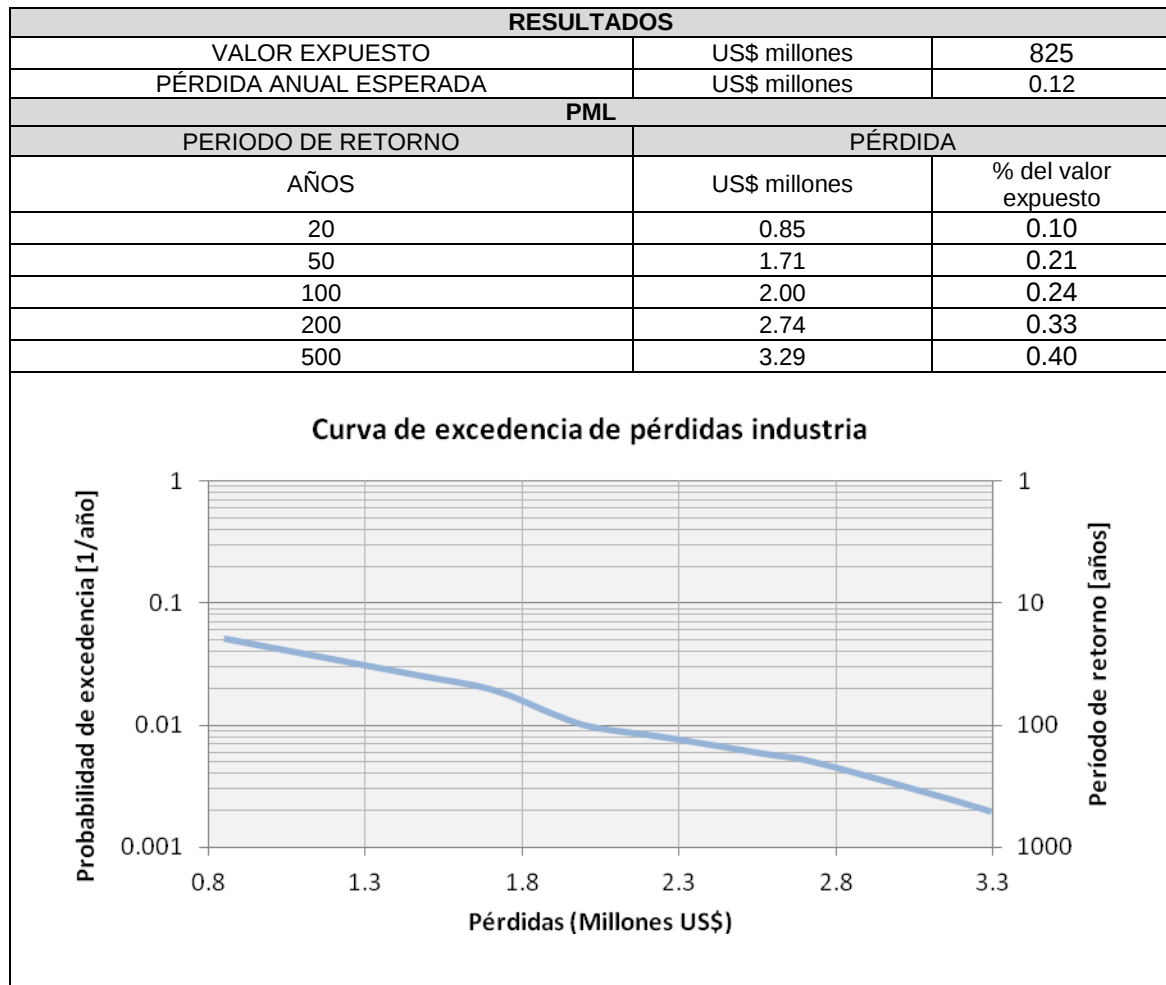
Vías de comunicación

Cuadro 58. PAE y PML en Vías de Comunicación en la cuenca del Urubamba



Industria

Cuadro 59. PAE y PML en Industria en la cuenca del Urubamba



6.4. Proyecciones del riesgo de inundación a nivel nacional

6.4.1. Curva híbrida de pérdidas por inundación

A nivel nacional y para llevar a cabo la representación de los valores de pérdidas esperadas para una determinada probabilidad de ocurrencia o Período de Retorno, se ha construido la curva de excedencia de pérdidas, de carácter híbrido. En este sentido, en su parte baja se han utilizado las pérdidas ocasionadas por episodios de alta frecuencia (riesgo extensivo), mientras que en la parte alta, las pérdidas ocasionadas por eventos de gran magnitud y baja frecuencia (riesgo intensivo). En cuanto a la información utilizada, la parte baja de la curva se basa en estimaciones empíricas en base a la información sobre inundaciones históricas procedente principalmente de la Base de Datos DesInventar, mientras que para la parte alta de la Curva de Excedencia de Pérdidas se han usado los resultados de evaluaciones analíticas probabilistas procedentes de la modelización en los tramos y cuencas seleccionadas para aplicarlos a patrones de distribución espacial de afectación por fenómenos de gran intensidad y baja frecuencia a nivel nacional.

6.4.1.1. Parte baja: pérdidas históricas

Para la elaboración de la parte baja de la curva de excedencia de pérdidas, se han consultado diferentes fuentes con información sobre inundaciones históricas, tales como la Agencia de Cooperación Técnica Alemana-GTZ, los proyectos de Alto, Medio y Bajo Huallaga, COPESCO, pero principalmente la Base de Datos DesInventar, de cara a conocer los daños correspondientes a aquellos episodios de inundación con periodo de retorno más bajo.

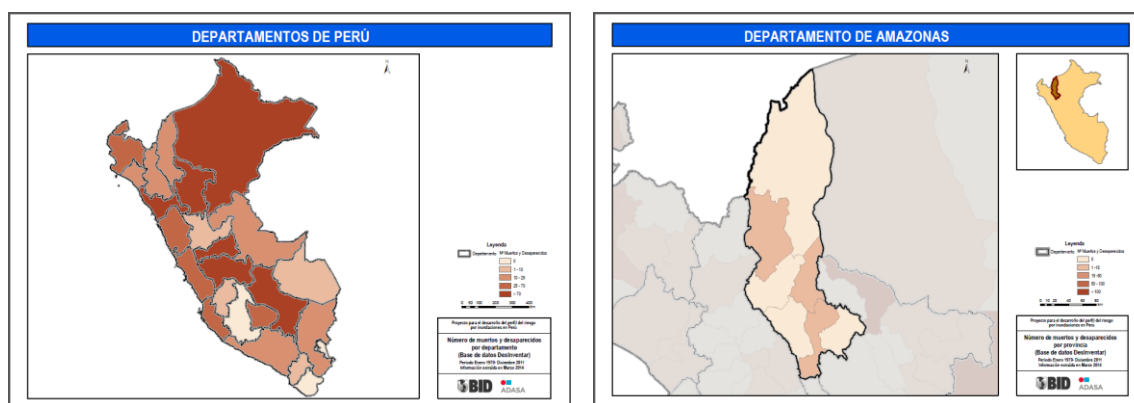
El tratamiento de información de la base de datos DesInventar, en rasgos generales ha sido la siguiente:

- Análisis general de la Base de Datos DesInventar: contenido, campos de los que se compone, resolución espacial y temporal de la información, origen de la misma, principales errores detectados...etc.
- Adaptación y tratamiento de la Base de datos DesInventar: acorde a las necesidades del presente estudio (definición de conceptos tales como “registro” y “evento”); adecuación de la información para su incorporación a una base de datos MS Access; georeferenciación de los registros...etc.
- Evaluación de la calidad de los datos: atendiendo a aspectos tales como referencias a la ubicación geográfica de la inundación o a la cuantificación de

los daños, clasificando los 3,350 registros dentro de las categorías de calidad alta, media o baja.

- Asignación de eventos: identificación de eventos recogidos en dicha base de datos.
- Realización de mapas resultantes del análisis y adaptación de los datos: de cara a mostrar la distribución espacial de algunas de las variables más significativas tales como número de registros a lo largo de la serie, número de muertos y desaparecidos o número de damnificados.

Gráfico 70. Ejemplo de mapas a nivel de departamento y provincia sobre del número de muertos y desaparecidos acorde a la información procedente de la Base de Datos DesInventar

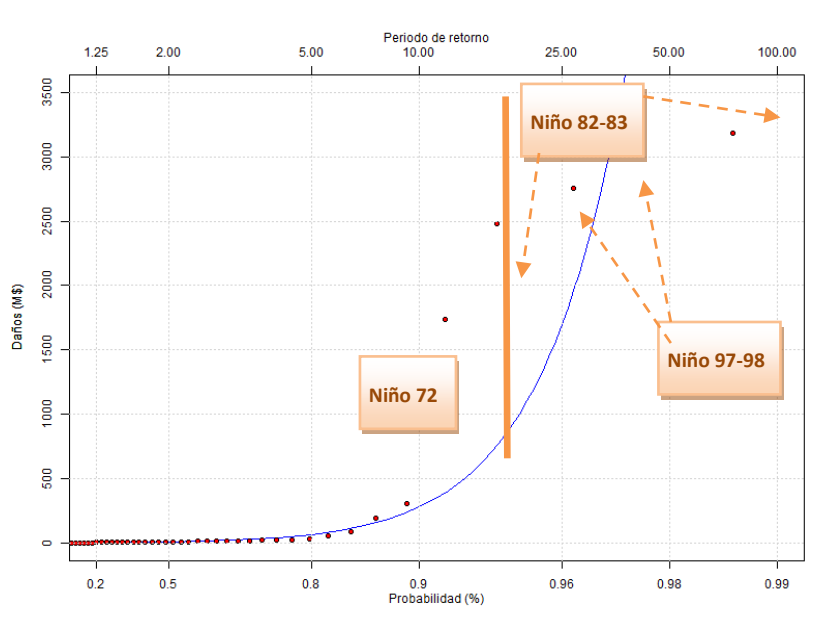


- Consideraciones respecto a los datos: de cara a evitar errores o carencias de información en el resultado final de la estimación de daños, se han tenido en consideración otros aspectos tales como la forma de proceder en el caso de encontrar registros con daños duplicados o registros con campos completados de forma incorrecta.
- Cálculo de costos por evento (monetización de los daños): uso de valores unitarios (por elemento o unidad de superficie dependiendo del caso), para la estimación económica cada tipo de bien cuantificable dañado.

Una vez que la base de datos ha sido convenientemente tratada y los valores unitarios de cada uno de los elementos expuestos determinados, se ha procedido al cálculo de los daños generados en la serie temporal, calculándose los daños originados por los eventos máximos que se presentan cada año. El proceso seguido queda resumido de la siguiente manera:

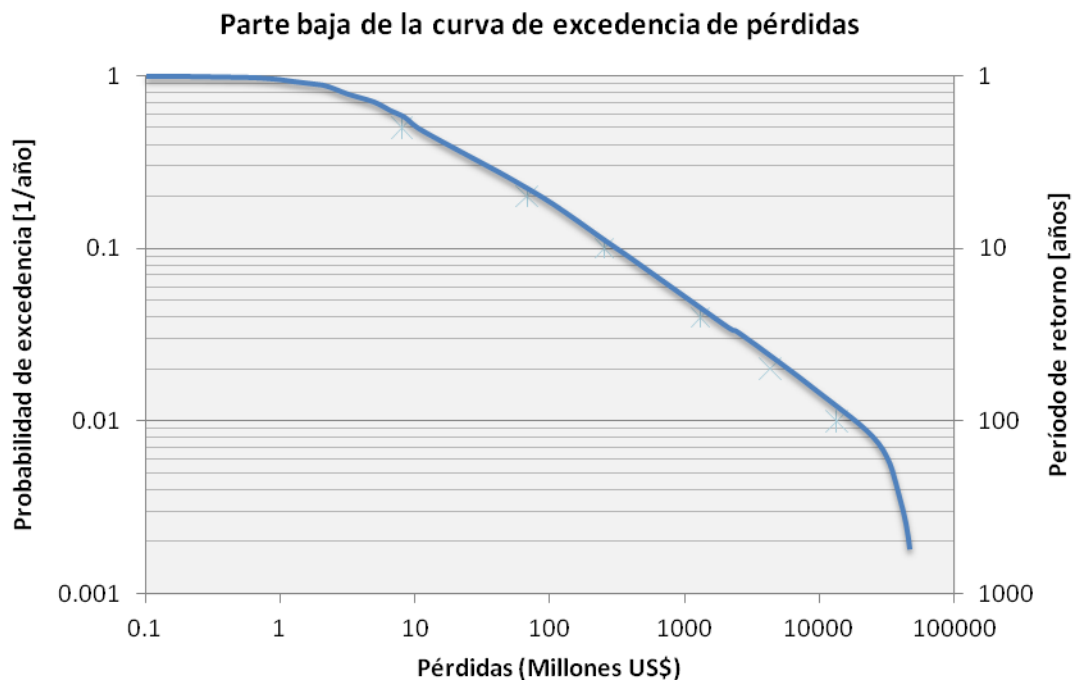
- Análisis estadístico: se ha llevado a cabo el ajuste de los datos obtenidos (datos de daños por evento máximo anual) a través de una función de distribución de probabilidad, llevando a cabo las pruebas convenientes para especificar la función de probabilidad que mejor se adapta a los datos de la muestra, Normal, Gumbel, GEV...etc., llegando a la conclusión que la función que mejor se ajusta a la serie de datos es la log-Pearson III al permitir obtener resultados con grandes periodos de retorno y tener un ajuste casi perfecto para los eventos de menor periodo de retorno.

Gráfico 71. Ajuste a la función de distribución log-Pearson III



- Ajuste de los resultados obtenidos: Tras el análisis estadístico llevado a cabo en la fase anterior, se han ajustado los datos obtenidos, obteniendo la parte baja de la Curva Híbrida de Excedencia de pérdidas.

Gráfico 72. Parte baja de la curva de excedencia de pérdidas



6.4.1.2. Parte alta: extrapolación datos procedentes de modelización

La parte alta de la curva híbrida se corresponde con los daños producidos por aquellos eventos altamente destructivos y por ende de baja frecuencia o periodo de retorno alto. La metodología de extrapolación de resultados obtenidos tras la modelización en los tramos de las cuencas seleccionadas al resto del país queda resumida en las siguientes fases:

- Identificación a nivel de país, del área afectada comúnmente por episodios hidrometeorológicos de gran envergadura (en términos de extensión e intensidad), tales como el fenómeno de El Niño.
- Delimitación tanto a nivel de cuenca como de territorio afectado por El Niño de las llanuras potenciales de inundación, acotando por tanto el cálculo de las pérdidas a la superficie potencialmente afectada y considerando que se mantiene la proporcionalidad entre el área potencialmente inundable y el área inundada existente en la correspondiente cuenca piloto o representativa
- Cálculo en cada cuenca afectada por el fenómeno de El Niño de sus pérdidas (daños directos e indirectos), haciendo uso de las tasas de pérdida halladas en las cuencas piloto representativas correspondientes (para las cuencas de la

costa se han utilizado las tasas de pérdida por período de retorno y uso del suelo obtenidas en la cuenca del río Piura; en las de Sierra las obtenidas en la cuenca del río Vilcanota-Urubamba; y para el caso de las cuencas pertenecientes a la zona de Selva, las tasas obtenidas en la cuenca de Huallaga).

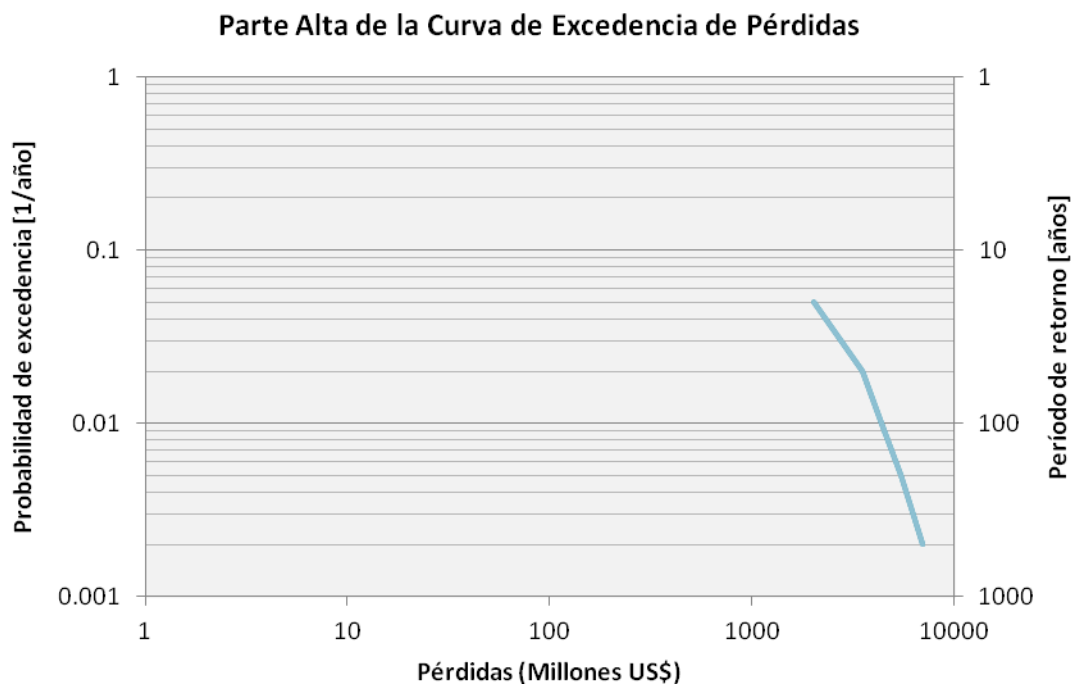
- Cálculo de las pérdidas totales correspondientes ha dicho evento sumando las pérdidas producidas en cada una de las cuencas afectadas.

Obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 60. Daños producidos sobre zonas afectadas por El Niño obtenidos a través de modelización

PERIODO DE RETORNO	DAÑOS TOTALES (millones de soles)	DAÑOS TOTALES (millones US\$)
T20	5,632	1,974
T50	9,758	3,420
T100	12,184	4,270
T200	15,048	5,274
T500	19,391	6,796

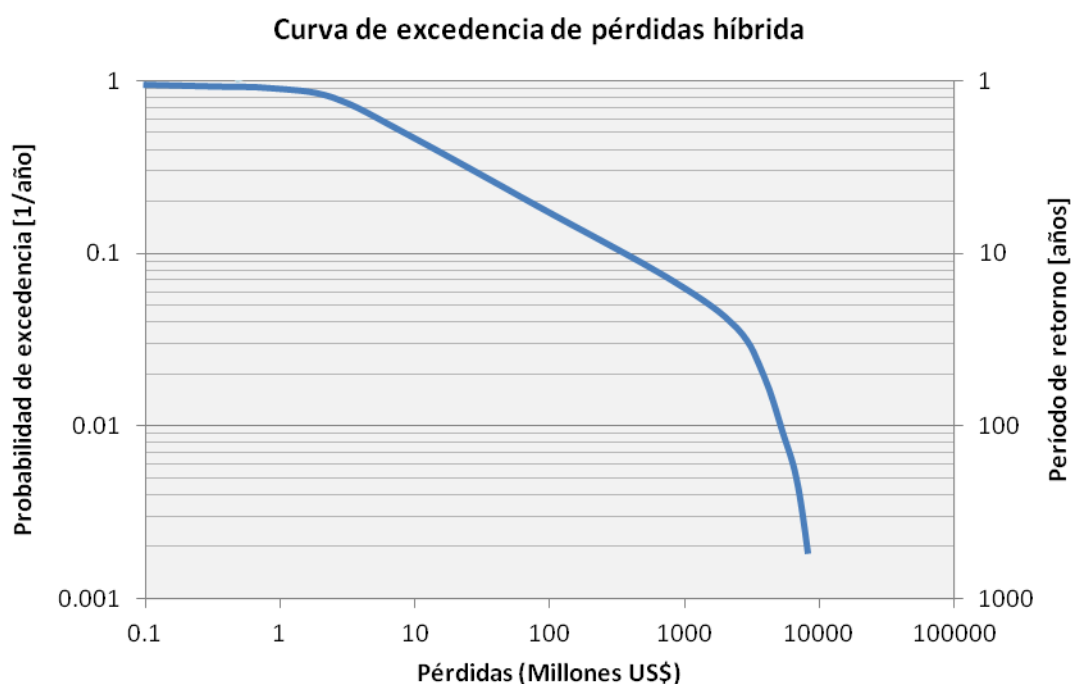
Gráfico 73. Parte alta de la curva de excedencia de pérdidas



6.4.1.3. Curva Híbrida: integración de la parte baja y la parte alta

El siguiente gráfico representa la integración de las curvas de excedencia de pérdidas económicas de los dos tipos de análisis llevados a cabo. De esta forma, la primera parte de la curva híbrida de pérdida anual esperada (PAE), se corresponde con el de pérdidas menores y moderadas obtenidas del análisis empírico de la base de datos DesInventar y otras fuentes de información, mientras que la segunda parte se corresponde con el análisis predictivo obtenido a partir de la modelización de los tramos seleccionados y su correspondiente extrapolación a las cuencas afectadas por los fenómenos extremos.

Gráfico 74. Curva de excedencia de pérdidas híbrida



6.4.1.4. Comparativa

Una vez realizada la estimación del riesgo a nivel nacional (considerando como nacional a la mayor superficie del país que se podría llegar a ver afectada al mismo tiempo por un evento hidrometeorológico de gran envergadura como podría ser un episodio de El Niño), se ha llevado a cabo una comparativa entre los datos obtenidos tras la realización del presente estudio y otras estimaciones llevadas a cabo por diferentes autores.

Para ello, y como premisa fundamental con respecto al estudio que nos ocupa, ha sido preciso asumir que el periodo de retorno de las pérdidas ocasionadas en las cuencas

afectadas es el mismo que el del fenómeno a comparar. En este caso los fenómenos a comparar han sido los de El Niño del 97-98 y El Niño 82-83, al ser episodios ampliamente estudiados.

En primer lugar se ha llevado a cabo la asignación del periodo de retorno a estos dos fenómenos. Para ello se ha consultado el documento de Maniak “*Análisis Costo-Beneficio de la Gestión del Riesgo de Desastre en Países en Vías de Desarrollo y Emergentes*” de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ, el cual considera que el fenómeno de El Niño del 97-98 tiene un periodo de retorno de 50 años y el fenómeno del 82-83 un periodo de retorno de 100 años.

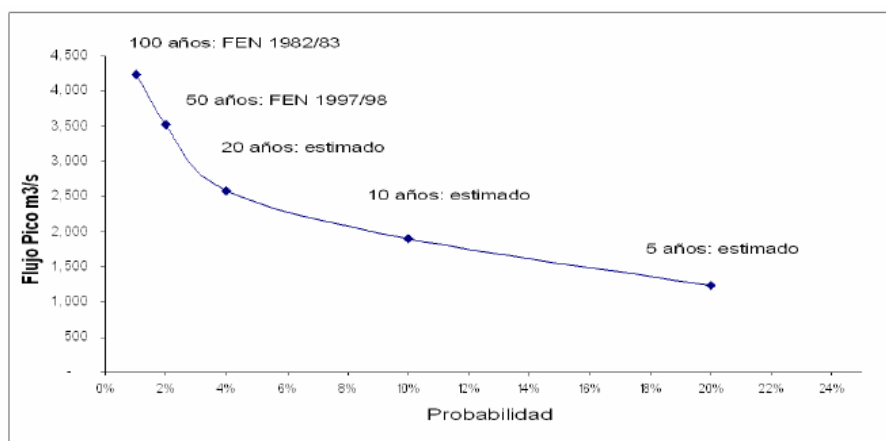
Por otra parte, las fuentes consultadas para llevar a cabo la comparativa han sido:

- Corporación Andina de Fomento (CAF). Institución que en el año 2000 publicó el documento “*El fenómeno El Niño 1997-1998, Memoria, Retos y Soluciones*” y en cuyo volumen V acerca de Perú, estima que este episodio hidrometeorológico trajo consigo pérdidas calculadas en unos 3,500 millones de dólares. Al datar este documento del año 2000, esta cifra ha tenido que ser actualizada al 2013, teniendo en cuenta la variación del IPC a lo largo de estos años, obteniendo una cifra de 4,876 millones de dólares.

En cuanto a El Niño del año 82-83, la Corporación Andina de Fomento, en el año 2000, estimó que este fenómeno originó unas pérdidas de 3,283 millones de dólares, lo que suponen unos 4,574 millones de dólares al ser actualizados.

- Por otra parte, como se ha dicho con anterioridad, se ha consultado el documento de Maniak “*Análisis Costo-Beneficio de la Gestión del Riesgo de Desastre en Países en Vías de Desarrollo y Emergentes*” de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ, el cual considera que el fenómeno de El Niño del 97-98 con un periodo de retorno de 50 años, produjo unas pérdidas de unos 3,500 millones de dólares. Con respecto al fenómeno de El Niño del 82-83, el citado documento estima unas pérdidas de en torno a 4,500 millones de dólares y un periodo de retorno de 100 años, tal y como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Gráfico 75. Asignación de Periodos de retorno a los fenómenos de El Niño



Fuente: Recurrencia e intensidad de peligro de inundación (flujos máximos) en Perú según Maniak, citado en Mechler, R., (2005) Análisis Costo-Beneficio de la Gestión del Riesgo de Desastre Natural en Países en Vías de Desarrollo y Emergentes, Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ

Con respecto a la estimación de los daños obtenidos mediante modelización, ésta se ha llevado a cabo a través de una metodología que a grandes rangos puede resumirse en la elección de cinco tramos en cada una de las tres cuencas piloto o representativas; modelización hidráulica (e hidrológica en caso de ser necesaria) de los periodos de retorno a estudiar en los tramos seleccionados y extrapolación de resultados al resto del país (territorio afectado por el fenómeno de El Niño o evento hidrometeorológico de gran envergadura, cuya definición se basa en estudios llevados a cabo por CENEPRED, tales como su documento “Escenarios de riesgos ante la probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño”, para la Presidencia del Consejo de Ministros en Octubre de 2012).

Como pasos previos, se ha llevado a cabo una delimitación de las llanuras potenciales de inundación en dicho territorio (el afectado por este evento hidrometeorológico), acotando por tanto el cálculo de las pérdidas a la superficie potencialmente afectada y considerando que se mantiene la proporcionalidad entre el área potencialmente inundable y el área inundada en la correspondiente cuenca piloto o representativa.

Por otra parte, para cada cuenca afectada por El Niño, se han calculado sus pérdidas haciendo uso de las tasas de pérdida halladas en las cuencas piloto representativas que les corresponden (obtenidas por unidad de superficie y uso de suelo a través de modelización y multiplicadas por la superficie que cada uso de suelo ocupa dentro de la llanura de inundación de dicha cuenca). Es decir, para las cuencas de la costa se han utilizado las tasas de pérdida y uso de suelo obtenidas en la cuenca del río Piura,

en las de Sierra, las obtenidas en la cuenca del río Vilcanota-Urubamba y para las pertenecientes a la zona de Selva, las tasas obtenidas en la cuenca del Huallaga).

Finalmente se han calculado las pérdidas totales correspondientes a dicho evento sumando las pérdidas producidas en cada cuenca, obteniéndose los siguientes datos:

Cuadro 61. Daño producido sobre zonas afectadas por El Niño en los distintos periodos de retorno obtenidos a través de modelización

PERIODO DE RETORNO	Daños (millones soles)	Daños (millones de dólares)
T20	5,632	1,974
T50	9,758	3,420
T100	12,184	4,270
T200	15,048	5,274
T500	19,391	6,796

A continuación se muestra un cuadro comparativo entre los valores de pérdidas estimados a través de las fuentes citadas con anterioridad y los procedentes de la modelización hidrológica e hidráulica llevada a cabo en el presente estudio.

Cuadro 62. Comparativa entre resultados de modelización y fuentes documentales para fenómenos de El Niño (daños en millones de dólares)

Evento "El Niño"	Periodo de Retorno (T)	Maniak (actualizado a 2013)	CAF (actualizado a 2013)	Modelos (2013)
1997-98	50	4,876	4,876	3,420
1982-83	100	5,921	4,574	4,270

Se podría considerar que estas estimaciones, llevadas a cabo a través de diferentes metodologías están en misma línea. Pudiéndose deber la diferencia a diferentes factores:

- Muestra de cuencas muy pequeña para poder hacer extrapolaciones de gran fiabilidad para el conjunto de un país tan extenso como es Perú.
- Inexactitudes inherentes a los modelos hidrológicos e hidráulicos (ya que son simplificaciones de la realidad y utilizan datos de entrada que son inexactos en muchas ocasiones).
- Inexactitudes derivadas de la cartografía.
- Modelos Digitales del terreno de escasa resolución.

- Errores procedentes del uso a nivel regional de datos socioeconómicos de carácter nacional.
- Tras el fenómeno de El Niño del 97-98, han sido múltiples las medidas tanto estructurales como no estructurales llevadas a cabo con la finalidad de reducir o mitigar los daños que las inundaciones llevan asociados. Estas medidas, como pueden ser los diques, han sido consideradas en las modelizaciones realizadas en el presente estudio. A modo de ejemplo cabe citar todas las obras hidráulicas de defensa llevadas a cabo en el Proyecto Especial Chira-Piura y que en el año 2000, año en el que se estimaron las pérdidas de dicho fenómeno, no existían. Por lo que la cifra obtenida en la metodología llevada a cabo en el presente estudio es coherente y acorde con la efectividad de las medidas llevadas a cabo desde entonces.

7. Conclusiones

- Las inundaciones en el Perú constituyen una de las principales catástrofes naturales que acaecen en el país. La gestión del riesgo por inundaciones a nivel de todo un país, precisa llevar a cabo una evaluación de dicho riesgo. El término riesgo por inundación en el marco de este estudio se refiere a la probabilidad de pérdidas de acervo físico, pérdidas de flujos económicos, pérdidas de vidas humanas y número de personas afectadas. En el presente estudio se desarrolla y aplica la metodología de evaluación del riesgo por inundación en Perú que integra las amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante esas amenazas y que estima el riesgo por inundación, en términos económicos y de pérdidas humanas, a través de un cálculo probabilista, para eventos máximos de inundaciones con periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años. Este estudio permite evaluar cuantitativamente el riesgo en términos económicos derivado de diferentes y potenciales eventos de inundaciones, consiguiendo una mejora en la gestión del riesgo de inundaciones en el Perú, y la reducción de eventos futuros. Por lo que el presente estudio cumple con el objetivo y el alcance propuestos, los cuáles son la elaboración y la obtención de resultados del Perfil de Riesgo por Inundaciones en Perú por eventos máximos de inundaciones con periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.
- La metodología desarrollada en el presente estudio ha sido contrastada con la elaborada por otros autores y constituye una metodología válida, robusta y fiable que se sustenta en fuentes de información oficiales, actuales y veraces lo que repercute en la coherencia, fiabilidad y validez de los resultados.
- En el desarrollo del presente estudio se han realizado numerosas visitas y trabajo de campo, así como consultas y contactos con diversos organismos oficiales del Perú (véase la sección 10: Referencias) que han permitido enriquecer y dar veracidad a toda la información incluida en el proyecto.
- Las pérdidas esperadas por inundación para un determinado periodo de retorno (esto es, una determinada probabilidad de ocurrencia) se han obtenido mediante la generación de una curva híbrida. A partir de la curva híbrida, se obtiene el riesgo general al cual se encuentra expuesto el Perú en cuanto a las inundaciones. Esta curva híbrida integra información de pérdidas históricas (base de datos DesInventar en combinación con fuentes bibliográficas y cálculos de daños) en la parte baja de la curva con la extrapolación de los datos procedentes de la modelización hidrológica e hidráulica llevada a cabo en el presente estudio

en la parte alta de la curva híbrida. Se constata que los resultados obtenidos relativos a la Pérdida Anual Esperada (PAE) por inundaciones en el Perú son coherentes con los valores de pérdidas estimados a través de fuentes bibliográficas consultadas (Maniak, CAF). El valor asociado al periodo de retorno de 50 años, que se corresponde con el evento de El Niño del 1997-98, logra un menor grado de concordancia respecto a estos estudios previos; dicho valor es inferior al obtenido en estudios previos (véase la sección 5.2.1.2 *Comparativa*) debido a que el presente estudio ha sido desarrollado con posterioridad y han sido consideradas y tenidas en cuenta, en las modelizaciones hidrológico-hidráulicas realizadas, las medidas estructurales y no estructurales implementadas tras el fenómeno de El Niño del 1997-98 para reducir o mitigar los daños de las inundaciones asociadas al evento, tales como la construcción de diques o el caso de las obras hidráulicas de defensa llevadas a cabo en el Proyecto Especial Chira-Piura. Concluyéndose por tanto que, los valores de millones de dólares americanos de PAE por inundaciones en el Perú son cifras fiables, coherentes y acordes con la realidad de la protección en cauces y la efectividad de las medidas llevadas a cabo desde entonces. Las cifras obtenidas desde el punto de vista de la gestión de inundaciones se consideran relevantes y críticas a nivel nacional.

- Conforme a la gran magnitud del resultado de la PAE por inundaciones obtenido en el presente estudio, se hace necesario aplicar soluciones para mitigar los daños mediante la implementación de medidas de prevención, protección y reducción de los efectos de las inundaciones. Se deberían llevar a cabo medidas estructurales (obras hidráulicas tales como muros de protección, presas de laminación, encauzamientos, etc.) y no estructurales (campañas de sensibilización a la población, restauración hidrológico-forestal, limpieza de cauces, implantación de Sistemas de aviso a la población, etc.) así como estudios de inundabilidad en las zonas más afectadas por fenómenos de El Niño y planes de prevención, protección y mitigación frente a inundaciones. Estas soluciones reducirán de forma notable los daños producidos por este tipo de fenómeno.

8. Limitaciones del estudio

- Uno de los principales inconvenientes encontrados a la hora de realizar el presente proyecto ha consistido en la falta de información de partida que tuviese una calidad óptima. Mención especial merece el MDE (Modelo Digital de Elevaciones) existente (con resolución horizontal de 30 x 30 m y su resolución vertical, más limitante aún para el resultado a nivel de tramo, es de 1 m) así como la información geográfica existente y disponible sobre usos de suelo.

Las inundaciones son fenómenos locales, cuyo efectos se localizan en las proximidades de los cursos fluviales, siendo por tanto necesario disponer de una cubierta geográfica lo suficientemente detallada como para estimar de forma precisa los daños producidos. Además las variaciones en la extensión de las láminas de inundación en los tramos de estudio requieren un nivel detalle inferior a la resolución del MDE. El MDE disponible con una resolución horizontal y vertical tan grosera, no se ha adaptado en la forma deseada a los requerimientos del presente proyecto, lo que ha conllevado realizar y obtener un estudio del terreno con mayor resolución partiendo de los datos procedentes de los trabajos topográficos, de cara a estimar los daños a nivel de tramo de estudio de una forma más exacta. Si bien a nivel de todo el país, el MDE resulta adecuado.

En cuanto a la información geográfica existente sobre usos de suelo, también se han detectado carencias importantes, lo que ha supuesto a realizar y obtener un estudio detallado de los usos de suelo a nivel de tramo a través de diferentes trabajos de fotointerpretación.

- Otro de los inconvenientes ha sido el no disponer de fotografías aéreas de los tramos de estudio, por lo que ha sido necesario emplear la última información más reciente disponible como han sido las imágenes habilitadas en Google Earth. La fotointerpretación en el desarrollo de trabajos sobre riesgos de inundación resulta de especial relevancia puesto que permite discernir variaciones en los trazados de los ríos (como consecuencia natural del discurrir fluvial), nuevas construcciones o identificación de elementos estructurales no identificados con anterioridad.

9. Recomendaciones

- Tras la realización del presente estudio, en el que se ofrece una estimación muy aproximada de los potenciales daños que se podrían llegar a producir a nivel de país por inundaciones de periodos de retorno determinados, y tomando como base, entre otras características, que Perú es un país cuya red hidrográfica presenta una morfología muy cambiante a lo largo del tiempo (ríos anastomosados que implican cambios en el trazado), se hace patente la necesidad de llevar a cabo estudios específicos de inundación en zonas concretas, principalmente en aquellos territorios afectados por fenómenos hidrometeorológicos de gran envergadura como El Niño, de cara a poder sentar las bases para la realización de los mapas de riesgo de inundación y de los denominados planes de prevención, protección y mitigación de los efectos de las inundaciones, así como su actualización periódica.
- Por otra parte, se identifica la necesidad de llevar a cabo proyectos para la mejora de información básica, como el modelo digital de elevaciones (MDE) o la cartografía de usos de suelo, de cara a constituir no sólo una base firme para este tipo de proyectos, sino también la de otros muchos proyectos que hacen uso de este tipo de información. Sería de especial interés disponer de un modelo digital del terreno (MDT) en lugar de un MDE. El MDE incluye cotas de las copas de los árboles y los edificios, pudiendo sesgar los datos en algunas zonas. Esta situación quedaría solventada con la utilización de un MDT, que representa fielmente las cotas del terreno. Se recomienda la utilización de un MDT con una resolución vertical de, al menos, decímetros, puesto que en los fenómenos de las inundaciones el orden de magnitud de las variaciones verticales de calado son de pocos metros.

10. Referencias

INFORMACIÓN GENERAL

- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (<http://www.ana.gob.pe/>)
- Comisión Europea y Comunidad Andina (2006)

INFORMACIÓN HISTÓRICA

Instituciones y Organismos

- SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (<http://www.senamhi.gob.pe/>)
- ANA. Autoridad Nacional del Agua (<http://www.ana.gob.pe/>)
- ITDG. Intermediate Technology Development Group. (<http://www.itdg.org.pe/>)
- DESINVENTAR. Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (<http://www.desinventar.org/es/>)
- EM-DAT. Emergency Disasters Database. (<http://www.emdat.be/>)
- PREDECAN. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina (<http://www.comunidadandina.org/predecan/>)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)
- CENEPRED. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- MEF. Ministerio de Economía y Finanzas de Perú
- INADE. Instituto Nacional de Desarrollo.
- DGAS. Dirección General de Aguas y Suelos.
- CORPAC. Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial. (<http://www.corpac.gob.pe/Main.asp>)
- ELECTROPERU y EGENOR (<http://www.electroperu.com.pe/> y <http://www.egenor.net/private.plenummedia.srv/index.html>)
- IGN. Instituto Geográfico Nacional. (<http://www.ign.gob.pe/>)
- Ministerio del Ambiente de Perú (<http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download.aspx>)

Fuentes documentales

- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC) *“Estudio de amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Cusco”*. Lima, Diciembre de 2009.
- Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051 *“Estudio: Mapa de Peligros de la Ciudad de Bellavista. Informe Final”*.
- Jorge Reyes. *“Inundaciones y Drenaje Urbano”* (Capítulo 8).
- Yliana Rojas-Medina; Jeannette Ávila Vargas Machuca; Omar V. Trujillo. *“Trastorno de estrés agudo y episodio depresivo mayor en víctimas de una inundación en Tingo María: Prevalencia y Efectos de su Desplazamiento a un Albergue”*. Revista Perú MEd Exp Salud Pública. 2008; 25 (1): 66-73
- INRENA-MINAG *“Diagnóstico de la ocurrencia de sequías e inundaciones y cambio climático global en el Perú”*.

DATOS TOPOGRÁFICOS

Instituciones y Organismos

- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (<http://www.ana.gob.pe/>)
- INGEMMET. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (<http://www.ingemmet.gob.pe/form/Inicio.aspx>)
- IGN. Instituto Geográfico Nacional. (<http://www.ign.gob.pe/>)
- COFOPRI. Organismo de Formación de la Propiedad Informal. (<http://www.cofopri.gob.pe/>)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)
- GORE. Gobiernos Regionales

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Instituciones y Organismos

- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (<http://www.ana.gob.pe/>)
- GORE. Gobiernos Regionales
- COFOPRI. Organismo de Formación de la Propiedad Informal. (<http://www.cofopri.gob.pe/>)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)

- Ministerio del Ambiente de Perú. (<http://www.minam.gob.pe/>)

DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS: PLUVIOMÉTRICOS Y DE AFORO

Instituciones y Organismos

- SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (<http://www.ana.gob.pe/>)
- ELECTROPERU y EGENOR (<http://www.electroperu.com.pe/> y <http://www.egenor.net/private.plenummedia.srv/index.html>)
- CORPAC. Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial. (<http://www.corpac.gob.pe/Main.asp>)
- DGAS. Dirección General de Aguas y Suelos
- INADE. Instituto Nacional de Desarrollo. (<http://www.urbanoperu.com/Enlaces-de-Urbanismo/INADE>)

Fuentes Documentales

- World Meteorological Organization (WMO). Guía de Prácticas Hidrológicas. Publicación nº 168

INVENTARIO DE ELEMENTOS EXPUESTOS

- Google Earth. <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

Edificios

Instituciones y Organismos

- CENEPRED. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (<http://cenepred.gob.pe/>)
- Google Earth. (<http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>)
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú. (<http://www.inei.gob.pe/>)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)
- GORE. Gobiernos Regionales

Fuentes Documentales

- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú. “4.5 Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia, 2011 – 2012”

Vías de comunicación

Instituciones y Organismos

- CENEPRED. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (<http://cenepred.gob.pe/>)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- Viceministerio de Transportes
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)

Fuentes Documentales

- MTC. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. Dirección General de Caminos. “*Manual de Diseño Geométrico para carreteras (DG-2001)*”

Usos de suelo

Instituciones y Organismos

- Google Earth. (<http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>)
- Corine Land Cover. (<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>)
- CENEPRED. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (<http://cenepred.gob.pe/>)
- SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (<http://www.senamhi.gob.pe/>)
- Ministerio de Agricultura. (Ministerio de Agricultura)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)
- GORE. Gobiernos Regionales
- IMA (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente)

Fuentes Documentales

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del Gobierno de España. “*Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*”

Patrimonio Histórico

Instituciones y Organismos

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Desastres (CENEPRED): institución de la cual se ha obtenido información geográfica con la ubicación y delimitación de los sitios con interés arqueológico.

- Google Earth: identificación de edificios y sitios con interés histórico-cultural utilizada para completar la información geográfica proporcionada por CENEPRED.
- Historia Natural (<http://www.historiacultural.com/2010/02/cultura-inca-tahuantinsuyo.html>)
- Ministerio de Cultura

Fuentes Documentales

- Dassanayake, D. Durzel, A. Oumeraci, H. “*Evaluation of Cultural Losses*”. Published in Xtrem Risk. 10 December 2012
- Ley N° 28296 del Ministerio de Cultura del Perú, también llamada la Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. “*Conociendo Cusco*”. Junio del 2001.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. “*Conociendo Huánuco*”. Agosto del 2000.
- Instituto Nacional de Cultura. Centro Nacional de Información Cultural. “*Relación de Monumentos Históricos del Perú*”. Lima, Diciembre de 1999.
- Diario Oficial El Peruana. Normas Legales. Lima, jueves 30 de mayo de 2002.
- Resolución Directoral Nacional N° 1499/INC. Lima, 6 de octubre de 2009.
- DIGESA. Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud del Perú. Relación de Cementerios según Departamento-Piura. (http://www.digesa.sld.pe/DEPA/inventario_cementerio/piura.pdf).
- DIGESA. Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud del Perú. Relación de Cementerios según Departamento-Huánuco. (http://www.digesa.sld.pe/DEPA/inventario_cementerio/huanuco.pdf).

CÁLCULO DE RIESGOS Y CURVAS DE VULNERABILIDAD

- CAPRA. Probabilistic Risk Assessment Program (<http://www.ecapra.org/es/acerca-de-capra>)
- FEMA. Federal Emergency Management Agency. (<http://www.fema.gov/hazus>)
- USACE. United States Army Corps of Engineers (<http://www.usace.army.mil/>)

- Merz et al. (2007), Flood Risk Mapping At The Local Scale: Concepts And Challenges, en S. Begum et al. (eds.), Flood Risk Management in Europe, 231–251, Springer.

VALOR EXPUESTO

Agricultura

- CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres)

Industrial

- MH. Ministerio de Hacienda de Costa Rica. Órgano de Normalización Técnica 2013. “*Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva*”.

Edificios y/o Viviendas

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Resolución Ministerial N° 278-2013- Vivienda “Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificaciones para la zona de Costa, Sierra y Selva. Año 2014”*. Publicado en Octubre de 2013.

Vías de Comunicación

- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones)
- Plan Intermodal de Transportes del Perú - OGPP Informe Final - Parte 4 - Consorcio BCEOM-GMI-WSA
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas)
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe)

DAÑOS INDIRECTOS

Instituciones y Organismos

- Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. Sistema de Información Regional de Ayuda para la Toma de Decisiones.
- Direcciones Regionales de Agricultura Departamentales
- Dirección General de Agricultura de Piura

Fuentes Documentales

- P. Brémond, F. Grelot, and A.-L. Agenais Review Article: *“Economic evaluation of flood damage to agriculture– review and analysis of existing methods Published in Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss”*. 7 Diciembre 2012.
- Yliana Rojas-Medina, Jeannette Avila Vargas Machuca, Omar V. Trujillo. *“Trastorno de estrés agudo y episodio depresivo mayor en víctimas de una inundación en Tingo María: prevalencia y efectos de su desplazamiento a un albergue”*. Rev. Perú Med Exp Salud Pública. 2008; 25 (1):66-73.
- David Nicolas Lamothe, Gilles Neveu-Officce International de l'Eau Benjamin Görlach, Eduard Interwies-Ecologic. *“Evaluation of the impact of floods and associated protection policies”*. Final Report. Abril 2005.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. *“Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación”*. Julio 2013.
- CEPAL. *“Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres”*. 2003
- Iberinsa. *“Plan medioambiental del Ebro y tramo bajo del Cinca”*. 2005
- Contraloría General de la República. Gerencia de Estudios y Publicaciones. Informe nº 002-2006-CG/EI. *“Estudio sobre la determinación de la tasa por arbitrios municipales”*. 2006
- Ministerio del Ambiente del Perú. Viceministerio de Gestión Ambiental. *“Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales: Gestión 2010-2011”*.
- Organización Panamérica de Salud. *“Gestión de residuos sólidos en situaciones de desastre”*. Serie salud ambiental y desastres Nº1. 2003

CURVA DE PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (PAE)

Instituciones y Organismos

- DESINVENTAR. Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (<http://www.desinventar.org/es/>)
- INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil (<http://www.indeci.gob.pe/>)
- GTZ. Agencia de Cooperación Técnica Alemana. (<http://www.giz.de/>)
- Proyectos de Alto, Medio y Bajo Huallaga. (<http://www.pehcbm.gob.pe/>)
- COPESCO. (<http://www.plancopeconacional.gob.pe/>)

Fuentes Documentales

- Corporación Andina de Fomento. *“El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria retos y soluciones: volumen 5 Perú”*. ISBN: 9803401726.
- CENEPRED. *“Escenarios de riesgo ante la probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño”*. Lima. Octubre de 2012, 32 p.
- Mechler, Reinhard. Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ *“Análisis Costo-Beneficio de la Gestión del Riesgo de Desastre en Países en Vías de Desarrollo y Emergentes”*.
- CAF. *“El fenómeno El Niño 1997-1998, Memoria, Retos y Soluciones”*. Año 2000.
- Maniak, citado en Mechler, R., (2005). *“Recurrencia e intensidad de peligro de inundación (flujos máximos) en Perú”*.

**ANEXO I: GUÍA DE LA OBTENCIÓN DE LA LLANURA POTENCIAL DE
INUNDACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA EN EL TERRITORIO NACIONAL DEL
PERÚ**

1. INTRODUCCIÓN

En las cuencas de estudio seleccionadas de Perú (Piura, Huallaga y Urubamba-Vilcanota) y siguiendo las recomendaciones del Pliego, se ha llevado a cabo una delimitación aproximada de las llanuras potenciales de inundación de la red hidrográfica para cada periodo de retorno en la que se han tenido en cuenta criterios geomorfológicos, históricos e hidrológico-hidráulicos. Es decir, se trata de las llanuras potenciales, para cada periodo de retorno, estimadas para cada *intertramo* y basándose en los resultados obtenidos tras la realización de la modelización hidráulica de los tramos de estudio. Este trabajo se enmarca dentro de los trabajos realizados para el contrato de consultoría y se recoge íntegramente en el Informe final. Asimismo, se ha realizado la delimitación para el resto de la red hidrográfica del país como ampliación al estudio y a los requisitos dispuestos en el Pliego. A diferencia del trabajo descrito en el párrafo anterior, en este caso se ha generado una única llanura potencial de inundación. En este sentido, se considera llanura potencial a la máxima extensión del terreno que podría llegar a inundarse, lo que no significa que se corresponda con la máxima extensión inundada por el periodo de retorno más grande del presente estudio (500 años, T500).

En el presente documento se describe la metodología que se ha desarrollado para la obtención de la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica en el territorio nacional del Perú.

Estos trabajos se enmarcan dentro del Contrato de Consultoría del Desarrollo del *Perfil del Riesgo por Inundaciones en Perú*, como un proyecto adicional a los recogidos en el Pliego.

La delimitación de la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica del Perú se ha llevado a cabo con el fin de limitar y definir el área de extrapolación de los resultados a nivel nacional y, en la definición de la metodología a seguir, se han tenido en cuenta las consideraciones del Pliego así como lo acordado en las reuniones con el cliente.

Por otro lado, debido a la información de partida disponible, a la vasta extensión del territorio nacional del Perú y al objeto de este trabajo suplementario, se ha consensuado que el método más adecuado para la delimitación de la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica del Perú se fundamente en criterios, técnicas y análisis geográficos realizados a través de datos y software GIS (sistema de información geográfica).

A continuación, se indican las fuentes de información empleadas, las limitaciones del método y, por último, se describe la metodología aplicada en la que se incluye la revisión manual de los resultados, de manera que se tienen en cuenta, además del criterio geográfico, criterios geomorfológicos e históricos.

2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la presente metodología se ha empleado el MDE (modelo digital de elevaciones) de 30 metros por 30 metros (30x30) de tamaño de píxel, que ofrece la NASA y puede ser descargado desde diversos portales. Por ejemplo, desde: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

3. LIMITACIONES DEL MÉTODO

La obtención de la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica de todo el territorio nacional del Perú empleando únicamente métodos geográficos tiene limitaciones de gran relevancia, por esta razón y para enfatizar su importancia, se ha priorizado el orden de este apartado dentro el documento.

A continuación se incluye una relación no exhaustiva de las limitaciones del método GIS empleado:

- La información de base que se ha empleado ha sido el modelo digital de elevaciones (MDE) de 30 metros por 30 metros (30x30) de tamaño de píxel, por ser una información disponible, de calidad, continua y completa de todo el territorio de Perú y procedente de una única fuente. A diferencia de los modelos digitales del terreno (MDT), en los valores de los modelos digitales de elevaciones (MDE) quedan incluidas las elevaciones de edificios o de vegetación (árboles). Para el objetivo de este trabajo, el uso de un MDT resulta más apropiado.
- El MDE disponible que se ha empleado tiene una resolución espacial *horizontal* de 30x30 de tamaño de píxel. Cada píxel tiene un único valor de cota y representa 900 m² de terreno, es decir, un MDE de 30x30 asume que, en los 900 m², no hay cambios en la altitud dentro de cada cuadrícula de la malla. Además, la resolución espacial *vertical* que tiene el MDE empleado, es decir, la variación mínima en los valores de las cotas, es de 1 metro (toma valores enteros). Por otro lado y de manera general, la extensión de una lámina de inundación tiene uno o varios órdenes de magnitud más que la altura que alcanza la lámina. En base a estas explicaciones y para mejorar los trabajos desarrollados en el marco del contrato de consultoría, sería necesario disponer de un MDE con una mayor resolución espacial vertical o, lo que es lo mismo, con mayor detalle de los valores de las cotas, de manera que pueda llegar a identificarse en las cotas, al menos, las variaciones de decímetros. En cuanto a la resolución espacial horizontal, el MDE 30x30 resulta adecuado para trabajos a escala nacional; no obstante, para trabajos a escala regional o local resulta necesario disponer de un MDE de mayor detalle.
- Las inundaciones son un fenómeno meteorológico extremo en el que las componentes hidrológicas e hidráulicas de la cuenca desempeñan un papel fundamental en la determinación de las características de la inundación, como son la extensión, el calado o la velocidad del flujo. En este trabajo, por encontrarse fuera del alcance del contrato y por no disponerse de esta información a nivel nacional, únicamente se han empleado criterios geográficos tanto para la extracción de la red hidrográfica como para la delimitación de la llanura potencial de inundación.
- En los trabajos de determinación de la llanura potencial para los tramos de las cuencas seleccionadas se han encontrado errores en el trazado de los ejes de los ríos que ha sido necesario corregir mediante fotointerpretación. De esta situación se extrae la

posibilidad de que existan otros errores en la información geográfica de la red hidrográfica de Perú a nivel nacional que se ha proporcionado.

4. METODOLOGÍA APLICADA

Tal y como se ha detallado anteriormente, a continuación se detalla el método GIS (geográfico) desarrollado *ad hoc* para la obtención de la llanura potencial de la red hidrográfica del Perú.

Como reseña principal, señalar que se ha utilizado el MDE 30x30 (y resolución vertical de 1 m) para la extracción de la red hidrográfica a nivel nacional y para la delimitación de la llanura potencial de inundación, de esta manera se garantiza la coherencia geográfica de los resultados.

4.1. OBTENCIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA A PARTIR DEL MDE

4.1.1. Proyección del MDE

A través de la herramienta *Define projection*, se da al raster “mosaic_30_rec” el sistema de referencia adecuado. Se trata del sistema proyectado: WGS_1984_UTM_Zone_18S.

Input:	“mosaic_30_rec”
Output:	“mde_30”

4.1.2. Fill

A través de la herramienta *Fill*, se completa y se eliminan huecos y errores existentes en el MDE (modelo digital de elevaciones).

Input:	“mde_30”
Output:	“mde_30_fill”

4.1.3. Flow Direction

A través de la herramienta *Flow Direction* se establece la dirección del flujo hidrológico de la pendiente del MDE.

Input:	“mde_30_fill”
Output:	“mde_30_FlowDir”

4.1.4. Flow Accumulation

A través de la herramienta *Flow Accumulation* se determina la acumulación del flujo de las celdas que fluyen hacia cada celda descendiendo sobre la pendiente del MDE.

Input:	“mde_30_FlowDir”
Output:	“mde_30_FlowAcc”

4.1.5.Con

A través de la herramienta *Con* se realiza una evaluación condicional de cada una de las celdas de entrada del ráster entrada ("mde_30_FlowAcc"). La elección de valores del condicional superiores a 100.000 (Value > 100000) de acumulación de flujo, ha resultado correcta para los objetivos del trabajo.

Input:	"mde_30_FlowAcc"
Output:	"mde_30_con100"

4.1.6.Stream Order

El siguiente paso es la asignación de un orden numérico a los segmentos del ráster que representan las ramas de una red lineal, es decir, se realiza una clasificación de arroyos. La herramienta a utilizar se denomina *Stream Order*, el método aplicado es el método Strahler y el valor constante que se establece es el 1.

Los ráster de entrada, tanto el ráster de arroyo ("mde_30_con100") como el ráster de dirección del flujo ("mde_30_FlowDir"), derivan de la misma superficie por lo que la salida de esta herramienta es de gran calidad.

Inputs:	"mde_30_con100" "mde_30_FlowDir"
Output:	"mde_30_order100"

Los valores que toma el ráster de salida van del 1 al 7, es decir, la clasificación de arroyos consta de 7 clases.

4.1.7.Stream to Feature

A continuación, se emplea la herramienta *Stream to Feature* que convierte el ráster que representa una red lineal a entidades que representan la red lineal (capa de geometría lineal).

Inputs:	"mde_30_order100" "mde_30_FlowDir"
Output:	"mde_30_streamFt100"

La clasificación de arroyos queda recogida en el atributo GRID_CODE de la tabla asociada.

4.1.8.Supresión de tramos pequeños

Se genera una copia de la capa de geometría lineal con la que se sigue trabajando en adelante: "mde_30_streamFt100_ok".

Se elimina de dicha capa aquellos elementos de menor entidad (es decir, cuya clasificación de arroyos es 1) y cuya longitud es inferior a 10.000 metros (10 km). Resultan eliminados los 1782 elementos que cumplen ambas condiciones.

Tras esta depuración, la red hidrográfica generada a partir del MDE consta de 5526 elementos.

4.1.9. Adición de nuevos atributos

Se añaden nuevos atributos a la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica extraída a partir del MDE.

Denominación	Tipo	Descripción
Cuenca_tipo	Short	Clasificación según la región hidrográfica a la pertenece.
Rio_tipo	Short	Clasificación de arroyos obtenida a través del método Strahler.
Buffer	Long	Anchura máxima del valle fluvial que va a contener la llanura potencial de inundación. Esta anchura es medida desde el eje del río.
Calado	Double	Altura relativa sobre la superficie del terreno que se estima que alcanzaría la lámina de agua de la potencial llanura de inundación.

Para la cumplimentación de estos nuevos atributos se procede de la siguiente manera:

- Cuenca_tipo:

Se emplea la capa de geometría poligonal que contiene todas las cuencas hidrográficas de Perú con indicación de las regiones hidrográficas en la que se clasifican: Región Hidrográfica del Amazonas, Región Hidrográfica del Pacífico o Región Hidrográfica del Titicaca.

Para los objetivos de este trabajo, se han clasificado los tramos de red correspondientes a la Región Hidrográfica del Amazonas junto con los tramos correspondientes a la Región Hidrográfica del Titicaca:

Cuencas hidrográficas de Perú (NOMB_UH_N1)	Cuenca_tipo
Región Hidrográfica del Pacífico	1
Región Hidrográfica del Amazonas	2
Región Hidrográfica del Titicaca	2

- Rio_tipo: Se calcula como la combinación de los campos: Cuenca_tipo & GRID_CODE. Es decir, este campo recoge la combinación del tipo de región hidrográfica del país y la clasificación del arroyo. Se obtienen los siguientes tipo de ríos:

Rio_tipo
11
12
13
14
21
22
23
24
25
26
27

- Buffer: Se realiza un análisis morfológico de las anchuras máximas de los valles fluviales que van a contener las llanuras potenciales de inundación de cada tipo de río. Esta anchura es medida desde el eje del río.

Como se explicará más adelante (véase el apartado 4.2.9), el atributo Buffer se emplea para la generación de los perfiles transversales largos. Estos perfiles han de ser lo suficientemente largos para contener a la llanura potencial de inundación, por esta razón se emplean las anchuras máximas de los valles fluviales de cada tipo de río. De esta manera queda asegurado que, en el proceso de cálculo, las llanuras potenciales de inundación van a quedar totalmente incluidas en este límite exterior. Es decir, los valores de buffer se han determinado para cada tipo de río tras llevar a cabo el análisis morfológico de las anchuras máximas de sus valles fluviales y los citados valores emplean para la generación de los perfiles transversales largos, que, a su vez, van a delimitar la zona sobre la que se va a llevar a cabo en el proceso de obtención de las llanuras potenciales de inundación. En este punto, es necesario recalcar que en la obtención de las citadas llanuras (véase el apartado 4.3.1) se emplea el atributo “Calado TIN” que combina el calado en cada tipo de río con la cota del MDE.

Se han determinado los siguientes anchos máximos (valores expresados en metros) de los valles fluviales atendiendo a la clasificación del tipo de río:

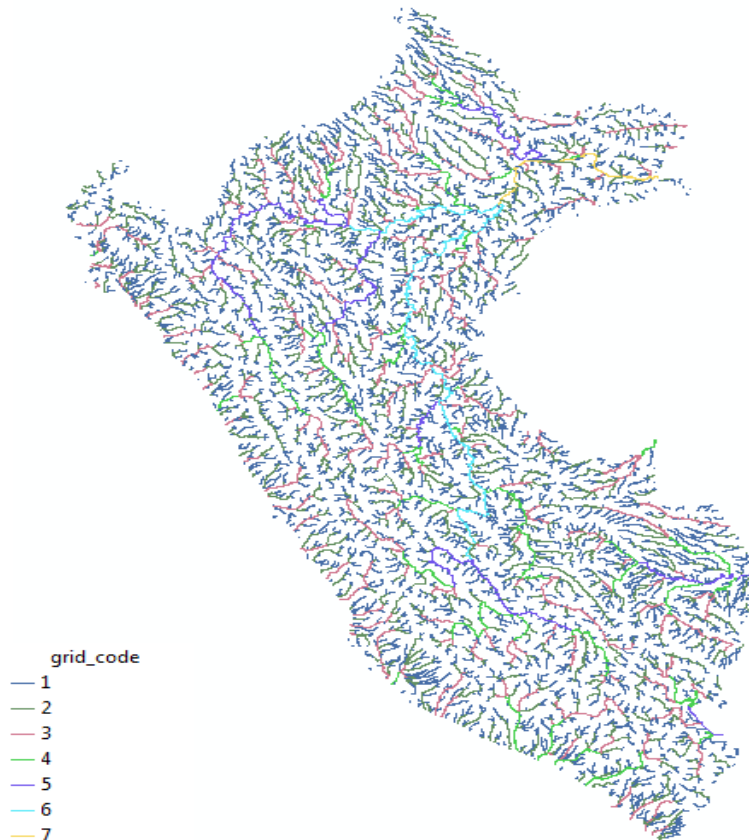
Rio_tipo	Buffer (m)
11	1000
12	5000
13	10000
14	14000
21	1000
22	5000
23	10000
24	14000
25	20000
26	20000
27	20000

- **Calado:** Se estiman los valores de la altura relativa sobre la superficie del terreno que se estima que alcanzaría la lámina de agua de la potencial llanura de inundación. Se han estimado los siguientes calados (valores expresados en metros) atendiendo a la clasificación del tipo de río:

Rio_tipo	Calado (m)
11	5
12	5
13	5
14	5
21	10
22	10
23	10

Rio_tipo	Calado (m)
24	10
25	15
26	15
27	15

4.1.10. Visualización de la red hidrográfica obtenida a partir del MDE



4.2. OBTENCIÓN DE PERFILES TRANSVERSALES

4.2.1. Obtención de estaciones sobre el eje del río

En este paso se emplea la extensión **ET Geo Wizards** para ArcGIS y, en concreto, la herramienta *Create Station Points*.

A través de esta herramienta, se generan puntos (también denominados *estaciones*) con la misma separación espacial a partir de la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica obtenida del MDE. Se determina que la separación espacial entre estaciones que resulta adecuada para los objetivos del trabajo es de 500 metros.

Input:	"mde_30_streamFt100_ok"
Output:	"station_500"

Se obtienen 204809 puntos sobre la red hidrográfica espaciados 500 metros entre sí.

4.2.2. Adición de nuevos atributos

Se añaden nuevos atributos a la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica extraída a partir del MDE.

Denominación	Tipo	Descripción
ID_PERFIL	Long	Código único de identificación del perfil.
MARGEN	Short	Indicación de la ubicación de la estación sobre el perfil transversal.

Para la cumplimentación de estos nuevos atributos se procede de la siguiente manera:

- ID_PERFIL: Mismos valores que el OBJECTID (valores autonuméricos únicos que se han generado en el proceso de obtención de la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica).
- MARGEN: Según se trate de la ubicación que va a tener la estación en el perfil transversal se cumplimentarán de la siguiente manera:

Ubicación de la estación en el perfil transversal	MARGEN
En la margen izquierda	1
Coincidente con el eje del río (red hidrográfica extraída a partir del MDE)	2
En la margen derecha	3

De esta manera, cada perfil estará formado por 3 estaciones: la coincidente con el eje del río, la estación de la margen izquierda y la estación de la margen derecha.

En este paso, todos los elementos de la capa de estaciones se localizan en el eje del río, por lo que el atributo MARGEN se cumplimenta con un 2.

4.2.3. Unión espacial

A continuación se realiza la unión espacial de la capa de estaciones ("station_500") con la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica extraída a partir del MDE ("mde_30_streamFt100_ok"). De esta manera, las estaciones incluyen todos los atributos de interés de los elementos de la geometría lineal que tienen más próximos: Cuenca_tipo, Rio_tipo, Buffer y Calado.

Se genera una nueva capa: "stations_500_join".

4.2.4. Adición de los valores del MDE

A través de la herramienta *Extract Values to Points*, se extrae para cada una de las estaciones el valor de la cota que tiene el MDE (se emplea el MDE proyectado) en el punto en el que se ubica cada estación.

Inputs:	"stations_500_join" "mde_30"
Output:	"stations_500_join_z"

La nueva capa de geometría de puntos contiene el nuevo atributo “RASTERVALUE” que corresponde con la cota de cada estación en la ubicación en la que se encuentra sobre el MDE. Las cotas obtenidas van desde 0 a 4868 metros.

4.2.5. Generación de las líneas de cada margen

Mediante la herramienta *Buffer*, empleando la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica extraída a partir del MDE (“mde_30_streamFt100_ok”) y estableciendo el criterio de distancia de 10 centímetros, se genera la capa de la margen izquierda del río y la capa de la margen derecha.

Se obtienen, por tanto, dos capas de geometría poligonal, una de cada margen.

A continuación, mediante la herramienta *Feature to line*, cada una de estas capas se convierte a geometría lineal. Para ello, se tiene en cuenta la capa de geometría lineal que representa la red hidrográfica extraída a partir del MDE (“mde_30_streamFt100_ok”, también se introduce como *input* en la herramienta). Se obtienen dos capas de geometría lineal, una de cada margen: “buffer_i” y “buffer_d”.

Las capas de geometría lineal de cada margen (“buffer_i” y “buffer_d”) han de ser depuradas. Para ello, de cada una de las capas de geometría lineal se elimina la línea que coincide con el eje del río de ambas capas: Se realiza una selección por localización (*Select by location*) de manera que se seleccionen todos los elementos de las capas de geometría lineal de cada margen que coinciden (*are identical to*) con el eje del río (se emplea la capa “mde_30_streamFt100_ok”) y, seguidamente, en una sesión de edición se eliminan los elementos que han resultado seleccionados de cada capa. De esta manera se obtienen las capas de geometría lineal de cada margen, separadas 10 centímetros del eje del río.

4.2.6. Generación de las estaciones de cada margen

A través de la herramienta *Near* y utilizando las líneas de cada margen, se determinan las coordenadas de la ubicación de la estación en la margen izquierda y en la estación de la margen derecha del mismo perfil. Se realiza para todos los perfiles.

Se ejecuta la herramienta para la obtención de las coordenadas de las estaciones de la margen izquierda:

Input:	“stations_500_join_z”
Near:	“buffer_i”

El resultado de esta herramienta añade los atributos NEAR_X y NEAR_Y a la tabla de atributos de la capa. Estos atributos se corresponden con las coordenadas en la que se han de ubicar las estaciones en la margen con la que se esté trabajando (en este caso, en la margen izquierda).

A continuación, la tabla de atributos de la capa se exporta, se añade al proyecto, se generan los eventos atendiendo a los atributos NEAR_X y NEAR_Y y se genera la capa de estaciones de la margen izquierda: “stations_500_i”. Seguidamente, se modifica la información que indica la margen de la que se trata, es decir, se actualiza el campo MARGEN a 1 (margen izquierda). Y se obtiene la capa de geometría de puntos “stations_500_i” final: estaciones de la margen izquierda.

Se procede de igual manera para la obtención de las estaciones de la margen derecha. Para ello se emplea la capa “buffer_d” y en la actualización el campo MARGEN se ha de indicar el valor 3 (margen derecha). De esta manera, se obtiene la capa de geometría de puntos “station_500_d” final: estaciones de la margen derecha.

4.2.7. Obtención de la capa con todas las estaciones

A través de la herramienta *Merge*, las tres capas de estaciones se fusionan en una sola:

Inputs:	“stations_500_join_z” “stations_500_i” “station_500_d”
Output:	“station_500”

Se eliminan los campos NEAR generados en el paso anterior.

La capa resultante de geometría de puntos consta de 614426 estaciones. Para cada perfil (ID_PERFIL) la capa consta de tres estaciones: margen izquierda, eje del río y margen derecha (salvo para un caso en la cabecera de un afluente, que dispone de dos estaciones pero no dificulta el proceso y resulta asumible dada la densidad de la red fluvial obtenida).

4.2.8. Generación de perfiles cortos

A través de la herramienta *Points To Line* y de la capa que contiene todas las estaciones, se genera la capa de geometría lineal para cada uno de los perfiles. Atendiendo al buffer de las márgenes de la red hidrográfica, los perfiles que se generan en este paso tienen una longitud de 20 centímetros.

Input:	“station_500”
Output:	“perfil_corto”
Line field:	ID_PERFIL
Sort field:	MARGEN

A continuación, se separan los perfiles cortos según el tamaño del buffer de las potenciales llanuras de inundación (anchura de las potenciales láminas atendiendo al tipo de río). Las capas que se generan son:

- “perfil_corto_1000”
- “perfil_corto_5000”
- “perfil_corto_10000”
- “perfil_corto_14000”
- “perfil_corto_20000”

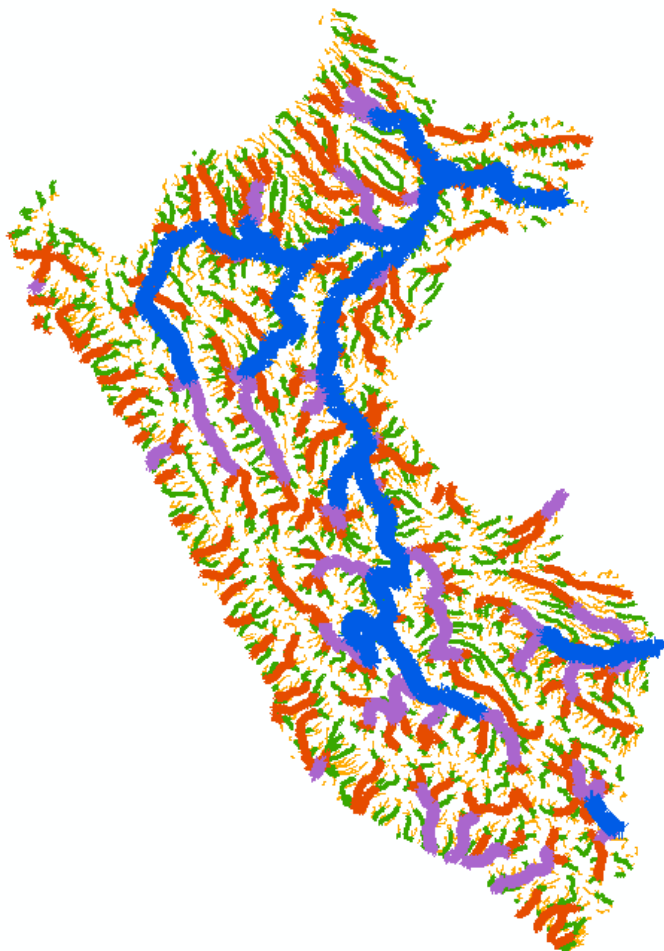
4.2.9. Generación de perfiles largos

A través de la herramienta *Extend vector lines* del software **GIS Whitebox GAT** se prolonga la longitud de los perfiles cortos. Las longitudes que se les da a los perfiles dependen del buffer de las llanuras de inundación.

De esta manera, los perfiles se han alargado en ambas márgenes hasta el tamaño del buffer que tiene cada perfil corto. Se generan las siguientes capas de perfiles largos:

Perfil corto	Buffer (m) (y extensión dada a los perfiles cortos)	Anchura aproximada (m)	Perfil largo generado
"perfil_corto_1000"	1000	2000	"perfil_1000"
"perfil_corto_5000"	5000	10000	"perfil_5000"
"perfil_corto_10000"	10000	20000	"perfil_10000"
"perfil_corto_14000"	14000	28000	"perfil_14000"
"perfil_corto_20000"	20000	40000	"perfil_20000"

Visualización del resultado obtenido:



Seguidamente, a través de la herramienta *Merge*, las cinco capas de perfiles largos se fusionan en una sola:

Inputs:	"perfil_1000" "perfil_5000" "perfil_10000" "perfil_14000" "perfil_20000"
Output:	"perfiles_largos_merge"

Se añaden nuevos atributos a la capa que contiene todos los perfiles alargados ("perfiles_largos_merge"):

Denominación	Tipo	Descripción
Calado_TIN	Double	Altura <i>absoluta</i> (incluye la cota) sobre la superficie del terreno así como la cota de la superficie del terreno en sí (se trata de un atributo de trabajo).

El nuevo atributo **Calado TIN** se cumplimenta para todos los perfiles largos de la siguiente manera: [Calado] + [RASTERVALUE].

Este nuevo atributo **Calado_TIN** es el empleado para la generación de las llanuras potenciales de inundación ya que combina el calado en cada tipo de río con la cota del MDE (véase el apartado 4.3.1).

Estas llanuras potenciales de inundación a obtener van a quedar contenidas dentro de los valles fluviales. Para cada tipo de río y mediante un análisis morfológico, se ha determinado la anchura máxima de cada valle fluvial, es decir, esta anchura establece el límite exterior del área en la que se va a llevar a cabo el proceso de obtención de las llanuras potenciales de inundación. Se han tomado las anchuras máximas con el fin de asegurar que las llanuras potenciales de inundación quedan totalmente contenidas dentro de sus límites. Dichas anchuras máximas son las recogidas en el atributo Buffer (véase el apartado 4.1.9).

4.2.10. Buffer de la red hidrográfica obtenida a partir del MDE

Se genera una capa de geometría poligonal con un solo elemento (dissolve type = all) que contenga el trazado de todos los ríos ("mde_30_streamFt100_ok"), atendiendo a los valores del buffer de las potenciales llanuras de inundación (Distance: Field = Buffer).

La capa generada se denomina: "Buffer".

Visualización del resultado obtenido:



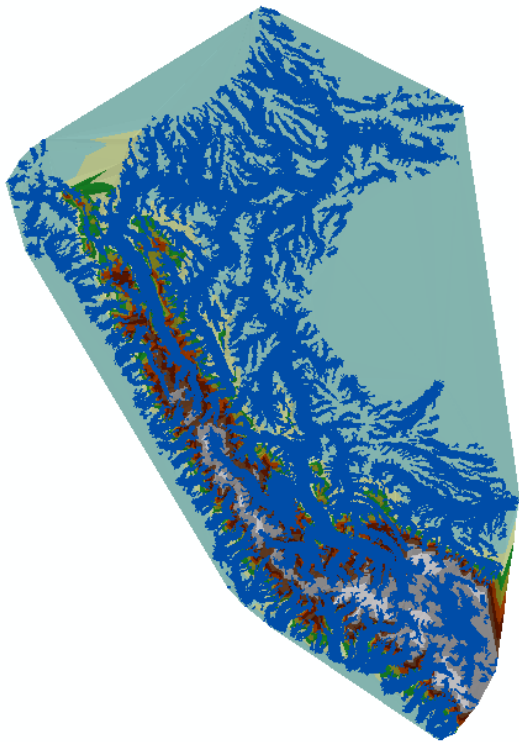
4.3. OBTENCIÓN DE LA SUPERFICIE DE ALTURAS DE LA LÁMINA DE AGUA

4.3.1. Create TIN

A través de la herramienta *Create TIN*, se genera la malla irregular de triángulos atendiendo a las alturas del campo Calado_TIN de la capa de perfiles largos ("perfiles_largos_merge") y tomando como límite exterior el buffer de la red hidrográfica obtenida a partir del MDE.

Inputs:	"perfiles_largos_merge"	Height_field = Calado_TIN SF_type = Hard line
Output:	TIN_llanuras2	Height_field = (vacío) SF_type = Soft clip

Visualización del resultado obtenido:



4.3.2. Conversión a formato ráster

A través de la herramienta *TIN to Raster*, se convierte el TIN generado a formato ráster, necesario para continuar con los siguientes pasos.

Inputs:	TIN_llanuras2
Output:	llanuras2
Opciones restantes:	Output Data Type = FLOAT Method = LINEAR Sampling Distance = CELLSIZE 30

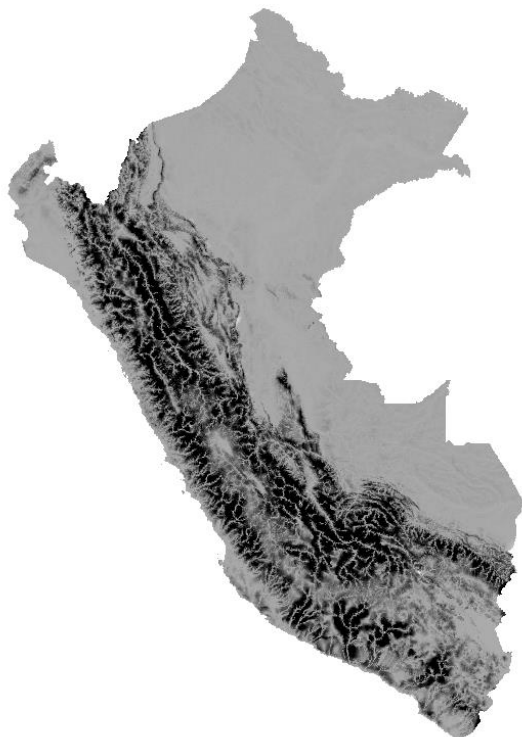
Se obtiene de esta manera el ráster de la lámina de agua, pero incluye los valores de las cotas del MDE.

4.3.3.Minus

A través de la herramienta *Minus*, se resta el ráster de la lámina de agua del MDE 30x30.

Inputs:	Llanuras2 "mde_30"
Output:	Llanuras3

Visualización del resultado obtenido:



4.3.4.Raster calculator

A continuación, se obtienen solamente las superficies de lámina de agua que son superiores a 0 metros.

Inputs:	Llanuras3
Output:	Llanuras4

Para ello se emplea la herramienta *Raster calculator*. Y la expresión algebraica de mapeo que se introduce es la siguiente: [MINUS] >= 0

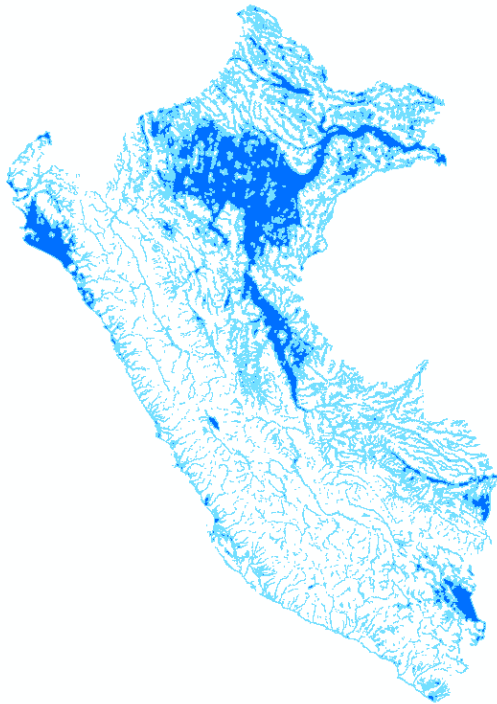
4.3.5.Conversión a formato vectorial

En este paso se convierte el resultado anterior (que sigue siendo ráster) a formato vectorial.

Para ello se emplea la herramienta *Raster to polygon*.

Se obtiene una capa de geometría poligonal.

Visualización del resultado obtenido:



4.3.6. Depuración de la capa vectorial

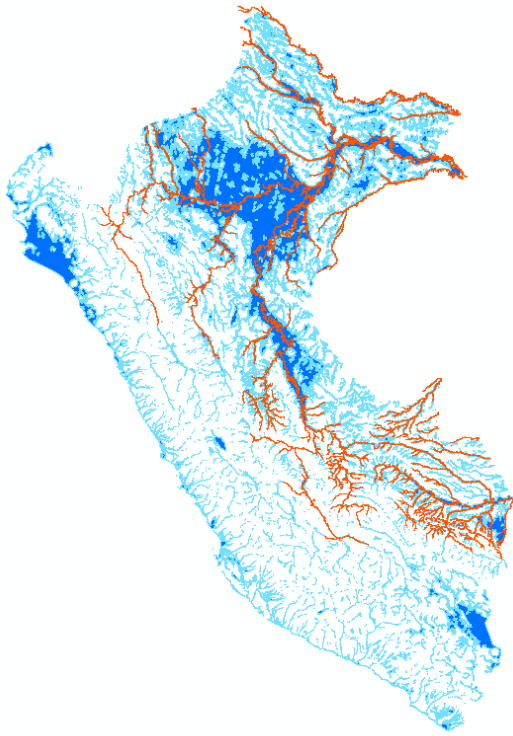
Dado que la información de partida es el MDE (malla de celdas de 30x30), es necesario llevar a cabo una depuración de la lámina de geometría poligonal.

En la depuración realizada se han eliminado islas de tamaño inferior a 10 hectáreas (a través de la herramienta *Eliminate polygon part*) y las láminas han sido suavizadas (a través de la herramienta *Smooth polygon* y aplicando una tolerancia de 500 metros) con el fin de naturalizar el resultado.

4.3.7. Obtención de la capa con la llanura potencial de inundación

A través de la herramienta *Merge*, la capa depurada del paso anterior y la capa de ríos navegables de Perú se fusionan en una sola capa. De esta manera, se tienen en cuenta las superficies ocupadas por los grandes ríos que discurren por Perú.

En la siguiente imagen se visualizan las capas de información antes de ejecutar la herramienta que fusionará en una sola capa las láminas de inundación.



4.4. REVISIÓN MANUAL

Una vez obtenida la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica del Perú a través del método GIS descrito anteriormente, es necesario realizar una revisión manual de los resultados.

Para lo cual, se ha tenido en cuenta la información de la que se ha dispuesto a lo largo del desarrollo de presente contrato de consultoría, ya haya sido tomada de diversas fuentes de información o generadas *ad hoc*.

Se realiza la revisión de la llanura potencial a partir de la siguiente información:

- Indicios y marcas de inundaciones históricas.
- Fotointerpretación de ortofotografías
- Resultados de la modelización hidráulica

5. VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se muestra una colección de imágenes representativas de la llanura potencial de inundación de la red hidrográfica del Perú generadas a partir del MDE 30x30 empleando el método GIS descrito anteriormente. Se incluyen imágenes de las tres regiones hidrográficas en las que se ha dividido el territorio del Perú en el marco de este contrato: costa, sierra y selva.

Previamente a la visualización de los resultados, se hace necesario recalcar que en la obtención de las llanuras potenciales de inundación, tal y como se ha detallado a lo largo de esta guía, se ha empleado el atributo “Calado TIN” que combina el calado en cada tipo de río con la cota del MDE. Por su parte, el atributo “Buffer” ha sido determinado a través del análisis morfológico de las anchuras máximas de los valles fluviales de cada tipo de río. Es decir, el

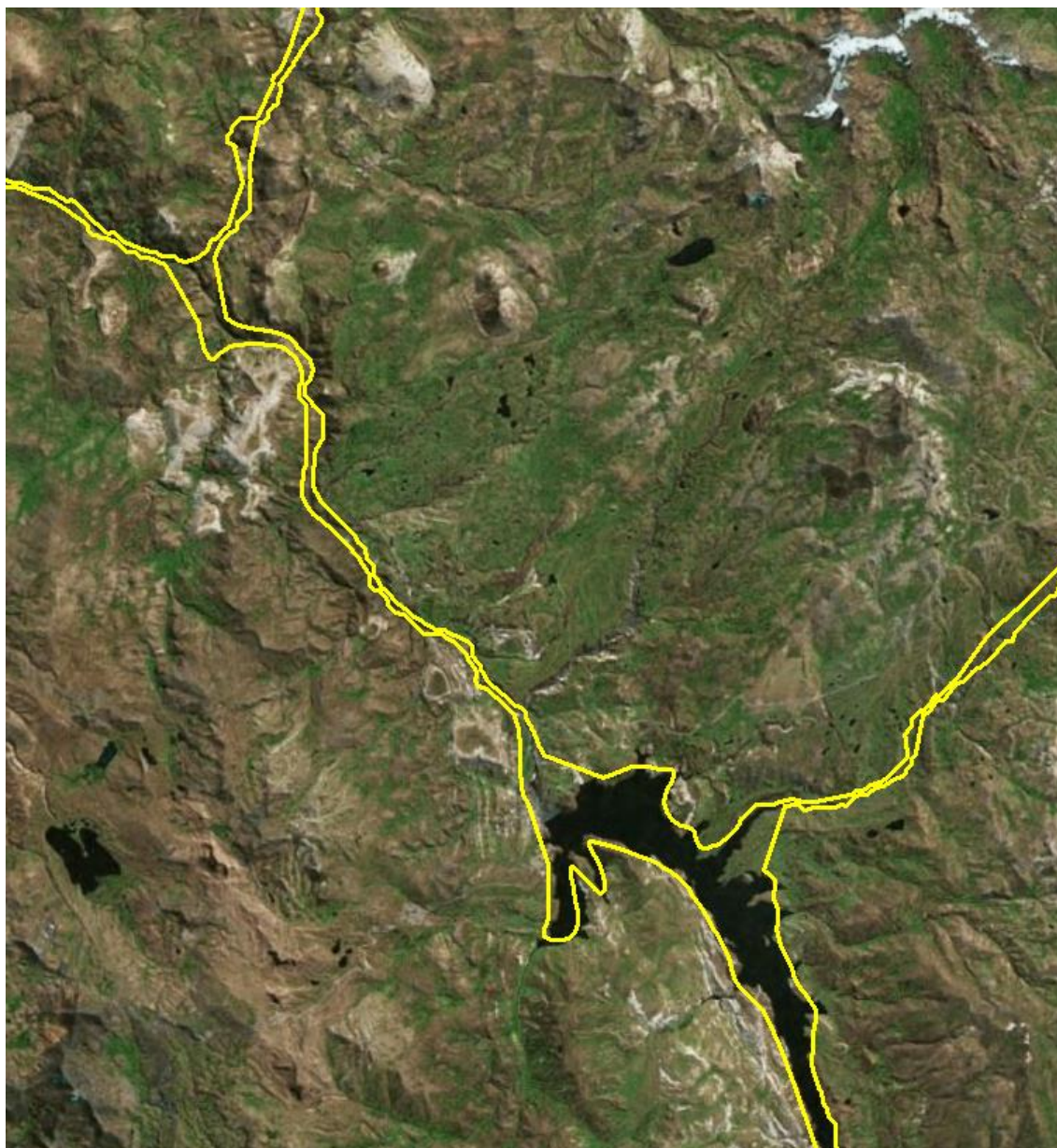
atributo “Buffer” ha permitido limitar la zona en la que se ha llevado a cabo el proceso de obtención de las llanuras potenciales de inundación.

En la imagen recogida en el apartado 4.3.7, se muestra el paso previo a la obtención de la llanura potencial de inundación de todo Perú a partir de valores de calados y cotas.

La siguiente imagen muestra un detalle de la llanura potencial de inundación obtenida para la zona de Piura (zona de costa):



En la figura a continuación se muestra una zona de sierra en la que se comprueba como la llanura potencial de inundación se distribuye por los fondos de los valles y engloba zonas de almacenamiento de agua.



Otra imagen en la zona de sierra, en concreto en el área de Urubamba:



Y, por último, se muestra una imagen en la zona de selva, en concreto en el río Huallaga, en la que se comprueba como la llanura potencial de inundación engloba al río.

