CIATF
Consejo Insular
de Aguas de Tenerife

DILIGENCIA: Se consigna la presente para hacer constar que el presente documento denominado "*Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación en la Demarcación Hidrográfica de Tenerife*", que consta de 185 páginas, se corresponde en todo su contenido con el tomado en consideración por la Junta de Gobierno del Consejo Insular de Aguas de Tenerife, mediante acuerdo adoptado en sesión de fecha 26 de septiembre de 2013.
Santa Cruz de Tenerife, 2 de octubre de 2013

Juan Luis Tienza Cuéllar
Secretario Delegado del Consejo Insular de Aguas de Tenerife

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

CONSULTOR:

CIVILPORT

Septiembre de 2013

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. ANTECEDENTES 1
1.1.1. El PLAN HIDROLÓGICO INSULAR DE TENERIFE 3
1.1.2. EL PLAN ESPECIAL DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS 5
1.1.3. INSTRUMENTOS PRELIMINARES 6
1.2. MARCO NORMATIVO Y ADMINISTRATIVO 7
1.3. MARCO TÉCNICO 8
1.4. CONTENIDO DEL DOCUMENTO 10

2. OBJETO 11

3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁMBITO DEL ESTUDIO 12

3.1. OROGRAFÍA Y RELIEVE 12
3.2. PRECIPITACIONES 13
3.3. RED HIDROGRÁFICA 14
3.4. OCUPACIÓN DEL SUELO 16
3.5. POBLACIÓN 16

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AVENIDAS EN TENERIFE 18

5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES 20

5.1. EL CONCEPTO DEL RIESGO 20
5.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LAS ESCORRENTÍAS DE LLUVIA 21
5.2.1. EL MÉTODO DEDUCTIVO O DIRECTO PARA EVALUAR EL RIESGO 21
5.2.2. EL MÉTODO INDUCTIVO O INDIRECTO PARA EVALUAR EL RIESGO 22
5.2.3. ESQUEMA METODOLÓGICO CONCEPTUAL ADOPTADO 22
5.2.4. MODELO DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN 23
5.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA ACCIÓN DEL MAR SOBRE LA COSTA 24

6. IDENTIFICACIÓN DE LAS AREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO AL DRENAJE TERRITORIAL 25

6.1. RECOPILACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA 25
6.1.1. RELIEVE INSULAR 25
6.1.2. RED HIDROGRÁFICA DE CAUCES 25
6.1.3. CLASES DE SUELO 26
6.1.4. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS 26
6.2. REALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y TRABAJOS ESPECÍFICOS 28
6.2.1. ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS DE AVENIDAS 28
6.2.2. ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS 30
6.2.3. ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURAS BÁSICAS O ESTRATÉGICAS 30
6.2.4. ANÁLISIS TERRITORIAL 32
6.2.5. DESARROLLO DE LA GUÍA METODOLÓGICA COMO INSTRUMENTO BÁSICO 32
6.2.6. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE CRUCE DE LA RED VIARIA CON LA RED HIDROGRÁFICA 33
6.2.7. ANÁLISIS DE DATOS DEL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS 34
6.2.8. ELABORACIÓN DE ENCUESTAS INFORMATIVAS 35
6.3. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE CONSULTA PÚBLICA 35
6.4. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE 36
6.4.1. IDENTIFICACIÓN DE REGISTROS DE RIESGO POTENCIAL 36
6.4.2. INVENTARIO INICIAL DE REGISTROS DE RIESGO SIGNIFICATIVO 37
6.4.3. INVENTARIO FINAL DE REGISTRO DE RIESGO CONSTATADO 37
6.4.4. CUALIFICACIÓN DE LOS REGISTROS DE RIESGOS INVENTARIADOS 37
6.5. SELECCIÓN DE AREAS DE LA RED HIDROGRÁFICA POTENCIALMENTE INDUNDABLES Y DE ALTO RIESGO 38
6.5.1. PLANTEAMIENTO 38
6.5.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE 39
6.5.3. CONSIDERACIONES PREVIAS 39
6.5.4. METODOLOGÍA 40
6.5.5. RESULTADOS 41

7. IDENTIFICACIÓN DE LAS AREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO A LA DINÁMICA LITORAL 43

7.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE 43
7.1.1. NIVELES DEL MAR 43
7.1.2. COTAS DEL TERRENO 43
7.1.3. USOS DEL SUELO 43
7.2. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 44
7.2.1. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES 45
7.2.2. VALORACIÓN DE LAS AREAS POTENCIALMENTE INUNDABLES 45
7.3. SELECCIÓN DE AREAS DEL LITORAL POTENCIALMENTE INUNDABLES Y DE ALTO RIESGO 45

8. INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO 47

9. DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA 50

TABLAS:

Tabla 1. Probabilidad de ocurrencia 21
Tabla 2. Longitudes totales por nivel de cauce 26
Tabla 3. Resumen del inventario de Infraestructuras básicas o estratégicas 31
Tabla 4. Resumen de registros de riesgos hidráulicos, según gravedad y geometría 39
Tabla 5. Registros de riesgo asociados a las ARPSIs seleccionadas 46
Tabla 6. Arpsi's asociadas al drenaje territorial (de origen fluvial) 42
Tabla 7. Arpsi's asociadas a la dinámica litoral (de origen costero) 46

FIGURAS:

Fig. 1 Pendientes del terreno 12
Fig. 2 Isoyetas de precipitación media (período 1980/81-2009/2010) 13
Fig. 3 Red insular de drenaje natural 15
Fig. 4 Precipitaciones máximas diarias para 500 años de período de retorno 27
Fig. 5 Mapa de números de curva calculados en la isla 28
Fig. 6 Ficha para recopilación de noticias. 29
Fig. 8 Ejemplo de cruce de la zona de policía con el planeamiento urbano 32
Fig. 9 Ejemplo de resultados generados por la aplicación de la Guía 33
Fig. 10 Indemnizaciones de siniestros generados por avenidas 35
Fig. 11 Cualificación de los registros de riesgo 38
Fig. 12 Calentamiento observado en el mundo 48

ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE INDICANDO EL LÍMITE DE LAS CUENCAS

ANEXO 2. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

ANEXO 3. MAPA DE USOS DEL SUELO DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

ANEXO 4. PLANO GUÍA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ARPSIs ASOCIADAS AL DRENAJE TERRITORIAL EN EL ÁMBITO DE LA DEMARCACIÓN

ANEXO 5. FICHAS DE LAS ÁREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO AL DRENAJE TERRITORIAL

ANEXO 6. EVALUACIÓN DE ZONAS COSTERAS EN RIESGO DE INUNDACIÓN

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye la memoria descriptiva de la **Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación (EPRI)** en la Demarcación Hidrográfica de Tenerife.

Con el fin de analizar la problemática de las inundaciones o riadas como consecuencia de la formación de avenidas por excesos de lluvia, así como de las inundaciones por marea y oleaje en zonas próximas a la costa, el EPRI centrará su estudio en aquellas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que mayor afección generen sobre personas, el medio ambiente, el patrimonio cultural, actividades económicas e infraestructuras.

Fruto de las tareas de planificación realizadas durante los últimos años en el ámbito de esta Demarcación, se cuenta con la información necesaria para realizar un análisis suficientemente detallado y un diagnóstico muy aproximado a la realidad del problema que suponen las riadas e inundaciones originadas por las lluvias. Todo ello forma parte del contenido del Plan de Defensa frente a Avenidas (en adelante, PDA) elaborado el Consejo Insular de Aguas de Tenerife - organismo de cuenca de esta demarcación - y que actualmente se encuentra en fase de tramitación, pendiente de aprobación definitiva por el Gobierno de Canarias.

Del conjunto de riesgos constatados en el PDA, se seleccionarán aquellos que cumplan los criterios que se indican en esta memoria[1] para la identificación y delimitación de las ARPSIs; el resto de registros de riesgo - contenidos en el inventario del citado documento de planificación - seguirán teniendo las consideraciones que en el mismo se establecen para cada caso.

Por otro parte, se dispone de una "Evaluación Preliminar de los riesgos de inundación en las zonas costeras de Tenerife"[2], y por tanto, de las ARPSIs asociadas al litoral costero. Ello tiene su origen en el compromiso que había asumido la Dirección General de la Costa y del Mar - Ministerio de Medio Ambiente, y Rural y Marino (MMAMRM) – para la realización de trabajos de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación de las zonas costeras de todas las Demarcaciones Hidrográficas, contando para ello con la colaboración del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

1.1. ANTECEDENTES

Tenerife es uno de los territorios españoles en el que la incidencia de los daños provocados por las avenidas tiene mayor importancia, aunque el detonante que convulsionó la percepción y valoración que tenía la sociedad tinerfeña sobre la presentación de fenómenos hidrológicos extremos en la isla y sus efectos, fue el temporal del 31 de marzo de 2002, que azotó la porción más meridional del área Santa Cruz – La Laguna.

Desde ese momento, no sólo la población en general, sino también la clase política, los técnicos y los científicos, comenzaron a posicionarse frente a esta contingencia, que aunque posible no era esperada. Al tiempo que se atendieron con carácter prioritario y de emergencia a la restauración de los cauces afectados y las infraestructuras dañadas, el CIATF

[1] Apartado 6.5. Selección de las Áreas de la Red Hidrográfica potencialmente inundables y de alto riesgo

[2] Documento remitido desde la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias con fecha de 4 de junio de 2012

continuó trabajando en la estrategia que había diseñado con anterioridad para tratar este tipo de problemas.

El CIATF entendió que en primer lugar se precisaba evaluar aceptablemente las avenidas mediante un proceso que debía comprender las fases siguientes:

- Implantación de la base de datos hidrometeorológicos de Tenerife.
- Establecimiento de un sistema de información geográfica de la red hidrográfica insular.
- Estudio de caracterización del régimen pluviométrico extremo de Tenerife.
- Desarrollo de un Sistema de Modelización Hidrológica, capaz de:
  - Simular crecidas en los cauces naturales
  - Calcular hidrogramas y caudales de avenidas en cualquier punto de la red insular
  - Regionalizar variables y parámetros hidrológicos,
- Elaboración de la metodología para el cálculo de caudales de avenida, que permitiese:
  - Formular hipótesis y criterios metodológicos homologados
  - Poner a disposición de la sociedad los datos disponibles
  - Conocer, prevenir y minimizar el riesgo de daños por avenidas e inundaciones.

Cubiertas las tres primeras fases se abordaron las restantes en forma de Guía Metodológica y, una vez disponible dicho instrumento, en 2003 se inició la elaboración del Plan Especial de Defensa frente a Avenidas (PDA). En síntesis, se trata de un plan que define las formas de actuación del CIATF en todo lo que se refiere al conocimiento, prevención y reducción del riesgo de daños a personas y bienes provocados por inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidrológicos de carácter extremo.

En relación a los antecedentes legislativos y normativos es importante destacar lo siguiente:

La seguridad de las personas y bienes frente a las inundaciones ha sido recogida tanto en la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias, como en el Plan Hidrológico de Tenerife.

La Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil, se desarrolla mediante la Norma Básica de Protección Civil, aprobada por el Real Decreto 407/1992 de 24 de abril, incluyendo entre los planes especiales de protección civil a elaborar por la Administración General del Estado y por las Comunidades Autónomas, los correspondientes al riesgo por inundación. En el marco de esta legislación destaca la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobada por acuerdo de Consejo de Ministros de 9 de diciembre de 1994, la cual establece el marco sobre el que se han desarrollado los planes especiales de protección civil ante el riesgo de inundaciones y que puede considerarse como la primera disposición que relaciona expresamente el nivel de riesgo de inundación del territorio con la planificación territorial y los usos del suelo.

El Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Suelo, establece en su articulado la necesidad de incluir en los instrumentos de ordenación territorial mapas de riesgos naturales y de la realización de informes de las administraciones hidrológicas en relación con la protección del dominio público hidráulico y de las costas sobre el deslinde y la protección del dominio público marítimo-terrestre.

En la Unión Europea, la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua), incorporada a nuestro ordenamiento jurídico mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, incluyó entre sus objetivos que el marco para la protección de las aguas debe contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. Su transposición al derecho español se realizó a través del Texto refundido de la Ley de Aguas.

La Directiva 2007/60/CE de "Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundación", que entró en vigor el 26 de noviembre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Directiva 2007/60/CE), obliga a los Estados Miembros, en su Capítulo II, a la realización de una evaluación preliminar del riesgo de inundación antes del 22 de diciembre de 2011 (EPRI), en todo el ámbito territorial de la demarcación, según la cual se deben identificar las zonas en las que exista un riesgo potencial significativo de inundación. Para cada una de las zonas identificadas, de acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, se realizará un plan de gestión del riesgo (antes del 22 de diciembre de 2015) basado en la elaboración de mapas de peligrosidad y de riesgo (antes del 22 de diciembre de 2013).

Siguiendo los criterios de la Directiva, los Países integrantes de los Estados Miembros de la Comunidad Europea, están acometiendo estas tareas conforme a diferentes aspectos que en general concurren en una determinación similar a la que se propone en este documento.

En España, se elabora un Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que establezca la zonificación de zonas inundables de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, y también el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de "Evaluación y gestión de riesgos de inundación" por el que se regulan los procedimientos para realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación, los mapas de peligrosidad y riesgo y los planes de gestión de los riesgos de inundación en todo el territorio español.

1.1.1. El PLAN HIDROLÓGICO INSULAR DE TENERIFE

El Plan Hidrológico Insular (PHI) de Tenerife tiene su origen en la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias, que determina su papel como instrumento básico de la planificación hidrológica para la isla y fija sus objetivos, su naturaleza, los criterios fundamentales para su elaboración y su contenido mínimo.

El PHI es *"de naturaleza integral en todo lo que afecte a recursos, aprovechamientos, obras e instalaciones superficiales y subterráneas, plantas de producción industrial e infraestructuras de conducción, distribución, depuración o reutilización de aguas, abarcando cuanto se refiere a su captación, alumbramiento, producción, gestión, conducción, distribución, utilización y protección"*[3]. Pero trata y regula parcialmente cada uno de los aspectos y porciones de dicha materia, en particular de lo que se ha dado en

[3] Art. 35.2 de la LAC.

llamar “Planeamiento Hidrológico de Superficie” y especialmente “los criterios sobre estudios, actuaciones y obras a llevar a cabo para prevenir y evitar daños por inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos”[4].

En concreto describe y justifica[5] entre las “actuaciones en los cauces” el objetivo básico de la Defensa contra Avenidas, instrumentado a través de un Plan Especial y cuyo esfuerzo inicial se centraría en la realización de estudios específicos para rellenar lagunas de información no disponible en el momento de redactar el PHI:

i. Estudio de precipitaciones máximas: Establecerá los hietogramas característicos de las tormentas asociadas con diferentes periodos de recurrencia
ii. Propuesta de criterios metodológicos para el cálculo de caudales punta de avenida en la isla de Tenerife.
iii. Cuantificación aproximada de los daños asociados con inundaciones en la isla en el pasado.
iv. Propuesta de criterios metodológicos para la consideración de las zonas inundables en los planes de ordenación territorial y en la planificación urbanística.

En las determinaciones en esta materia el PHI determina asimismo que:

v. El Plan Especial definirá las formas de actuación del CIATF en todo lo que se refiere a los estudios de delimitación de zonas inundables, inversiones para la reducción de estas zonas, protección contra inundaciones, la corrección de cauces y la eliminación de obstáculos naturales o artificiales al flujo.

El PHI, que está en vigor desde el 17 de febrero de 1997[6], tiene vigencia ilimitada, hasta que se produzca su revisión. Siguen su curso los trabajos que se iniciaron en 2005 para la revisión y adaptación del plan hidrológico vigente a la normativa europea, en particular, a la Directiva Marco de Aguas (DMA; 2000/60/CE), de acuerdo con lo dispuesto además en la Ley de Aguas de Canarias y el Plan Insular de Ordenación del Territorio de Tenerife.

En el tiempo trascurrido se ha llevado a cabo un amplio y complejo proceso de estudios y participación pública, hasta alcanzar la fase de tramitación y aprobación en que se encuentra actualmente, una vez superado el hito de elaboración de la propuesta de Proyecto de Plan/Avance del Plan Hidrológico de Tenerife (PHT) y su Informe de Sostenibilidad Ambiental.

Asimismo, la Evaluación Ambiental Estratégica del plan se encuentra culminada en la ordenación propuesta por el Avance, habiendo sido aprobada su Memoria Ambiental por la Comisión de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de Canarias (COTMAC), en sesión de 29 de octubre de 2012.

[4] Art. 38, extremo 7º de la LAC.

[5] Art. 3.6 del documento nº 1: Memoria.

[6] Decreto territorial 319/1996, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico Insular de Tenerife (BOC 14, 15 y 17 de febrero de 1997).

Con respecto al contenido del Avance del PHT, por su relación con este trabajo, merece destacar el hecho de que el nuevo instrumento de planificación incorpora un modelo de gestión drenaje territorial que dimana del PDA, además de la ordenación de las masas de aguas costeras.

1.1.2. EL PLAN ESPECIAL DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS

En agosto de 2005 se presentó el Avance del Plan de Defensa frente a Avenidas (PDA), dando comienzo a un proceso de participación social, institucional, profesional y ciudadana. En el Plan se aborda el análisis y el diagnóstico del riesgo de avenidas en la Isla para la realizar la propuesta de unos programas de actuación concretos. A tal efecto, se identifican y se describen las causas del riesgo, estableciéndose su valoración cuantitativa y cualitativa. Asimismo, se proponen normas, pautas de actuación y tipos de medidas correctoras, estructurales, no estructurales, informativas y de emergencia.

En abril de 2010 se aprobó inicialmente el PDA por la Junta General del Consejo Insular de Aguas, tras la exoneración por la Comisión de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de Canarias (COTMAC) de su evaluación ambiental estratégica. Cumplido el trámite de información pública, se preparó el documento (con fecha de mayo de 2012) requerido para el trámite de aprobación provisional por el Pleno del Cabildo de Tenerife. Dicho tramite se materializó el 24 de julio de 2012 y, en el mismo acto, se adoptó acuerdo de su remisión a la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias para que, de conformidad con la competencia atribuida al Gobierno de Canarias en el art. 7 letra c) de la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias, se proceda a la aprobación definitiva del PDA.

El amplio período de tiempo transcurrido desde la tramitación del Documento para la Aprobación Inicial del «Plan Especial de Defensa frente a Avenidas de Tenerife» hasta la fecha de su aprobación, si bien no resulta deseable desde un punto de vista procedimental, ha propiciado su enriquecimiento en términos de consolidación de sus distintos niveles argumentales, cada vez más asumidos por las diferentes instancias que deben contemplar su aplicación.

En este sentido, la consideración de la variable «Riesgo Hidráulico» tanto en las diferentes dimensiones de la planificación territorial y urbanística, como en los distintos niveles de los planes de protección civil, está posicionando la tasa de riesgo hidráulico como un elemento transversal, cuya referencia se considera ya imprescindible en el diseño de estrategias secto-territoriales.

De otra parte, la percepción social de la eficacia preventiva como fórmula de amortiguamiento del riesgo hidráulico no ha sido instantánea, sino fruto de una labor progresiva de acercamiento de la sociedad al conocimiento de la peligrosidad inherente a los fenómenos hidrometeorológicos adversos.

En esta línea, la Comunidad Europea ha venido a subrayar la importancia del riesgo hidráulico a través de la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, traspuesta al

ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, en los cuales se incorpora como novedad el riesgo hidráulico derivado de la interacción de las aguas litorales con los valores emplazados en la costa. Se encuadra en esta legislación el requerimiento de la documentación específica que incorpore el riesgo hidráulico costero, que –siendo objeto del Plan de Gestión de Riesgo de Inundación —no lo era de PDA que se elaboró y comenzó a tramitarse antes de la publicación y entrada en vigor de esta normativa.

Cabe significar que la citada Directiva refrenda la metodología de trabajo del Plan de Defensa frente a Avenidas, la cual es plenamente conforme con lo preconizado desde la instancia europea en relación con el riesgo hidráulico en tierra.

Desde una visión complementaria, el PDA promueve además la consideración del riesgo hidráulico tanto desde la perspectiva de los elementos perceptores como de los elementos generadores de riesgo hidráulico. Este enfoque se extiende, además, a aquellas instalaciones e infraestructuras cuya exposición al riesgo hidráulico podría inducir –en caso de fallo- peligros sanitarios, medioambientales o económicos con repercusiones negativas sobre la sociedad, no sólo en razón de su indisponibilidad pública, sino en razón de su potencial de dispersión del peligro catastrófico por rotura, explosión, etc.

En este mismo sentido, el Documento para la Aprobación Provisional del «Plan Especial de Defensa frente a Avenidas de Tenerife» (PDA) queda nuevamente validado por la legislación europea sobre infraestructuras críticas, esto es, la Directiva 2008/114/CE, sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección, cuyo diálogo sobre las instalaciones esenciales ya ha sido tenido en cuenta desde los trabajos iniciales del PDA.

De forma resumida, debe señalarse que el citado documento de planificación promueve la asunción del riesgo hidráulico desde su dimensión realista, definiendo el clima de convivencia con el mismo tanto en los niveles estratégicos (planes y programas) como en los niveles operativos (actuaciones).

Cabe decir –en consecuencia- que la propuesta en torno a la cual pivotan las propuestas de este Plan es establecer como línea base del riesgo hidráulico el riesgo socialmente asumible.

1.1.3. INSTRUMENTOS PRELIMINARES

El Consejo insular de Aguas de Tenerife ha venido realizando durante años una serie de estudios encaminados a tener un mejor conocimiento de la hidrología de superficie en la isla: la magnitud que pueden alcanzar las precipitaciones en un tiempo dado, la permeabilidad del suelo y la escorrentía generada son factores indispensables a la hora de proyectar soluciones; pero las condiciones de un territorio volcánico como el nuestro, con gran pendiente y multitud de barrancos con cuencas pequeñas, no se ajusta a los parámetros convencionales válidos en otros territorios.

Sobre la base de la información disponible, se abordó el estudio de los procesos de generación y circulación de las escorrentías, iniciándose el desarrollo del Modelo de Hidrología de Superficie, para poder realizar el balance hídrico de la Isla y determinar la magnitud de las variables climáticas e hidrológicas que intervienen. El análisis de las series de datos contenidos en este modelo ha permitido, entre otras utilidades, extraer conclusiones acerca de la variación temporal de dichas variables, en relación con la percepción actual sobre el cambio climático, así como realizar análisis de tendencias y pronósticos sobre su evolución futura.

Por otro lado, también era necesario evaluar adecuadamente el "caudal punta", con cuyo valor diseñamos y dimensionamos las obras de canalización, paso o defensa, sino también conocer el régimen de las aportaciones (el "hidrograma" de la avenida) en un determinado punto del cauce.

Una vez implantada la base de datos hidrometeorológicos, el CIATF abordó la elaboración de la Guía Metodológica para el cálculo de Caudales Máximos de Avenidas. Tratando de superar la metodología de trabajo tradicional, se ha desarrollado un Sistema de Modelación Hidrológica, que operativamente se resume en una aplicación informática dirigida a usuarios genéricos, y que integra todas las componentes necesarias para el cálculo: datos elaborados (hidrológicos, físicos y geométricos de los cauces y las cuencas), metodología y criterios e hipótesis homologadas. Con ello se pretende conseguir una deseable uniformidad en los cálculos hidrológicos, así como un mayor conocimiento y prevención y minimización del riesgo de daños por avenidas e inundaciones.

La Guía Metodológica fue presentada[7] e implantada en el primer semestre de 2003, a partir de cuya fecha ha venido siendo utilizada y probada en todos los cálculos de caudales extremos de la red de cauces de la Isla. Una vez que había sido suficientemente evaluada y completados otros trabajos en curso, culminó el desarrollo de una nueva versión que se presentó[8] públicamente en septiembre de 2009. En ella se incorporan algunas mejoras, tanto de la información como instrumentales, que hacen a esta herramienta aún más precisa y útil para obtener los caudales de avenida asociados a distintos periodos de retorno.

Con la experiencia y el conocimiento adquirido en los últimos años, se continúa trabajando en el desarrollo de sistemas de información hidrológica en tiempo real.

1.2. MARCO NORMATIVO Y ADMINISTRATIVO

El marco normativo y administrativo es el que deriva de las disposiciones que se establecen en la siguiente normativa:

[7] Jornadas sobre METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE AVENIDAS EN LOS CAUCES DE TENERIFE celebradas los días 12 y 13 de junio de 2003 en Santa Cruz de Tenerife.

[8] Jornadas sobre LA HIDROLOGIA DE SUPERFICIE EN TENERIFE celebradas los días 29 y 30 de septiembre de 2009, en sala Multiusos del Auditorio de Tenerife.

- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de "Evaluación y gestión de riesgos de inundación.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico.
- DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- REAL DECRETO 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas y sus modificaciones.
- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/86 de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/85, de 2 de agosto.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y posteriores modificaciones.
- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Ley 4/1999, de modificación de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y de Procedimiento Administrativo Común.
- Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y de Procedimiento Administrativo Común.
- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas.
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones del año 1995.

1.3. MARCO TÉCNICO

Del propio contenido de la legislación aplicable puede inferirse una cierta evolución, tanto de criterios y metodologías, como de aplicación de técnicas en materia de riesgo de inundaciones con el transcurso del tiempo. De una época en la que predominaba un control del riesgo basado en actuaciones estructurales se ha llegado a los tiempos actuales, abordando el problema con un planteamiento holístico, combinando medidas de gestión del territorio, del riesgo y de la emergencia, articuladas mediante normativas que incorporan todo estos conceptos y ofrecen un marco de actuación integral.

Los estudios y trabajos realizados por el CIATF han venido a confirmar, ya desde sus inicios, que el problema de defensa frente a las avenidas no podía resolverse totalmente sólo con actuaciones estructurales. Entre otras razones porque el volumen de las inversiones necesarias supera con mucho la capacidad financiera que se necesitaría y que la implantación de algunas de las infraestructuras tendrían impactos sociales y ambientales

muy negativos; además, es prácticamente inviable arbitrar nuevos criterios de drenaje y de diseño en núcleos urbanos ya consolidados.

Por ello, se han incluido en el PDA una serie de normas y recomendaciones que tratan de superar las grandes dificultades que presenta su formulación, ya que atañe básicamente al modelo de ocupación del territorio y no solo a la ocupación de las riberas de los cauces.

Por otra parte, hay que señalar que la realización de estudios de zonas inundables basadas en la modelización hidrológico-hidráulicas ha resultado una práctica bastante extendida durante largo tiempo. Sin embargo, en esta última década, los estudios y análisis de la peligrosidad por inundaciones se han ido orientando hacia estudios multidisciplinares que combinan métodos geomorfológicos, históricos e hidrológico-hidráulicos.

En el caso de Tenerife, las zonas anegables próximas a los cauces, por lo general, son escasas y su alcance se encuentra bastante limitado, como consecuencia del abrupto relieve y pronunciada pendiente del territorio. Los daños suelen deberse al carácter torrencial de las avenidas que, debido a las elevadas velocidades del agua, presentan una gran capacidad de arrastre y fuerza erosiva. Estas circunstancias han requerido que se adoptase en la Isla una metodología específica, muy acorde con la tendencia actual de realizar estudios multidisciplinares para análisis de inundabilidad.

Ciertamente, durante el proceso de elaboración del PDA hubo que aplicar técnicas propias de métodos indirectos o inductivos al caso particular de Tenerife, como única alternativa posible a los métodos directos o deductivos, que requieren el empleo de modelos de cálculo basados en las leyes de la física, previa obtención y procesamiento de datos Lidar y/o realización de topográficos de precisión, que también suponen un elevado coste añadido, para determinar zonas de peligro o con posibilidad de daños ante una avenida extraordinarias.

Por tanto, en consonancia con lo dispuesto en el RD 903/2010 para el cumplimiento de la Directiva de Inundaciones, se considera totalmente procedente la metodología aplicada, así como la validez de resultados obtenidos durante el proceso de elaboración del PDA, para su inclusión en la presente evaluación preliminar del riesgo y, en cumplimiento de la citada normativa, al menos en lo que se refiere al drenaje territorial. En efecto, la disponibilidad de dicha base documental ha permitido la identificación y selección de áreas potencialmente inundables y de alto riesgo en la red hidrográfica de Tenerife.

Como también se ha mencionado, la evaluación del riesgo hidráulico costero que es objeto del Plan de Gestión de Riesgo de Inundación, no formaba parte de los contenidos del PDA. Es por ello que, con respecto al riesgo vinculado a la dinámica litoral, a efectos de la presente Evaluación Preliminar del Riesgo Inundación en la Demarcación de Tenerife se adopta la metodología aplicada por el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, recogida en el Informe Técnico elaborado en diciembre de 2011 para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

1.4. CONTENIDO DEL DOCUMENTO

La presente ***memoria*** consta de los siguientes bloques de contenido:

- Descripción de los antecedentes normativos, administrativos y técnicos de los trabajos realizados. Así como el objeto fundamental de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) y las características fundamentales de la Demarcación Hidrográfica.

- Resumen del proceso metodológico seguido y de los resultados obtenidos en cada una de sus fases.

- Identificación de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo (ARPSIs), asociadas tanto al drenaje territorial (de origen fluvial) como a la propia dinámica litoral (de origen costero).

Esta memoria se acompaña además de la siguiente documentación:

- **ANEXO 1**. MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE INDICANDO EL LÍMTE DE LAS CUENCAS
- **ANEXO 2**. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE
- **ANEXO 3**. MAPA DE USOS DEL SUELO DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE
- **ANEXO 4**. PLANO GUÍA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ARPSIs EN EL ÁMBITO DE LA DEMARCACIÓN
- **ANEXO 5**. FICHAS DE LAS ÁREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO AL DRENAJE TERRITORIAL
- **ANEXO 6**. EVALUACIÓN DE ZONAS COSTERAS EN RIESGO DE INUNDACIÓN.

2. OBJETO

El objeto del presente documento es realizar una evaluación preliminar del riesgo de inundación con la finalidad de determinar aquellas zonas del territorio para las cuales se haya llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o en las cuales la materialización de ese riesgo puede considerarse probable en los términos indicados en la Directiva 2007/60/CE, que concluya en la identificación y preselección de unas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación, obtenidas al aplicar los umbrales de riesgo significativo.

Sobre la base de la información de que se disponga o que pueda deducirse con facilidad, incluyendo el impacto del cambio climático, se elaborará la evaluación preliminar del riesgo de inundación, que tendrá como mínimo el siguiente contenido[9]:

a) Mapas de la demarcación hidrográfica donde se representen los límites de las cuencas o subcuencas hidrográficas y, cuando existan, las zonas costeras, mostrando la topografía y los usos del suelo.

b) Una descripción de las inundaciones ocurridas en el pasado que hayan tenido impactos negativos significativos para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica y que tengan una probabilidad significativa de volver a producirse, con una indicación de su extensión y de las vías de evacuación de dichas inundaciones, y una evaluación de las repercusiones negativas que hayan provocado.

c) Una descripción de las inundaciones de importancia ocurridas en el pasado cuando puedan preverse consecuencias adversas de futuros acontecimientos similares.

d) En aquellos casos en que la información disponible sobre inundaciones ocurridas en el pasado no sea suficiente para determinar las zonas sometidas a un riesgo potencial de inundación significativo, se incluirá una evaluación de las consecuencias negativas potenciales de las futuras inundaciones, teniendo en cuenta, siempre que sea posible, factores como la topografía, la localización de los cursos de agua y sus características hidrológicas y geomorfológicas generales, incluidas las llanuras aluviales como zonas de retención naturales, la eficacia de las infraestructuras artificiales existentes de protección contra las inundaciones, y la localización de las zonas pobladas y de las zonas de actividad económica. Asimismo, se tendrá en cuenta el panorama de evolución a largo plazo, tomando en consideración las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de las inundaciones a partir de la información suministrada por las administraciones competentes en la materia.

e) En el caso de las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición, se tendrán en cuenta también la batimetría de la franja marítima, costera, los procesos erosivos de la zona y la tendencia en el ascenso del nivel medio del mar y otros efectos en la dinámica costera por efecto del cambio climático.

Todos estos trabajos han sido desarrollados en colaboración con las autoridades de Protección Civil, y han integrado la información suministrada por las autoridades con competencia en materia de costas.

[9] Directiva 2007/60/ce. Capítulo II – Evaluación preliminar del riesgo de inundación.

3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁMBITO DEL ESTUDIO

3.1. OROGRAFÍA Y RELIEVE

El relieve de Tenerife está conformado básicamente por tres tipos de estructuras volcánicas bien diferenciadas, que se alzan sobre una base triangular: los macizos antiguos (Anaga, Teno y Adeje), el edificio central de Teide-Pico Viejo y las cordilleras dorsales (Noreste, Noroeste y Sur o de Adeje).

Tenerife, debido a su gran altitud, tiene laderas muy abruptas surcadas por gran cantidad de barrancos. Desde la gran divisoria septentrional que parte a la Isla en dos, desde el macizo de Anaga hasta Teno, nacen casi todos los grandes barrancos de la Isla, que constituyen uno de los elementos más característicos de su paisaje.

Prácticamente la mitad de la superficie se encuentra ocupada por un territorio escarpado -con pendientes superiores al 25%-. Puede considerarse que, en una cuarta parte del territorio insular, es además muy escarpado pues se superan valores del 50% de pendiente.

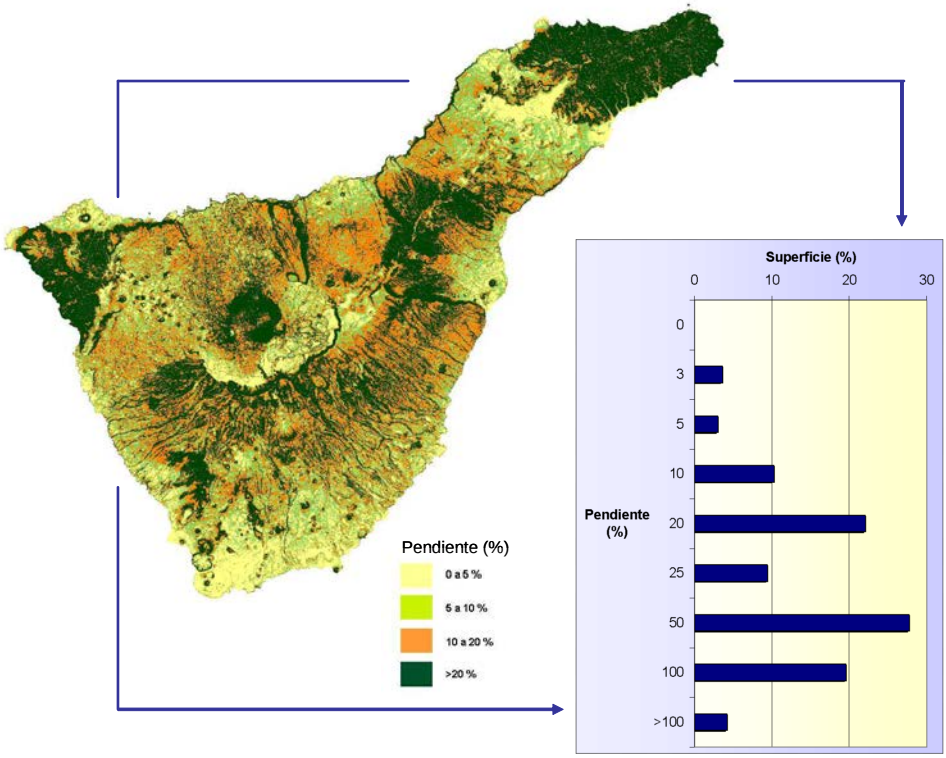


Fig. 1 Pendientes del terreno

Por otra parte, de acuerdo con los criterios del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), también aceptados por la Unión Europea, el 100% del territorio insular, incluyendo la franja costera, puede considerarse zona de montaña[10].

[10] El criterio, en términos simples establece que son zonas de montaña:

– Las situadas por encima de los 2500 metros

Debido a esta particular configuración del relieve insular, los caudales de avenida presentan, por lo general, magnitudes de velocidad y calado diferentes a los que cabría esperar en otros territorios de topografía más suave. Por ello, la problemática de las riadas torrenciales que se producen en la mayor parte de la isla, apenas tendrían equivalente con la que podría plantearse en las llanuras de inundación típicas de las vegas de los ríos de otras regiones.

3.2. PRECIPITACIONES

La situación geográfica y el relieve insular determinan el clima y régimen de precipitaciones de Tenerife. A grandes rasgos, como consecuencia de la corriente húmeda de los alisios, la vertiente norte presenta más nubosidad, frente a la sur que se caracteriza por ser más soleada y seca.

La pluviometría media anual oscila entre los 100 mm de la costa del sur y los 1.000 mm de las cumbres de la dorsal Noreste. En líneas generales, la lluvia aumenta con la altitud hasta los 1.800 metros. Por encima de esta cota las precipitaciones disminuyen, pudiendo ser ocasionalmente, en forma de nieve.

La lluvia horizontal, también llamada lluvia indirecta, precipitación oculta o de niebla, es bien significativa en entornos de la isla muy localizados, tales como los collados y las crestas de la vertiente septentrional de la isla. La lluvia horizontal, especialmente en zonas favorables puede superar, en algunas épocas del año, los aportes de la lluvia directa o convencional que se mide en los pluviómetros.

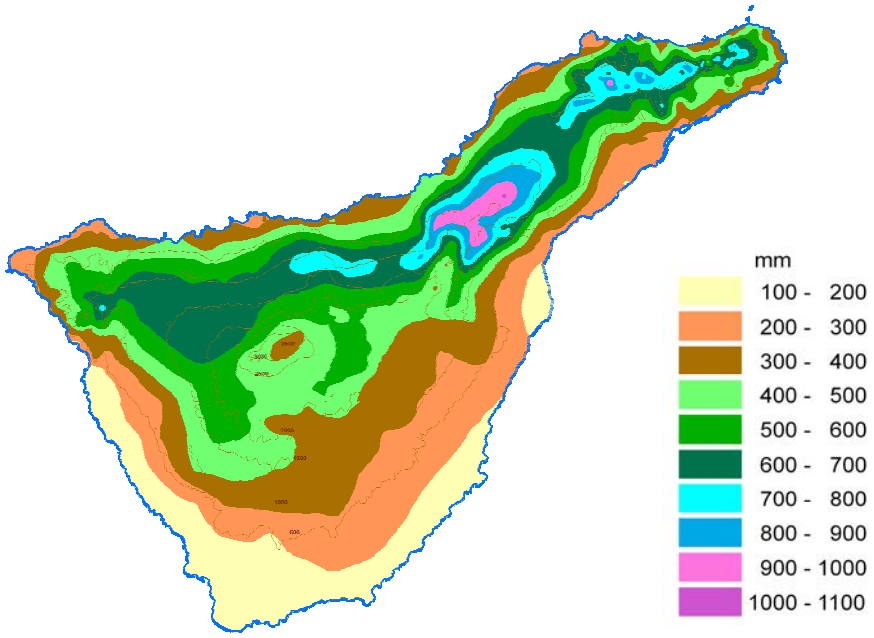


Fig. 2 Isoyetas de precipitación media (período 1980/81-2009/2010)

– Las situadas entre 1.000 y 2.500 metros con pendiente mayor de 5º (8,7%)
– Las situadas por debajo de los 1.000 en los que se produce una diferencia de elevaciones mayor de 300 en un círculo de 7 km. de radio.

La precipitación convencional anual media correspondiente a la "situación actual" (período 1980/81-2009/2010) asciende a 370 mm equivalente a 753 hm3/año. Esta precipitación tienen un a gran variabilidad espacial que multiplica por 10 la lluvia caída en el casquete de cumbre "Dorsal Este" respecto a la caída en la costa sur y una gran variabilidad temporal registrándose episodios de lluvias intensas de más de 300 mm/día. Después de la dorsal Noreste, el sector que recibe mayores precipitaciones se localiza geográficamente en la península de Anaga.

La precipitación horizontal anual media correspondiente al mismo periodo asciende a 42 mm, equivalente a 86 hm^3/año.

Del análisis de datos de toda la serie histórica (período 1944/45-2009/10), se deduce también que las lluvias torrenciales son cada vez más frecuentes. Ciertamente, en los últimos años se han presentado en la Isla varios fenómenos meteorológicos adversos que han descargado precipitaciones elevadas en cortos intervalos de tiempo, originando unas escorrentías importantes con arrastres de grandes cantidades de sedimentos.

Algunos de estos fenómenos meteorológicos extraordinarios han alcanzado intensidad de precipitación de magnitudes hasta ahora desconocidas en las series de datos históricos, como sucedió con la tormenta que descargó el día 31 de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife. Fue excepcionalmente intensa y prolongada: durante casi una hora seguida se sobrepasaron los 100 litros por metro cuadrado, llegando a superar los 160 en cortos intervalos.

3.3. RED HIDROGRÁFICA

Las aguas de escorrentía generadas en las cuencas insulares disponen de una red de drenaje natural que, salvo en las zonas cuyos suelos de cobertera se corresponden con los más jóvenes de la isla, puede adjetivarse de densa, bien desarrollada y estructurada.

La columna vertebral de la red insular de drenaje natural la conforman un total de 498 cauces principales, con una longitud total conjunta de 1831 kilómetros. Sobre ellos descargan cerca de 5000 cauces correspondientes a otros tantos ramales, subramales, etc,, cuya estructura jerárquica alcanza hasta 10 niveles, que suponen una longitud conjunta de 5.906 kilómetros. Atendiendo a la entidad de los barrancos y, en consecuencia, a la de sus respectivas cuencas vertientes, pueden establecerse varios niveles diferentes de red hidrográfica:

- **Red principal o de cumbre:** Está conformada por todos aquellos barrancos cuya cuenca vertiente se extiende desde las cumbres más altas hasta la costa. Estas cuencas reciben las mayores precipitaciones que, unido a sus considerables superficies, debería significarles el ser las mayores generadoras de volúmenes de escorrentía si no fuera porque la permeabilidad de los suelos de cobertura es aún más decisiva que la propia pluviometría o la superficie receptora. A igualdad de condiciones de permabilidad, las cuencas de esta red principal son las que producen, tanto en caudal como en volumen, las escorrentías más importantes.

- **Red secundaria o de medianías altas:** Está formada por un conjunto de barrancos cuyas cabeceras de cuenca se asientan muy cerca del casquete de cumbres, llegando, por tanto, a participar también de las precipitaciones más intensas. Sus aportaciones, de menor consideración que las de la red superior, están en consonancia con la superficie de recepción de lluvia y la geomorfología de los suelos.

- **Red terciaria o medianías bajas:** Se incluyen en este apartado una serie de barrancos con superficies de cuencas receptoras susceptibles de generar aportes aprovechables de escorrentía; y ello aún a pesar de tener sus cabeceras muy lejos de los núcleos donde se producen las máximas precipitaciones pues su principal característica hidrológica reside en la baja permeabilidad de sus suelos de cobertura.

- **Red costera:** Está constituida por un buen número de pequeños barrancos y barranqueras cuyo nacimiento se localiza a poca distancia de la costa. Por esta razón, además de disponer de superficies de cuencas vertientes muy pequeñas, reciben las menores precipitaciones.

- **Red no desarrollada:** En la vertiente suroccidental de la isla los materiales que conforman su cobertera todavía no han tenido tiempo de conformar una red de drenaje definida. En estas zonas la generación de aguas de escorrentía sólo es posible a partir del suceso de temporales más que extraordinarios.

- **Cuencas endorréicas:** Se trata de superficies del territorio en las que el agua no tiene salida superficial por gravedad. Es el caso de cada una de Las Cañadas del Teide, las cuales, después de un temporal, se convierten en auténticas lagunas en las que el líquido elemento se mantiene durante varias semanas hasta ser consumido por la evapotranspiración y la infiltración. Especialmente significativa por su amplitud es la que se forma en el Valle de Ucanca.

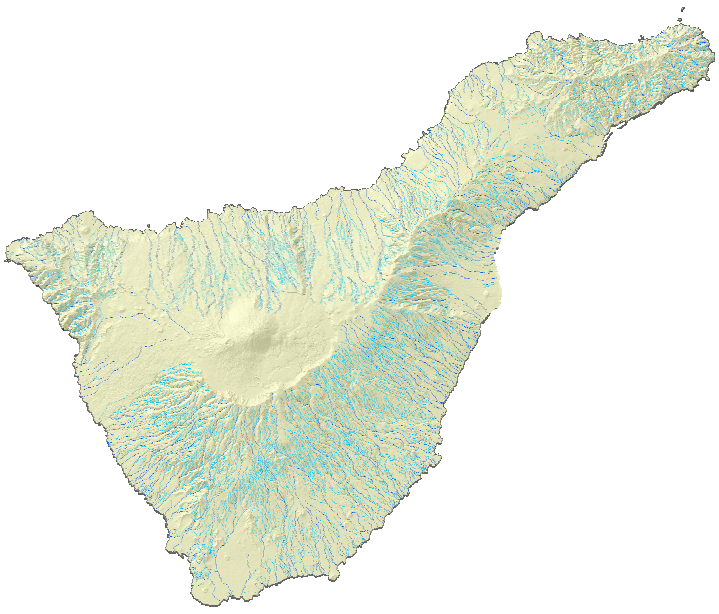


Fig. 3 Red insular de drenaje natural

La gran irregularidad de las precipitaciones, y la escasa cuenca tributaria de cada uno de los cauces, combinados con una geología que favorece extraordinariamente la infiltración, determinan un régimen habitual en donde, excepto con ocasión de grandes lluvias torrenciales, los cauces llevan más agua en las cabeceras que en los tramos cercanos a la desembocadura, de tal manera que éstos están secos durante casi todo el año.

3.4. OCUPACIÓN DEL SUELO

El Plan Insular de Ordenación de Tenerife (PIOT), es el instrumento donde se recoge el Modelo de Ordenación Territorial de la Isla, incluyendo además ciertos elementos significativos que se encuadran en los submodelos siguientes:

- *Distribución básica de los usos*, entendida como los destinos globales que desde la ordenación se asignan a cada porción del territorio. En tanto que como elementos del sistema, los usos se concretan en ámbitos homogéneos distribuidos en el territorio insular.
- *Núcleos urbanos principales*, cuyo destino es conformar áreas urbanizadas para concentrar las actividades de naturaleza urbana de la población.
- *Infraestructuras básicas*, que condicionan la estructuración del territorio insular.
- *Equipamientos insulares*, nodos dotacionales que polarizan el territorio a la escala propia del PIOT mediante su capacidad de prestación de servicios.

La ocupación del territorio así prevista para los próximos años no solo va tener influencia en la planificación hidrológica, sino también en la elaboración de los instrumentos de planificación del riesgo de inundaciones.

3.5. POBLACIÓN

Los datos disponibles a fecha de 2012 sitúan a la población residente en 898.680 habitantes, colocándola como la isla más poblada del archipiélago con 442 habitantes por km², multiplicando por diez la densidad de población en menos de dos siglos[11].

Aunque la isla de Tenerife fue visitada por viajeros extranjeros con asiduidad desde mediados del S. XVIII, el turismo tal y como lo entendemos en la actualidad comenzó a desarrollarse a partir de los años 50 y 60 del S. XX. En este momento, se dispone de más de medio millar de establecimientos turísticos activos que cuentan, en total, con 172.391 plazas en oferta hotelera y extrahotelera.

[11] Tenerife contaba con 67.000 habitantes hacia 1768 y 83.381 en 1842, con una densidad media de 41 hab/km². A finales del siglo XIX la población acelera su crecimiento y por primera vez supera los 100.000 habitantes en la década de 1870, llegando a principios del siglo XX a 137.302 habitantes (densidad media de 67 hab/km2).

La Isla recibe anualmente más de cinco millones de turistas. En 2011 se alcanzó la cifra de 5.160.203 visitantes con estancia media de 7,8 días, pues ese mismo año se contabilizaron 40.239.487 pernoctaciones. Ello supone una población turística equivalente a 99.259 habitantes.

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AVENIDAS EN TENERIFE

La orografía, la climatología y la geología de Tenerife configuran un conjunto de características territoriales que conducen a un régimen de avenidas notable en dos sentidos principales. En primer término, por la importancia y la frecuencia de las catástrofes asociadas con este fenómeno. En segundo lugar, por la circunstancia de que la mayor parte de los daños no se deducen del hecho de que se generen grandes superficies inundadas en las vegas de los cauces - localizadas sólo en determinados lugares de la isla - sino a causa de la velocidad del agua y los arrastres que moviliza.

En relación con la primera de estas características, basta mencionar las fechas de 1977 (La Laguna y Vilaflor), 1968 (La Orotava), 1944 (Vega Lagunera y Santa Cruz), 1899 (Guía de Isora), 1826 (Puerto de La Cruz, La Orotava, La Guancha, Candelaria, Santa Cruz, etc.) para comprobar cómo en un territorio muy reducido, de tan solo 2.034 km², se han producido numerosas avenidas con consecuencias catastróficas.

Más recientemente, las tormentas que acontecieron con fechas de noviembre de 2009 y febrero 2010 causaron cuantiosos daños en el valle de La Orotava y área metropolitana capitalina, respectivamente. Por otra parte, los sucesos del 31 de marzo de 2002 en Santa Cruz - donde además se produjeron 9 víctimas mortales - no hacen sino confirmar la necesidad de la población de Tenerife de convivir con un fenómeno tan contundente y reiterado como para que le sea atribuible hasta la desaparición de la imagen de su patrona, la Virgen de Candelaria, en la riada del 7 de noviembre de 1826.

Por otra parte, por lo que se refiere a las características del fenómeno, se deducen de la propia morfología de una isla que registra la mayor altura de España, con una red de cauces que alcanza el mar en longitudes - cuando mucho - de algunas decenas de kilómetros. Así como las zonas de montaña[12] en el territorio continental suelen estar libres de la influencia de las riadas, precisamente porque en ellas los cauces están más definidos y la población está dispersa, normalmente con densidades muy bajas, en Tenerife conviven una densidad de población[13] superior a los 1.000 habitantes por km² y unas cuencas y cauces de una gran pendiente en los que la velocidad del agua es una fuente de daños mayor que el calado que alcanza.

Adicionalmente, y también en oposición a la mayoría las zonas de montaña continentales europeas, la geología volcánica conduce a una gran capacidad de infiltración del agua de lluvia y, como consecuencia, a que los barrancos estén secos durante temporadas muy largas, superiores a varios años. A causa de ello, es fácil que la población olvide las riadas e invada esta red con construcciones permanentes o considere desmesurado el tamaño de las obras de drenaje que serían necesarias para garantizar, frente a cualquier evento, el paso de los caudales de crecida. No es fácil justificar inversiones en una seguridad que sólo se requiere en una cantidad limitada de ocasiones a lo largo de una generación y que el resto del tiempo van a permanecer ociosas. Máxime si de ellas se derivan gastos por el correcto mantenimiento de estas obras.

[12] Como se refleja en el apartado 3.1., la práctica totalidad del territorio de Tenerife reúne las características habituales en la Unión Europea para ser considerada zona de montaña.

[13] Aunque la densidad global de población es mayor de los 400 hab/km², si descontamos la superficie clasificada como espacios protegidos, la de pendiente superior al 30% y la de altitud mayor de 1.200 m y añadimos la población turística media, se supera el millar.

Además, es probable que las características adversas de la climatología empeoren como consecuencia del "cambio climático". Asimismo, la presión urbanística es cada día mayor.

Por todo ello, las avenidas en la isla de Tenerife configuran un problema complejo.

5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES

Los espacios insulares presentan notables diferencias respecto a los continentales. En el caso de Tenerife, la orografía se muestra como una peculiaridad que matiza el concepto de inundación, ya que en este caso el riesgo se asocia especialmente a las zonas de pendiente acusada. En estos entornos se revela como prioritario el riesgo derivado de la escorrentía de ladera con el arrastre de sólidos, lo que obliga a la elaboración de de modelos de enfoque de la problemática alejados de los habituales.

Por tanto, en el presente capítulo se expondrán los fundamentos metodológicos aplicados para la evaluación del riesgo, tanto el que se deriva del drenaje territorial como de la propia dinámica litoral, que se establecieron para cada tipo en sus respectivos documentos de referencia[14].

5.1. EL CONCEPTO DEL RIESGO

La evaluación del riesgo de inundación en un ámbito territorial requiere la definición previa de algunos conceptos básicos para la valoración objetiva de situaciones actuales y futuras.

Dicha valoración debe realizarse mediante un análisis de riesgo, como resultado de la combinación del peligro (cuya magnitud está relacionada con la intensidad y frecuencia del fenómeno natural causante los daños) con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (cociente entre el daño o pérdida de personas, bienes o servicios y su valor).

Se entiende por riesgo la combinación de la probabilidad de un daño con la cuantía del mismo. En términos elementales, esta combinación se limita a un producto de dos cifras, la que expresa la probabilidad - siempre inferior a la unidad -, por la que cuantifica los daños, normalmente en términos económicos[15].

En casos más complejos, como los relacionados con las avenidas en los que el daño está asociado con la magnitud del suceso y, por tanto, con la probabilidad (período de recurrencia) la fórmula es la misma pero la expresión matemática es más compleja. En concreto, el riesgo quedaría representado - en forma de integral - por el área situada debajo de la curva que expresa el daño en función de la probabilidad.

Un riesgo es inaceptable cuando el daño al que está asociado está manifiestamente por encima de las posibilidades (las necesidades de inversión o la incomodidad de las pautas de comportamiento) de evitarlo[16].

[14] "Plan de Defensa frente a Avenidas" (CIATF-Mayo de 2012)

"Evaluación Preliminar de los riesgos de inundación en las zonas costeras de Tenerife" (CEDEX-Diciembre de 2011)

[15] Aunque el riesgo de pérdida de vidas humanas no puede traducirse en una mera cuantía económica, se acepta sistemáticamente que sí que puede llevarse a cabo esta traslación. Esta es la base de los cálculos que llevan a cabo las compañías aseguradoras que, evidentemente, reúnen la máxima experiencia en la materia.

[16] Es evidente que esta definición conduce a que un mismo riesgo sea aceptable en unos entornos sociales mientras que es inaceptable en otros. La paradoja se vive todos los días, considerando ciertos riesgos que se aceptan en los países subdesarrollados pero se consideran inadmisibles en los desarrollados, en los que el valor de la vida es socialmente mucho mayor.

Para entender el significado real de la probabilidad anual del daño y su período de recurrencia, es interesante conocer como se trasladan estos conceptos a lo largo de un período de tiempo mayor[17].

Período de recurrencia	Probabilidad de ocurrencia (%)							
	Vida útil del bien							
	1 año	10 años	20 años	30 años	40 años	50 años	75 años	100 años
10	10%	65%	88%	96%	99%	99%	100%	100%
25	4%	34%	56%	71%	80%	87%	95%	98%
50	2%	18%	33%	45%	55%	64%	78%	87%
100	1%	10%	18%	26%	33%	39%	53%	63%
500	0.2%	2%	4%	6%	8%	10%	14%	18%

Tabla 1. Probabilidad de ocurrencia

5.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LAS ESCORRENTÍAS DE LLUVIA

La metodología planteada es el resultado de la integración de los procesos deductivo e inductivo que se indican en los siguientes apartados.

5.2.1. EL MÉTODO DEDUCTIVO O DIRECTO PARA EVALUAR EL RIESGO

En aquellos territorios en los que es fácil identificar a priori las zonas en riesgo, que normalmente coinciden con las vegas de los cauces principales, se tiende a elaborar los planes para la defensa frente a inundaciones identificando y evaluando los riesgos por métodos directos.

Se ha asignado la calificación de "*deductivo*" a este método porque parte de un axioma, el de que los riesgos se localizan exclusivamente en estas zonas, y aplica un proceso de razonamiento estrictamente racionalista, estimando la zona inundable para diferentes probabilidades mediante procedimientos de cálculo basados en los fundamentos físicos de la hidráulica.

Sin embargo, se descartó este método como única alternativa metodológica por una razón de coste-eficacia, así como por las propias limitaciones que presenta su aplicación con carácter general en toda la Isla.

[17] Se trata de un caso de probabilidad compuesta, en el que se combina la vida útil de un bien (columnas del cuadro adjunto) con el período en que pueda presentarse al menos una vez el evento (filas del cuadro).

5.2.2. EL MÉTODO INDUCTIVO O INDIRECTO PARA EVALUAR EL RIESGO

El método inductivo o indirecto parte de la imposibilidad de plantear axiomas básicos, y pretende deducir conclusiones a partir de la observación directa de la realidad, por lo que el planteamiento para evaluar el riesgo difiere sensiblemente del anterior.

En esencia, este método consiste en recopilar información con la mayor amplitud posible y bajo la hipótesis de que esta observación no recoge la realidad global, sino tan solo parte de ella, lleva a cabo un análisis de la misma que pasa por dos procesos principales:

- En la ***generalización*** se evalúa la información y la forma en que se ha recogido ésta, con el fin de inferir si los fenómenos observados pueden generalizarse; es decir, si pueden extenderse a la realidad global. En caso de que así sea, se realiza esta extensión.
- En la ***conceptualización***, partiendo de los resultados de la fase anterior, se derivan reglas de carácter global que permiten deducir conclusiones.

Haciendo uso de la terminología de planificación, en las que las fases habituales son la recopilación de información existente o la generación de una nueva, el análisis de esta información y, por último, el diagnóstico, podrían establecerse las siguientes equivalencias con la documentación elaborada para el PDA:

Las fases de recopilación de información y el análisis recogerían todas las tareas asociadas con la observación de la realidad. Dichas tareas se materializaron con la elaboración de un primer *"inventario de puntos de riesgo"*, es decir de zonas, tramos o localizaciones concretas con riesgo de avenidas[18], un segundo "*inventario de zonas susceptibles de riesgo hidráulico"* que abarcan ámbitos territoriales mucho más extensos que los anteriores y, por último, un *"inventario de infraestructuras básicas o estratégicas"* para culminar dicha labor.

Las tareas que se realizaron para establecer *diagnósticos parciales* a partir del análisis previo, guardan correspondencia con el proceso de generalización, pues tenían como objetivo extender las conclusiones deducidas del análisis a la totalidad del territorio.

La segunda parte del diagnóstico, denominada *diagnóstico general*, que se efectuó para diferenciar e identificar los problemas planteados por las riadas e inundaciones, constituye el proceso equivalente a la conceptualización.

5.2.3. ESQUEMA METODOLÓGICO CONCEPTUAL ADOPTADO

La metodología adoptada para la evaluación del riesgo es el resultado de una integración de los procesos deductivo e inductivo, indicados en los apartados anteriores, que se desarrollaron durante la elaboración del PDA.

[18] Se ha utilizado el término "registros de riesgo" con el fin de permitir abarcar todos los existentes con la mayor generalidad posible.

El proceso deductivo se limitó al desarrollo de algunos trabajos específicos, contando para ello con el apoyo de herramientas capaces de cruzar información, hacer cálculos hidrológicos[19] e hidráulicos necesarios para el análisis de la red viaria y el drenaje transversal, de la información procedente de las encuestas, para realizar análisis históricos e hidroeconómicos (seguros), además de la elaboración del inventario y la correspondiente evaluación de riesgos.

Ante la imposibilidad de partir del axioma en que se basa el método deductivo, principalmente ha tenido que aplicarse técnicas propias del método *"inductivo"*. En efecto, la experiencia demuestra que los daños que generan las avenidas en Tenerife no se restringen a unas zonas determinadas y fácilmente identificables a priori, sino que se extienden a la práctica totalidad del territorio. Tampoco se deben estos daños sólo al desbordamiento de los cauces, sino que son frecuentes otros orígenes como la escorrentía de ladera o la insuficiencia manifiesta de las redes de saneamiento o de las obras de drenaje de las infraestructuras de transporte.

La información necesaria para aplicar este método indirecto se puede dividir entre la recopilada y la elaborada específicamente dentro de los trabajos llevados a cabo. Tanto una como otra se encuentra organizada en un modelo de datos y se ha volcado en un Sistema de Información Geográfica. Estos sistemas son imprescindibles para el tratamiento y análisis de grandes volúmenes de información.

5.2.4. MODELO DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Todos los datos de partida se organizaron en archivos temáticos (capa de carreteras, capa de infraestructuras hidráulicas, capa de infraestructuras eléctricas, capa de municipios…) con la información gráfica, textual y numérica correspondiente. Asimismo, la información básica generada con el PDA factible de georreferenciación (como los datos históricos, la encuesta municipal, la delimitación de zonas envolventes de las superficies anegables…) se procesó con formato GIS para agilizar su posterior análisis.

El volumen de datos recopilados y generados como información básica hace prácticamente imposible cualquier análisis si no se organiza adecuadamente la información. Por esta razón desde las primeras etapas se empleó un modelo de datos desglosado en las distintas coberturas de información básica disponible y generada, al que se fueron agregando aquellas capas resultantes del análisis posterior de la información: inventario final de registros de riesgo, así como el análisis de los mismos según los distintos criterios establecidos, además del inventario de zonas susceptibles de riesgo hidráulico y el inventario de infraestructuras básicas y servicios esenciales.

Durante el proceso de elaboración del PDA, se consideró primordial garantizar la futura gestión del mismo. En este sentido, se ha procuró garantizar la coherencia entre el modelo conceptual del plan y su modelo de datos, estableciendo los diferentes niveles de la información y –en especial – su trazabilidad.

[19] Para la determinar los caudales máximos de avenida se ha utilizado la Guía Metodológica.

5.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA ACCIÓN DEL MAR SOBRE LA COSTA

Según se desprende del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas, la información sobre inundaciones en zonas costeras de origen marítimo, es decir, producidas por niveles extremadamente altos de la superficie del mar, es prácticamente inexistente.

Las inundaciones en zonas costeras que aparecen registradas suelen estar asociadas al desbordamiento de los cauces cerca de la desembocadura, por lo que éstas ya han sido incluidas en el inventario realizado para las inundaciones asociadas a la red hidrográfica. En este sentido, hay que señalar que en el PDA se llegaron a identificar situaciones de riesgo de inundación debido a una insuficiente sección del barranco en su salida al mar, como consecuencia de las mareas o por la presencia de una barra litoral.

Por otra parte, la aplicación de métodos geomorfológicos para identificar indicios de inundaciones pasadas en zonas costeras resulta poco eficaz. Como es lógico en litorales escarpados no se producen inundaciones, mientras que en costas de suave pendiente es muy habitual que desaparezca cualquier posible indicio de ese fenómeno, tanto por modificaciones físicas como topográficas, debido a la regeneración de playas y el desarrollo urbanístico de estas zonas.

Por tanto, la metodología para evaluación preliminar de riesgos en la costa consiste, fundamentalmente, en la comparación de los niveles del mar excepcionalmente elevados (período de retorno de 500 años) con las cotas actuales del terreno.

6. IDENTIFICACIÓN DE LAS AREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO AL DRENAJE TERRITORIAL

6.1. RECOPILACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Toda la información básica utilizada para la elaboración del PDA, tanto la que se encontraba disponible como la que hubo de generarse, constituye la base fundamental para el desarrollo de trabajos que se precisan para evaluación preliminar del riesgo. Entre ella se incluye la relativa a la hidrografía, topografía y de usos del suelo, así como la información hidrometeorológica.

6.1.1. RELIEVE INSULAR

Se dispone de la información del relieve de la isla en 3 formatos:

- Formato MDT (modelo digital del terreno). El territorio insular queda caracterizado mediante un grid o malla de celdas cuadradas de 5 m de lado con dato de cota.
- Cartografía digital de GRAFCAN a escala 1:5.000, preparada para GIS, donde además de las curvas de nivel se han recogido los elementos territoriales principales (edificios, carreteras, servicios) y toponimia.
- Ortofotos de la isla, a partir de las imágenes aéreas obtenidas en los años 2010-2011. La resolución del pixelado es de 12,5 cm en zonas urbanas y de 40-50 cm en el resto.

Además de toda esta información general se ha dispuesto de otros datos derivados del relieve, como el plano hipsométrico y de pendientes, contando con el apoyo instrumental de herramientas GIS para su utilización en las tareas de análisis territorial.

6.1.2. RED HIDROGRÁFICA DE CAUCES

La red hidrográfica se encuentra definida en el actual *"Inventario de Cauces de la Isla de Tenerife"* elaborado por el CIATF. Los principales atributos de esta red, a partir de los cuales quedan clasificados todos los cauces, son la titularidad y el nivel[20] de cada tramo.

Por su titularidad los tramos pueden pertenecer a dos categorías:

- Tramo de cauce público (los que están incluidos en el Borrador del *"Catálogo Insular de Cauces Públicos de la Isla de de Tenerife*").
- Tramo de cauce no catalogado como público.

[20] El nivel de un cauce se determina por el orden de desembocadura. Los cauces que desembocan directamente al mar son de nivel 1, aquellos que desembocan en los barrancos anteriores son de nivel 2 y así sucesivamente.

Los cauces de la red hidrográfica se dividen, según su nivel, en 10 categorías. Atendiendo a estas categorías, las longitudes inventariadas de cauce son las que se indican en el siguiente cuadro:

NIVEL	NÚMERO DE CAUCES	LONGITUD EN PLANTA (Km)
1	489	1.823
2	1.916	2.240
3	1.856	1.263
4	929	478
5	247	87
6	44	13
7	9	2,3
8	5	0,9
9	2	0,4
10	2	0,1
TOTAL	**5.499**	**5.906**

Tabla 2. Longitudes totales por nivel de cauce

6.1.3. CLASES DE SUELO

La clasificación del suelo que se establece en los Planes Generales de Ordenación permite realizar, por un lado, el diagnóstico de la situación actual frente al riesgo potencial y, por otro, una prognosis en caso de que la tendencia futura no sea modificada.

La información base recogida sobre clases de suelo es el resultado de una capa GIS de Ordenación Urbanística, de acuerdo con la información disponible en las bases de datos del Cabildo de Tenerife en el momento de elaboración de la documentación básica del PDA. En esta cobertura se encuentran delimitadas las clases de suelo (rústico, urbano y urbanizable) mediante polígonos, que tienen asociada la fecha del instrumento de ordenación en la que se inscribieron, así como los usos y categorías de suelo.

6.1.4. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Toda la información hidrometeorológica necesaria para la realización de los estudios de máximas avenidas se encuentra organizada en Sistemas de Gestión de Datos Básicos desarrollados por el CIATF.

Dentro de esta base de información se hallan contenidos los datos de lluvia procedente de los numerosos observatorios que se han instalado en la Isla con distintas finalidades – climatología, hidrología, protección civil, agricultura y medioambiente – y controlados por entidades diferentes.

Dado que se trata de una variable estocástica, es necesario el empleo de métodos estadísticos para el tratamiento de valores extremos (máximos) de precipitación, por lo que se ha dispuesto de la siguiente información:

- Precipitación acumulada en las tormentas de mayor intensidad registradas en pluviógrafos, así como su duración y fecha de ocurrencia.
- Precipitación máxima diaria y su fecha de registro en la serie de datos procedentes de pluviómetros.

Fig. 4 Precipitaciones máximas diarias para 500 años de período de retorno

Para extraer la mayor información posible de las lluvias diarias registradas hasta la fecha se elaboraron mapas de isohietas y curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que, de alguna forma, vienen a definir la caracterización del régimen pluviométrico extremo en la isla.

Para la elaboración de isomáximas de precipitación en 24 horas, se aplicaron funciones de distribución Gumbel, SQRT-ET max y log Pearson tipo III para determinar la magnitud de las lluvias que pueden presentarse con una determinada probabilidad, utilizando a tal efecto el concepto de "período de retorno" o "período de recurrencia" con el que se espera se produzca al menos una vez el fenómeno con esa magnitud (T=10, T=25, T=50, T=100, T=500).

Asimismo, hubo que procesar toda la información relativa a las características del terreno, para determinar los parámetros de infiltración a través del conocido número de curva del Soil Conservation Service. Para ello se contó con una base documental compuesta por una colección de coberturas sectoriales temáticas -cultivos, especies forestales, urbanismo, geología y edafología-, provista de la correspondiente información alfanumérica.

La figura adjunta muestra la cobertura de números de curva obtenida para las condiciones medias de humedad antecedente AMC-II.

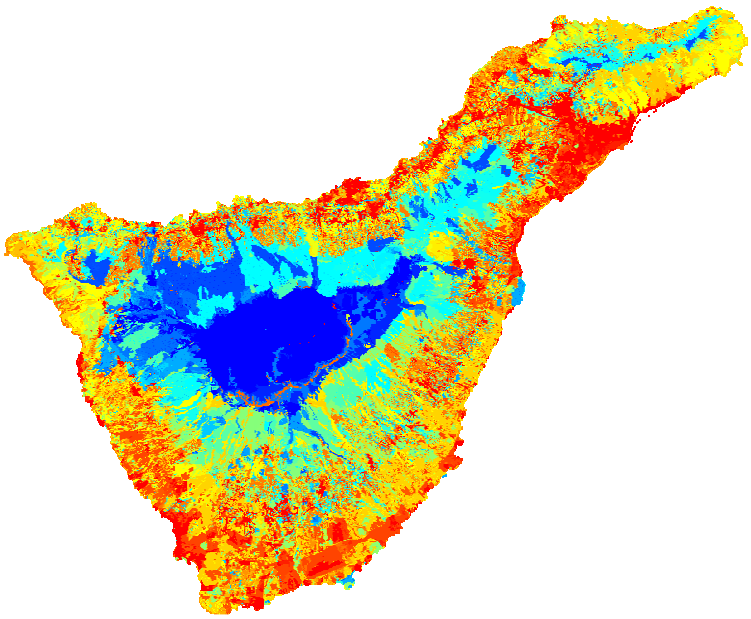


Fig. 5 Mapa de números de curva calculados en la isla

6.2. REALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y TRABAJOS ESPECÍFICOS

La recopilación y elaboración de toda la información que se utilizó durante la fase de elaboración del PDA, supuso un gran avance de las actividades que se establecieron posteriormente en el artículo 6 del RD 903/2010. Dicha labor se complementó con el desarrollo de diversos estudios y trabajos específicos, que se realizaron en el marco de dicho instrumento de planificación, con el fin de generar la documentación que se precisaba para el análisis de riesgos hidráulicos en la Isla.

Para ello, se analizaron todos los estudios previos y realizaron encuestas para completar la información disponible, además de implementar instrumentos de cálculo hidrológico y realizar comprobaciones hidráulicas en las obras de paso de carreteras, abordar el estudio histórico de las inundaciones ocurridas en el pasado y el análisis hidroeconómico de los daños ocasionados por las avenidas.

Todo ello permitió realizar la zonificación del riesgo y la elaboración de los inventarios correspondientes, entre ellos el de las infraestructuras básicas o estratégicas que precisan de una especial protección o atención en situaciones de avenidas extraordinarias.

6.2.1. ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS DE AVENIDAS

La oportunidad de realizar un análisis de datos históricos se deriva de la regla general por la cual el pronóstico sobre el futuro debe contemplar lo sucedido anteriormente. Por ello, se ha realizó una labor de búsqueda en documentos descriptivos de riadas registradas en el pasado y fundamentalmente en los periódicos para identificar puntos y zonas de riesgo.

En realidad, los fenómenos tormentosos no son tan inusuales como pudieran parecer, llegando a situaciones extremas como las recordadas lluvias en La Laguna hace 25 años o, en 1826, cuando murieron más de 300 personas en los valles de la Orotava y Güimar, y en el propio Santa Cruz. La gravedad de los daños causados por otras tormentas más recientes – acontecidas en los años 2002, 2009 y 2010 – nos lo hace mantener presente.

Las fuentes de información en relación con las avenidas registradas en el pasado de la isla han sido, de una parte, los documentos e informes existentes, de entre los cuales es especialmente significativo el libro "Barrancos de Añazo" de Luis Cola Benítez, que recoge las principales avenidas en Santa Cruz desde el siglo XVIII hasta principios del XX. Además se consultó la documentación disponible sobre el aluvión de 1826, importante por haberse extendido sus efectos en una amplia porción de la isla[21].

Por otra parte, con un carácter mucho más exhaustivo, se revisaron los periódicos más antiguos de la isla, extrayendo las noticias publicadas hasta el momento sobre sucesos de lluvias extraordinarias[22] y sus consecuencias.

Partiendo de toda esta información y para cada una de las fechas identificadas en las cuales se comprobó la existencia de noticias específicas en los diarios mencionados, recogiendo en base de datos un resumen de la noticia publicada, además de los datos pluviográficos y pluviométricos más significativos disponibles para esa fecha[23].

PLAN ESPECIAL DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS EN LA ISLA DE TENERIFE

NOTICIAS PUBLICADAS

DATOS DE LA NOTICIA PUBLICADA:

Nombre de la publicación: El Día — Fecha publicación de la noticia: 01/04/2002

Municipios afectados: Santa Cruz

Nucleos afectados: Santa Cruz

Infraestructura afectada: TF-1. TF-2. TF-5. Autovía de San Andrés.

Cauce: Barranco de Santos

Resumen de la noticia

TF-1, TF-2 y TF-5 cerradas al tráfico por invasión de tierra y lodo en la calzada. El lodo cubrió las calles de Santa Cruz con varios metros de altura. Desnumbe de parte de la montaña en la autovía de San Andrés a la altura de la gasolinera. El agua rebasó los últimos puentes del Barranco de Santos.

DATOS DE LOS PLUVIÓGRAFOS DE REFERENCIA:

Código del pluviógrafo: 449C — Fecha de la tormenta: 31/03/2002

Precipitación registrada: 215.26 mm — Duración: 7.5 horas

Emplazamiento: Santa Cruz de Tfe. Obs. Oficial

FOTOGRAFÍA DE LA NOTICIA:

FOTOGRAFIA: DIA1AP3.jpg

FOTOGRAFIA: DIA1AP5.jpg

Fig. 6 Ficha para recopilación de noticias.

[21] Las principales afecciones se produjeron en el barranco de Tafuriaste que quedó colmado de piedras y arena y nivelado por los derrumbamientos de sus bordes, la Orotava donde se cortó por tres profundos tajos el camino que lleva al barrio de El Calvario, La Laguna en la que el agua llegó hasta los tejados de las casas, Santa Cruz donde el castillete de San Miguel fue arrastrado hacia el mar, La Candelaria donde fue arrasado el convento de los dominicos y el castillete situado frente a él, así como una docena de casas en la plaza (desapareció la imagen de la Virgen de Candelaria, Güimar donde se desbordaron los barrancos de La Hoya y Luchón y se creó un nuevo arroyo sobre el barrio de La Hoya, etc.

[22] Hasta 1930 se utilizaron las reseñas históricas existentes en el CIATF. A partir de esta fecha se ha partido de los valores de la precipitación registrada, considerando en primer término los datos de los principales pluviómetros de la isla y seleccionando los días con registros de precipitación superiores a 100 L/m². Para tener en cuenta episodios de gran intensidad aunque de pequeña duración, a partir de 1940 en que comienza a contarse con datos pluviográficos, se incorporaron también los registros de las tormentas significativas. Cada uno de los puntos o zonas afectados por las avenidas analizadas se incluyó en el inventario de riesgos del PDA.

[23] En algunos casos, cuando no se dispone de datos, sobre todo pluviográficos, en las cercanías de la inundación, se incluyeron los que registran más lluvia de entre los que se tienen, aunque estén alejados.

6.2.2. ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS

Con el análisis de estudios previos se pretende incorporar al proceso de análisis el conocimiento adquirido en otros estudios realizados con anterioridad con objetivos similares pero un ámbito menos general.

Por ello, se analizó diversa documentación técnica de interés, extrayendo de ella las zonas de riesgo correspondientes. Entre la documentación revisada se encuentra el Plan General de Ordenación de Santa Cruz de Tenerife, las fichas de riesgo ante inundaciones elaborada por la Dirección General de Seguridad y Emergencia del Gobierno de Canarias, así como diversos estudios hidrológicos y estudios de alternativas, redactados por el CIATF, para rehabilitación hidráulica de determinados tramos de cauces, entre ellos, el Bco. de Santos y el Bco. de El Bufadero.

6.2.3. ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURAS BÁSICAS O ESTRATÉGICAS

Con el fin de prevenir y evitar la pérdida o interrupción de las infraestructuras básicas o estratégicas -no sólo por su valor económico sino por su influencia en la población afectada- se recopiló diversa información con el objeto de elaborar el Inventario provisional de infraestructuras básicas o estratégicas.

El Inventario provisional de infraestructuras básicas o estratégicas definido por el PDA tiene la voluntad de homologarse terminológicamente a la Directiva 2008/114/CE, sobre identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección y su trasposición al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 8/2011, de 28 de abril, de Medidas para la protección de infraestructuras críticas, pero no sustituye ni condiciona las determinaciones que pueda adoptar el Estado en el ejercicio de sus competencias exclusivas al incluir una determinada infraestructura en el Catálogo Nacional de Infraestructuras Estratégicas.

No obstante, la inclusión de una determinada infraestructura en dicho inventario determina la aplicación a éstas de la Normativa prevista en el propio plan, la cual prevé: la obligación de los titulares de una infraestructura básica de solucionar el drenaje de las aguas pluviales de su ámbito y de la escorrentía de la superficie de la cuenca que afecten y disponer de un Estudio de Riesgo Hidráulico cuando así sea exigible, con el objetivo de garantizar el funcionamiento de la infraestructura en situaciones de emergencia y/o de controlar las posibles consecuencias derivadas de su mal funcionamiento en estos casos.

En el siguiente cuadro resumen se muestra el resultado de la agrupación, por clase o categoría de los 464 elementos que componen el inventario provisional de infraestructuras básicas o estratégicas.

SECTOR ESTRATÉGICO	SUBSECTOR	SERVICIO ESENCIAL	INFRAESTRUCTURA BÁSICA O ESTRATÉGICA	Nº
Agua	Desalación agua mar/ salobre	Suministro de agua a la población	EDAM y EDAS	9
	Transporte de agua		Red básica de conducciones	40
	Depuración	Saneamiento y depuración	EDAR	5
Centrales y redes de energía	Generación	Electricidad	Centros de generación	3
	Transporte		Redes de transporte (220 kV))	1
	Transporte		Redes de transporte (66 kV)	13
	Transporte/ Distribución		Subestaciones Eléctricas	17
	Distribución		Centros de Reparto	12
	Petróleo	Energía	Refinerías	1
Transporte	Transporte por carretera	Movilidad	Autopistas, autovías y vías rápidas	2
			Carreteras	13
	Transporte aéreo		Helipuertos	8
			Aeropuertos	2
	Transporte marítimo		Puertos	3
	Transporte tranviario		Tranvías y Ferrocarriles	1
Sanitario	Sanidad	Servicio sanitario	Hospitales	4
			Centros de salud	50
Industria	Almacenamiento	Almacenamiento sustancias sensibles	Almacenamiento de químicos y petróleo	5
	Residuos	Residuos	Plantas de tratamiento de residuos, reciclaje y otras	1
Tecnologías de la información y las telecomunicaciones	Teledifusión	Comunicaciones	Teledifusión	38
	Telefonía móvil		Telefonía móvil	136
Administración	Centro oficial	Administrativos	Edificios oficiales	43
	Servicios de emergencia	Protección Civil	Instalaciones vinculadas	57
			TOTAL	**464**

Tabla 3. Resumen del inventario de Infraestructuras básicas o estratégicas

6.2.4. ANÁLISIS TERRITORIAL

La experiencia demuestra que una de las causas de riesgo más importantes es la consolidación urbana dentro de la zona ocupada por las aguas altas de un determinado cauce. Por ello, se planteó realizar un análisis territorial mediante un cruce, dentro del GIS, del suelo clasificado como urbano o urbanizable con la Zona de Policía. Este procedimiento permitió identificar las zonas en las que la presión urbanística actual o futura de*terminaba un incremento potencial del riesgo generado por las avenidas.*

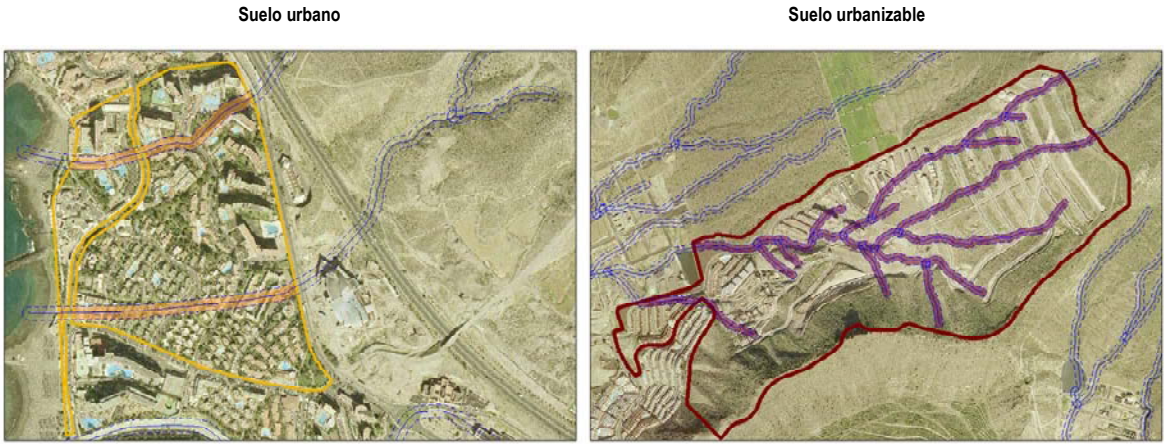


Fig. 8 Ejemplo de cruce de la zona de policía con el planeamiento urbano

Con el modelo digital de terreno se delimitaron además las zonas donde la cota del terreno es inferior a 5 metros de altura en relación con la del cauce inmediato. El cruce con esta zona permitió realizar además una estimación preliminar de las instalaciones básicas o estratégicas que podrían estar en riesgo potencial en caso de avenida.

6.2.5. DESARROLLO DE LA GUÍA METODOLÓGICA COMO INSTRUMENTO BÁSICO

La evaluación de fenómenos hidrológicos superficiales de carácter extremo es una labor fundamental para conocer, prevenir y minimizar el riesgo de daños debidos este peligro. En este sentido, la Guía Metodológica para el cálculo de Caudales Máximos de Avenida fue un instrumento básico para la evaluación del riesgo. Su utilización durante la elaboración del PDA permitió determinar de forma sistemática los caudales de avenida asociados con distintas frecuencias de presentación.

La Guía Metodológica combina las técnicas más consagradas y fiables para los cálculos hidrológicos y las herramientas informáticas más modernas y flexibles, sobre una amplia base de información hidrometeorológica. Además de la continua actualización de series pluviométricas y pluviográficas, se dispone de información muy detallada de las características del territorio que intervienen en el proceso de generación de escorrentía: la masa vegetal (cultivos y vegetación natural), los suelos (en su acepción edafológica) de cobertera, las características geológicas del terreno subyacente, los usos antrópicos

(por la alteración de la capacidad de infiltración de los terrenos), la pendiente, la topología y desarrollo de la red de drenaje y sus características morfológicas, etc.

Esta Guía proporciona de forma automática el caudal (m^3/s) de escorrentía líquida en cualquier punto o cuenca vertiente seleccionada, con la ayuda de herramientas gráficas de un Sistema de Información Geográfica. Como información complementaria facilita el código y nombre del cauce, las coordenadas del punto de cálculo, los datos físicos y geométricos del cauce y de la cuenca vertiente, así como los resultados (en tablas y gráficos) de la precipitación máxima diaria y de los caudales de avenida asociados a distintos períodos de retorno.

La figura adjunta muestra un ejemplo de resultados obtenidos con la aplicación.

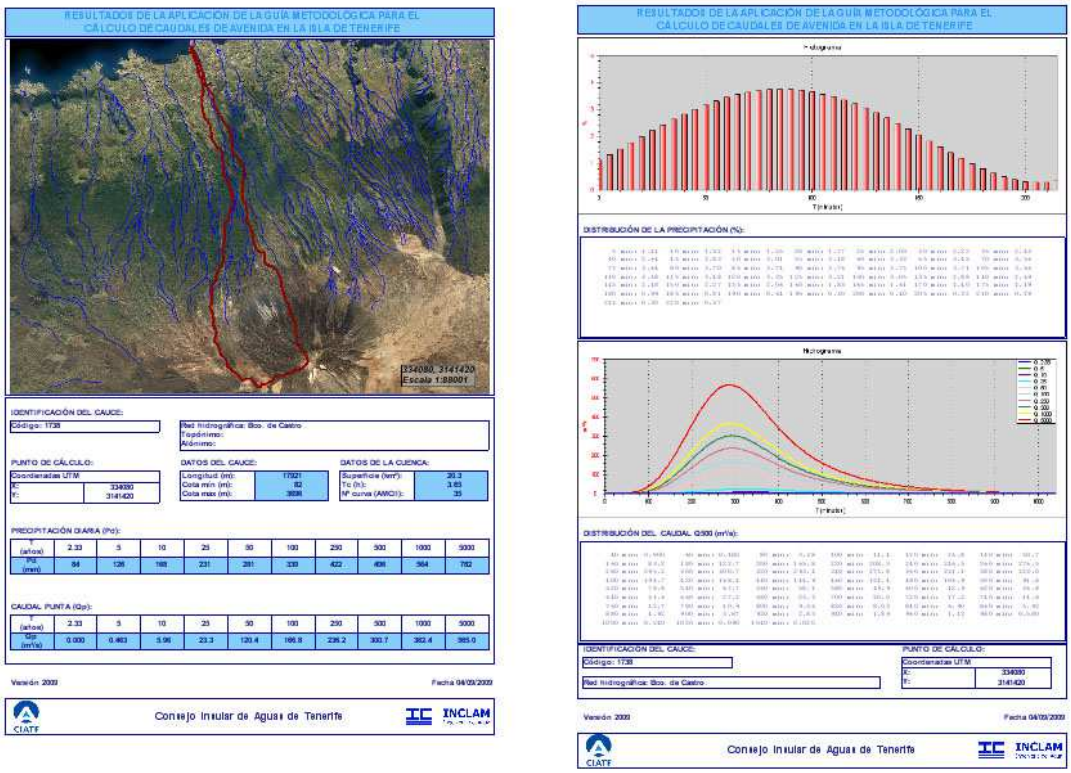


Fig. 9 Ejemplo de resultados generados por la aplicación de la Guía

6.2.6. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE CRUCE DE LA RED VIARIA CON LA RED HIDROGRÁFICA

La necesidad de realizar un estudio de las obras de drenaje de la red principal de carreteras se encuentra totalmente justificada, no solo por la propia experiencia técnica del CIATF, sino también por toma en consideración de los casos identificados en otros trabajos en los que el origen de la inundación se centraba en la insuficiente capacidad de una de estas obras.

El análisis de las obras de drenaje de carreteras se realizó a partir del trazado de la red viaria[24] proporcionado por el Servicio de Carreteras del Cabildo y de la Red de Cauces disponible en la fecha de elaboración de la Guía Metodológica, detectando los puntos de cruce correspondientes. Para cada uno de estos puntos de cruce se determinó el caudal de avenida correspondiente a la cuenca aportadora para distintos períodos de recurrencia, evaluación que se ha llevado a cabo aplicando la Guía Metodológica.

En segundo término, y en función de las características geométricas de sección de la obra de drenaje reflejadas en el inventario se estimó la capacidad máxima de la misma y se ha evaluado su funcionamiento por comparación con el caudal correspondiente con la avenida de 500 años de período de recurrencia. Todas obras de drenaje en las que se detectó insuficiencia de capacidad fueron incluidas en el conjunto de puntos de riesgos a analizar.

6.2.7. ANÁLISIS DE DATOS DEL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS

Desde la perspectiva hidroeconómica, la fuente principal de información fue el Consorcio Nacional de Compensación de Seguros, cuyos datos incluían aspectos relativos a los siniestros tales como: localización, fecha, causa, bien o servicio afectado e indemnización.

El ámbito de los datos proporcionados correspondía a la provincia de Santa Cruz de Tenerife y su límite temporal comprendido entre los meses de diciembre de 1991 y febrero de 2004. Para los casos registrados en Tenerife se seleccionaron aquellos cuyas indemnizaciones se debían a las siguientes causas: “inundación extraordinaria” o “tempestad ciclónica atípica”, por su mayor relación con el riesgo de avenidas. Por último, se eliminaron los casos que afectan a vehículos de todo tipo concluyendo con una base de datos compuesta por 3.568 registros. A partir de su clasificación, según tipo de bien o servicio afectado y actualizando el importe de las indemnizaciones a euros constantes, cuyo valor total asciende a la cantidad de 54.590.998 Euros.

Del análisis de los datos puede extraerse que aproximadamente un 95% de las indemnizaciones no superan los 33.000 Euros, mientras que el 5% restante suponen dos tercios (67%) de los importes totales de indemnización. En cuanto a la distribución de fondos por años destaca de manera muy importante el año 2002. Por otra parte, a partir de los datos del Consorcio de Seguros fue posible localizar[25] los siniestros generados por avenidas en la isla, agregando el importe de las correspondientes indemnizaciones por su código postal. En la siguiente figura se representa su distribución territorial, donde se puede apreciar el reparto de las indemnizaciones durante el período considerado (1991-2004).

[24] Hay que destacar que ha sido necesario georreferenciar el inventario anterior e incluso establecer el kilometraje de la red viaria puesto que ninguna de estas dos informaciones se contenía en los datos proporcionados.

[25] En total 2415 casos de inundaciones, lo que representa un 68% de la muestra seleccionada. Este conjunto se considera suficientemente representativo, dado que su importe global alcanza los 39.727.548 Euros, es decir el 73% de las indemnizaciones recibidas por este concepto.

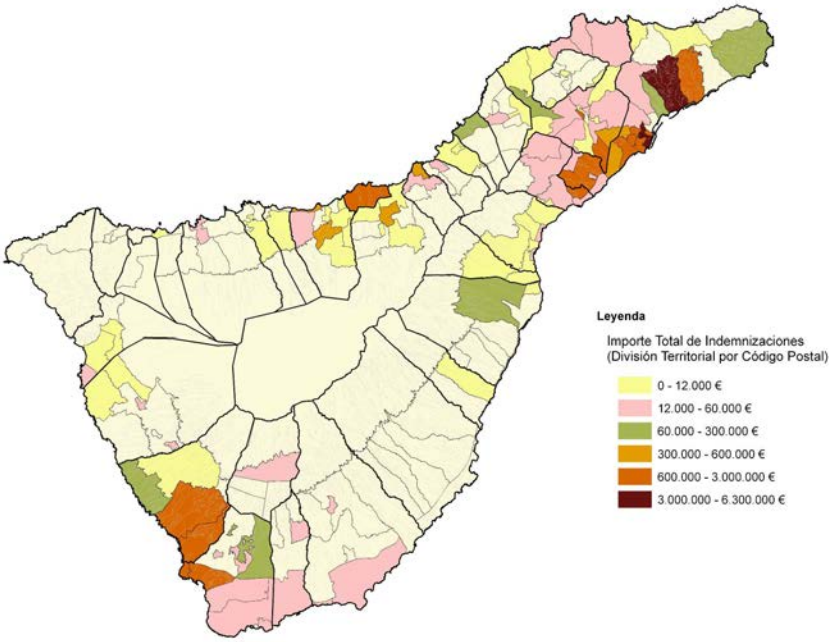


Fig. 10 Indemnizaciones de siniestros generados por avenidas

6.2.8. ELABORACIÓN DE ENCUESTAS INFORMATIVAS

La metodología planteada para la identificación del riesgo exige obtener información directamente de los municipios, entidades públicas y empresas, por lo que una parte de este trabajo se realizó a través de encuestas, cuyos contenidos se orientaron en función de las competencias y el conocimiento del territorio de cada una de ellas

La encuesta municipal permite captar la información sobre riesgos desde la óptica de este nivel administrativo, y por tanto, particularizada territorialmente.

En efecto, las encuestas dirigidas a entidades públicas y empresas incrementaron de forma significativa la información disponible, tanto en términos cuantitativos, añadiendo un gran número de puntos y zonas de riesgo, como cualitativos, a través de las opiniones y comentarios de los técnicos encuestados.

6.3. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE CONSULTA PÚBLICA

Desde 2005 se había progresado suficientemente en los trabajos de redacción del PDA por lo que, ese mismo año, el CIATF consideró procedente y conveniente formular un «AVANCE» y someterlo a la participación social, institucional, profesional y ciudadana, a fin de asentar y perfeccionar sus criterios y contenido, antes de completar su redacción y ser sometido a aprobación inicial.

Como resultado de dicho proceso de participación, que se mantuvo abierto a cualquier tipo de sugerencia durante más de un año (entre sep-2005 y oct-2006), se recibieron diversas alegaciones por parte de instituciones y particulares para su toma en consideración durante el proceso de elaboración del Plan de Defensa Frente a Avenidas. Una vez culminados los trabajos, la Junta General del CIATF, en sesión de 19 de noviembre de 2007, adoptó el acuerdo para la aprobación inicial del documento.

Después de que la COTMAC acordase, en sesión de 22 de marzo de 2010, excluir el PDA del procedimiento de Evaluación de Planes y Programas, la Junta General del CIATF resolvió ratificar el acuerdo adoptado en 2007 y aprobar inicialmente el Plan de Defensa frente Avenidas con fecha 20 de abril de 201, sometiéndolo a información pública y a consulta de las Administraciones Públicas que por razón de la materia o del territorio pudieran resultar afectadas en sus competencias.

Durante este trámite se recibieron nuevas sugerencias y alegaciones de personas privadas, así como diversos informes procedentes de distintas Administraciones Públicas, que se analizaron para la elaboración del correspondiente informe-propuesta de cada una de las aportaciones recibidas, detallándose además las modificaciones introducidas en la documentación final del PDA como consecuencia del proceso de participación.

Ello ha supuesto una nueva fuente de información para la revisión y actualización de los inventarios de riesgos previamente elaborados.

6.4. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

6.4.1. IDENTIFICACIÓN DE REGISTROS DE RIESGO POTENCIAL

La primera etapa del análisis se inició con la identificación de los riesgos potenciales, esto es, comenzando por reconocer la posibilidad de la existencia de un riesgo por avenidas en distintos lugares y en función de diferentes causas dentro de la isla. Al fin de abarcar en la máxima medida posible diferentes puntos de vista en esta identificación, se plantearon varias líneas de trabajo, que se apoyaron en los resultados de los estudios y trabajos realizados, destacando como principales los siguientes:

- El estudio histórico
- El análisis de estudios previos
- El análisis territorial,
- El análisis de las obras de drenaje de la red principal de carretera
- La encuesta municipal
- La encuesta a Entidades Públicas y empresas

Esta fase preliminar denominada “Identificación del riesgo potencial”, concluyó con la elaboración de una relación de registros de riesgo potencial (8.604), que se identificaron a partir de un primer análisis de la información básica.

6.4.2. INVENTARIO INICIAL DE REGISTROS DE RIESGO SIGNIFICATIVO

La segunda etapa del análisis consistió en separar del conjunto de registros de riesgo identificados en la primera, aquellos casos en los que este riesgo no era significativo y, por otra parte, racionalizar y agrupar la información, eliminando repeticiones y agregando en un solo registro todos los que se localizaban en un mismo tramo o en una zona cuyo tratamiento debe ser homogéneo. A través de estos tres procesos de eliminación de registros múltiples, agregación de registros puntuales en registros zonales y eliminación de riesgos no significativos, se pasó de los 8.604 identificados en la primera etapa a un total de 901 registros de riesgo significativo.

6.4.3. INVENTARIO FINAL DE REGISTRO DE RIESGO CONSTATADO

A partir de la información contenida en el inventario inicial de registros significativos se llevaron a cabo un conjunto de visitas de campo. Ello permitió concretar aún más la información y profundizar en las tareas de agregación y eliminación de riesgos no significativos. Además, durante estas visitas se obtuvo información adicional in situ que se utilizó posteriormente para la calificación de los registros. Como consecuencia de estas visitas se redujeron los registros de riesgo anteriores a un total de 547 registros de riesgo constatado. Este trabajo, supuso la tercera etapa del análisis del riesgo realizado.

A esto hay que añadir que, en el tiempo transcurrido durante la fase de tramitación administrativa para su aprobación, se han venido acometiendo una serie de medidas correctoras para reducir la gravedad del riesgo en determinados emplazamientos, como resultado de dichas intervenciones se han descatalogado determinados registros (21), en otros sólo se ha realizado mejoras parciales para reducir el riesgo (8).

Asimismo, se ha tenido conocimiento de nuevas a afecciones a diversos bienes, infraestructuras e instalaciones producidas por fenómenos hidrológicos asociados a eventos meteorológicos recientes, así como por las aportaciones recibidas como consecuencia del proceso de participación pública.

Como resultado de dicha actualización, el inventario final se compone de 581 registros de riesgo. Existen 552 casos registrados que tienen la consideración de riesgo vigente, dado que aún no se ha realizado ninguna de las actuaciones de mejora previstas en el PDA.

6.4.4. CUALIFICACIÓN DE LOS REGISTROS DE RIESGOS INVENTARIADOS

Para la última etapa del análisis se partió del total registros de riesgos inventariados, para cada uno de los cuales se disponía de suficiente información descriptiva, que hubo que sintetizar través de la consideración de cuatro cualidades específicas:

La gravedad.

La causa inmediata del daño.

El tipo de bien o servicio afectado.

Las medidas correctoras necesarias.

El objetivo de esta fase final del análisis fue la cualificar[26] y clasificar[27] los registros inventariados para su posterior evaluación parcial o temática, a efectos de diagnóstico y de propuesta de actuaciones.

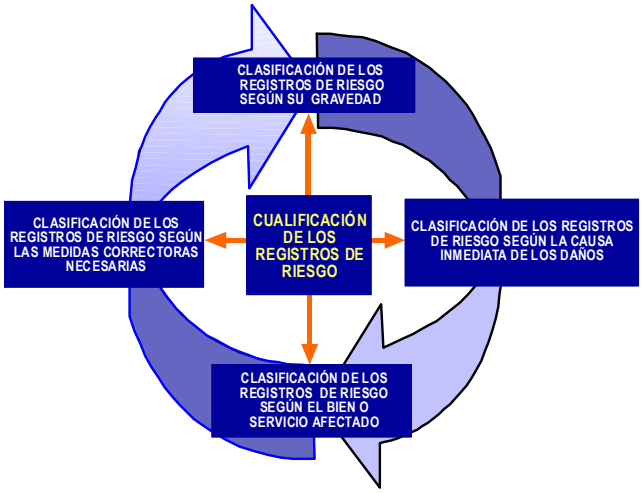


Fig. 11 Cualificación de los registros de riesgo

6.5. SELECCIÓN DE AREAS DE LA RED HIDROGRÁFICA POTENCIALMENTE INDUNDABLES Y DE ALTO RIESGO

6.5.1. PLANTEAMIENTO

De acuerdo con el vigente marco normativo se ha iniciado el proceso de elaboración de los planes de gestión del riesgo de inundación, tal como dispone la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE), así como la norma de transposición correspondiente (RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación).

La evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) constituye la primera fase para la elaboración del correspondiente plan de gestión, que deberá culminarse en 2015.

Este proceso cíclico de planificación deberá revisarse y actualizarse cada seis años, en coordinación con los planes hidrológicos de cuenca, por lo que la normativa aplicable ha previsto que las tareas de gestión del riesgo deberán abordarse en varias etapas.

En lo referente a inundaciones asociadas a escorrentías extraordinarias de origen pluvial, se plantea incluir en el primer Plan de Gestión de Riesgo de Inundación de esta Demarcación el conjunto de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) que, como resultado del análisis y evaluación de la información disponible en este Organismo de Cuenca, se consideren prioritarias para esta primera etapa del ciclo de planificación en curso.

[26] La tarea de "Cualificar" un registro consistió en establecer las cualidades específicas que le califican
[27] la siguiente tarea de "Clasificar" fue fijar la clase o categoría que le caracteriza dentro de cada cualidad.

6.5.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información disponible para la identificación de las ARPSIs se halla contenida en el Inventario de Riesgos Hidráulicos del Plan de Defensa frente a Avenidas (PDA), compuesto por 560 registros actualmente en catálogo que, en función de la gravedad del riesgo y geometría del elemento cartográfico, se resumen en la siguiente tabla:

Geometría	Gravedad	Nº de registros	Longitud (km)
Punto	Escaso	30	-
	Moderado	53	-
	Grave	64	-
	Muy grave	14	-
	Subtotal	**161**	-
Línea	Escaso	7	4,750
	Moderado	11	4,740
	Grave	17	8,592
	Muy grave	3	1550
	Subtotal	**38**	**19,633**
Polígono	Escaso	69	11,871
	Moderado	103	50,130
	Grave	165	63,761
	Muy grave	27	11,991
	Subtotal	**361**	**137,754**
TOTAL		**560**	**157,387**

Tabla 4. Resumen de registros de riesgos hidráulicos, según gravedad y geometría

6.5.3. CONSIDERACIONES PREVIAS

Analizada la información disponible en el Inventario de Riesgos Hidráulicos, se considera que las zonas anegables próximas a los cauces son, por lo general, escasas y su alcance se encuentra bastante limitado, ello como consecuencia del abrupto relieve y pronunciada pendiente del territorio.

Se han identificado todo tipo de problemas como los relacionados con la ocupación urbana, viaria, o agrícola del cauce u otro tipo de riesgos derivados de insuficiencia de las obras de cruce, de la red de alcantarillado o drenaje. Asimismo destaca la importancia del fenómeno torrencial, que se pone de manifiesto por otra casuística diferente, como es la concentración de acarreos sólidos y la generación de escorrentías de ladera.

Por tanto, no puede establecerse una asociación generalizada entre los registros de riesgo inventariados en el PDA y el clásico problema de inundación de márgenes de los cauces objeto de la EPRI, orientada a determinar las ARPSIs a incluir en el correspondiente plan de gestión de riesgos de inundación.

Por otra parte, hay que indicar que gran parte de los riesgos inventariados en el PDA se asocian a registros puntuales – tanto vinculados como ajenos a la red hidrográfica - o bien a tramos de cauce en tramos de pendiente elevada – en zonas medias y altas de la cuenca-, donde se minimiza el riesgo de inundación por elevación de la lámina de agua frente a la presencia de otro tipo de problemas, derivados de la energía cinética del flujo.

Sobre los registros de riesgo del PDA situados fuera del ámbito de las ARPSIs, que no forman parte de esta planificación de riesgo de inundaciones, surtirán los efectos que resulten de la aprobación definitiva del PDA.

6.5.4. METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo de la Evaluación preliminar del riesgo de inundación (art 5. del RD 903/2010), que no es otro que *"determinar aquellas zonas del territorio para las cuales se haya llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial significativo o en las cuales la materialización de este riesgo puede considerarse probable"*, se estableció la siguiente metodología, procediendo en el orden indica a continuación:

1º. Identificación de registros de riesgos hidráulico -asociados a tramos de cauces incluido en el Inventario Oficial - con geometría del tipo línea o polígono, a efectos de priorizar el estudio de ámbitos en riesgo con cierta extensión territorial, frente a problemas de tipo puntual o espacialmente muy localizados que, por sus características, no precisan o resultan inaplicables los modelos de simulación hidráulica para la elaboración de mapas de inundación.

2º. Identificación de los registros de riesgo hidráulico – líneales y poligonales – con categoría de "muy grave", según la evaluación realizada en el PDA.

3º. Selección de Áreas de Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Para ponderar la importancia del riesgo hidráulico en el conjunto de registros calificados con la misma gravedad (categoría "muy grave"), se establecieron las correspondientes relaciones con tres tipos de indicadores:

- Densidad de población del núcleo afectado, en hab/km².
- Superficie de la cuenca, en km² .
- Caudal máximo de avenida (T-500 años), en m³/s.

Para cada indicador se aplicó una numeración en orden creciente e inverso al valor de sus respectivas magnitudes, asociadas a los registros de riesgo hidráulico. Ello permitió establecer un criterio jerárquico, tanto específico del indicador como a nivel global, a efectos de priorizar el grupo de ARPSIs que se consideró oportuno incorporar en la EPRI del primer ciclo de planificación.

El resultado de la puntuación ha sido objeto una revisión posterior de tipo cualitativo (basada en juicio de expertos), considerando además la influencia de otros factores decisivos pero de difícil cuantificación, como son:

- Emplazamiento en zonas de vega o desembocadura de barranco.
- Existencia de registros de riesgo próximos susceptibles de incluirse en el ARPSIs.
- Constancia de inundaciones en el pasado (registradas en archivos históricos)
- Especial vulnerabilidad del ámbito por el tipo de bienes, infraestructuras o servicios ubicados dentro de la zona anegable.
- Ejecución previa de cualquier actuación parcial orientada a reducir el riesgo.

6.5.5. RESULTADOS

De acuerdo con el procedimiento metodológico descrito se obtuvieron, en cada fase, los siguientes resultados:

1ª. Identificación de registros de riesgo hidráulico -asociados a tramos de cauces incluido en el Inventario Oficial- con geometría del tipo línea o polígono: 399 registros de un total de 560.

2ª. Identificación de los registros de riesgo hidráulico – líneales y poligonales – con categoría de "muy grave": 30 registros de un total de 399.

3ª. Selección de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación: 8 ARPSIs asociadas a la red hidrográfica insular.

Los ámbitos de la red hidrográfica considerados como potencialmente inundables y de alto riesgo de inundación son los que se indican en la tabla siguiente:

Cauce	Tramo	Código de Registros de riesgos asociados a las ARPSIS										
		Muy Grave					Grave		Moderado			Escaso
Bco. de Santos	Pte.Serrador-Plaza Europa	**1284**										
Bco. de Santos	Carnicería - Finca España	**2033**					1228	1229	251	1126	1226	2065
Bco. de San Felipe	La Perdoma - Las Dehesas	**524**	536	1181	1179	1194	1137					1182
Bco. de San Juan	Playa San Juan	**316**					466					
Bco. del Infierno	Fañabé-Bahía del Duque	**542**							540			541
Bco. del Bufadero	Bº María Jiménez	**2035**										
Bco. del Hierro	Ofra-Refinería	**2048**	2062	263			1280	1281	1297			
Bco. de Torviscas	El Conde - Costa Adeje	**1156**					543	545				

Nota: En negrita se indica el registro de riesgo que sirvió de referencia para la selección del ARPSI. El resto de códigos corresponden a registros de riesgos integrados en su delimitación.

Tabla 5. Registros de riesgo asociados a las ARPSIs seleccionadas

Las 8 ARPSIs seleccionadas totalizan en su conjunto una longitud de 20,4 km de cauce. En cada una de ellas se localiza al menos un registro de riesgo tipificado como muy grave, que puede ir acompañado además de un determinado número de registros con idéntica o inferior categoría (grave, moderado o escaso).

El resultado final de la selección efectuada se resume en la siguiente tabla.

Nº ARPSIS	Municipio	Nombre del cauce	Tramo	Long. (Km)
1	Santa Cruz	Bco. de Santos	Pte. Serrador-Plaza Europa	0,4
2	La Laguna	Bco. de Santos	Carnicería - Finca España	3,9
3	La Orotava Pto. de La Cruz	Bco. de San Felipe	La Perdoma - Las Dehesas	4,9
4	Guía de Isora	Bco. de San Juan o de Guaría	Playa San Juan	0,3
5	Adeje	Bco. del Infierno	Fañabé-Playas del Duque	2,6
6	Santa Cruz	Bco. del Bufadero	Bº María Jiménez	0,6
7	Santa Cruz	Bco. del Hierrro	Ofra-Refinería	3,6
8	Adeje	Bco. de Torviscas	El Conde -Costa Adeje	4,1
			TOTAL	**20,4**

Tabla 6. Arpsi's asociadas al drenaje territorial (de origen fluvial)

7. IDENTIFICACIÓN DE LAS AREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO A LA DINÁMICA LITORAL

Toda la información disponible para la realización de este trabajo, así como los resultados del análisis y tratamiento de dicha información, que se expone en este capítulo, ha sido recabada y elaborada por el Centro de Estudio de Puertos y Costas del CEDEX.

7.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

7.1.1. NIVELES DEL MAR

La fuente utilizada para los cálculos de los niveles de marea ha sido Puertos del Estado. Entre los mareógrafos existentes en el archipiélago, Tenerife cuenta con uno situado en el puerto de Santa Cruz de Tenerife y otro Granadilla.

Los valores de los niveles de marea se calcularon partir de series de datos registrados por la red de Mareógrafos (REDMAR). Además del nivel medio del mar en la isla se ha calculado el nivel de marea de la pleamar media, así como los valores extremales de períodos de retorno de hasta 500 años. En los cálculos de cotas de inundación se optó por utilizar el máximo valor de régimen extremal obtenido en todo el archipiélago canario, que corresponde al mareógrafo de Arrecife (2,23 metros).

Para determinar el régimen extremal de los niveles de oleaje se ha dispuesto de la Base de datos SIMAR-44 elaborada por Puertos del Estado, en el marco del proyecto europeo HIPOCAS, que recoge series de datos que reproducen temporales ocurridos en el período 1958-2001, a partir de modelado numérico de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje.

7.1.2. COTAS DEL TERRENO

Como base del trabajo realizado en la zona costera se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno (MDT) proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en hojas de 5x7.5 km (una cuarta parte de las hojas 1:25.000). Asimismo, se ha hecho uso del servicio WMS de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Para este trabajo se dispuso también de la línea de costa -digitalizada de cartas náuticas (Instituto Hidrográfico de la Marina)- y del límite del dominio público marítimo-terrestre (Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar).

7.1.3. USOS DEL SUELO

Para valorar la vulnerabilidad de las zonas inundables se dispuso de los datos de usos del suelo recogidos en el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Concretamente, los relativos al grado de edificación de las zonas costeras (coberturas simples) y del uso de las edificaciones (coberturas compuestas).

Como resultado de los trabajos del CEDEX, las coberturas compuestas incluidas en el SIOSE, se distribuyeron en 4 clases diferenciadas en función de su valor social, económico y medioambiental:

- Muy alto: usos urbanos, industriales, terciarios, algunos usos dotacionales y algunos tipos de infraestructuras.
- Alto: algunos usos dotacionales, algunos tipos de infraestructuras y asentamientos agrícolas residenciales
- Moderado: sector primario, huertas familiares y algunos usos dotacionales
- Bajo: todos los usos que no estén incluidos en las clases anteriores.

Para cada polígono se calcularon porcentajes de clases correspondiente a usos y de edificaciones, conjugándose ambos aspectos en una función matemática para la valoración de la vulnerabilidad y clasificación según categorías (Alta, Moderada y Baja).

7.2. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis se utilizaron dos criterios de inundabilidad independientes en función de la duración de la sobreelevación.

- El primero de ellos, que se denominó inundabilidad por mareas, corresponde a las causas de sobreelevación que permanecen durante horas o días, tiempo suficiente para que el nivel del mar se propague hasta cualquier punto cuya cota se encuentre por debajo de dicho nivel. Incluye las mareas astronómica y meteorológica, así como el valor del remonte medio -nivel que se sobrepasa aproximadamente la mitad del tiempo que dura un temporal-.

- Se consideró que era inundable cualquier punto cuya cota fuera inferior a la suma de la cota del nivel de marea de una pleamar media más el remonte medio calculado para un período de retorno de 500 años, siempre que existiese una conexión hidráulica con la costa o que pudiera formarse en condiciones de sobreelevación extraordinaria. El valor del remonte medio que se utilizó en cada tramo de costa era el que correspondía a la orientación de éste.

El segundo criterio de inundabilidad, denominado inundabilidad por oleaje, corresponde al efecto del remonte de las olas. Desde este punto de vista se consideró inundable cualquier punto cuya cota fuera inferior a la máxima cota alcanzable por el nivel del mar por efecto combinado de marea y oleaje con un período de retorno de 500 años, siempre que se encontrase a una distancia de la costa inferior a un valor proporcional a dicha cota, que dependía también de la orientación del tramo de costa considerado.

La automatización de las tareas de geoprocesamiento de datos y tratamiento de capas de información para la identificación de áreas de riesgo en las zonas costeras, fue realizada por el CEDEX mediante el desarrollo de procedimientos y programas informáticos en lenguaje Python para ArcGIS 10.0.

7.2.1. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES

Se delimitaron las zonas inundables por oleaje y zonas inundables por marea asociadas a un periodo de retorno de 500 años y, de acuerdo con la metodología diseñada, los valores de cotas de inundación aplicados a cada tramo de costa dependía de su orientación y estaban referidos al nivel medio del mar.

El procedimiento de delimitación de zonas inundables consistió realizar un cálculo preliminar de las zonas inundables por marea y por oleaje utilizando como cotas las correspondientes a la orientación pésima.

Estos trabajos se completaron con el trazado de una poligonal, cuyos lados definen la orientación media de cada tramo de costa, con la que se determinó la orientación de la perpendicular, los coeficientes de difracción y de refracción (solo en entrantes), los valores de inundación por marea y oleaje utilizados para el cálculo de las cotas de inundación y la anchura de la primera franja costera afectada (en el caso del oleaje).

7.2.2. VALORACIÓN DE LAS AREAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Para calcular el valor de los daños potenciales, en primer lugar se simplificaron los polígonos por unión de zonas inundables por marea y las inundables por oleaje, eliminando la línea divisoria entre recintos con los mismos atributos o de igual categoría, de manera que quedara una sola capa de zonas inundables.

Mediante el cruce de la capa de polígonos de zonas inundables con la de polígonos de usos del suelo se obtuvo finalmente una nueva capa de polígonos, asignándole a cada uno de ellos una categoría de vulnerabilidad. Para ello, se tuvo en cuenta el porcentaje de superficie ocupado por determinados usos, así como el valor asociado a cada uno de ellos.

7.3. SELECCIÓN DE AREAS DEL LITORAL POTENCIALMENTE INUNDABLES Y DE ALTO RIESGO

Como resultado del proceso metodológico, que se describe en el ANEXO 6, finalmente se seleccionaron los tramos de costa con una significativa concentración en sus proximidades de zonas con vulnerabilidad obteniendo 25 Áreas con Riesgo Potencial significativo de Inundación (ARPSIs), que se relacionan en la siguiente tabla, estimándose en total una longitud de litoral afectado de 22,2 km:

Nº ARPSIS	Municipio	Denominación	Long. (Km)
1	Santa Cruz	El Llano-Casas de Abajo (Igueste de S. Andrés)	0,1
2	Santa Cruz	San Andrés-Bco. de las Huertas	0,6
3	El Rosario	El Chorrillo	0,2
4	Candelaria	Las Caletillas	0,3
5	Candelaria	Candelaria	1,0
6	Candelaria	Los toscales de la viuda	0,4
7	Güímar	El Socorro	0,5
8	Güímar	Puertito de Güimar	0,8
9	Arico	Poris de Abona	0,4
10	Arico	San Miguel de Tajao	0,2
11	Arico	Urb. Callao del Río-Cueva Honda	0,3
12	Granadilla de Abona	El Médano	0,8
13	Granadilla de Abona	La Mareta	0,2
14	Arona	Las Galletas	1,0
15	Arona	Palm-Mar	0,9
16	Arona	Los Cristianos	3,9
17	Arona - Adeje	Las Américas – San Eugenio	3,1
18	Adeje	Playa de Fañabé	1,3
19	Adeje	La Caleta	0,6
20	Guía de Isora	Playa de San Juan	0,7
21	Guía de Isora	Alcalá	0,4
22	Santiago del Teide	Los Gigantes	0,6
23	Puerto de la Cruz	Puerto de la Cruz	3,2
24	La Laguna	Bco. del Tanque – La Barranquera (Valle Guerra)	0,2
25	Santa Cruz	Roque de las Bodegas	0,3
		TOTAL	**22,2**

Tabla 7. Arpsi's asociadas a la dinámica litoral (de origen costero)

8. INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La Comisión Nacional del Clima ha previsto para el conjunto del territorio español un cambio climático basado en una ligera disminución de la precipitación media anual y un aumento de la temperatura, lo que supondría una disminución de los recursos hídricos, en general.

En la isla de Tenerife las aguas de escorrentía superficial apenas tienen representación en la oferta hídrica; son las aguas subterráneas las que proporcionan casi el 82% del agua de consumo. Aguas subterráneas que son extraídas de un acuífero cuyo principal aporte es la recarga de la lluvia.

Junto con una laboriosa y ordenada puesta al día de toda la información hidrometeorológica de la Isla, el Consejo Insular de Aguas de Tenerife ha venido desarrollando un modelo distribuido de simulación de hidrología de superficie (MHS) que a su vez es la entrada de un modelo de flujo subterráneo (MFS), como herramientas básicas para la evaluación y planificación de los recursos hídricos.

Recientemente se han completado las series de datos hidrometeorológicos de los últimos 66 años (período 1944/45-2009/10), cuya evolución refleja un aumento progresivo de las temperaturas (a razón de 0,01ºC/año) y un descenso de la precipitación total media (- 2,5 mm/año).

Asimismo, la tendencia observada para este periodo es de un descenso general en todas las variables hidrológicas: la precipitación se reduce en casi 5 hm^3/año, la escorrentía desciende más de un 3 % respecto al valor medio, y la infiltración disminuye en casi 3,5 hm^3/año, proporcionalmente el doble de lo que lo hace la precipitación, lo que tiene efectos muy importantes sobre el sistema acuífero.

Del análisis de las magnitudes anteriores no se puede afirmar taxativamente que el cambio climático sea ya una realidad en Tenerife, pero dichos indicadores apuntan que sus efectos en esta isla pueden ser bastante trascendentes.

Tanto a nivel mundial como estatal se han realizando diversos estudios y trabajos científicos para cuantificar las consecuencias del cambio climático derivado del aumento de los gases de efecto invernadero, pero todavía existen incertidumbres sobre los fenómenos meteorológicos extremos - más que con las tendencias medias - pues aún no han podido establecerse conclusiones firmes al respecto. A día de hoy no se dispone de estudios concluyentes sobre la posible relación entre el cambio climático y el incremento de zonas inundables.

En este sentido, cabe hacer referencia al documento técnico VI del IPCC (Intergovernamental Panel on Climate Change), El Cambio Climático y el Agua que recoge - en su apartado 2.1.- lo siguiente:

"Todos los componentes del ciclo hidrológico presentan una variabilidad natural notable –en escalas de tiempo interanuales a decenales- que enmascara frecuentemente las tendencias a

largo plazo. Subsisten todavía incertidumbres importantes respecto a la tendencia de las variables hidrológicas, debido a las grandes diferencias regionales y a las limitaciones en la cobertura espacial y temporal de las redes de monitoreo" (Huntington, 2006).

Continua en el apartado 2.1.1 haciendo las siguientes referencias:

"Hasta el momento, la atribución de las variaciones de la precipitación mundial es incierta, puesto que la precipitación está fuertemente influida por las pautas de variabilidad natural en gran escala."

La tendencia lineal del promedio obtenido de la RMCH entre 1901 y 2005 es estadísticamente insignificante. Ninguna de las estimaciones de tendencia respecto al período 1951-2005 es apreciable, existiendo muchas discrepancias entre los conjuntos de datos, lo que demuestra la dificultad de monitorizar una magnitud como la precipitación, que presenta una gran variabilidad tanto en el espacio como en el tiempo.

En lo referente a los episodios de precipitación que originan las avenidas se cita lo siguiente:

"Se ha observado en todo el mundo un aumento de los episodios de precipitación intensa (por ejemplo, por encima del percentil 95) incluso en lugares en que la cantidad total ha disminuido. Este incremento está asociado a un aumento de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera y se corresponde con el calentamiento observado (Figura adjunta a continuación). En las estadísticas de lluvia, sin embargo, predominan las variaciones interanuales o decenales y las estimaciones de tendencia no concuerdan espacialmente."

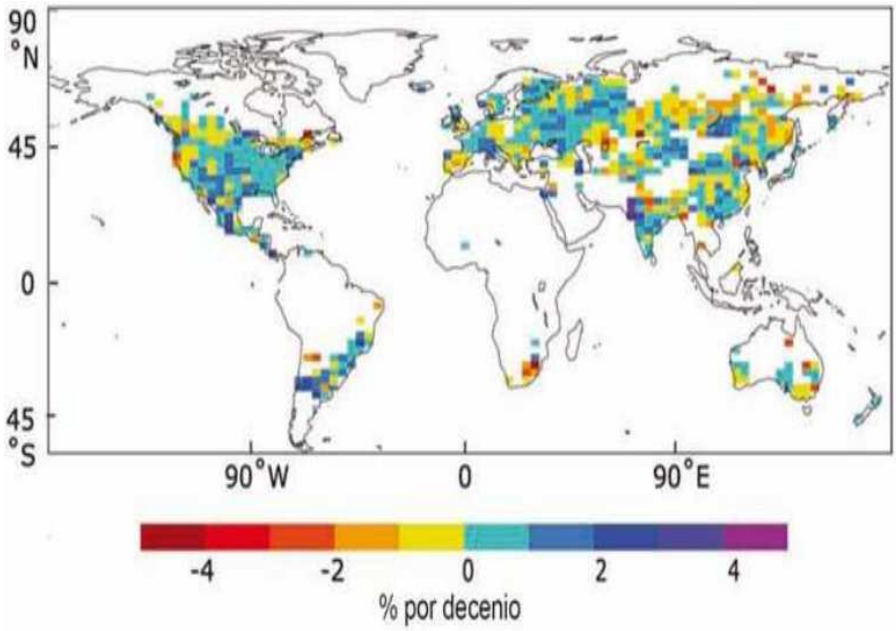


Fig. 12.Calentamiento observado en el mundo

Por la escala de trabajo utilizada en el referido documento, en la latitud en la que se encuentra el archipiélago canario no puede apreciarse observación de tendencia (% por decenio) de la

contribución de los días muy húmedos a la precipitación total anual. Aunque a la vista de los resultados obtenidos a nivel global no cabe aventurar que el cambio climático suponga en el futuro un incremento de la intensidad y frecuencias de los episodios de precipitación

Tampoco se ha realizado la cuantificación de este fenómeno en todas las regiones del planeta, pero el resultado del análisis de tendencias obtenido en las que se encuentran más próximas y disponen de información (península ibérica) refleja que los valores se sitúa entre el 0 y -1% por decenio.

En Tenerife se han padecido durante los últimos años los efectos de varias borrascas significativas, cuyas descargas de intensas lluvias han generado daños importantes en diversas zonas de la Isla. Sin embargo, la información disponible y los indicios que se tienen hasta el momento apuntan un incremento de la frecuencia de fenómenos extremos, no tanto de su magnitud. Por ello se considera que los estudios realizados para la caracterización del régimen extremal de precipitaciones, contenidos en la Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenidas en Tenerife- constituyen un instrumento adecuado para este fin, por lo que la EPRI realizada con apoyo de dicha herramienta puede seguir considerándose válida a futuro.

9. DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA

A continuación se citan los principales documentos que han servido de consulta para la realización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundaciones en la Demarcación Hidrográfica de El Tenerife:

- Plan de Defensa Frente a Avenidas de Tenerife.
- Guía Metodológica para el Cálculo de Caudales de Avenida en la Isla de Tenerife.
- Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables: Evaluación Preliminar del Riesgo (EPRI). Dirección General del Agua, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).
- Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Visor SNCZI). Dirección General del Agua, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).
- Cartografía digital de GRAFCAN a escala 1:5.000.
- Colección de ortofotos de GRAFCAN a escala 1:5000.
- SIOSE: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España. Se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), que coordina y gestiona el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), integrando las bases de datos existentes en el ámbito nacional y en las Comunidades.
- Mapa de usos de del suelo de GRAFCAN
- Información de población y densidad de habitantes: Instituto Nacional de Estadística (ISTAC).
- RED NATURA 2000. Cobertura de espacios LICs y ZEPAS. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

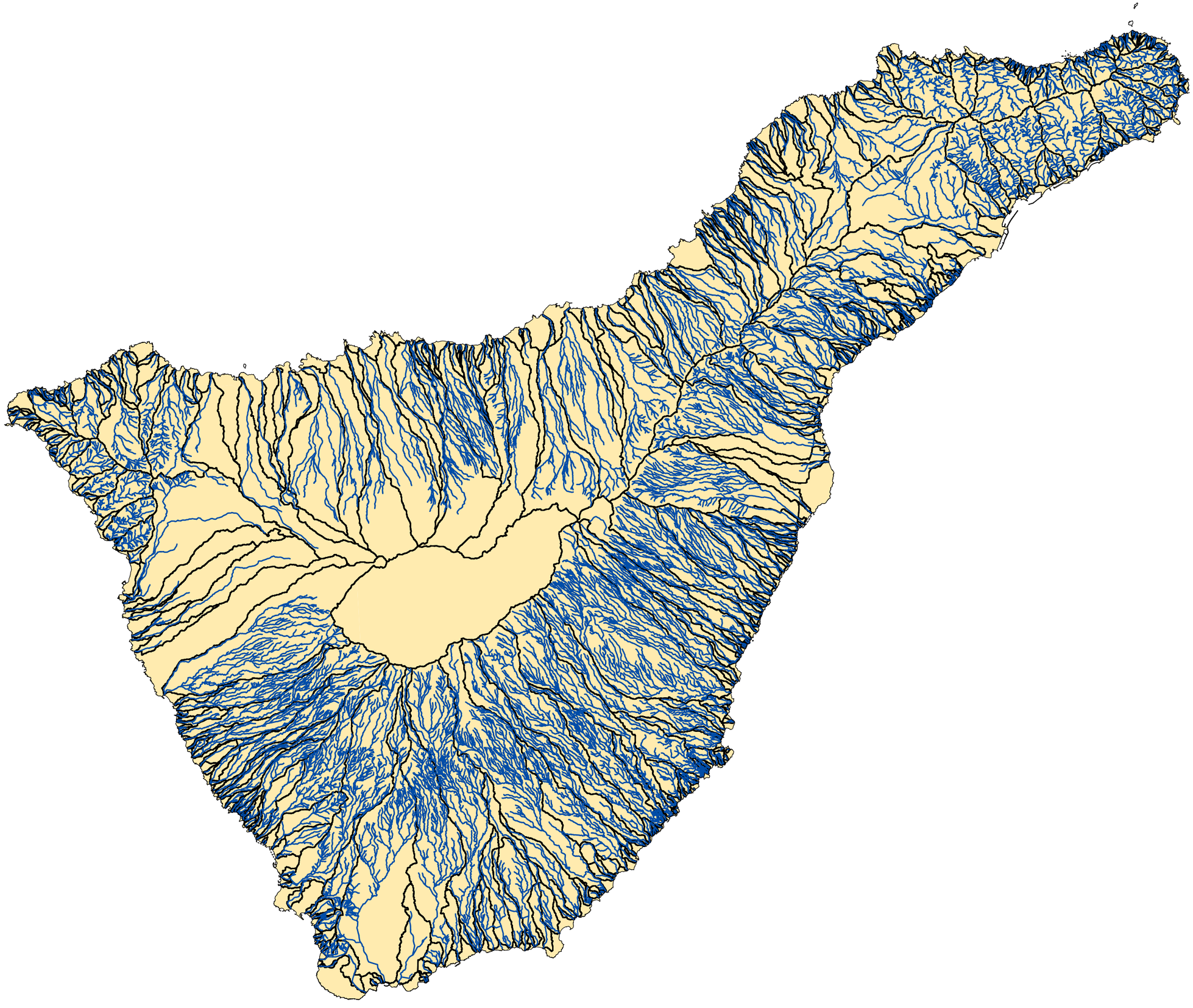
ANEXOS

ANEXO 1:

MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE INDICANDO EL LÍMITE DE LAS CUENCAS

N

CIATF

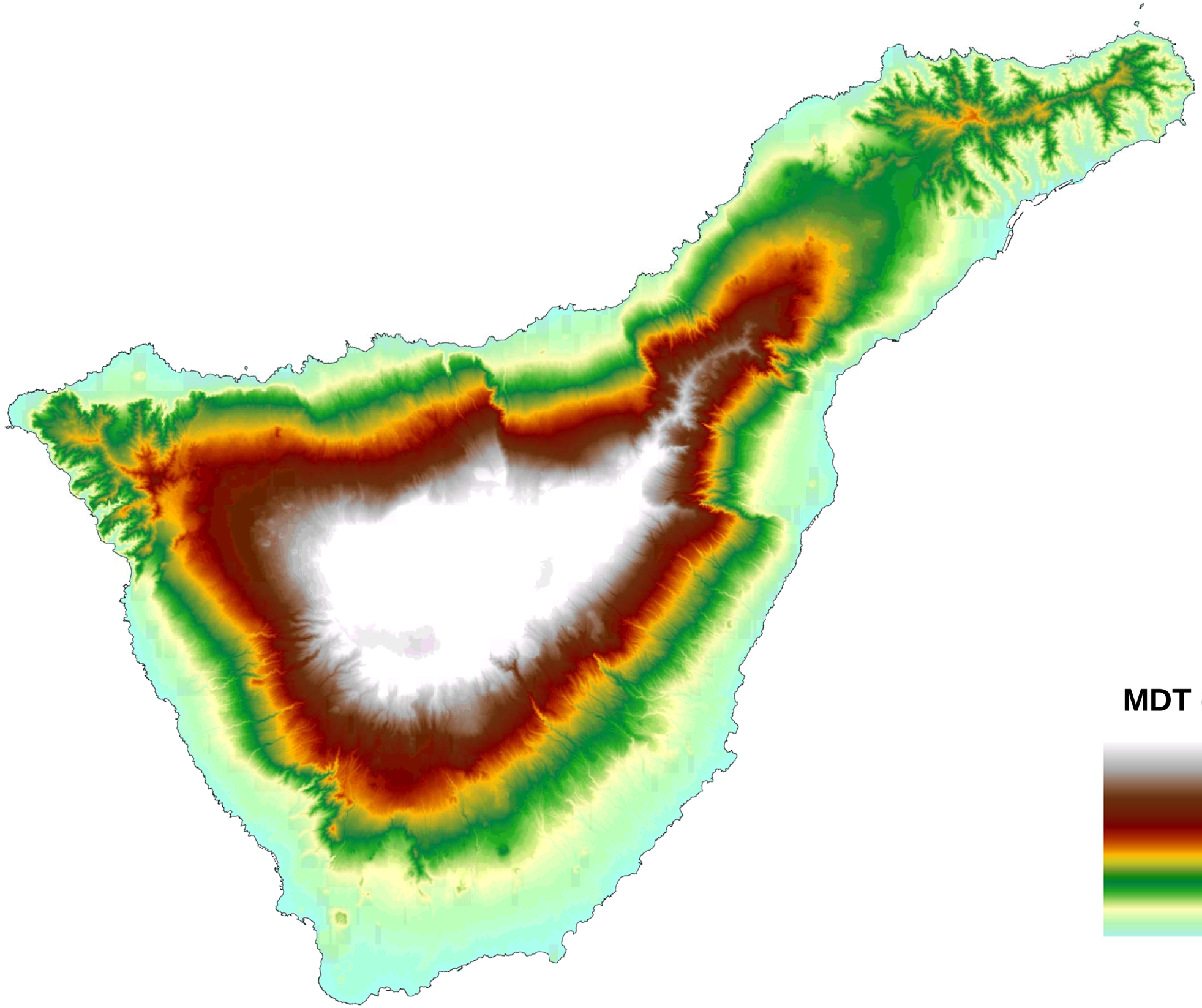


CIATF Consejo Insular de Aguas de Tenerife	TÍTULO: EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	ESCALA: A3: 1/250.000	COLABORADOR: CIVILPORT	DESIGNACIÓN: PLANO DE LAS CUENCAS DE LA DEMARCACIÓN DE TENERIFE

ANEXO 2:

MAPA TOPOGRÁFICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

CIATF



MDT (m)

3713

0

CIATF Consejo Insular de Aguas de Tenerife	TÍTULO EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	ESCALA: A3: 1/250.000	COLABORADOR: CIVILPORT	DESIGNACIÓN: PLANO DE LA TOPOGRAFÍA DE LA DEMARCACIÓN DE TENERIFE

ANEXO 3:

MAPA DE USOS DEL SUELO DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

N

CIATF

Ocupación del suelo

- Residencial Continuo
- Residencial Diseminado
- Residencial en Vial
- Red de carreteras
- Instalaciones aeropuerto
- Instalaciones portuarias
- Complejos comerciales
- Complejos industriales
- Equipamientos deportivos, de ocio...
- Cementerios
- Instalaciones militares
- Espacios verdes urbanos
- Tomate
- Plátano
- Flores y ornamentales
- Cultivos herbáceos (huertas)
- Frutales tropicales
- Frutales templado oceánicos
- Frutales cítricos
- Viña
- Invernadero
- Cultivos abandonados
- Frondosas Barrancos
- Bosques termófilos
- Laurisilva
- Fayal-Brezal
- Castaño
- Eucaliptus
- Pino canario
- Pino insignis
- Pino carrasco
- Costas
- Matorral costero
- Matorral degradado
- Cañaveral
- Escobonal
- Matorral de cumbre
- Pastizal
- Balsas
- Estanques
- Presas
- Lagunas o piscinas litorales
- Salinas
- Océanos
- Extracción de materiales, obras
- Vertederos, escombreras
- Sin vegetación;coladas recientes
- Playas, dunas y arenales
- Vegetación escasa

CIATF Consejo Insular de Aguas de Tenerife

TÍTULO

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

ESCALA:

A3: 1/250.000

COLABORADOR:

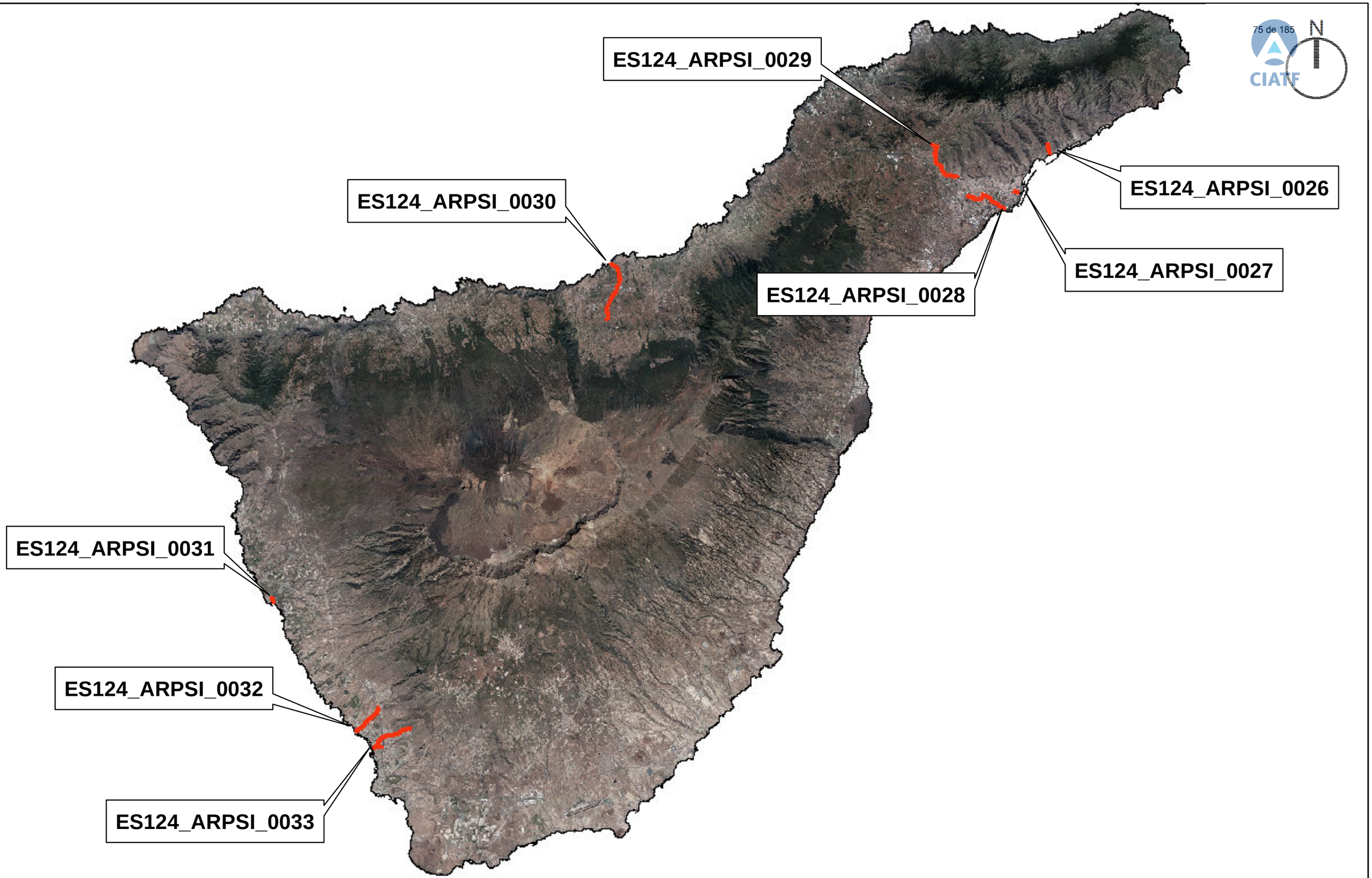
CIVILPORT

DESIGNACIÓN:

PLANO DE LA OCUPACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO DE LA DEMARCACIÓN DE TENERIFE

ANEXO 4:

PLANO GUÍA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ARPSIs ASOCIADAS AL DRENAJE TERRITORIAL EN EL ÁMBITO DE LA DEMARCACIÓN



CIATF Consejo Insular de Aguas de Tenerife	TÍTULO: EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	ESCALA: A3: 1/250.000	COLABORADOR: CIVILPORT INGENIEROS	DESIGNACIÓN: PLANO DIRECTOR DE LAS ARPSIS DE LA DEMARCACIÓN DE TENERIFE

ANEXO 5:

FICHAS DE LAS ÁREAS DE RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO ASOCIADO AL DRENAJE TERRITORIAL

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0026

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco del Bufadero
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 1197
CUENCA: BARRANCO DEL BUFADERO
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de María Jiménez. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, carreteras e instalaciones portuarias

2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
25/11/1989	1	Fuerte corriente en el Bco. del Bufadero
13/12/1995	1	Desbordamiento del Bco. del Bufadero
31/03/2002	1	Tormenta excepcionalmente intensa

Fecha:	Días:	Descripción
01/02/2010	1	Afección al Bco. del Bufadero

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: S/C de Tenerife

Nombre:

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☐ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☒ SECTORES ECONÓMICOS

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0026 - Barranco del Bufadero

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0027

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco de Santos
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 1064
CUENCA: BARRANCO DE SANTOS
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de S/C de Tenerife. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, viario urbano y patrimonio cultural.

2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción	Fecha:	Días:	Descripción
11/11/1950	1	Inundaciones de las cuevas del Bco. de Santos	31/03/2002	1	El agua rebasó los últimos puentes del Bco. de Santos
24/11/1968	1	Un hombre ahogado en el Bco. de Santos	01/02/2010	1	Afección al Bco. de Santos y a la desembocadura de su cuenca
07/02/1973	1	Bco. de Santos con alto nivel de agua			

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre:	Nombre:
S/C de Tenerife	

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO			
SALUD HUMANA	☒	SOCIAL	☒	COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐	ÁREAS PROTEGIDAS	☐	IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐	ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐	FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☒	LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐	PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒	RESIDENCIAL	☐	AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒	INFRAESTRUCTURAS	☒	SECTORES ECONÓMICOS

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0027 - Barranco de Santos

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0028

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco del Hierro
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 3660
CUENCA: BARRANCO DEL HIERRO
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de S/C de Tenerife. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, viario urbano, refinería, centros educativos, etc.

2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción	Fecha:	Días:	Descripción
26/02/1974	1	El puente del barrio Buenos Aires afectado por las lluvias			
31/03/2002	1	Extensa riada en el Bco. del Hierro			

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre:	Nombre:
S/C de Tenerife	

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO			
SALUD HUMANA	☒	SOCIAL	☒	COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐	ÁREAS PROTEGIDAS	☐	IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☒	ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☒	FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐	LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐	PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒	RESIDENCIAL	☐	AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒	INFRAESTRUCTURAS	☒	SECTORES ECONÓMICOS

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0028 - Barranco del Hierro

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0029

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco de Santos
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 4155
CUENCA: BARRANCO DE SANTOS
ISLA: TENERIFE
DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de La Laguna. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, viario urbano, patrimonio cultural, etc.

2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
04/05/1944	1	En La Laguna se produjeron inundaciones y arrastres de viviendas y animales
11/11/1950	1	Inundaciones en toda La Laguna.
31/12/1968	1	La Vega de La Laguna inundada.
12/02/1971	1	Inundaciones en La Laguna debidas al vertido de escombros en bcos. y acequias
10/04/1977		Inundaciones en ciudad jardín de La Laguna
06/01/1979	1	Inundaciones en La Laguna
16/01/1979	1	Inundaciones en La Laguna
05/01/1999	1	Inundaciones en La Laguna
26/10/1999	1	Inundaciones y desbordamiento de alcantarillas en La Laguna

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: La Laguna
Nombre:

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☒ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☐ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☒ SECTORES ECONÓMICOS

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0029 - Barranco de Santos (La Carnicería)

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0030

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco de San Felipe
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 5017
CUENCA: BARRANCO DE SAN FELIPE
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza los núcleos urbanos de La Perdoma, La Luz (La Orotava), La Vera, Las Dehesas y S. Antonio-El Esquilón (Puerto de la Cruz). Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, carreteras, etc.

2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
07/11/1826	1	Desbordamiento del Bco. de San Felipe
24/11/1968	1	La fuerza de la corriente del Bco. de S. Felipe destruyó 40 viviendas, se llevó los muros de canalización y produjo depósitos de piedras y lodo entre el castillo de San Felipe y el barranco.

Fecha:	Días:	Descripción
06/01/1979	1	Inundaciones en La Orotava y Puerto de la Cruz

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: La Orotava

Nombre: Puerto de la Cruz

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☐ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☐ SECTORES ECONÓMICOS

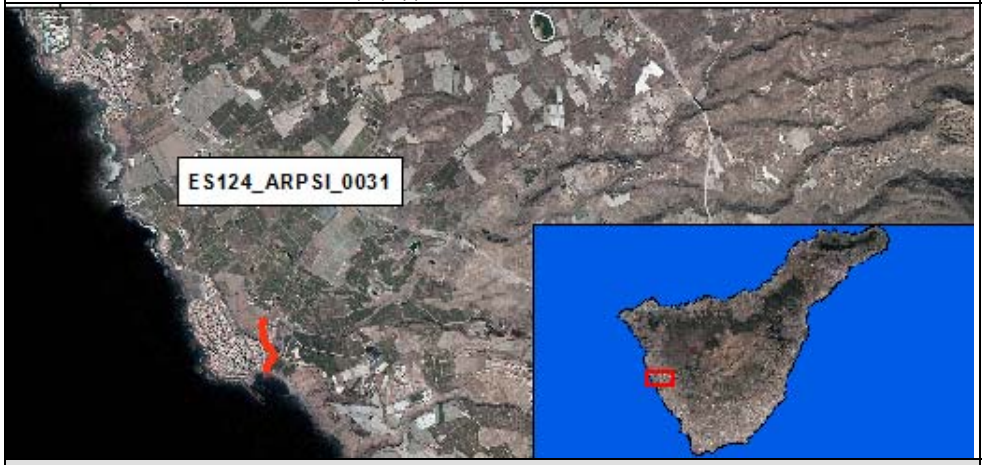
ARPSI nº: ES124_ARPSI_0030 - Barranco de San Felipe

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0031

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco de San Juan
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 463
CUENCA: BARRANCO DE SAN JUAN
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de Playa de San Juan (Guía de Isora). Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, carreteras, playa y paseo litoral.



2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
09/12/1989	1	Locales inundados en Playa de San Juan
03/03/2013	1	Las lluvias acumuladas en 12 h superaron el umbral de 100 L/m^2 produciendo en Playa San Juan, cuantiosos daños en la red de drenaje e infraestructuras aledañas.

Fecha:	Días:	Descripción

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: Guía de Isora	Nombre:

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☐ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☒ SECTORES ECONÓMICOS

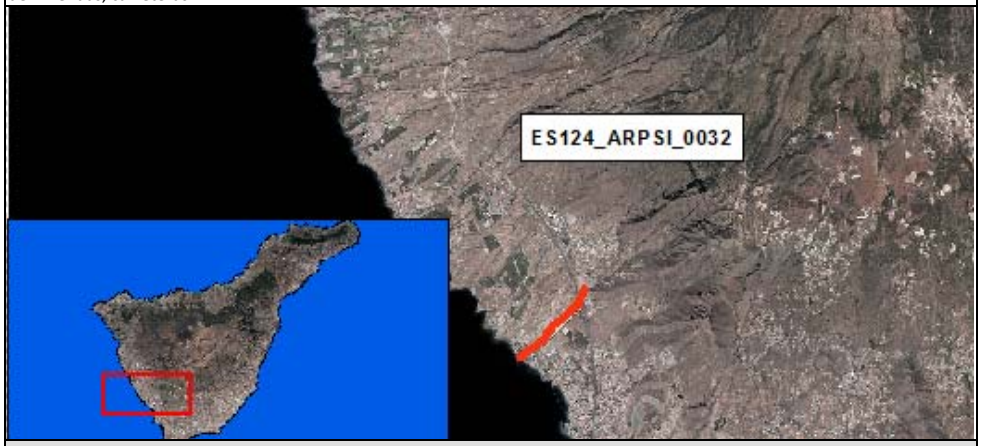
ARPSI nº: ES124_ARPSI_0031 - Barranco de San Juan

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0032

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco del Infierno
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 2798
CUENCA: BARRANCO DEL INFIERNO
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de Costa Adeje. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, carreteras.



2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
11/11/2000	1	Sótanos y viviendas inundados

Fecha:	Días:	Descripción

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: Adeje

Nombre:

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☒ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☒ SECTORES ECONÓMICOS

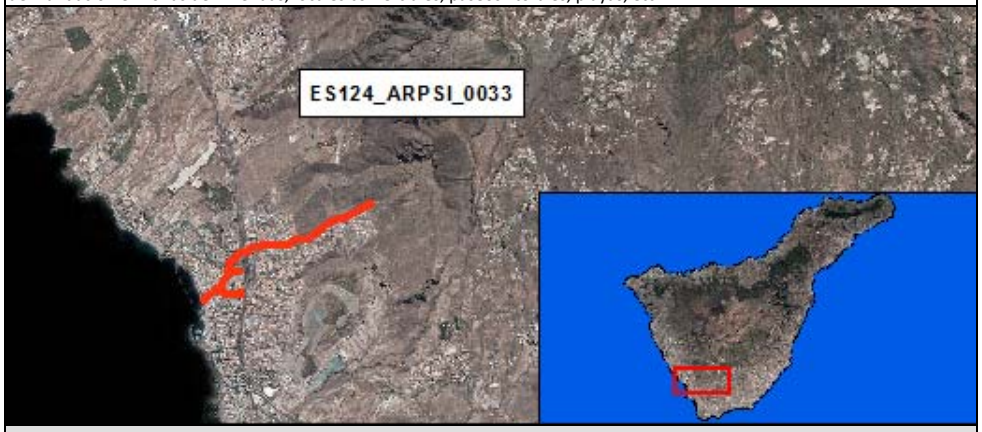
ARPSI nº: ES124_ARPSI_0032 - Barranco del Infierno

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0033

1. LOCALIZACIÓN

DEMARCACIÓN: TENERIFE
NOMBRE: Barranco de Torviscas
COMUNIDAD AUTÓNOMA: CANARIAS
PROVINCIA: S/C DE TENERIFE
LONGITUD (m): 4250
CUENCA: BARRANCO DE TORVISCAS
ISLA: TENERIFE

DESCRIPCIÓN: Tramo de cauce que cruza el núcleo urbano de Costa Adeje-Torviscas y Miraverde. Existe un riesgo importante de inundación en zonas de viviendas, locales comerciales, paseos litorales, playas, etc.



2. EPISODIOS DE INUNDACIONES

Fecha:	Días:	Descripción
11/11/2000	1	Costa Adeje inundada. Las zonas más afectadas son accesos a Torviscas y entrada a Playa Fañabé
20/11/2001	1	Inundaciones en La Pinta en Costa Adeje de aguas pluviales y fecales por el desborde de la red de alcantarillado.
21/10/2003	1	Retenciones de tráfico en la autopista del Sur de Tenerife a la altura de Torviscas, en Adeje, debido a un charco de agua y barro en el Km 75,5.

3. TÉRMINOS MUNICIPALES AFECTADOS

Nombre: Adeje
Nombre:

4. TIPO INUNDACIONES

ORIGEN: FLUVIAL
FUENTE: PLAN DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE

5. CATEGORÍA Y TIPO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS

CATEGORÍA	TIPO	
SALUD HUMANA	☒ SOCIAL	☒ COMUNIDAD
MEDIO AMBIENTE	☐ ÁREAS PROTEGIDAS	☐ IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE
	☐ ECOLÓGICO O QUÍMICO DE LAS AGUAS	☐ FUENTES DE CONTAMINACIÓN
PATRIMONIO CULTURAL	☐ LUGARES DE INTERÉS CULTURAL	☐ PAISAJE
ACTIVIDAD ECONÓMICA	☒ RESIDENCIAL	☐ AGRICULTURA, SELVICULTURA Y R.NATURALES
	☒ INFRAESTRUCTURAS	☒ SECTORES ECONÓMICOS

ARPSI nº: ES124_ARPSI_0033 - Barranco de Torviscas

ANEXO 6:

EVALUACIÓN DE ZONAS COSTERAS EN RIESGO DE INUNDACIÓN.

ANEJO

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE

Madrid, diciembre de 2011

ÍNDICE

1. FUNDAMENTOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS 1

1.1. CAUSAS DE LAS SOBREELEVACIONES DEL NIVEL DEL MAR 1
1.1.1. Marea astronómica 1
1.1.2. Depresión barométrica 3
1.1.3. Viento de mar a tierra 4
1.1.4. Efecto Coriolis 4
1.1.5. Oleaje 5
1.1.6. Otras causas 6
1.2. MEDICIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOBREELEVACIONES 7
1.3. CRITERIOS DE INUNDABILIDAD 9
1.3.1. Riberas en costa abierta 9
1.3.2. Riberas en entrantes de agua 9

2. INFORMACIÓN UTILIZADA 10

2.1. NIVELES DEL MAR 10
2.2. COTAS DEL TERRENO 14
2.3. USOS DEL SUELO 15

3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL GEOPROCESAMIENTO DE DATOS 15

3.1. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES 16
3.2. VALORACIÓN DE LAS ÁREAS POTENCIALMENTE INUNDABLES 18

4. ELECCIÓN DE LAS ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN 18

APÉNDICES

APÉNDICE 1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO GIS PARA DELIMITAR LAS ZONAS INUNDABLES
APÉNDICE 2 MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN MARINA.
APÉNDICE 3. METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

ILUSTRACIONES Y TABLAS

ILUSTRACIÓN 1. PUNTOS DE PREDICCIÓN DE MAREA ASTRONÓMICA 2
ILUSTRACIÓN 2. MAPA METEOROLÓGICO (AEMET) 3
ILUSTRACIÓN 3. MAPA METEOROLÓGICO 2 (AEMET) 4
ILUSTRACIÓN 4. MAPA DE CORRIENTES (ESEOO) 5
ILUSTRACIÓN 5. MAREÓGRAFOS DE PUERTOS DEL ESTADO 7
ILUSTRACIÓN 6. BOYAS DE OLEAJE DE PUERTOS DEL ESTADO 8
ILUSTRACIÓN 7. PUNTOS SIMAR DE CANARIAS 12

TABLA 1. MAREÓGRAFOS DE TENERIFE 10
TABLA 2. COTAS DE INUNDACIÓN (M) POR MAREA Y POR OLEAJE PARA LA D.H. DE TENERIFE 13
TABLA 3. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 18
TABLA 4. ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN 19

1. FUNDAMENTOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Consultado el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas se ha llegado a la conclusión de que la información sobre inundaciones en zonas costeras de origen marítimo, es decir, producidas por niveles extremadamente altos de la superficie del mar, es prácticamente inexistente. Las inundaciones en zonas costeras que aparecen registradas son siempre por desbordamiento de ríos o torrentes cerca de la desembocadura y éstas ya han sido incluidas en el inventario realizado para las inundaciones de origen fluvial.

Por otra parte, la aplicación de métodos geomorfológicos para identificar indicios de inundaciones pasadas en zonas costeras resulta poco eficaz porque, si la costa es elevada, no se han producido inundaciones, y si la costa es baja, el intenso desarrollo urbanístico y las numerosas regeneraciones de playas que se han llevado a cabo durante las últimas décadas ha hecho que, por un lado, hayan desaparecido dichos indicios y, por otro, que la topografía y las características hidráulicas (permeabilidad, rugosidad, pendiente) del terreno se hayan modificado sustancialmente.

En consecuencia, la evaluación preliminar de riesgos de inundación en las zonas costeras de esta Demarcación Hidrográfica se ha hecho fundamentalmente comparando los niveles del mar excepcionalmente elevados (período de retorno de 500 años) con las cotas actuales del terreno.

1.1. CAUSAS DE LAS SOBREELEVACIONES DEL NIVEL DEL MAR

1.1.1. Marea astronómica

La marea astronómica se produce por la atracción que ejercen los astros (fundamentalmente la Luna, porque está cerca, y el Sol, porque tiene una gran masa) sobre los océanos. El efecto combinado de esta atracción con la rotación de la Tierra hace que en latitudes medias como las de España se manifieste como una sucesión de oscilaciones del nivel del mar con un máximo (pleamar) y un mínimo (bajamar) en cada ciclo. El período medio de oscilación es de aproximadamente doce horas y media. La carrera de marea (diferencia de cotas entre una pleamar y una bajamar sucesivas) en una localización determinada es mayor cuando los tres astros están alineados (Luna Nueva y Luna Llena), lo que se denomina marea viva. En Cuarto Creciente y en Cuarto Menguante las fuerzas atractivas son perpendiculares entre sí y como consecuencia, las carreras de marea son menores (marea muerta).

En la costa atlántica las mareas vivas son del orden de 3,5 metros, con pequeñas variaciones locales que dependen de la forma de la costa. En el Mediterráneo, sin embargo, son del orden de 0,3 metros. La diferencia se debe a que en la costa atlántica se acumula el efecto que la fuerza atractiva va ejerciendo a lo largo de todo el Océano Atlántico, mientras que en el Mediterráneo, esta acumulación se nota poco por el tamaño relativamente pequeño de su cuenca.

La evolución de los niveles de la marea astronómica en un emplazamiento concreto puede expresarse como suma de un conjunto de varias decenas de componentes senoidales;

$$\eta = \sum_m A_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_m} - \varphi_m\right)$$

donde η es el nivel del agua, T_m es el período de la componente de orden m.

La amplitud A_m y la fase φ_m de cada componente se determinan a partir de un análisis de los niveles registrados durante largos períodos de tiempo, usualmente un año. Una vez calculadas se pueden hacer predicciones muy exactas para decenas de años y a partir de estos datos, se pueden realizar análisis estadísticos de niveles con gran precisión.

En la figura siguiente se muestra un mapa de los puntos de la costa española donde es posible obtener datos de predicción suministrados por el departamento de Oceanografía y Meteorología de Puertos del Estado.

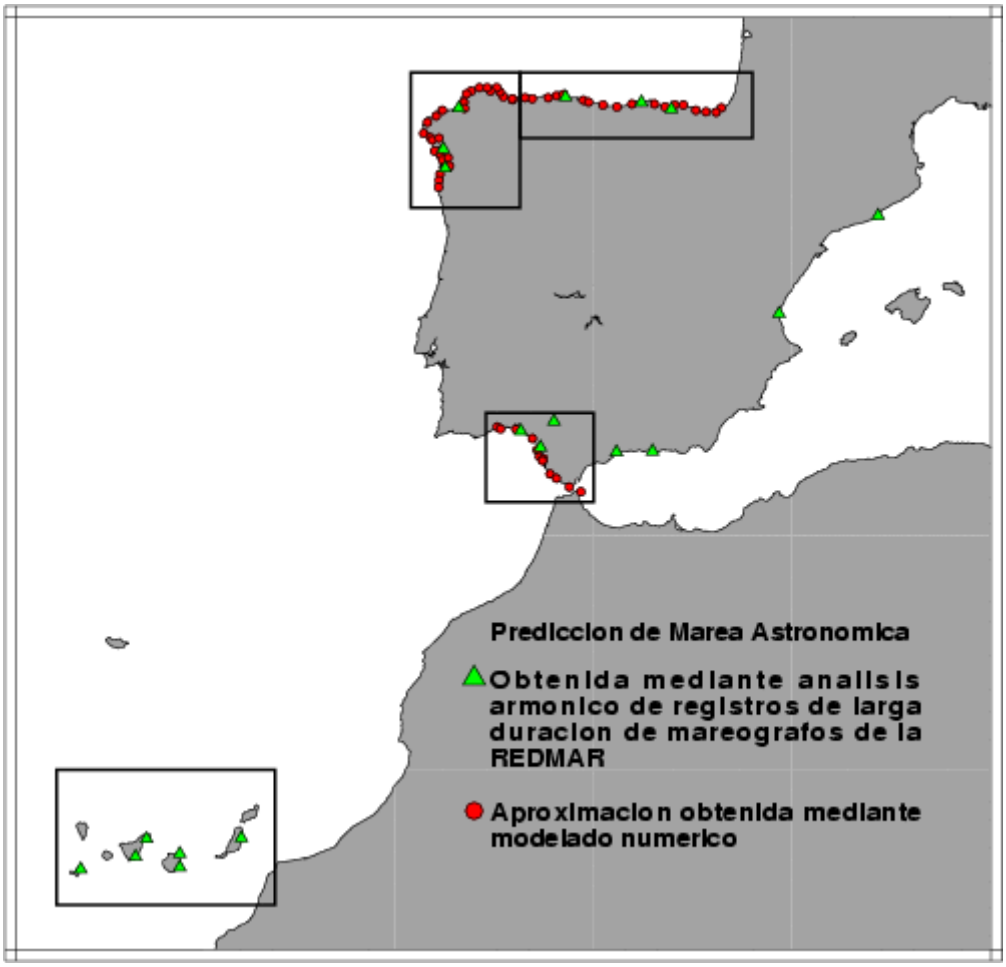


Ilustración 1. Puntos de predicción de marea astronómica

1.1.2. Depresión barométrica

Cuando entre dos puntos del mar existe una diferencia de presión barométrica, se produce una fuerza que tiende a mover la masa de agua desde el punto de mayor presión hasta el de menor presión hasta que el desnivel compensa la diferencia de presión ejercida por la atmósfera. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho g}\frac{\partial p}{\partial x}$$

siendo p la presión barométrica, ρ la densidad del agua de mar y g la aceleración de la gravedad.

El resultado es que las depresiones barométricas producen una sobreelevación del nivel del mar de una magnitud que es aproximadamente igual a 1 cm por cada hectopascal.

En la figura siguiente puede verse un “mapa del tiempo” en el que se aprecia una depresión situada sobre la costa gallega: presión de 990 hectopascales respecto a la presión normal, que es de 1013 hectopascales, lo que se traduciría en una sobreelevación por depresión barométrica de 23 cm.

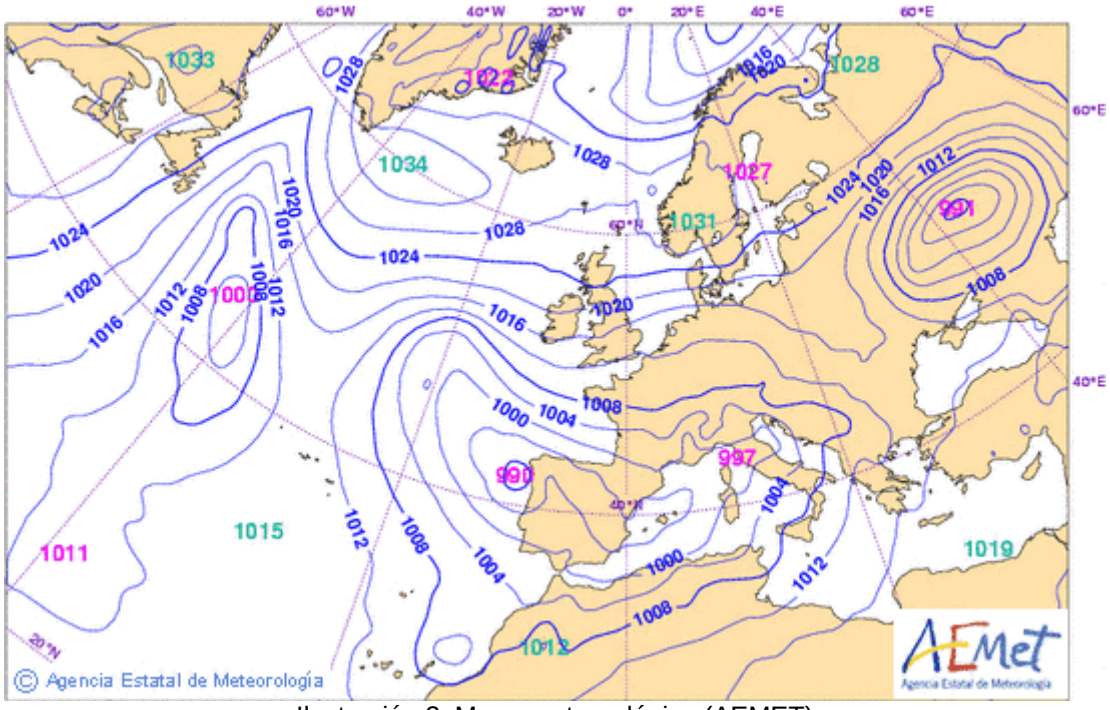


Ilustración 2. Mapa meteorológico (AEMET)

1.1.3. Viento de mar a tierra

Cuando se da una situación como la de la figura siguiente en la costa cantábrica en la que el viento sopla en dirección a tierra sobre una gran extensión de superficie marina, se produce una acumulación de agua en la costa hasta que se alcance una contrapendiente que contrarreste la fuerza que el viento ejerce sobre las aguas.

La expresión matemática de esta contrapendiente es:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{C \rho_{aire} W_x^2}{\rho g H} \approx 10^{-7} \frac{W_x^2}{H} \qquad (S.I.)$$

donde W_x es la velocidad del viento y H la profundidad del agua.

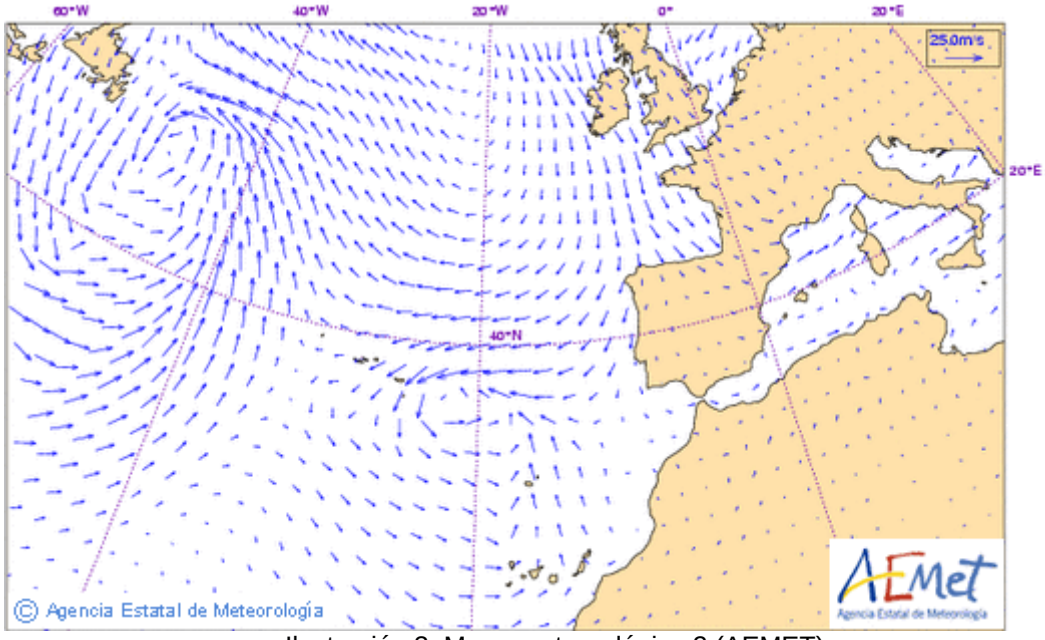


Ilustración 3. Mapa meteorológico 2 (AEMET)

1.1.4. Efecto Coriolis

Cuando existe una corriente costera como sucede en la costa de las provincias de Tarragona y Castellón en la figura siguiente, el efecto Coriolis tiende a desviar la corriente hacia su derecha, pero si, como ocurre en la figura, la costa se encuentra a la derecha, lo que sucede es que se produce una acumulación de agua en la costa hasta que la contrapendiente anula la acción del efecto Coriolis. Matemáticamente puede expresarse como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{fv}{g} \approx 10^{-5} v \qquad (S.I.; \lambda = 40^{o})$$

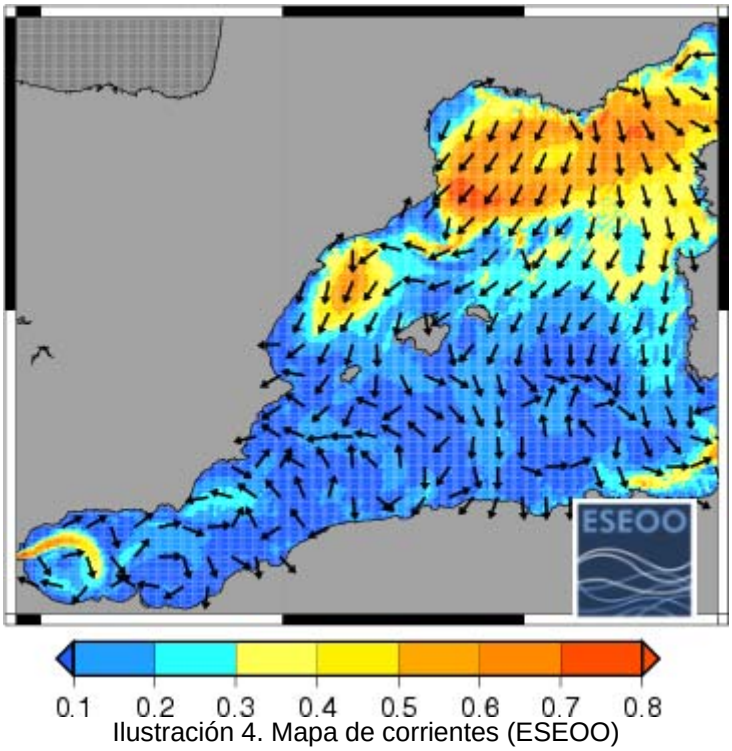


Ilustración 4. Mapa de corrientes (ESEOO)

1.1.5. Oleaje

La presencia de oleaje representa un flujo de energía que se dirige hacia la costa. Cuando ésta es abrupta y el mar tiene suficiente calado (acantilados, diques verticales), las olas se reflejan sin romper pero su amplitud se duplica.

En caso contrario, las olas rompen y tras la rotura, la lámina de agua, que posee una cierta energía cinética, se desplaza sobre la playa hasta alcanzar un nivel máximo. Después retrocede debido a la pendiente de la playa hasta que se encuentra con la ola siguiente. La cota R del nivel máximo que alcanza la lámina de agua para una ola determinada tomando como referencia el nivel medio del mar se llama *remonte ("run-up"* en la literatura anglosajona) y varía de forma aleatoria. Su valor medio $\overline{R}$ se denomina *remonte medio* ("*setup"* en la literatura anglosajona) y es siempre positivo debido a que la energía que lleva la ola cuando remonta es superior a la que trae cuando retrocede.

Se han propuesto (Guza y Thornton, 1981 y 1982) las siguientes expresiones para estimar el remonte medio $\overline{R}$ y el remonte significante R_s (promedio del tercio de los remontes más altos):

$$\overline{R} = 0{,}17H_0 \qquad R_s = 3{,}48 + 0{,}71H_0 \quad (en\ cm)$$

siendo H_0 la altura de ola significante en aguas profundas.

De estas expresiones se deduce que el remonte medio es aproximadamente igual a la cuarta parte del remonte significante.
Estudios posteriores (Holman, 1986; Ruggiero, Holman y Beach, 2004; Stockdon y otros, 2006) sugieren que la relación entre remonte y altura de ola significante es una función lineal del parámetro de Iribarren

$$\frac{R_{2\%}}{H_0} = \gamma \cdot \xi \qquad \xi = \frac{tg\ \beta}{\sqrt{H_0 / L_0}}$$

donde $tg\ \beta$ es la pendiente de la playa, L_0 la longitud de onda en aguas profundas correspondiente al período de pico, $R_{2\%}$ el valor del remonte que solo es superado por el 2% de las olas y γ una constante que varía según los autores. Una expresión de este tipo fue propuesta ya por Hunt en 1959 y por van Oorschot y d'Angremont en 1968.

De esta expresión se deduce que el alcance horizontal máximo de la lámina de agua respecto a la posición de la línea de costa cuando no existe oleaje es independiente de la pendiente de la playa. En efecto, la segunda de dichas expresiones puede escribirse de la siguiente forma:

$$A_{2\%} = \frac{R_{2\%}}{tg\ \beta} = \gamma \sqrt{H_0 L_0}$$

siendo $A_{2\%}$ el alcance horizontal.

Si se supone que la distribución de probabilidad para el conjunto de todas las olas correspondientes a un determinado estado de mar se ajusta a una distribución de Rayleigh, cuya densidad de probabilidad es:

$$f(R) = \frac{R \cdot \exp\left\{-R^2 / (2\sigma^2)\right\}}{\sigma^2}$$

La relación entre el remonte razonablemente máximo $R_{2\%}$ y el remonte significante R_s es

$$R_{2\%} = 1{,}4\, R_s$$

1.1.6. Otras causas

Otras causas de sobreelevación del nivel del mar son los tsunamis y los efectos locales en las desembocaduras de ríos y estuarios.

Con respecto a los tsunamis, están registrados una decena de ellos que han afectado a algún punto del territorio español durante los últimos 2000 años, lo que da un período de retorno inferior a 500 años si se toma como unidad geográfica de referencia el país en su conjunto. Sin embargo, la probabilidad de que un punto

determinado cualquiera del país sea inundado por efecto de un tsunami es muy inferior (período de retorno superior a 500 años), por lo que no se tendrá en consideración esta causa de sobreelevación.

Los efectos locales en las desembocaduras se tienen en cuenta al estudiar las inundaciones fluviales suponiendo como condición de contorno un nivel del mar sobreelevado.

1.2. MEDICIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOBREELEVACIONES

En España existe una red de mareógrafos instalados en diferentes puertos que está gestionada por el departamento de Oceanografía y Meteorología de Puertos del Estado. La ubicación de estos mareógrafos puede verse en la figura siguiente.

Ilustración 5. Mareógrafos de Puertos del Estado

Los niveles registrados en estos mareógrafos corresponden a la suma de la marea astronómica y a lo que suele denominarse marea meteorológica, que es la suma de las sobreelevaciones debidas a depresiones barométricas, vientos de mar a tierra y efecto Coriolis. Al estar en el interior de los puertos, en áreas abrigadas de los temporales, los mareógrafos no registran el oleaje.

Un análisis estadístico de los niveles máximos registrados permite obtener el régimen extremal de niveles de marea, de donde se pueden calcular los niveles correspondientes a diferentes períodos de retorno.
Restando la marea astronómica, que como ya se ha dicho puede calcularse con una gran precisión, de los niveles registrados se obtiene una serie de residuos que corresponden a la marea meteorológica. Estos residuos pueden analizarse también estadísticamente para obtener su régimen extremal y los valores correspondientes a diferentes períodos de retorno.

Por el contrario, no existe una red similar para medir los remontes que el oleaje produce en las playas. Pero apoyándose en las expresiones que relacionan el remonte con la altura de ola significante, su análisis estadístico puede hacerse a partir del análisis estadístico de las alturas de ola, para las cuales sí existe una red de medida gestionada también por Puertos del Estado.

El oleaje se mide mediante boyas ancladas al fondo que tienen en su interior un acelerómetro que mide la aceleración que experimentan las boyas por efecto del paso de las olas. Integrando esta aceleración dos veces se obtiene el valor de la posición del nivel del mar. Como estos acelerómetros no registran las variaciones lentas, los niveles obtenidos ya tienen filtrados los efectos de la marea.

En la figura siguiente puede verse la ubicación de las boyas de esta red de medidas de oleaje.

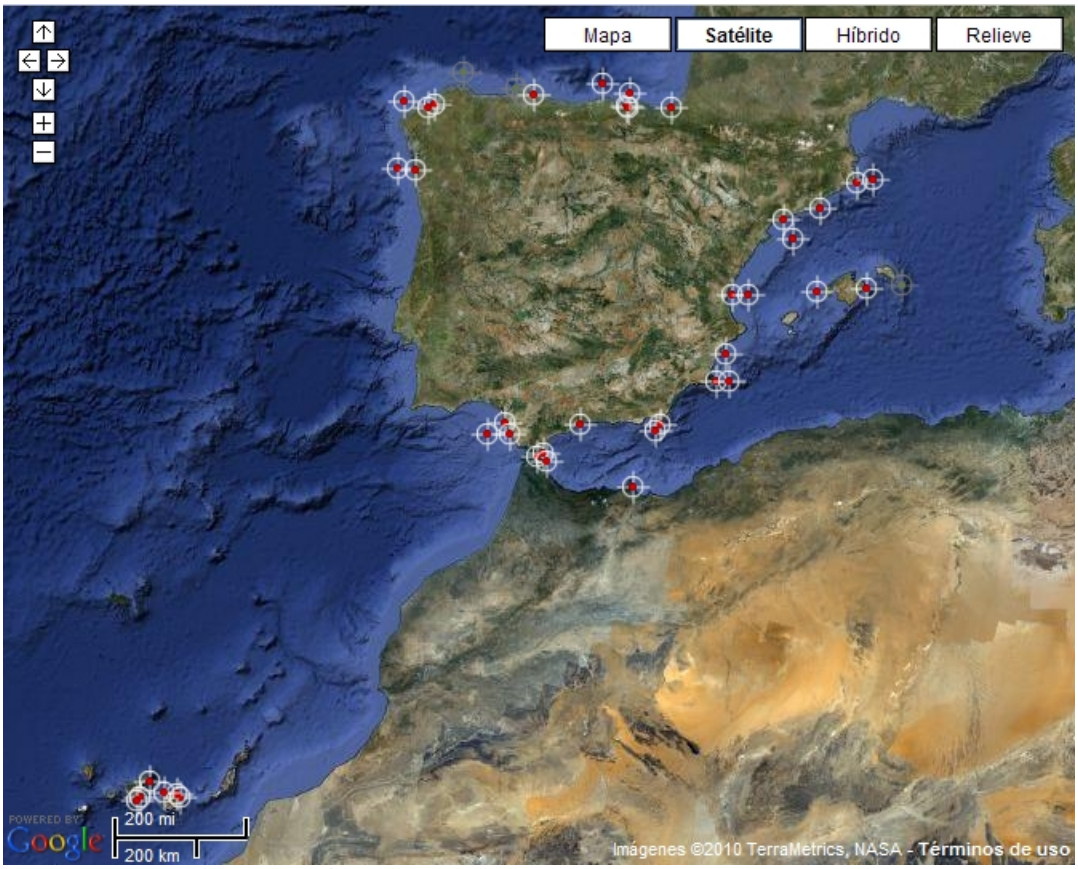


Ilustración 6. Boyas de oleaje de Puertos del Estado

1.3. CRITERIOS DE INUNDABILIDAD

En este apartado todas las cotas que se mencionan están referidas al nivel medio del mar.

1.3.1. Riberas en costa abierta

Se han utilizado dos criterios de inundabilidad independientes en función de la duración de la sobreelevación.

El primero de ellos, que denominaremos *inundabilidad por mareas*, corresponde a las causas de sobreelevación que permanecen durante horas o días, tiempo suficiente para que el nivel del mar se propague hasta cualquier punto cuya cota se encuentre por debajo de dicho nivel. Entre éstas se consideran naturalmente las mareas astronómica y meteorológica, pero también se ha considerado como tal el valor del remonte medio, porque es un nivel que se sobrepasa aproximadamente la mitad del tiempo que dura un temporal. En consecuencia, se ha considerado que es inundable cualquier punto cuya cota sea inferior a la suma de la cota del nivel de marea de una pleamar media más el remonte medio calculado para un período de retorno de 500 años, siempre que exista una conexión hidráulica con la costa o que pueda formarse en condiciones de sobreelevación extraordinaria:

$$z < S_1 = S_{M,2\%} + \overline{R}_{\theta,500}$$

donde $S_{M,2\%}$ representa el nivel de marea que en un año promedio se sobrepasa el 2% del tiempo. El valor del remonte medio que se utiliza en cada tramo de costa es el que corresponde a la orientación de éste.

El segundo criterio de inundabilidad, que denominaremos *inundabilidad por oleaje*, corresponde al efecto del remonte de las olas. Desde este punto de vista se ha considerado inundable cualquier punto cuya cota sea inferior a la máxima cota que puede alcanzar el nivel del mar por efecto combinado de marea y oleaje con un período de retorno de 500 años, siempre que se encuentre a una distancia de la costa inferior a un valor proporcional a dicha cota:

$$z < S_2 = S_{M+R,\theta,500} \qquad \text{y} \qquad d < 35\, S_2$$

El valor de S_2 depende también de la orientación del tramo de costa considerado.

1.3.2. Riberas en entrantes de agua

Las riberas de las masas de agua que parecen que se adentran en tierra más allá del trazado general de la línea de costa (ensenadas, rías, estuarios, zonas a resguardo de islas, etc.) tienen por la propia morfología costera un cierto grado de protección contra el oleaje. Por una parte, los temporales procedentes de direcciones oblicuas a la entrada o bocana del entrante de agua penetran muy poco en éste, por lo que la frecuencia de las alturas de ola excepcionales en el interior es menor que las que se

dan en la costa abierta. Por otra, si la anchura de la bocana es menor que la de la masa de agua protegida por ésta, el oleaje que incide normalmente a la bocana se abre en muchas direcciones; los frentes de ola pasan de ser aproximadamente planos a ser aproximadamente semicirculares y la energía del oleaje incidente se reparte de forma compleja entre estas direcciones; en resumen, se produce un fenómeno de difracción que puede modificar sustancialmente la altura de ola que llega a las riberas del entrante. Finalmente, en los tramos de ribera constituidos por playas, la profundidad que se encuentra el oleaje en su transporte desde la bocana hasta la playa va decreciendo, lo que provoca un fenómeno de refracción que también contribuye a disminuir la altura de ola.

Si bien para otras demarcaciones hidrográficas se han calculado las zonas inundables de las riberas en entrantes de agua, con una metodología diferente a las de costa abierta, no ha sido así en Tenerife, dado que no existen morfologías costeras que puedan ser consideradas dentro de esta tipología.

2. INFORMACIÓN UTILIZADA

2.1. NIVELES DEL MAR

Los niveles del mar utilizados en el presente trabajo se han obtenido de dos fuentes:

- Niveles de marea: REDMAR (RED de MAReógrafos de Puertos del Estado)
- Niveles de oleaje: base de datos SIMAR-44 (elaborada por Puertos del Estado, en el marco del proyecto europeo HIPOCAS, recoge series de datos que reproducen temporales ocurridos en el período 1958-2001, a partir de modelado numérico de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje).

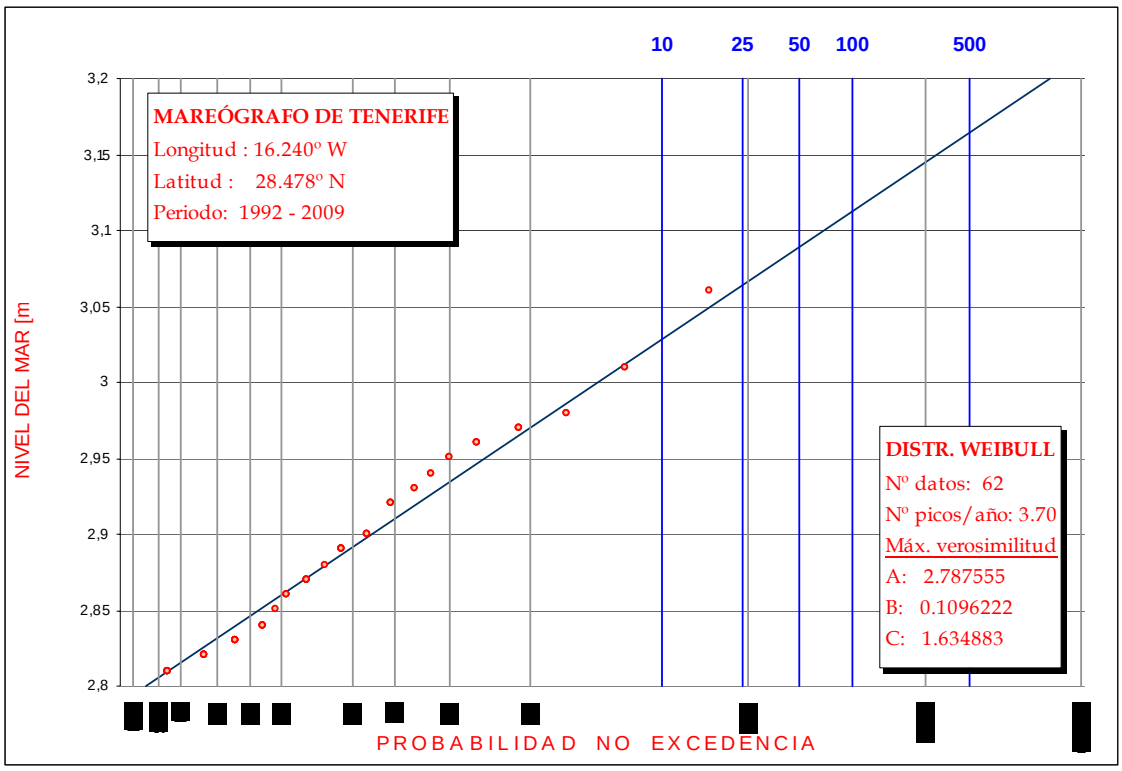
Los valores de los **niveles de marea** se han calculado a partir de series de datos registrados por los mareógrafos de la REDMAR. Dichos mareógrafos utilizan el cero del puerto (comunicado por las Autoridades portuarias participantes en la red) como cero de las medidas. Actualmente, Puertos del Estado y las Autoridades Portuarias están realizando una nivelación de alta precisión de todas las estaciones de REDMAR, en colaboración con el IGN, con objeto de disponer de un nivel de referencia internacional y conocer las variaciones absolutas del nivel del mar. Por ello, y a pesar de que el puerto de Tenerife dispone de un cero del puerto, se ha optado por utilizar como Nivel Medio del Mar (NMM) en la isla el valor promedio de los valores registrados por los mareógrafos. En la isla de Tenerife hay mareógrafos en el puerto de Santa Cruz de Tenerife y en Granadilla, para los cuales se ha dispuesto de los datos de la Tabla 1. Los valores de marea utilizados, por tanto, se corresponden en el norte de la isla con el mareógrafo de Tenerife y en el sur con el de Granadilla.

Tabla 1. Mareógrafos de Tenerife

MAREOGRAFOS	Serie temporal	Nº Datos
Granadilla	2003-2011	858.549
Santa Cruz de Tenerife	1992-2009	1.754.132

Entre los cálculos correspondientes al régimen medio de marea, además del NMM se ha calculado la cota del nivel de marea de la pleamar media, a partir del percentil 98 de los datos de los mareógrafos. Restando a dicha cota el NMM, se obtiene $S_{M,2\%}$.

Los valores correspondientes al régimen extremal de marea se han extraído de las mismas series de datos mediante el método POT (*Pick over threshold*). Considerando un tiempo de separación entre picos de 5 días (de alguna manera garantiza la independencia de los datos), las muestras extremales se han seleccionado fijando valores umbrales para cada serie y descartando los valores que quedaran por debajo. Cabe decir que los valores dependen en gran medida de la duración de las series, ya que no para todos los mareógrafos existen series temporales similares (tal y como se puede apreciar en la Tabla 1). A continuación, con objeto de obtener valores extremales de períodos de retorno de hasta 500 años, se ha utilizado el método de máxima verosimilitud, ajustando los valores seleccionados a una distribución Weibull en función de los parámetros posición, escala y forma. El siguiente gráfico presenta la resultante del ajuste a Weibull de las muestras extremales seleccionadas en el caso del mareógrafo de Santa Cruz de Tenerife.



Cabe señalar que en los cálculos de cotas de inundación se ha optado por utilizar un solo valor de régimen extremal, común a todo el archipiélago canario. Se trata del máximo valor obtenido, correspondiente al mareógrafo de Arrecife (2,23 metros).

En cuanto a los **niveles de oleaje**, tanto los regímenes medios (que no se han usado en el presente informe) como los extremales se han calculado asimismo mediante el método de máxima verosimilitud. Los datos de partida provienen, como se ha mencionado con anterioridad, del conjunto SIMAR-44. Se trata de alturas de ola, y la ubicación de los puntos para Canarias aparece representada en la Ilustración 7, si bien no se ha podido disponer de datos de todos ellos.

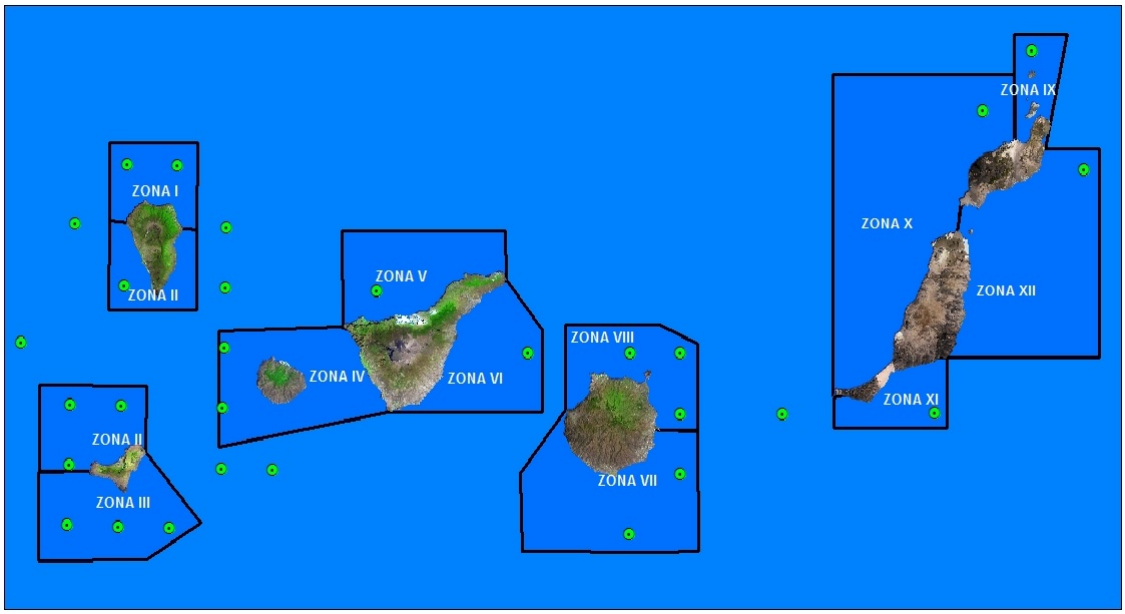
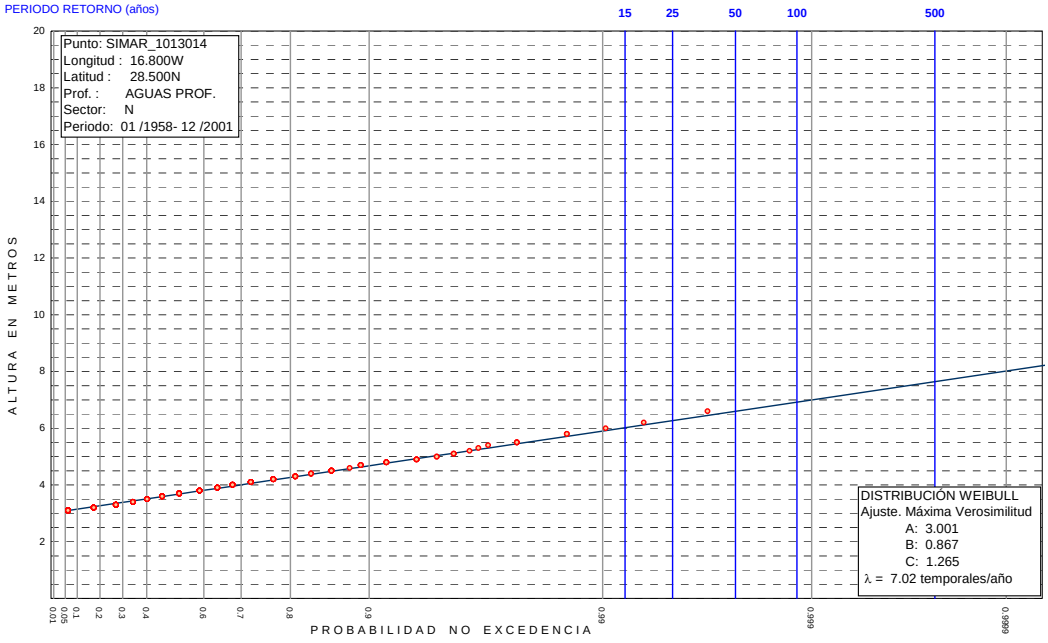


Ilustración 7. Puntos SIMAR de Canarias

En función de los datos disponibles, se ha dividido el archipiélago en 12 zonas. Para cada zona, se han calculado los regímenes extremales correspondientes a las direcciones dominantes de viento. El siguiente gráfico es un ejemplo de los valores obtenidos en la zona V (Norte de Tenerife), para los vientos procedentes del Norte.



Para transformar la altura de ola en valores de cota correspondientes a marea más remonte ($S_{M+R,\ \theta,\ 500}$) se han hecho las siguientes hipótesis:

$$S_{M+R,\ \theta,\ 500} = S_{M,\ 2\%} + R_{\ 2\%,\ \theta,\ 500}$$

$$R_{\ 2\%,\ \theta,\ 500} = 0{,}8\ H_{\ \theta,\ 500}$$

$$\overline{R}_{\theta,500} = \frac{R_{2\%,\theta}}{4}$$

El factor de 0,8 entre el remonte máximo y la altura de ola (ambos correspondientes a la dirección θ y al período de retorno de 500 años) se ha obtenido teniendo en consideración la relación R/H para 500 años en zonas del litoral atlántico peninsular geomorfológicamente similares, como las costas gallega y asturiana.

A partir de los gráficos, se han derivado los siguientes valores (expresados en metros) para esta Demarcación Hidrográfica:

Tabla 2. Cotas de inundación (m) por marea y por oleaje para la D.H. de Tenerife

COTAS DE INUNDACIÓN APLICADAS EN LA D.H.TENERIFE			
Zona V (Tenerife Norte)	$S_{M,2\%}$		0,97
	$S_{M,500}$		2,23
	$S_{M+R,\theta,500}$	N	6,12
		NNE	6,6
		NE	5,56
		WSW	9,68
		W	7,68
		WNW	6,48
		NW	9,52
		NNW	8,72
Zona VI (Tenerife Sur)	$S_{M,2\%}$		0,97
	$S_{M,500}$		2,23
	$S_{M+R,\theta,500}$	N	5,44
		NNE	6,36
		NE	5,76
		ENE	3,68
		WSW	4,48
		W	4,16
		WNW	4,96
		NW	6,08
		NNW	6,64
Zona IV (Tenerife Suroeste)	$S_{M,2\%}$		0,85
	$S_{M,500}$		2,23
	$S_{M+R,\theta,500}$	N	5,76
		NNE	5,28
		NE	5,28
		ENE	3,6
		E	3,4
		SW	6,96
		WSW	10,16
		W	8
		WNW	8,28
		NW	8,16
		NNW	9,2

2.2. COTAS DEL TERRENO

Modelo Digital del Terreno

Como base de trabajo se ha utilizado un Modelo Digital del Terreno (MDT) proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en hojas de 5 x 7.5 km (una cuarta parte de las hojas 1:25.000). Como referencia para la ubicación de las hojas sobre la cartografía base vectorial (línea de costa, batimetría, etc), se ha utilizado la malla de hojas 1:25.000.

Se han detectado errores del MDT en las zonas de interfase tierra-agua (en especial roquedos, bajos y en bastante ocasiones, playas), en los que aparecen cotas positivas en el mar. Se considera que pueden ser fallos de la metodología utilizada para generar los rasters a partir de las ortofotos. La tecnología LIDAR podrá proporcionar en el futuro una mayor fiabilidad en los datos altimétricos y, por tanto, será más apropiada para los estudios de inundaciones en detalle.

Servicio de ortofotos del PNOA

A pesar de disponer de gran parte de las ortofotos correspondientes a las subhojas de trabajo (proporcionadas asimismo por el IGN), se han utilizado fundamentalmente los servicios WMS del PNOA para realizar consultas rápidas, lo cual ha permitido agilizar las comprobaciones a la hora de contrastar el MDT con las imágenes reales. Gracias a este servicio se han buscado soluciones a los errores detectados con un considerable ahorro de tiempo.

Línea de costa

Debido a la cantidad de errores detectados en el MDT en las zonas de interfase tierra-agua, se consideró que no se debía utilizar la cota 0 del modelo como línea de costa, ya que podía desvirtuar la realidad y contribuir a incluir partes de mar como zonas inundables y, como consecuencia, a dejar sin inundar zonas con riesgo potencial de inundación.

Se decidió, por tanto, buscar una línea de costa fiable a partir de la cual definir las zonas potencialmente inundables por oleaje. El CEDEX dispone de una línea de costa digitalizada a una escala 1:50.000 (a partir de las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina). Sin embargo se requería utilizar una línea de más detalle (al menos con el mismo detalle del MDT de partida).

Por ello, como fuente de referencia adicional se ha utilizado la línea del límite del dominio público marítimo-terrestre suministrada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, que en los tramos acantilados o de fuerte pendiente, que es donde la anterior presenta más problemas, se ajusta con una gran precisión debido a que procede de planos a una escala bastante mayor.

Los trabajos, por tanto, se han realizado con una línea de costa deducida de las anteriores, dando más peso a una o a otra dependiendo del tipo de costa, si bien cabe señalar que la línea ha sido suavizada según la morfología natural de la costa en

ciertos tramos, esto es, se han eliminado estructuras transversales a la costa como espigones, diques, etc, así como roques, islotes u otros entrantes en el mar aislados.

2.3. USOS DEL SUELO

La valoración de la vulnerabilidad de las zonas inundables se ha realizado en función de los usos del suelo recogidos en el SIOSE. La vulnerabilidad se ha valorado tanto en función del grado de edificación de las zonas costeras (coberturas simples), como del uso de las edificaciones (coberturas compuestas).

Para ello, las coberturas compuestas incluidas en el SIOSE se han distribuido en 4 clases, en función de su valor social, económico y medioambiental:

- Muy alto: usos urbanos, industriales, terciarios, algunos usos dotacionales y algunos tipos de infraestructuras
- Alto: algunos usos dotacionales, algunos tipos de infraestructuras y asentamientos agrícolas residenciales
- Moderado: sector primario, huertas familiares y algunos usos dotacionales
- Bajo: todos los usos que no estén incluidos en las clases anteriores.

Para cada polígono se ha calculado el % de clases correspondiente a sus usos. Además, para cada polígono, se ha calculado también el % de edificaciones. Por último, se han conjugado los dos aspectos (grado de edificación y usos de las edificaciones) en la siguiente fórmula:

*Vulnerabilidad_Total= [Muy_alto]*Edificación/100 + 0,75 *[Alto]*Edificación/100 + 0,5*[Moderado]*Edificación/100 + 0,25 *[Bajo]*Edificación/100*

Una vez efectuados los cálculos de la vulnerabilidad, se han considerado los siguientes rangos:

- Alta (código 2): Vulnerabilidad_Tot > 20%
- Moderada (código 1): Vulnerabilidad_Tot > 0% & < 20%
- Baja (código 0): Vulnerabilidad_Tot = 0%

Las ARPSIs seleccionadas coinciden en todos los casos con zonas de alta vulnerabilidad.

Para consultar con más detalle la metodología, ver Apéndice 3.

3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL GEOPROCESAMIENTO DE DATOS

Todos los trabajos de tratamiento de información espacial se han desarrollado con ArcGIS 9.3.1 ó 10.0

3.1. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES

Como ya se ha comentado, se han delimitado zonas inundables por oleaje y zonas inundables por marea siguiendo dos procedimientos diferentes. El trabajo original se planteó para tres períodos de retorno (10, 100 y 500 años) y dos escenarios (2010 y 2100), si bien los entregables con este informe se limitan al período de retorno de 500 años para 2011.

En la metodología diseñada, los valores de cotas de inundación a aplicar a cada tramo de costa dependen de la orientación de las mismas. No obstante, se comienza haciendo un cálculo preliminar de las zonas inundables por marea y por oleaje utilizando como cotas las correspondientes a la orientación pésima para esa demarcación. Para los tramos de costa en los que el ancho de la zona inundable sea inferior a 50 m los resultados se consideran definitivos.

A continuación se traza una poligonal cuyos lados definen la orientación media de cada tramo de costa. La longitud de los lados de la poligonal dependerá de cuánto varíen la orientación y el grado de protección entre lados contiguos y de si existen o no en las proximidades usos del suelo de gran valor como núcleos de población, polígonos industriales o instalaciones críticas (p.e.: centrales nucleares o refinerías). Si no existen, los tramos pueden ser de varios kilómetros; si existen, dependerá de los casos, pero podrán ser de menos de un kilómetro.

A partir de las coordenadas de cada vértice de la poligonal, con ayuda de una hoja de cálculo diseñada específicamente para esta aplicación se calculan para cada lado de la poligonal: la orientación de la perpendicular, los coeficientes de difracción y de refracción (solo en entrantes), los valores de inundación por marea y oleaje utilizados para el cálculo de las cotas de inundación a aplicar y la anchura de la primera franja costera afectada (en el caso del oleaje).

A partir de los valores recogidos en la hoja de cálculo y de cara a comenzar el proceso de análisis espacial, se prepararon una serie de tablas con ArcGIS para “Reclasificar” de manera automática los raster. La reclasificación de los raster consiste en la asignación de nuevos valores a las celdas, en función de los criterios que le interesen al usuario. Lo que interesaba en este caso era obtener de los raster las zonas que quedaban entre la cota 0 y las cotas de inundación obtenidas a partir de los cálculos descritos. En particular, se prepararon tablas con los valores S_1 (para el caso de las inundaciones por marea) y con los valores S_2 (para el caso de las inundaciones por oleaje), para cada una de las orientaciones y períodos de retorno. Los valores nuevos se almacenan como un código GRID. Este código sirve posteriormente para la limpieza de los polígonos obtenidos a partir de los raster reclasificados.

En este punto, el procedimiento se divide en el cálculo de las zonas inundables por oleaje y por marea. El esquema general del procedimiento está recogido en el Apéndice 1. Este esquema ha servido de guía para todas las personas implicadas en el trabajo GIS. A continuación se apuntan los pasos definidos en el mismo.

Zonas inundables por oleaje

- Dividir la línea de costa por tramos, en función de la poligonal trazada.
- Buffer a las líneas de costa: teniendo en cuenta la orientación de los tramos, se aplica un buffer a cada una de los tramos en función del valor recogido en la hoja de cálculo preparada. Resultado: franja costera en la que se va a aplicar el valor de cota de inundación por oleaje.
- Cortar los raster con los buffer, para poder aplicar las cotas de oleaje. Resultado: raster correspondiente a la primera franja costera.
- Reclasificar los raster y hacer polígonos. Resultado: obtener los polígonos correspondientes a las zonas de inundación por oleaje.
- Limpieza: revisar la coherencia de los polígonos. Eliminar los elementos que no tengan conexión con el mar o unión a la primera franja.
- Merge: unión de todos los polígonos limpios. Resultado: polígono final de oleaje.

Zonas inundables por marea

- Seleccionar las zonas inundables por marea: de las cajas resultantes del primer Reclassify, se seleccionan las que tienen GRID code = 2 (es decir, las zonas que están entre la cota 0 y el valor S_{ref}). Resultado: polígonos de inundación por marea.
- Limpiar los polígonos de marea: eliminar todos los polígonos que hayan quedado en el mar (por fuera de la línea de costa). Asimismo, englobar polígonos de pequeño tamaño en manchas únicas.
- Merge: unión de todos los polígonos limpios. Resultado: polígono final de marea.

Como resultado se obtiene finalmente una capa de zonas potencialmente inundables por marea y otra de zonas potencialmente inundables por oleaje.

El número de capas GIS que se necesita crear para llevar a cabo este proceso es enorme: para cada parte contenida en una subhoja diferente de cada tramo con orientación diferente de la costa abierta o de cada entrante (primario, secundario, etc.) se crean unas 30 capas, a las que hay que añadir las capas base aplicables a todas ellas (línea de costas, límites de demarcaciones y provincias, subhojas raster del MDT, usos del suelo, etc), las que se obtienen por fusión de los resultados de todos los tramos o del cruce de éstas con los usos del suelo y la que constituye el objetivo principal de la EPRI, es decir, la capa de ARPSIs.

Con el fin de ordenar esta enorme cantidad de ficheros y de facilitar la programación de unas aplicaciones informáticas que permitan automatizar algunas de las tareas anteriores, se han establecido unos criterios de asignación de nombres relativamente cortos para cada una de estas capas. En el Apéndice 1 se puede consultar una tabla en la que figuran estos nombres y en la que se indica además la secuencia de cálculo de las diferentes capas. Cada nombre está compuesto por una sucesión de descriptores de los cuales, los que aparecen en color negro indican el tipo de información que contienen y los que aparecen en color indican la subhoja del MDT o el tramo, entrante o subentrante al que se refiere. En el Apéndice 1 aparece también una tabla con la clave explicativa de los descriptores utilizados.

También se incluye en el Apéndice 1 una *Guía para las tareas de geoprocesamiento en relación con la EPRI de las zonas costeras* donde se explican las sucesivas etapas del trabajo con indicación de las capas de entrada y salida en cada etapa. En esta guía se mencionan un conjunto de *scripts* programados en lenguaje Python para ArcGIS 10.0 que se han elaborado en el CEDEX en el curso de este trabajo para automatizar algunas de las tareas anteriores. Sus nombres son:

- 0-CreaCarpetas.py
- 1-CreaCapasTT.py
- 2M-CreaCapasMm.py
- 2O-ConstruyeBuffers.py
- 3-ConstruyeMyOrm.py
- 4-ConstruyeMyOrr.py
- 5-ConstruyeMyOpib.py

3.2. VALORACIÓN DE LAS ÁREAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Para calcular el valor de los daños potenciales de las zonas inundables, en primer lugar se simplificaron los polígonos, haciendo un *Merge* de las zonas inundables por marea y las inundables por oleaje, y posteriormente un *Dissolve*, de manera que quedara una sola capa de zonas inundables.

A continuación, cruzando la capa de polígonos de zonas inundables con la de polígonos de usos del suelo se obtiene una nueva capa de polígonos, cada uno de los cuales tiene asignado una categoría de vulnerabilidad. Resultan 361 polígonos inundables con una superficie total de 6,35 km^2.
La distribución entre las distintas categorías de vulnerabilidad es la siguiente:

Tabla 3. Resultado del análisis de vulnerabilidad

COD_VULNER	Superf (km2)	%S total
2	1,6	25,19
1	1,22	19,32
0	3,52	55,48

4. ELECCIÓN DE LAS ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN

Se han seleccionado como Áreas con Riesgo Potencial significativo de Inundación (ARPSIs) los tramos de costa con una significativa concentración en sus proximidades de zonas con vulnerabilidad Alta (código 2). Como resultado se han definido las ARPSIs que se relacionan en la tabla siguiente, en la que también se presentan las coordenadas de los respectivos centroides.

En el Apéndice 2 del presente documento se han incluido planos de las ARPSIs definidas y un mapa general de situación. Se hace notar que la escala numérica que aparece en los planos se corresponde con una impresión del plano a tamaño A3.

Tabla 4. Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación

Mapa	Nombre ARPSI	Coordenada X	Coordenada Y
1	Lomito del Llano-Casas de Abajo(Sta Cruz de Tfe)	387294	3155710
2	San Andrés-Bco. de las Huertas(Sta Cruz de Tfe)	383483	3153740
3	El Chorrillo (El Rosario)	369179	3142000
4	Las Caletillas (Candelaria)	367074	3140220
5	Candelaria	366016	3137750
6	Los toscales de la viuda (Candelaria)	366045	3135680
7	El Socorro (Arafo)	366338	3134230
8	Puertito de Güimar	365376	3130760
9	Poris de Abona (Arico)	359428	3116150
10	San Miguel de Tajao (Arico)	355464	3110200
11	Urb. Callao del Río-Cueva Honda (Arico)	354522	3108910
12	El Médano (Granadilla de Abona)	348990	3103070
13	La Mareta (Granadilla de Abona)	345113	3101710
14	Las Galletas (Arona)	337270	3099160
15	Palm-Mar (Arona)	332454	3101060
16	Los Cristianos (Arona)	330733	3103980
17	Las Américas (Arona)-S.Eugenio Bajo (Adeje)	329604	3105370
18	Playa de Fañabé (Adeje)	329382	3107790
19	La Caleta (Adeje)	327474	3109580
20	Playa de San Juan (Guía de Isora)	321697	3118560
21	Alcalá (Guía de Isora)	320534	3120790
22	Los Gigantes (Santiago del Teide)	319343	3125920
23	Puerto de la Cruz	347857	3144260
24	Bco. del Tanque (San Cristóbal de la Laguna)	363295	3157490
25	Roque de las Bodegas (Sta Cruz de Tfe)	382242	3160950

** La coordenadas están en proyección UTM, huso 28, Datum ETRS89.*

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

APÉNDICE 1

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO GIS PARA DELIMITAR LAS ZONAS INUNDABLES (ARCGIS)

CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS
ANTONIO LÓPEZ, 81
28026 MADRID
TEL: 91 335 77 00
FAX: 91 335 76 22

INUNDABILIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS

NOMBRES Y SECUENCIAS DE LAS CARPETAS (EN NEGRITA) Y DE LAS CAPAS GIS

Primera aproximación: Las cotas de inundabilidad de toda la demarcación se calculan con la orientación de máximo oleaje en costa abierta

	costa_suavizada, demarcaciones, provincias, hojas25000			**00.pbase**			
	XXcg	XXcu		**10.XXc**			
		XXMm	XXOm	**12.XX_m**			
01.rbase	r**HHHH:S**	XXMrm**HHHH_S**	XXOrm**HHHH_S**	**13.XX_rm**			
		XXMrr**HHHH_S**	XXOrr**HHHH_S**	**14.XX_rr**			
		XXMpib**HHHH_S**	XXOpib**HHHH_S**	**15.XX_pib**			
		XXMPim	XXOPim	**16.XXMyOp**			
	XXTm	XXMPic	XXOPic				
		XXMPil	XXOPil				

Segunda aproximación: Las cotas de inundabilidad de cada tramo se calculan en función del oleaje que llega a ese tramo

XXcg	XXcu					**20.XXcyp**
	XXpu			XX_**EE**pu	XX_**EE**_**EE**pu	
	XXps			XX_**EE**ps	XX_**EE**_**EE**ps	
	XXcs			XX_**EE**cs	XX_**EE**_**EE**cs	
	XX_**TT**			XX_**EE**_**TT**	XX_**EE**_**EE**_**TT**	**21.XX_TT**
	XX_**TT**Mm	XX_**EE**Mm	XX_**TT**Om	XX_**EE**_**TT**Om	XX_**EE**_**EE**_**TT**Om	**22.XX_m**
	XX_**TT**Mrm**H**	XX_**EE**Mrm**H**	XX_**TT**Orm**H**	XX_**EE**_**TT**Orm**H**	XX_**EE**_**EE**_**TT**Orm**H**	**23.XX_rm**
	XX_**TT**Mrr**H**	XX_**EE**Mrr**H**	XX_**TT**Orr**H**	XX_**EE**_**TT**Orr**H**	XX_**EE**_**EE**_**TT**Orr**H**	**24.XX_rr**
	XX_**TT**Mpib**H**	XX_**EE**Mpib**H**	XX_**TT**Opib**H**	XX_**EE**_**TT**Opib**H**	XX_**EE**_**EE**_**TT**Opib**H**	**25.XX_pib**
	XXMpim		XXOpim			**26.XXMyOp**
XXTm	XXMpic		XXOpic			
	XXMpil		XXOpil			
	XXpil					
XXus	XXpius					**27.XX_ARPSIS**

NOTAS:

1) Cada descriptor en color representa una colección de capas correspondiente a los diferentes valores de ese descriptor

2) Las celdas sombreadas significan que se trata de capas ya usadas en la primera aproximación

CLAVE DE LOS DESCRIPTORES PARA FORMAR NOMBRES DE CAPAS

Nombre del descriptor	Significado	Comentarios
XX	ID demarcación, subdemarcación o provincia	CE(PV), CW (CA, AS), GA (LU, CO, PO), GM, GU, AA (TO, GB), GQ, AM (GR, ML, AL), SE, JU, EB, CT, BA (MA, MN, IB, FO,CB), GC, LZ, FV, TF, HI, PA, GO
_TT	ID tramo	
_EE	ID entrante	
cg	costa general suavizada	Limitada a la provincia o demarcación de que se trate
cu	costa unida	Obtenida de cg asegurándose de que es una única línea sin duplicidades ni superposiones. Incluye entrantes e islas grandes
pu	poligonal unida	
ps	poligonal segmentada	
cs	costa segmentada	
O	Oleaje	
M	Marea	
T	Tierra	Parte continental + islas grandes
m	máscara	Para oleaje es un buffer. Para marea, trazada a mano (separar de la costa de enfrente)
r	ráster	
HHHH_S	ID hoja y subhoja MDT del IGN	
rm	ráster recortado por la máscara	
rr	ráster reclasificado	
Pib	polígonos inundables brutos	Calculados con la cota máxima de la demarcación (primera aproximación)
Pim	polígonos inundables fusionados (merge)	
Pic	polígonos inundables recortados (clip) con XXTm	
Pil	polígonos inundables limpios	
pib	polígonos inundables brutos	Calculados con la cota máxima de cada tramo (segunda aproximación)
pim	polígonos inundables fusionados (merge)	
pic	polígonos inundables recortados (clip) con XXTm	
pil	polígonos inundables limpios	
us	usos del suelo	
cyp	costa y polígonos	

GUÍA PARA LAS TAREAS DE GEOPROCESAMIENTO EN RELACIÓN CON LA EPRI DE LAS ZONAS COSTERAS

(Consultar "Nombres&secuenciasCapas.xls")

1. Crear todas las carpetas que se van a necesitar: desde 00.pbase hasta 27.XX_ARPSIS y NoCapas

   Ejecutar 0-CreaCarpetas.py haciendo previamente las actualizaciones necesarias.

2. Colocar en 00.pbase y 01.rbase las capas necesarias

3. Preparar XX.cg, XX.cu y XX.pu en 20.XXcyp

4. XXpu → XXps: DataManagement Tools/Features/Split lines at vertices

5. En XXps:

   a) AddField: IDtramo (Text, 10; formula en 2.3.Inundaciones\Utilidades), Entrada (Text, 1; S o nada)), Xi (Double, 10, 0; Calculate Geometry), Yi (idem), Refleja (Text, 1; S o nada)
   b) DeleteField: Id.

6. XXps → XXS1S2B.xls (modelo: GQS1S2B.xls en 2.3.Inundaciones\Utilidades)

   a) Crear XXS1S2B.xls en NoCapas
   b) Seleccionar todo en XXps / Copy selected / Pegar en hoja KK del .xls
   c) Copiar los campos IDtramo, Entrada, Xi, Yi, Refleja en la hoja correspondiente
   d) Hacer las actualizaciones necesarias incluyendo Kd
   e) Copiar en la hoja "Resumen" del mismo xls los datos correspondientes

7. Crear y construir las capas buffer (XX_TTOm en 22.XX_m)

   a) XXS1S2b.xls → XX_B.csv en NoCapas. Si es necesario, reemplazar las "," por "."
   b) Ejecutar 1-CreaCapasTT.py (se crean en 21.XX_TT)
   c) Hacer copia desechable de XXcu en 21.XX_TT
   d) Cortar los tramos de costa que corresponden a los segmentos de XX_TT y pegar en las correspondiente capa XX_TT (Editar / Copy / Paste)
   e) Ejecutar 2O-ConstruyeBuffers.py (se construyen en 22.XX_m)

8. Crear y construir las máscaras de marea (XX_TTMm en 22.XX_m)

   a) XXS1S2b.xls → XXMm.csv en NoCapas.
   b) Ejecutar 2M-CreaCapasMm.py (se crean en 22.XX_m)
   c) En cada capa, trazar manualmente el polígono de límite de influencia de la marea

9. Extraer y reclasificar los rásters (→ TTMH y TTOH en 23.XX_rm y en 24.XX_rr)

a) XXS1S2B.xls → XXS1S2H.csv. Si es necesario, reemplazar las "," por "."
b) Ejecutar 3-ConstruyeMyOrm.py (se crean en 23.XX_rm). Si falla en alguna capa, eliminar de XXS1S2H.csv las líneas correspondientes a las capas ya calculadas y ejecutar de nuevo 3-ConstruyeMyOrm.py
c) Ejecutar 4-ConstruyeMyOrr.py. (se crean en 24.XX_rr). Ídem.

10. Construir las capas de polígonos inundables (→ TTMH y TTOH en 25.XX_pib)

    Ejecutar 5-ConstruyeMyOpib.py

11. Construcción de los primeros entregables: polígonos de inundabilidad por marea y por oleaje

    a) Fusión (merge o union) de todos los polígonos inundables por marea (→ XXMpim en 26.XXMyOp)
    b) Fusión (merge o union) de todos los polígonos inundables por oleaje (→ XXOpim en 26.XXMyOp)
    c) Recortado (clip) de las dos capas anteriores con el polígono de tierra XXTm (→ XXMpic y XXOpic en 26.XXMyOp)
    d) Revisión y limpieza manual (→ XXMpil y XXOpil en 26.XXMyOp)

12. Construcción de los segundos entregables (ARPSIS)

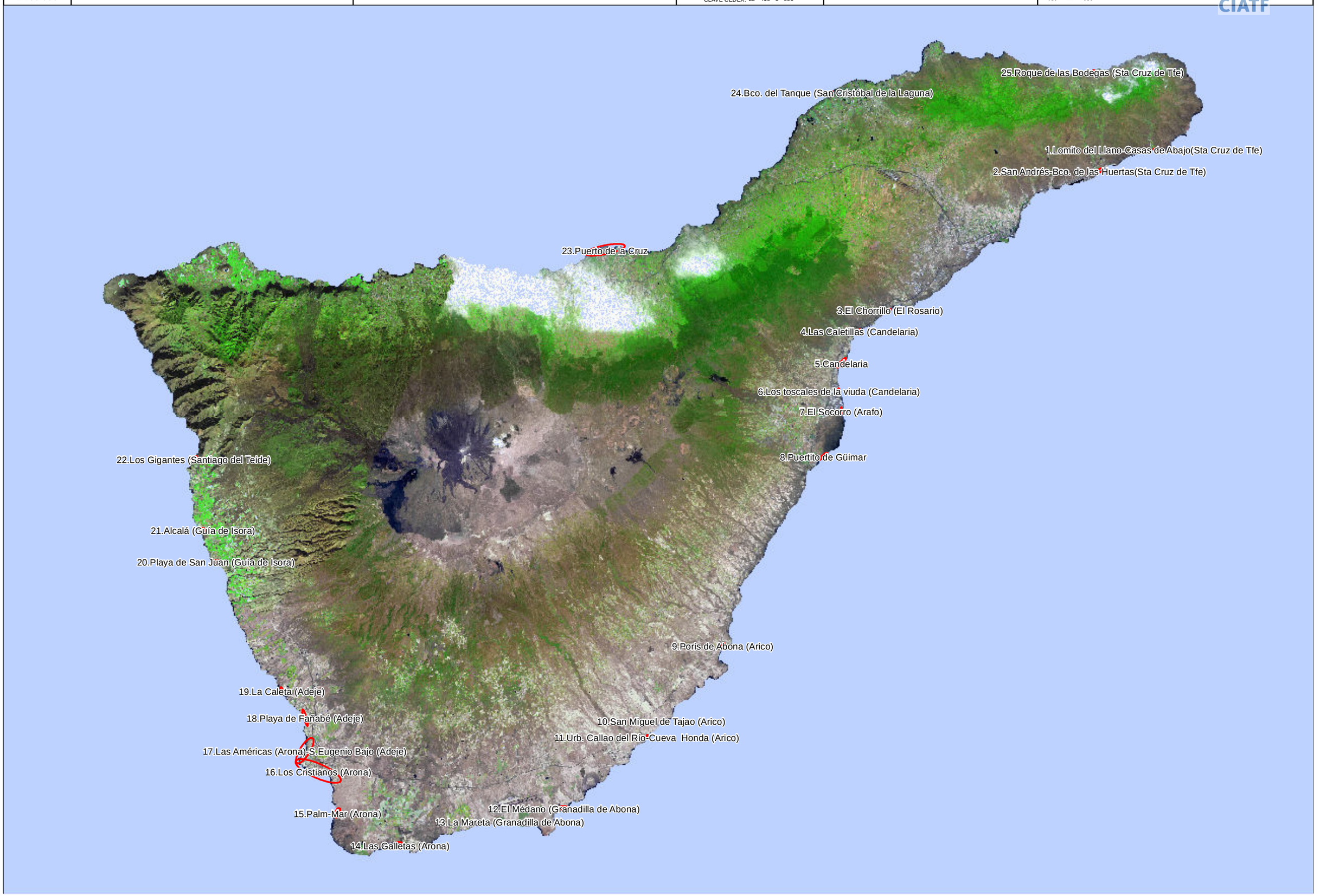
    a) Fusión de los polígonos inundables por marea y por oleaje (→ XXpil en 26.XXMyOp)
    b) Intersección con la capa XXus de usos del suelo (→ XXpius en 27.XX_ARPSIS)
    c) Cálculo de la superficie y del valor de los daños de cada polígono (unitarios y totales)
    d) Tanteos y selección de los umbrales de corte para la simbología (→ XXpius.xls en NoCapas)
    e) Revisión y análisis de los resultados (con Carlos Peña) Selección de las ARPSIS.
    f) Construcción de la capa de polígonos ARPSI (→ XX_ARPSIS en 27.XX_ARPSIS), y de la tabla resumen con nombres, coordenadas y longitudes de costa.
    g) Creación de pdfs con los mapas de las ARPSIS
    h) Redacción del Anejo para remitir a la Demarcaciòn
    i) Redacción y emisión del informe.

APÉNDICE 2

MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN (ARPSI)

MAPA GENERAL	ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE TIPO MARINO	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO	131 de 185
ESCALA 1:250.000						

CIATF



MAPA 1	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LOMITO DEL LLANO-CASAS DE ABAJO	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006		

CIATF

MAPA 2	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE SAN ANDRÉS-BCO. DE LAS HUERTAS	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.000					

CIATF

MAPA 3	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE "EL CHORRILLO"	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.000					

CIATF

MAPA 4	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LAS CALETILLAS	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006		

CIATF

MAPA 5	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE CANDELARIA	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO
ESCALA 1:3.500			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO			MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 6	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LOS TOSCALES DE LA VIUDA	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.500			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO			
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 7	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE "EL SOCORRO"	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.250					

CIATF

MAPA 8	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DEL PUERTITO DE GÜIMAR	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.500					

CIATF

MAPA 9	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DEL PORIS DE ABONA	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.500					

CIATF

MAPA 10	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE SAN MIGUEL DE TAJAO	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
ESCALA 1:1.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006		

CIATF

MAPA 11	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE URB. CALLAO DEL RÍO- CUEVA HONDA	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.250					

CIATF

MAPA 12	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE "EL MÉDANO"	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.000					

CIATF

MAPA 13	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE "LA MARETA"	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.000					

CIATF

MAPA 14	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LAS GALLETAS	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.500			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006		

CIATF

MAPA 15	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE PALM-MAR	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:3.250			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO			
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

CIATF

MAPA 16	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LOS CRISTIANOS	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:10.000					

CIATF

MAPA 17	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LAS AMÉRICAS- S.EUGENIO BAJO	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	
ESCALA 1:8.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO	
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 18	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE PLAYA DE FAÑABÉ	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	
ESCALA 1:5.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO	
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 19	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LA CALETA	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.500			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO			
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 20	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE PLAYA DE SAN JUAN	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO				
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006				

CIATF

MAPA 21	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE ALCALÁ	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	
ESCALA 1:1.250			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO	
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

MAPA 22	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE LOS GIGANTES	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:2.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO		
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006		

CIATF

MAPA 23	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE PUERTO DE LA CRUZ	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:8.500			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO				
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006				

CIATF

MAPA 24	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE BCO. DEL TANQUE	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006	CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO	179 de 185
ESCALA 1:1.000						

CIATF

MAPA 25	ÁREA CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN DE ROQUE DE LAS BODEGAS	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y SELECCIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL SIGNIFICATIVO DE INUNDACIÓN EN ZONAS COSTERAS DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE TENERIFE	CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS	CENTRO DE ESTUDIOS DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS	GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RUAL Y MARINO
ESCALA 1:1.000			DIRECCIÓN DE MEDIO MARINO			
			CLAVE CEDEX: 23 - 410 - 5 - 006			

CIATF

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

APÉNDICE 3

METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS
ANTONIO LÓPEZ, 81
28026 MADRID
TEL: 91 335 77 00
FAX: 91 335 76 22

Metodología de valoración de usos del suelo (Islas Canarias)

Características:

- Se valora la vulnerabilidad en función del % de cada polígono ocupado por determinados usos.
- Además, se utilizan las coberturas compuestas para valorar la vulnerabilidad (urbano, primario, industrial, terciario, etc.).

Metodología:

1. Join de Tablas_Planas (X:\DocTec_de_interes\Cartografia\SIOSE\BLOQUES) con el shape del SIOSE a través del campo CODE.

2. Crear tres campos de tipo *Float* en la tabla de atributos (denominarlos: Muy_Alto, Alto y Moderado). Calcular la suma de los % que ocupan los siguientes usos del suelo (en función del valor social, económico y medioambiental de los usos):

    a. Muy alto:
        i. Usos urbanos: casco (UCS), ensanche (UEN) y discontinuo (UDS)
        ii. Industriales: polígono industrial ordenado (IPO), polígono industrial sin ordenar (IPS) e industria aislada (IAS)
        iii. Terciario: comercial y oficinas (TCO), parque recreativo (TPR), complejo hotelero (TCH) y camping (TCG)
        iv. Usos dotacionales: institucional (EAI), sanitario (ESN), educativo (EDU) y penitenciario (EPN)
        v. Infraestructuras: aeropuertos (NAP), nucleares (NCL), térmicas (NTM), gaseoductos/oleoductos (NGO), depuradoras (NDP), desalinizadoras (NDS) y telecomunicaciones (NTC)
    b. Alto:
        i. Infraestructuras: red viaria (NRV), red ferroviaria (NRF), puertos (NPO), infraestructuras de energía eólica (NEO), solar (NSL), hidroeléctrica (NHD), eléctrica (NEL), conducciones y canales (NCC), vertederos y escombreras (NVE) y plantas de tratamiento (NPT)
        ii. Usos dotacionales: religioso (ERG), cultural (ECL) y deportivo (EDP)
        iii. Asentamientos agrícolas residenciales (ARR)
    c. Moderado:
        i. Usos dotacionales: cementerio (ECM), parque urbano (EPU), campo de golf (ECG)
        ii. Primario: agrícola/ganadero (PAG), forestal (PFT), minero extractivo (PMX) y piscifactoría (PPS)
        iii. Huertas familiares (UER)
    d. Bajo: el resto

3. Crear un campo “Edificac”, de tipo Float, y calcular el resultado de la suma de todos los tipos de edificación:

Edifica= EDF + EDFva + EDFem + EDFvd + EDFea + EDFnv + EDFec + EDFvaec + EDFemec + EDFvdec + EDFeaec + edfNVEC

4. Crear un nuevo campo, y calcular la siguiente fórmula:

    *Vulnerabilidad_Tot= [Muy_alto]*Edifica/100 + 0,75 *[Alto]*Edifica/100 + 0,5*[Moderado]*Edifica/100 + 0,25 *[Bajo]*Edifica/100*

5. Clasificar la vulnerabilidad en función de los siguientes rangos:
    a. Alta (COD=2): Vulnerabilidad_Tot > 20%
    b. Moderada (COD=1): Vulnerabilidad_Tot > 0% & < 20%
    c. Baja (COD=0): Vulnerabilidad_Tot = 20%