



Departamento de Política Territorial
e Interior

ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE
MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E
INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN



Servicios y Proyectos del EBRO S.A.

Diciembre de 2.011

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN	1
0.1. EQUIPO REDACTOR.	1
0.2. ANTECEDENTES	1
0.3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	2
0.4. ALCANCE	3
0.5. MARCO LEGAL	4
0.5.1. ORDENACIÓN TERRITORIAL	4
0.5.1.1. ANTECEDENTES LEGALES.	4
0.5.1.2. NORMATIVA ESTATAL.	5
0.5.1.3. NORMATIVA AUTONÓMICA	5
0.5.2. LEGISLACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL Y DIRECTRICES DE PLANEAMIENTO FRENTE A LOS RIESGOS NATURALES	6
0.5.2.1. NORMATIVA ESTATAL.	6
0.5.2.2. NORMATIVA AUTONÓMICA	6
0.5.3. OTRA NORMATIVA.	7
1. METODOLOGÍA	9
1.1. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.	9
1.1.1. SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGOS GEOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS.	9
1.1.2. SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA.	11
1.1.3. SUSCEPTIBILIDAD DE COLAPSOS.	14
1.1.4. SUSCEPTIBILIDAD DE VIENTOS FUERTES.	16
1.1.5. SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIONES.	17
1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	19
1.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y ADECUACIÓN A FORMATO GIS	25
1.3.1. Análisis y organización de la información, jerarquización y cruce de capas.	25
1.3.1.1. COLAPSOS Y MOVIMIENTOS DE LADERA.	25
1.3.1.2. INUNDACIONES.	29
1.3.1.3. VIENTOS FUERTES.	32
1.3.2. Integración de la información histórica	33



ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN

1.3.2.1.	COLAPSOS Y MOVIMIENTOS DE LADERA.	34
1.3.2.2.	INUNDACIONES.	35
1.3.2.3.	VIENTOS FUERTES.	41
1.4.	GENERACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD	42
1.4.1.	Colapsos y Movimientos de ladera	42
1.4.2.	Viento	45
1.4.3.	Inundaciones	48
1.5.	RÉSULTADOS	51
1.5.1.	Colapsos y Movimientos de ladera	51
1.5.2.	Viento	52
1.5.3.	Inundaciones	52
1.6.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	54

0. INTRODUCCIÓN

0.1. EQUIPO REDACTOR.

El equipo redactor del presente documento es el que se cita a continuación.

Autores del trabajo:

- | | |
|---|---|
| D. Guillermo Cobos Campos. | <i>Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos.
Prof. Titular Universidad Politécnica de Valencia</i> |
| D. Eduardo Lastrada Marcén. | <i>Ing. Caminos, Canales y Puertos.</i> |
| D ^a . Sara Martínez Cotanda. | <i>Lcda. Ciencias Geológicas.</i> |
| D. Francisco Javier Torrijo Echarri. | <i>Dr. Lcdo. Ciencias Geológicas.
Prof. Contratado Doctor Universidad Politécnica de Valencia</i> |

Colaboradores en la elaboración de planos:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| D. Alberto Barseló Ferrer. | <i>Ing. Técnico Agrícola.</i> |
| D. Raquel Monteagudo Arevalo | <i>Lcda. Geografía e Historia.</i> |

0.2. ANTECEDENTES

En diciembre de 2.009 se redacta el **Plan Director para la elaboración de mapas base de riesgos naturales e inducidos** que define las bases metodológicas para la elaboración de mapas base de los diferentes riesgos naturales e inducidos susceptibles de ser cartografiados; realizando un estudio comparativo de los trabajos realizados en el resto de CC. AA. en este sentido.

El 25 de julio de 2.011 se adjudica a la empresa SERVICIOS Y PROYECTOS DEL EBRO, S. A. la **ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE**

MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN, con un plazo de ejecución de 6 meses.

0.3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este contrato es la **elaboración de los mapas de susceptibilidad** de los fenómenos naturales correspondientes a **movimientos de laderas, vientos fuertes e inundaciones esporádicas** en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Estos fenómenos, en España y en la Comunidad de Aragón, en numerosas ocasiones han sido los causantes de importantes daños materiales e incluso afecciones personales.

La nueva Ley del Suelo, aprobada el pasado 28 de mayo de 2007, plantea por primera vez en la historia de nuestro país, la exigencia de realizar estudios de riesgos naturales previos a la planificación del territorio. La inclusión de esos estudios de riesgos en los planes de urbanismo, implica el conocimiento de la técnica de ejecución de los correspondientes mapas de riesgo.

El artículo 15.2 del Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Suelo, dispone que "*el informe de sostenibilidad ambiental de los instrumentos de ordenación de actuaciones de urbanización deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de ordenación*".

La Ley 4/2008, de 22 de junio, de Ordenación del Territorio de Aragón, dispone en su artículo 46 "Mapas de Riesgos" que corresponde al Centro de Información Territorial de Aragón coordinar la elaboración y mantener actualizados Mapas base de Riesgos que permitan evaluar los riesgos naturales e inducidos presentes en el territorio.

Así mismo, los artículos 17, 19, 47.1, 49 y 55, y la Disposición transitoria sexta de la Ley 3/2009, de 17 de junio, de Urbanismo de Aragón, disponen que en la clasificación del suelo, se habrán de tener en cuenta la evidencia de riesgos naturales e incluir dentro de la documentación correspondiente a planes generales y parciales los mapas de riesgos.

0.4. ALCANCE

Dentro de las actuaciones preventivas más importantes que pueden aplicarse para reducir los daños de los riesgos naturales, debemos destacar las relativas a la identificación y evaluación de los diferentes riesgos que pueden afectar a un territorio. Tales acciones se materializan, dentro de este trabajo, en la elaboración, y difusión de una **cartografía** relativa a la **susceptibilidad** de sufrir un proceso natural dañino para los intereses humanos, que permita identificar las áreas geográficas susceptibles de sufrir esos daños.

Esta cartografía de susceptibilidad supone la delimitación de determinadas zonas, en función de la frecuencia o intensidad de fenómenos naturales extremos, pudiendo integrarse los resultados en otro tipo de cartografía, en donde se expresa la mayor o menor vulnerabilidad de diferentes fragmentos del territorio.

La información derivada de esta cartografía puede ser utilizada como un instrumento para determinados planteamientos: ordenación del territorio, planeamiento urbano, planificación de infraestructuras públicas, gestión de emergencias, etc. Este tipo de cartografía, como técnica de prevención vinculada a la planificación territorial, viene siendo utilizada desde hace tiempo en países de nuestro entorno.

Un aspecto que debe ser destacado es que la **escala de trabajo y de representación** adoptada en los mapas finales es **1:50.000**. Esta escala es adecuada para un estudio regional y como consecuencia es importante tener en cuenta que los límites de las zonas con distintos niveles de susceptibilidad no deben utilizarse o contemplarse como límites exactos a efectos normativos o legislativos (regulación de usos). La zonificación debe servir para una interpretación en el sentido de que existen a priori áreas con distintos niveles de susceptibilidad por los referidos fenómenos (movimientos de ladera, colapsos, vientos fuertes e inundaciones esporádicas) y que, para una actuación concreta en el terreno que afecte a un área determinada, deben realizarse **estudios de detalle** para definir con la exactitud necesaria esos niveles de riesgo y los límites en la medida de lo posible (Ponce *et al.*, 2005). Por ello, estos planos en ningún caso excluyen la realización de los preceptivos estudios de detalle.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que en este tipo de estudios no se realiza una predicción temporal, ligada en la mayoría de los casos a la peligrosidad de eventos naturales desencadenantes como son los fenómenos

meteorológicos y sísmicos. En el caso de la predicción espacial se puede llegar a alcanzar una buena precisión, siendo ésta más incierta en la evaluación del tamaño o magnitud del evento.

En este contexto, un mayor nivel de susceptibilidad para una zona del mapa implica una mayor probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno, lo que a priori puede condicionar el uso del suelo y la solución adoptada. Esta información es de gran utilidad en fases de estudio de alternativas para planeamiento y ordenación del territorio.

0.5. MARCO LEGAL

Los trabajos tienen en cuenta, con carácter general, la siguiente normativa:

- Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público
- Reglamento General de Contratación del Estado, aprobado por Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, y modificaciones posteriores.
- Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, modificada por la Ley 29/1998, de 13 de julio.

0.5.1. ORDENACIÓN TERRITORIAL

La evolución de la normativa sobre riesgos naturales en la planificación territorial se puede dividir en tres periodos; hasta 1996, con normativa fragmentada con escasas referencias a los riesgos naturales, 1997-2005, donde aparecen los riesgos naturales en la ley sobre el régimen del suelo estatal y en la legislación autonómica y del 2006 a la actualidad, donde se revaloriza la conexión entre la prevención de riesgos y la planificación territorial al regularse la obligación de elaborar mapas de riesgos en la ordenación urbanística.

0.5.1.1. ANTECEDENTES LEGALES.

- Normativa de regulación del Instituto Geológico y Minero: *le atribuye el estudio de los riesgos por procesos geológicos, así como su prevención.*

- Ley del Seguro Agrario Combinado: *incluye la necesidad de realizar estudios de peligrosidad de episodios atmosféricos.*
- Legislación de Protección Civil: *necesidad de tener en cuenta determinados análisis de riesgo en la planificación del territorio y de los usos del suelo.*
- Legislación de Aguas: *prevé criterios de zonificación del uso del suelo.*

0.5.1.2. NORMATIVA ESTATAL.

- Real Decreto Legislativo 2/2008 de 20 de junio por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Suelo 8/2007. *" El informe de sostenibilidad ambiental de los instrumentos de ordenación de actuaciones de urbanización deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de la ordenación".*
- Reglamento de gestión Urbanística para el desarrollo y aplicación de la Ley sobre Régimen de Suelo y Ordenación Urbana, aprobada por Real Decreto 3288/1978, de 25 de agosto.
- Reglamento de Disciplina Urbanística para el desarrollo y aplicación de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana, aprobada por el Real Decreto 2159/1978 de 23 de junio
- Reglamento de Planeamiento para el desarrollo y aplicación de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana aprobado por el Real Decreto 2159/1978 del 23 de junio
- Real Decreto 1346/1976 de 9 de abril por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.
- Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional. *Da categoría "oficial" a la cartografía temática de "riesgos y emergencias.*

0.5.1.3. NORMATIVA AUTONÓMICA

- Ley 4/2009, de 22 de junio, de Ordenación del Territorio de Aragón.

- Ley 11/1992, 24 noviembre, de Ordenación del Territorio. Modificada a posteriori por la Ley 1/2001, 8 de febrero, y por el Decreto-Ley 2/2007 de 4 de diciembre, de medidas urgentes para la adaptación del ordenamiento urbanístico a la Ley 8/2007 de 25/05/2007 de suelo, garantías de sostenibilidad del planeamiento urbanístico e impulso a las políticas activas de vivienda y suelo.
- Ley 5/1999 del 25 de marzo, de carácter urbanístico, modificada por la Ley 24/2003, de 26 de diciembre, de Medidas Urgentes de Política de Vivienda Protegida.
- Ley 7/1998 de 16 de junio de determinación de las Directrices Generales de Ordenación Territorial para Aragón.

0.5.2. LEGISLACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL Y DIRECTRICES DE PLANEAMIENTO FRENTE A LOS RIESGOS NATURALES

0.5.2.1. *NORMATIVA ESTATAL.*

- Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil (BOE núm. 22 de 25 de enero de 1985).
- Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil (BOE núm. 105 de 1 de mayo de 1992).

0.5.2.2. *NORMATIVA AUTONÓMICA*

- Decreto 94/2005, de 10 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se regula la organización y funcionamiento de la Comisión de Protección Civil en Aragón. (BOA núm. 61 de 23 de mayo de 2005).
- Decreto 109/1995, de 16 de mayo, de la Diputación General de Aragón, por el que se aprueba el Plan Territorial de Protección Civil de Aragón (BOA núm. 62 de 25 de junio de 1995).
- Orden de 30 de abril de 1996, del Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales, por la que se desarrolla la regulación de los Planes de Emergencia de Protección Civil de ámbito municipal,

supramunicipal o comarcal, y de medidas de fomento (BOA núm. 55 de 15 de mayo de 1996).

- Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de protección civil y atención de emergencias de Aragón (BOA núm. 51 de 30 de diciembre de 2002).

Independientemente existe en España una normativa derivada de los Planes de Protección Civil, que dan lugar a unas directrices en cuanto a algunos de los riesgos naturales se refiere, con incidencia directa en la ordenación territorial regional o supramunicipal y en la planificación urbanística local, donde las áreas amenazadas son sometidas a limitaciones que van desde recomendaciones constructivas a la prohibición de determinadas construcciones o usos del suelo.

- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones Resolución de 31 de Enero de 1995.

0.5.3. OTRA NORMATIVA.

- Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, recogido en el Real Decreto 927/1988 de 29 de julio, establece la realización de estudios de delimitación de zonas inundables, así como su observación en los instrumentos de ordenación urbanística del territorio.
- Texto Refundido de la Ley de Aguas , contenido en el Real Decreto 1/2001 de 20 de julio
- Reglamento del Dominio Público Hidráulico contenido en el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril, modificado por el Real Decreto 9/2008 de 11 de enero.
- 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, aprobado por Real Decreto 927/88, de 29 de julio.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.



- 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 903/2010 de 9 de julio de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que transpone al derecho interno español la Directiva 2007/60/CE.

Así como posibles modificaciones de las mismas que hayan sido publicadas en el BOE y cualquier tipo de normas, reglamentos y disposiciones oficiales que, aun no siendo mencionadas expresamente, puedan afectar al objeto de los trabajos.

1. METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología empleada para la consecución de los trabajos:

- 1) Análisis de la problemática.
- 2) Recopilación de información.
- 3) Análisis de la información y adecuación a formato GIS.
- 4) Generación de mapas de susceptibilidad.
- 5) Validación de la información.

1.1. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1.1. SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGOS GEOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS.

Es fundamental definir en primer lugar los conceptos de susceptibilidad – peligrosidad y riesgo.

El término **susceptibilidad** debe interpretarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, que en este trabajo se aplicará a los movimientos de ladera, colapsos, vientos fuertes e inundaciones esporádicas. Por ello, los mapas de susceptibilidad realizados representan la zonificación de Aragón en base a la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los fenómenos. Cuanto mayor sea el nivel de susceptibilidad mayor es la probabilidad de que se produzca el evento.

Se emplea el término **riesgo** para indicar la probabilidad de que se produzca un fenómeno en un lugar concreto y que cause unos daños sobre el mismo.

Con este criterio, para que exista un riesgo en una zona deben de cumplirse dos circunstancias. Que sea susceptible a un fenómeno (probabilidad e ocurrencia) y que el lugar sea **vulnerable** (sensible) al fenómeno. Por ello, las zonas que tienen riesgo alto son aquellas que en el caso de producirse un evento probable sufrirán importantes daños.

Los mapas de riesgo se obtienen cruzando los mapas de susceptibilidad con los mapas de vulnerabilidad, a partir de una clasificación combinada de ambos aspectos.

Es fundamental clasificar el territorio en base a su susceptibilidad frente a cada uno de los fenómenos geológicos y climatológicos, ya que conocida la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, se pueden adoptar medidas, principalmente de ordenación del territorio, para minimizar los riesgos sobre la sociedad, actuando principalmente sobre la vulnerabilidad de los elementos que hay en el territorio o que se pretenden ejecutar en el mismo.

En esta línea de actuación, en el presente trabajo, y en base a la información disponible en el momento de su desarrollo se ha clasificado el territorio de Aragón tomando como criterio la susceptibilidad a cada uno de los fenómenos estudiados.

Las herramientas de trabajo que se han utilizado en la confección de estos mapas son básicamente las mismas que se utilizan en la preparación de cualquier trabajo de cartografía geológica. Primeramente se lleva a cabo una cartografía de enfoque analítico donde, en una etapa inicial, se recopila y estudia la documentación básica disponible, realizando una fotointerpretación inicial (y si ha sido posible un esquema cartográfico previo, siguiendo las recomendaciones de Matula, 1981a, b). En base a estos datos se realiza el borrador del mapa o mapas definitivos, tal y como se recoge en IAEG (1976) y Díez Herrero(2008).

Además, como es preciso realizar un mapa sintético, es necesario realizar los trabajos pertinentes para la consecución de la cartografía sintética deseada. En este caso se utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS).

Así, las herramientas que se han utilizado han sido, en el orden en que se han llevado a cabo:

- **Documentación de partida y consultas bibliográficas.** La documentación de partida necesaria para la realización de estos trabajos se recopila en el punto 1.2, pero, grosso modo, ha sido:
 - Base cartográfica a la misma escala o mayor que el mapa final. En caso de no disponerse de base cartográfica se ha sustituido por una ortoimagen remota convenientemente restituida.
 - Fotografías aéreas u otro tipo de imágenes remotas.

- Cartografía geológica (MAGNA, GEODE, etc...), geomorfológica, hidrológica, geotécnica, etc. de carácter regional.
- Estudios geológicos y geotécnicos realizados en áreas próximas o similares a la zona de estudio, estudios previos de terrenos, etc. (por ejemplo, Castañeda *et al.*, 2009)
- **Fotointerpretación.** La fotointerpretación de pares de *fotografías aéreas estereoscópicas en blanco y negro o color* sigue siendo hoy en día la herramienta de apoyo más importante de la cartografía geológica en general. Además, la fotografía aérea también nos ha permitido el uso de otras técnicas auxiliares que nos han sido de utilidad, tales como la restitución fotogramétrica del terreno y la formación de mosaicos ortorestituidos.

Esta fotointerpretación debe llevarse a cabo metódicamente, considerando varios pasos, los cuales pueden consultarse en la bibliografía (Edwards, 1976; *Geological Society of London*, 1982; López Vergara, 1978; Salazar, 1992; Drury, 1993 y Torrijo y Cortés, 2007).
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS).** Drury (1993) los define como una aplicación informática que consiste en un sistema de manejo y análisis de datos basado en grupos de datos distribuidos espacialmente en dos dimensiones. Esta herramienta nos ha permitido realizar automáticamente mapas sintéticos, bien por superposición o agregación de mapas temáticos o bien mediante técnicas paramétricas.

En los apartados siguientes se desarrolla la metodología aplicada y cuáles han sido los resultados obtenidos.

1.1.2. SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA.

Se entiende como movimiento de ladera el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, 2001).

Otra definición que se manifiesta en términos análogos es la aportada por Corominas y García Yagüe (1997) definiendo movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad. Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978).

Según los estudios de Varnes (1958, 1978 y 1984), Ayala et. al. (1987), Corominas y García Yagüe (1997) y Torrijo (2003), los movimientos de ladera se pueden clasificar en función del mecanismo de rotura y de la propagación del movimiento empleando criterios morfológicos. Estos movimientos de ladera dependerán del tipo de movimiento y de la naturaleza de los materiales inestables, es decir, en la clasificación suelo-roca de estos. Así, se diferencian cuatro tipos de movimientos de ladera potenciales: **Deslizamientos, Flujos, Desprendimientos y Extensiones laterales** (Corominas, 1989; Ferrer, 1995 y González y Ferrer, 1997).

La distribución de estos movimientos no es regular, aunque suelen ser más frecuentes en zonas con relieves escarpados, influidas por las elevadas pendientes que se pueden observar en dichas zonas. Por tanto, otro factor a tener en cuenta a la hora de la realización de los mapas de susceptibilidad de riesgo por movimientos de ladera será el de la pendiente del terreno.

De igual manera que las causas desencadenantes de los movimientos de ladera son factores intrínsecos de la ladera tales como el tipo de material y la pendientes de la zona, otros factores influyentes son los externos como por ejemplo la climatología. Por tanto, los factores que desencadenan los deslizamientos están relacionados con las variaciones que se producen de las propiedades intrínsecas del terreno. Por tanto, siguiendo lo recogido en Torrijo (2003), los factores que influyen en los deslizamientos y en su formación son:

- **Litología y propiedades resistentes del material.**
- **Estructura geológica.**
- **Condiciones hidrogeológicas.**
- **Morfología de la zona.**

A efectos de este trabajo (véase apartado 1.3.1.1), estos factores pueden resumirse y detallarse en dos grandes grupos:

- **Factores naturales:**
 - Meteorización
 - Erosión
 - Orientación con respecto a la estructura geológica
 - Pendientes elevadas de un área
 - Climatología

- Agua:
 - ◆ Erosión por cauces fluviales
 - ◆ Aumento del nivel freático.
- Sismicidad (Gutiérrez *et al.*, 2008c)
- Vegetación
- Etc...
- **Factores humanos:**
 - Excavaciones por minería y obra civil
 - Voladuras
 - Sobrecargas en laderas
 - Cambios del nivel freático o nivel de saturación en embalses, regadíos, canales, etc.
 - Etc...

De tal modo que, para la realización de los mapas de susceptibilidad, se ha realizado un mapa de pendientes con rangos de valores que oscilan de 0-10% (valores más bajos) hasta valores superiores al 60% (valores más extremos de pendientes).

Cuando unimos estos valores de **pendientes** a la clasificación de Suelo/Roca de las diferentes **litologías**, a las características de **permeabilidad/hidrogeología** (Gutiérrez *et al.*, 2006) y a la **fisuración** del terreno (véase apartado 1.3.1.1) obtenemos los mapas de susceptibilidad.

Estos factores nos han permitido, por tanto, realizar una zonación del terreno pudiendo establecer áreas con alta susceptibilidad de experimentar deslizamientos. Recordemos que esto se consigue mediante la combinación de diversos datos (Torrijo, 2003 y Gutiérrez *et al.*, 2005):

- Pendientes de laderas y taludes
- Alturas de talud
- Litología
- Estabilidad natural
- Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos

- Formaciones superficiales
- Grado de meteorización

1.1.3. SUSCEPTIBILIDAD DE COLAPSOS.

La subsidencia es el tipo de colapso considerado en este trabajo y viene caracterizada por una deformación casi vertical o el asentamiento de los materiales terrestres. Este tipo de colapso del terreno puede ocurrir en pendientes o en terreno llano. Con frecuencia produce hoyos circulares (depresiones cerradas) en la superficie, denominados dolinas, pero puede producir un patrón lineal o irregular (Keller y Blodgett, 2004).

La subsidencia natural está asociada normalmente a la disolución de rocas solubles, como yesos o calizas, por debajo de la superficie. El paisaje resultante tiene depresiones cerradas y se conoce como topografía kárstica. Sin embargo, existen otras causas importantes de hundimiento como la descongelación del suelo helado (Nelson et al., 2001 y Goldman, 2002), la compactación del sedimento recientemente depositado (Bull, 1974) y la contracción de suelos expansivos (Harris, 2004). En menor grado, los terremotos y el vaciado de las cámaras magmáticas también son responsables de causar subsidencia.

La subsidencia inducida por el hombre puede producirse por la explotación de acuíferos en el subsuelo; por el derrumbe de suelo y roca en cavidades subterráneas como las dejadas por excavaciones mineras (Lucha et al., 2008a); y por el drenaje de humedales.

Además, la interacción subsidencia – ser humano, es capaz de provocar importantes daños, incluso pudiendo llegar a afectar directamente a vidas humanas. Se han producido daños en presas causando víctimas humanas e incluso se ha visto afectada la seguridad de almacenes de residuos radioactivos, e incluso se ha observado la inestabilidad de centrales nucleares debido a la subsidencia producida por la disolución de sales evaporíticas.

En nuestro caso, hemos considerado el caso natural más frecuente y analizable en Aragón (se ha descartado la posibilidad, por ejemplo, de subsidencia minera), es decir, la existencia en el subsuelo de **materiales solubles**, relacionados con los **flujos de agua subterráneos**, que puede provocar la disolución de éstos y, por tanto, la subsidencia de la superficie del

terreno, en forma de depresiones cerradas denominadas dolinas. Este caso, extremadamente desarrollado en la Depresión del Ebro cercana a la ciudad de Zaragoza ha sido (y es) objeto de numerosos estudios (véase, por ejemplo, Simón y Soriano, 1986 y 2002; Soriano et al., 1994 y 2004; Soriano y Simón, 1995, 1997, 2001 y 2002; Casas et al., 2006; Mochales et al., 2007 y 2008; Luzón et al., 2008; Simón et al., 2008 y 2009 y Galve et al., 2009a, b).

Estos fenómenos se encuentran relacionados con materiales evaporíticos (fundamentalmente) y carbonatados y se presentan con una morfología de depresión cerrada.

Generalmente estos fenómenos muestran un nivel de actividad diferente según se trate de la disolución de material carbonatado o de la disolución de material evaporítico, mostrando mayor actividad en estos últimos debido a la mayor solubilidad de los materiales evaporíticos (valores de 2,4 a 360 gr/l) frente a los materiales carbonatados (0,5 gr/l).

Se han tomado estos valores de **solubilidad** para establecer unos niveles de susceptibilidad según el tipo de material del que se trate, es decir, en los estratos en los que predomina el **material calcáreo**, se tomarán valores de susceptibilidad de Muy Bajo a Medio, en cambio en los estratos en los que predomine **material evaporítico**, los valores adoptados oscilan desde Medio a Muy Alto.

No obstante, la existencia de estratos o niveles con ausencia tanto de materiales carbonatados y evaporíticos, ha causado una importante problemática, ya que la ausencia de estos no es indicativo de la ausencia de probabilidad de colapso puesto que las dolinas son una manifestación superficial de procesos de disolución subyacente, por lo que ha sido necesario un estudio pormenorizado de zonas en las que no se encuentran materiales susceptibles de disolución, pero con una posible influencia de estos.

Con el objetivo de conocer datos en detalle de zonas concretas se ha consultado numerosa bibliografía, donde podemos destacar, además de los trabajos relacionados anteriormente, los realizados por Gutiérrez (1994 y 1996), Benito et al. (1998 y 2000), Gutiérrez y Gutiérrez (1998), Arenas et al. (1999), Gutiérrez et al. (2001, 2002, 2003, 2005a, b, 2007, 2008a, b, 2009 y 2010), Gracia et al. (2002a, b), Gutiérrez y Cooper (2002), Guerrero et al. (2004 y 2008a, b), Galve et al. (2008), Lucha et al. (2008b).

1.1.4. SUSCEPTIBILIDAD DE VIENTOS FUERTES.

Para el estudio descrito en este documento, en el que se pretende identificar áreas con susceptibilidad de vientos fuertes, lo más importante es la identificación de las **rachas de viento** (alta intensidad y pequeña duración).

Para su identificación y evaluación existen **modelos de mesoescala** que son modelos de predicción numérica del tiempo, incluyendo el viento, cuya resolución horizontal y vertical es suficiente para pronosticar o analizar fenómenos meteorológicos a nivel regional, fenómenos en los que tiene una sustancial influencia la topografía de la región. Estos modelos se basan en la resolución de las ecuaciones de conservación que gobiernan el flujo de aire en la capa límite atmosférica mediante la discretización del dominio de interés.

Así, partiendo del estado inicial de la atmósfera y unas condiciones de contorno (que han de ser conocidos), se resuelven numéricamente las ecuaciones para un cierto periodo de tiempo (horas, días, semanas o meses), obteniéndose como resultado la variación espacial y temporal de las variables de interés (tales como la velocidad del viento o la temperatura). El estado inicial, así como las condiciones de contorno que se aplican en los extremos del dominio se obtienen de los resultados de un modelo global, disponible públicamente en la página web de la agencia nacional estadounidense oceánica y de la atmósfera (NOAA).

Utilizando como datos de entrada medidas realizadas en diferentes **estaciones meteorológicas** a través de todo el planeta y también disponibles públicamente a través de la NOAA. Este tipo de reanálisis permite calcular estadísticas de periodos largos de tiempo.

Si bien típicamente las estadísticas de interés suelen ser velocidades promedio o parámetros de Weibull con el fin de estimar el recurso eólico o simplemente caracterizar la zona, esta misma metodología puede ser aplicada para extraer estadísticas de fenómenos extremos, analizando su frecuencia y magnitud de una forma sistemática y georreferenciada.

Los datos históricos medidos en estaciones meteorológicas también proporcionan una importante información para la estimación de los valores extremos y la calibración de los modelos globales.

En este estudio se han utilizado los resultados de estudios globales de la Península conjuntamente con datos históricos obtenidos de estaciones meteorológicas.

1.1.5. SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIONES.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, inundación es la acción y efecto de inundar, esto es, cubrir los terrenos y a veces las poblaciones de agua.

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (1995) define inundación como la sumersión temporal en terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.

Por otro lado, la Directiva de Inundaciones define inundación como el anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua.

Con este criterio la susceptibilidad de inundación se corresponde como la probabilidad de que un terreno que habitualmente no está inundado quede cubierto temporalmente por el agua.

Dicha situación de anegamiento irá asociada a la morfología del terreno, característica de los materiales, proximidad a la red hidrográfica y la climatología.

Para su identificación existen diversas metodologías siendo complementarias entre sí.

Disponiendo de una buena información topográfica y de la climatología del terreno (especialmente pluviometría) se pueden realizar **modelaciones hidrológico-hidráulicas** del terreno.

Otra metodología posible es el **estudio geomorfológico** de la red hidrográfica, ya que la morfología de los sistemas fluviales es una consecuencia de las inundaciones que ha sufrido el terreno y la tipología y características de los materiales afectados, así como de la topografía inicial.

El análisis de los **datos históricos** también proporcionan una valiosa información, ya que se ajustan a realidades o evidencias observadas por el



hombre. Su principal inconveniente es que no se dispone de datos por todo el territorio, por el contrario habitualmente vienen asociados a núcleos urbanos.

En el presente trabajo se ha utilizado toda la información disponible relativa a estas tres metodologías para la definición del mapa de susceptibilidad de inundación.

1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

A continuación se muestra una tabla con toda la información considerada de utilidad que ha sido posible recopilar y revisar:

INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
RED HIDROGRÁFICA Y TOPOGRAFÍA			
BTN25: Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.
Red hidrográfica a escala 1:25.000 para la Cuenca del Ebro	IGN: Instituto Geográfico Nacional	Shape	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
Red hidrográfica a escala 1:25.000 para la Cuenca del Júcar	IGN: Instituto Geográfico Nacional	Shape	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
Red hidrográfica a escala 1:25.000 para la Cuenca del Tajo	IGN: Instituto Geográfico Nacional	Shape	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
MDT, con paso de malla de 5 metros de 25 a 50cm/pixel	Gobierno de Aragón	Formato ASCII Matriz ESRI	Revisada. Girada y corregida.
Mapa de pendientes 10x10 a partir del MDT 5x5.	Gobierno de Aragón	Shape y Raster	Procesada
MDT, SIGOLEICOLA 20 x 20	Gobierno de Aragón	Shape	Incluye mapa de pendientes y orientaciones. Revisada. Desechada por escasa precisión.
Cobertura de la red fluvial de la cuenca del Ebro, a escala 1:100.000.	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada
Cobertura de la red fluvial de la cuenca del Ebro, según el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, a escala 1:50.000.	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada

ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN

INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
USOS DEL SUELO			
SIOSE a escala 1:25000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada
GEOLOGÍA - GEMORFOLOGÍA			
GEODE: Cartografía Geológica Continua Digital de España. Escala 1:50.000	IGME: Instituto Geológico y Minero de España	Shape	Revisada. No cubre todo Aragón
MAGNA: Mapa Geológico Nacional. Escala 1:50.000	IGME: Instituto Geológico y Minero de España	Shape	Revisada y completada
Geología regional 1:200.000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada
Geomorfología regional 1:200.000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada
Cobertura de fondos aluviales de la cuenca del Ebro a escala 1:50.000	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada
Cuencas endorreicas y complejos kársticos de la cuenca del Ebro, a escala 1:50.000	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada

INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
INFORMACIÓN HISTÓRICA			
Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH) de la Cuenca del Ebro	Dirección General de Protección Civil y Emergencias. CHE	Access	Revisado y actualizado en el trabajo del SNCZI
Capa de eventos históricos de riesgo alto significativo de la Cuenca del Júcar	Confederación Hidrográfica del Júcar	Shape	Revisado y actualizado en el trabajo del SNCZI
Serie climatológica anual estaciones meteorológicas de Aragón	AEMET	xls	Revisada
Base de datos de eventos históricos por viento	Dirección General de Protección Civil y Emergencias	Access	Información solicitada, disponible solo eventos del año 2011

INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
ESTUDIOS PREVIOS DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION			
Lámina de inundación correspondiente al periodo de retorno de 500 años según estudios hidrológico-hidráulicos.	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
Estudios de inundabilidad específicos (Río Jalón, Río Huerva, Ríos Aranda y Piedra, etc.)	CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro	Texto	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
Estudios 1D del Plan Especial de Protección Civil ante Inundaciones en Aragón.	Dirección general de protección Civil y Emergencias	Shape	Revisada
ESTUDIOS DE VIENTO			
Atlas Eólico de España con un paso de malla de 2.5 x 2.5 km.	I.D.A.E.	Shape, pdf	

INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
OTRA INFORMACIÓN (Ortofotos, meteorología, administrativa,..)			
Cobertura que representa la red de estaciones meteorológicas de Aragón, a escala general de trabajo 1:50.000.	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Revisada
Embalses Actuales y Previstos	SITEbro: Confederación Hidrográfica del Ebro	Shape	Recortada al contorno de Aragón y unida
Embalses Actuales y Previstos	Confederación Hidrográfica del Júcar	Shape	Recortada al contorno de Aragón y unida
Núcleos de Población 1:50.000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.
Términos Municipales 1:50.000	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.
Ortofotos del PNOA en la cuenca del Ebro. Año 2006	IGN: Instituto Geográfico Nacional	ECW	Revisada
Vuelo Americano: vuelo nacional 1956-57 a escala 1/33.000, en blanco y negro. Servicio geográfico del Ejército (S.G.E.)	CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro	ECW	Revisada
Mapa de Caudales Máximos	CEDEX	Aplicación y texto	
Mapa de precipitación extrema de Aragón (T500)	CEDEX	Raster	Revisada. Recortada al contorno de Aragón y unida
Ortofotos del PNOA Aragón. Año 2009	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.
Mapa de pluviometría de Aragón	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.
Mapa de temperaturas de Aragón	Gobierno de Aragón	Shape	Revisada.



INFORMACIÓN RECOPIADA	ORIGEN	FORMATO	OBSERVACIONES
DOCUMENTACION			
Guía Metodológica para la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación	MMAMRM	word	Revisada
EPRI JUCAR	Confederación Hidrográfica del Júcar	pdf	Revisada
EPRI EBRO	Confederación Hidrográfica del Ebro	pdf, shape, xls	Revisada
Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa. Meteoalerta.	AEMET	pdf	Revisada
Plan Especial de Protección Civil ante Inundaciones de Aragón	Dirección general de protección Civil y Emergencias	pdf	Revisada

1.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y ADECUACIÓN A FORMATO GIS

La información recopilada, una vez validada, se ha incluido en un proyecto SIG.

El proceso realizado para el tratamiento de la información ha sido el siguiente:

- 1) Análisis y organización de la información, jerarquización y cruce de capas.
- 2) Integración de la información histórica.
- 3) Contraste y análisis de la información.

1.3.1. Análisis y organización de la información, jerarquización y cruce de capas.

1.3.1.1. COLAPSOS Y MOVIMIENTOS DE LADERA.

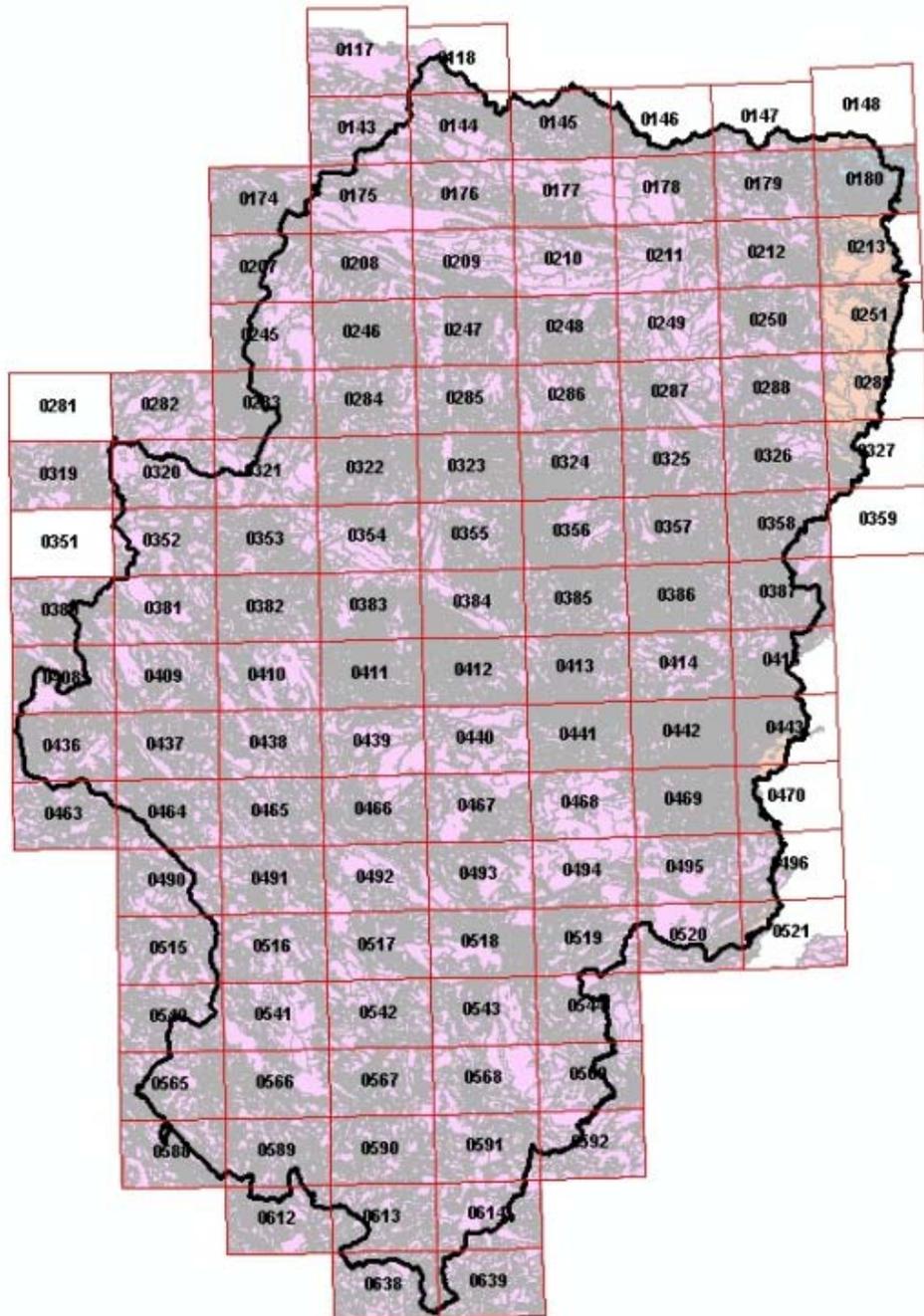
INFORMACIÓN LITOLÓGICA:

Se ha generado una capa correspondiente a las distintas litologías existentes en Aragón partiendo de la información generada en el Plan de Cartografía Geológica Continua **GEODE** (2005-2011) a escala 1:50.000 (IGME, 2011), cuyo acceso es facilitado por el sistema denominado SIGECO.

Las hojas de las que no se disponía información se han completado con la cartografía del Plan **MAGNA** a escala 1:50.000 [hojas 179 (ITGE, 1978) y 180 (IGME, 1991)] y con la cartografía recogida en los **mapas de geología regional de Huesca**, a escala 1:200.000 (hojas 148, 213, 251, 289, 327 y 443).

Así se ha conseguido la división del territorio aragonés en hojas a escala 1:50.000 tal y como se refleja en la figura siguiente:

ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN



Mapa geológico combinado de Aragón.

Al haber utilizado tres fuentes cartográficas de información diferentes, con distintos años de realización y distintos autores, existe una gran variedad y disparidad de unidades litológicas. Por ello, una de las labores que se han

llevado a cabo ha sido unificar dichas cartografías con el objetivo de conseguir mapas sintéticos y homogéneos entre sí.

Para poder trabajar de manera sencilla y de acuerdo a los criterios expuestos con anterioridad, se ha dividido las litologías existentes en varios grupos homogéneos. De este modo se puede establecer el primer factor para llevar a cabo los mapas de susceptibilidad por colapso y deslizamiento.

Así para cada uno de los dos fenómenos se diferencian las siguientes **unidades litológicas**:

- **Fenómenos de colapso.** Se dividen los materiales existentes en cuatro grupos en función de su litología:
 - Materiales salinos (sales del grupo de los cloruros: halita, silvina, etc..., y yesos con solubilidad muy alta).
 - Materiales sulfatados: yesos y anhidritas.
 - Materiales carbonatados: calizas, dolomías, etc.
 - Otros materiales no solubles.
- **Movimientos de ladera.** En este caso hemos dividido los materiales existentes en tres grandes grupos en función de su comportamiento geotécnico:
 - Materiales rocosos. Se producen genéricamente roturas de tipo puntual asociada a la fracturación de los macizos rocosos (diaclasado, estratificación, etc).
 - Materiales tipo suelos. Las roturas suelen ser globales y de manera habitual involucran un gran volumen de material desplazado. No hay planos bien definidos sino más bien superficiales curvas y/o irregulares.
 - Otros materiales no asimilables a los dos grupos anteriores.

PERMEABILIDAD:

Como se comenta de manera genérica en la metodología, tanto el fenómeno de subsidencia como de deslizamiento dependen del tipo de terreno (punto anterior) y de la facilidad de circulación del agua por el mismo, la cual es función de la permeabilidad de los materiales.

El agua que circula en el terreno puede provenir de un nivel freático, más o menos estable y bien definido, o ser producto puntual o esporádico de factores climatológicos (precipitaciones, estacionalidad, etc) y depende del grado de fracturación (en macizos rocosos) o porosidad (intrínsecamente ligada a la permeabilidad en materiales tipo suelo) del material.

El **mapa de permeabilidades** elaborado por el Gobierno de Aragón a escala 1:200.000 se ha utilizado para caracterizar los materiales según su permeabilidad en función de los siguientes parámetros:

- **Fisuración de los macizos rocosos.** Este factor se ha dividido en tres escalones: fisuración alta, media y baja.
- **Porosidad de los materiales tipo suelo.** Este factor, análogamente al anterior, también se ha dividido en tres escalones: porosidad alta, media y baja.

PENDIENTES:

Los movimientos de ladera, bien sea por desplomes, deslizamientos o reptaciones, dependen, en gran medida, de la pendiente del terreno.

Por ello, en un primer momento se comenzó a trabajar con el Modelo Digital del Terreno de Aragón, facilitado por el Gobierno de Aragón, de tamaño de celda 20 x 20 metros, pero se ha mostrado insuficiente para poder caracterizar los fenómenos asociados a los materiales rocosos, debido al suavizado del terreno que se produce.

De este modo, se ha procesado el **Modelo Digital del Terreno de Aragón** disponible en formato raster con resolución de 5 m, proporcionado por el Gobierno de Aragón y se ha elaborado **un nuevo mapa de pendientes** para el conjunto del territorio aragonés, de tamaño **10 x 10 metros**. A partir de esta cartografía se ha conseguido un mayor grado de detalle del terreno, pudiendo llegar a identificar incluso pendientes superiores a los 70°.

CLIMATOLOGÍA:

Como se comenta en el apartado de permeabilidad, uno de los principales factores desencadenantes de los movimientos de ladera en materiales tipo suelo son las precipitaciones (por no decir el de mayor importancia). Por su parte, en el caso de los materiales rocosos, el factor más influyente suele ser el cambio de temperatura (ciclos de hielo – deshielo).

En el caso de las precipitaciones, no suele ser tan importante la cantidad de humedad acumulada por el suelo como los cambios producidos en dicha humedad. Por ello, se ha considerado oportuno la división del territorio aragonés en zonas de intensidad de precipitación alta y baja, partiendo de los **mapas de intensidad de precipitaciones elaborados por el CEDEX**.

Para incluir el efecto de la variación de temperaturas, se ha supuesto que la variabilidad estacional de la temperatura puede llegar a afectar la totalidad del territorio estudiado.

1.3.1.2. INUNDACIONES.

LAMINAS DE INUNDACIÓN DE ESTUDIOS EXISTENTES:

Se ha realizado una revisión de los estudios de inundación disponibles. Concretamente se han utilizado las láminas de inundación para un período de retorno $T = 500$ años disponibles para el río Cinca, tramo del río Ebro entre su confluencia con el río Ega hasta Zaragoza, río Ara, río Aranda, río Piedra, río Sosa y río Jalón.

Estas láminas llevan asociada directamente una probabilidad de ocurrencia (susceptibilidad), pero deben ser complementadas con otras metodologías ya que no se dispone de esta información para la totalidad de los ríos.

En este caso la labor realizada ha consistido en la recopilación de la información, proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro y su integración en una cobertura GIS.

Estas zonas de inundación se pueden considerar como áreas de susceptibilidad por riesgo de inundación alta.

INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA:

Se ha recopilado y analizado la información geológica y geomorfológica disponible para el conjunto de Aragón.

COBERTURA DE FONDOS ALUVIALES DE LA CUENCA DEL EBRO

Se trata de una **cartografía de fondos aluviales a escala 1/50.000** desarrollada en diciembre de 1.993 para la Confederación Hidrográfica del Ebro en el

ámbito de los trabajos relacionados con el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro.

En el proceso de creación de la cobertura se utilizó el Mapa General (Serie L) del Servicio Geográfico del Ejército (escala 1/50.000) como base cartográfica sobre la que se fueron restituyendo los diferentes contenidos del resto de fuentes cartográficas que a continuación se citan, así como los datos resultantes del reconocimiento de campo realizado durante la Asistencia Técnica.

- Inventario y cartografía de los aluviales de la cuenca del Ebro. CHE, 1.993 (Nº archivo O.P.H.: 604ª).
- Mapas Geológicos del IGME (serie MAGNA) a escala 1/50.000.
- Mapas Geológicos del IGME (1ª serie) a escala 1/50.000.
- Mapas Geológicos de publicaciones, tesis doctorales y proyectos de investigación.
- Fotografía aérea a escala 1/33.000.

Esta capa da una importante información relacionada con las inundaciones, ya que están identificados los fondos aluviales, que corresponden con zonas inundables. Realiza una clasificación de los sistemas fluviales más importantes diferenciando aluviales, terrazas bajas, medias y altas.

GEODE

Se ha generado una capa correspondiente a las distintas litologías existentes en Aragón partiendo de la información generada en el Plan de Cartografía Geológica Continua **GEODE (2005-2011)** a escala 1:50.000. Esta cartografía tiene su origen en el Magna a escala 1:50.000, donde se ha aglutinado en un único mapa la información de todas las hojas iniciales.

No se ha conseguido disponer de la totalidad de la superficie de Aragón.

GEOMORFOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL DE ARAGÓN (SITAR)

Se ha recopilado la cartografía desarrollada en el marco del Proyecto "Elaboración de los elementos básicos de un sistema de información sobre recursos y medio ambiente en Aragón" (1993) a escala 1/200.000.

1.3.1.3. *VIENTOS FUERTES.*

ATLAS ELÓLICO DE ESPAÑA

Puesto a disposición pública por el IDAE (Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía) en colaboración con el Ministerio de Turismo, Industria y comercio.

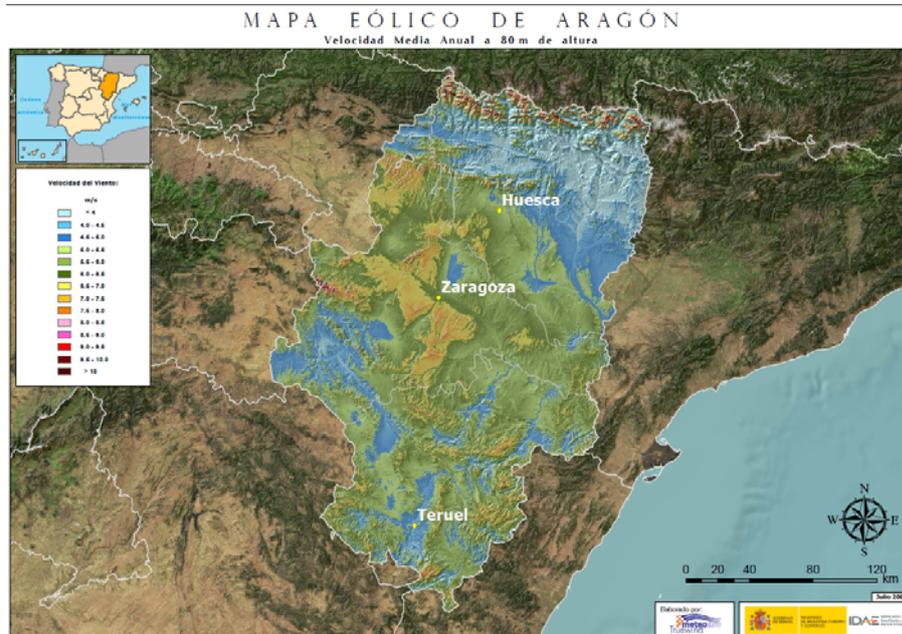
Para realizar el Atlas Eólico de España se ha recurrido a un modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España, sin llevar a cabo una campaña de mediciones específica. En cambio, sí se han utilizado datos reales del recurso para la validación de los resultados de la herramienta de simulación adoptada.

La información que suministra el mapa para cada nodo con resolución del mallado 100 m es la siguiente:

- Datos geográficos y superficiales:
 - Coordenadas UTM.
 - Elevación.
 - Rugosidad.
- Datos del recurso eólico:
 - Velocidad del viento media anual a 30, 60, 80 y 100 m.
 - Parámetros de Weibull medios anuales a 30, 60, 80 y 100 m.
 - Velocidad del viento media estacional a 80 m.
 - Parámetros de Weibull medios estacionales a 80 m.

La información que suministra el mapa para cada nodo con resolución del mallado 2.500 m es la siguiente:

- Datos geográficos y superficiales:
 - Coordenadas UTM.
- Datos del recurso eólico:
 - Rosa de vientos, en frecuencia y densidad de energía.



Mapa de velocidades medias anuales a 80m de altura para Aragón.

A partir de esta información se ha creado una capa raster para Aragón de resolución 100*100 m que contiene las **velocidades medias anuales** a una altura de 80 m sobre el terreno, utilizada como base para el desarrollo de los trabajos.

1.3.2. Integración de la información histórica

Es muy importante constatar la veracidad de los resultados para poder establecerlos como válidos, acotando la subjetividad de la información, que en determinados momentos puede elevar el alcance de los riesgos o identificarlos erróneamente en el tiempo.

A partir de la información histórica disponible para cada uno de los fenómenos estudiados se ha realizado una comparación con los resultados de los estudios existentes para contrastar la calidad de los mismos.

1.3.2.1. COLAPSOS Y MOVIMIENTOS DE LADERA.

Se ha realizado una revisión detallada de la información disponible en **estudios previos**. Concretamente, unida a la reflejada en apartados anteriores, se ha incluido la información contenida en los siguientes documentos, de mayor a menor antigüedad, junto con otros documentos, detallándose todos ellos en el apartado 1.6:

- Descripción y estudio preliminar del origen de la Depresión de Valdespartera (Zaragoza) (Soriano, 1993).
- Geomorfología de la Sierra de Tendeñera (Pirineo Aragonés) (Serrano, 1995).
- Estudio de riesgos de hundimientos kársticos en el corredor de la carretera de Logroño para el Plan General de Ordenación Urbana del Ayuntamiento de Zaragoza (Simón *et al.*, 1998).
- Estabilidad de laderas y riesgos de deslizamientos e inundación en el embalse de Yesa (Casas y Rico, 1999).
- Estudio geomorfológico de las laderas de Cadrete (Zaragoza) para el Plan General de Ordenación Urbana (Torrijo *et al.*, 2002).
- Estudio de riesgos geomorfológicos asociados a la ladera adyacente de la Calle Pablo Serrano (Cadrete, Zaragoza) (Bona, 2004).
- Los Movimientos de Masa del Alto Gállego (García-Ruiz *et al.*, 2004).
- Peligrosidad, daños y mitigación de inundaciones, subsidencia por disolución y movimientos de ladera en la localidad de Cadrete (Depresión del Ebro, Zaragoza). (Guerrero, *et al.*, 2005).
- Estudios de estabilidad en las laderas del paraje de la Raya, en la cola del futuro embalse de Biscarrues sobre el río Gállego (Hijos y Sáenz, 2007).
- Laderas del embalse de Yesa (Lafuente *et al.*, 2007).
- Análisis de la estabilidad de una ladera situada en la cola del embalse de la futura presa Biscarrues (Huesca) (Olalla *et al.*, 2007).
- Implicaciones geotécnicas de la evolución de una ladera del valle del río Ésera (Huesca) (Estaire *et al.*, 2007)

- Deslizamientos Catastróficos y embalses (García Yagüe, 2007).
- Monitorización de deslizamientos de terreno con Sar Terrestre (Montserrat *et al.*, 2009).
- Estudio y propuesta de corrección de inestabilidades detectadas en la zona de “El Portalet” (Huesca) (Torrijo *et al.*, 2009).

Hay que destacar que del trabajo de Simón *et al.* (1998) sólo se han incluido los hundimientos de mayores dimensiones, ya que el resto no eran representativos a la escala de trabajo utilizada.

Adicionalmente, se ha realizado una búsqueda de **indicios** de deslizamientos históricos y colapsos a partir de una revisión detallada de las ortofotos del PNOA de los años 2006 y 2009 facilitados por la Diputación General de Aragón, incluyéndolos en el mapa de susceptibilidad correspondiente.

1.3.2.2. INUNDACIONES.

Para la comprobación de la calidad de los resultados obtenidos se ha utilizado la información histórica de avenidas disponible.

Esta información ha sido obtenida del trabajo “**EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables**” para las cuencas españolas, donde se han integrado en un GIS los eventos históricos asociados a un riesgo grave de inundación (EPRI del Ebro y del Júcar). Estos documentos suponen un trabajo exhaustivo de recopilación de toda la información disponible en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Ebro relativa a inundaciones. En concreto las principales fuentes de información histórica utilizadas para el desarrollo de la EPRI del Ebro y del Júcar son:

- **Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH)**: realizado por la Dirección General de Protección Civil en colaboración con diferentes organismos de la Administración Central y las Comunidades Autónomas. Versión 2.01 (julio 2008).
- **Informes de avenidas** procedentes de la Guardería Fluvial de la Confederación Hidrográfica del Ebro (periodo comprendido entre 1975 y 2010).

- Información procedente de la experiencia en campo del Servicio de **Guardería Fluvial** plasmada en una serie de **encuestas**, mapas topográficos y formularios realizados para la redacción de la EPRI, lo cual supone una información de alta calidad dado el conocimiento directo que tienen de la zona.
- **Plan Especial de Protección Civil ante inundaciones en Aragón (2006)**.
- Estudios elaborados por la **Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI)**, creada por la Comisión Nacional de Protección Civil (año 1983).

El CNIH comprende los episodios de inundación sucedidos en la cuenca del Ebro desde el Siglo I después de J.C. No obstante, los datos con referencias constatables se estiman tras la finalización de la Guerra Civil española (1939), a partir de la cual las inundaciones comenzaron a ser descritas con mayor exactitud.

El CNIH integra la información principal de los eventos históricos más importantes e incluye las fichas descriptivas recopiladas en su día para cada uno de ellos. A los efectos del CNIH, se entiende por inundación histórica todas aquellas avenidas fluviales y/o inundaciones acontecidas en las diferentes cuencas vertientes del territorio nacional que han tenido consecuencias sobre la población y sus bienes, alterando su normalidad, desde los albores de la historia hasta el momento actual.

Los Informes de Avenidas elaborados por el personal de comisaría de aguas desde el año 1975 hasta el año 2010 incluyen ubicación exacta de los puntos conflictivos, fecha y duración exacta del evento, fuente, mecanismo y características de la inundación, y descripción de los daños originados y una estimación del caudal circulante. La relación de informes de avenidas revisada es la siguiente:

FECHA	RÍOS
abr-1975	Ebro y Aragón
may-1977	Ebro, Aragón y Ayuda
jun-1977	Ebro y afluentes, Errekaberri, Santo Tomás y Barrundia, Ega, Tirón, Inglares, Oca, Bayas, Aguas Vivas, Barranco del Abaco, Zadorra, Guadalope, Noguera, Aragón y

FECHA	RÍOS
feb-1978	Ayuda Ebro, Aragón, Arga, Ayuda, Tirón, Zadorra, varios sector IV y varios zona Vitoria
sep-1979	Ramblas en Daroca. Val de Losa y Val de Rubielos
oct-1979	Perejiles
nov-1979	Arga, Ebro, varios zona Briviesca, varios zona Pamplona
dic-1980	Arroyo Santa Olalla, Araquil, Arga, Ebro, Egay Urederra, Irati, Nela, Sto. Tomás, Trema, Trueba, Ega y afluentes en Estella, varios zona Burgos
jun-1981	Jiloca, Segre, Ebro, Trueba, Eulemas
ene-1982	Jiloca, Ebro, Bco. San Lázaro
may-1984	Ebro
oct-1987	Gállego
ene-1988	Jalón
abr-1988	Ebro, Jalón, Leza y Jubera
abr-1990	Ebro
mar-1991	Ebro
abr-1991	Ebro, Arga, Guadalope, Losa-Jerea, Nabón, Nela y Rudrón, Omecillo, Jalón y Jiloca, Bergantes, Isuela en Arándiga, Iregua, Tirón y Oja, Bayas, Ega, Urredera, Oroncillo, Zadorra, Ayuda y Oca
may-1991	Ebro, Ega, Arga, Araquil
jun-1991	Aragón
jul-1991	Ribota y Bco. de Sestrica, Jiloca y Pancrudo
sep-1991	Jiloca, Jalón, Najima y Henar
nov-1991	Bayas y Zadorra
abr-1992	Ebro, Tirón, Veral, Araquil, Rudrón
may-1992	Irati
jun-1992	Ebro
jul-1992	Arroyo Madre en Cornudilal, Arba, Bco. Agua Salada, Ustarroz
ago-1992	Flumen, Isuela
sep-1992	Barrosa, Bcos. Tudela, Bco. Aval del Rey, Fuendejalón
oct-1992	Ebro, Aragón, Irati, Ulzama, Arga, Zadorra y Bayas
nov-1992	Estella
dic-1992	Ebro, Zadorra, Bayas, Elorz, Arga, Aragón
may-1993	Iregua, Najerilla
jun-1993	Madre en Cornudilla

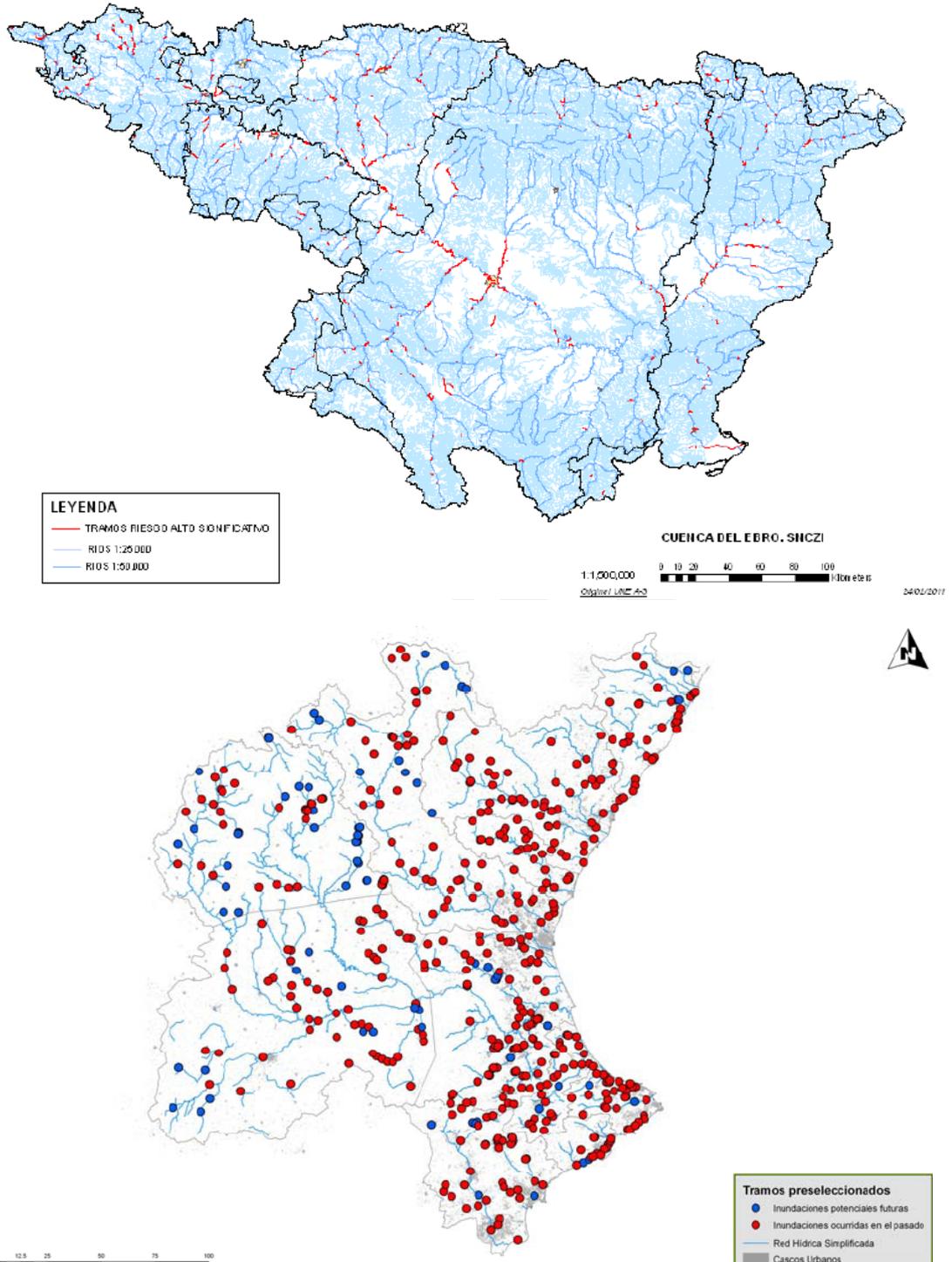
FECHA	RÍOS
ago-1993	Pancrudo
dic-1993	Arga, Bayas, Ebro, Ega, Gereá, Nela, Urederra, Zadorra, varios en Miranda, varios en Sangüesa, Aragón
ene-1994	Bayas
sep-1994	Noguera de Tor
oct-1994	Asmat, Ciurana
nov-1994	Boix, Sed, Segre, varios en Ariza, Jalón
ene-1995	Ebro, Ega
mar-1995	Ebro, Oroncillo, Ega, Urederra
may-1995	Henar, Najima, Henar y afluentes
dic-1955	Tirón, Oja, Iregua
ene-1996	Leza, Cerratón, Oca, Gállego, Cinca, Segre, Ebro medio y Jalón
ene-1997	Ebro, Elorz, Jalón
ago-1997	Arba, Guadalope
sep-1997	Arroyos Villalain y Andino
dic-1997	Varios Noguera Ribagorzana
may-98	Arba
jun-98	Arba de Luesia, Orés, Arba, Tirón, Iregua y Leza
sep-1998	Llobregos, Llanera y Selles
ene-99	Rudron, Arroyo Valdearroyo
jul-1999	Jiloca, Jalón
ago-1999	Jiloca, Jalón, Huerva
sep-1999	Sio, Arba
abr-2000	Hijar
may-2000	Gállego, Aragón, varios en Jaca
feb-2001	Ebro, Hijar, Arroyo Valdearroyo
mar-2001	Ebro, Hijar, Arroyo Valdearroyo, Izarilla, Marlantes, ríos cabecera en Reinosá
nov-2002	Aragón, Irati
dic-2002	Ebro
feb-2003	Ebro, Gállego, Jalón, Araquil, Larraun
mar-2003	Ebro, Alcanadre, Chalamera, Jalón, Vero
may-03	Huerva, Jalón
nov-2003	Gállego, Corb
sep-2004	Arba
sep-2005	Ebro



FECHA	RÍOS
oct-2005	Arazas, Ara
mar-06	Ebro, Arga, Aragón, Bco. Oyón, Ega, Irati
ago-2006	Sosa, Martín
sep-2006	Aragón, Arba, Cinca
oct-2006	Aragón, Gállego, Cinca
mar-2007	Ebro, Arga, Araquil, Aragón, Irati, Arba,
abr-2007	Ebro, Arga, Araquil, Aragón, Irati, Arba, Gállego
jul-2007	Cembroain
may-08	Bajo Ebro
jun-08	Ebro, Mayor, Iregua, Leza, Jubera
nov-08	Frasno o Ramblo Cariñena
ene-09	Ebro
feb-09	Ebro
nov-09	Ebro, Arbas, Riguel
ene-10	Arba, Ebro

En los siguientes gráficos se representan los eventos históricos asociados a riesgo grave para las cuencas del Ebro y Júcar, representados mediante un GIS.

ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA, COLAPSOS, VIENTOS FUERTES E INUNDACIONES ESPORÁDICAS EN ARAGÓN



Mapa de eventos históricos. C.H.Ebro y C.H. Júcar.

1.3.2.3. *VIENTOS FUERTES.*

En este caso la metodología empleada ya se basa en los propios registros históricos de la medición de las rachas de vientos para las diferentes **estaciones meteorológicas**.

Por ello, dicha información ha sido utilizada como input para obtener el mapa de susceptibilidad por riesgo de vientos fuertes.

Se ha recopilado la información correspondiente a las estaciones meteorológicas de AEMET emplazadas en SOS DEL REY CATÓLICO, DAROCA, CALATAYUD, ZARAGOZA, BUJARALUZ, CALAMOCHA, MONTALBAN, ALCAÑIZ, JACA, ARAGÜÉS DEL PUERTO, SARIÑENA, HUESCA/PIRINEOS, TAMARITE DE LITERA, TERUEL.

Las estaciones seleccionadas han sido **Zaragoza, Daroca, Teruel y Huesca**. La estación de Zaragoza dispone de valores de racha desde 1942, la de Daroca desde 1994, la de Teruel desde 1987 y la de Huesca desde 1961. El resto de estaciones disponen de un histórico mucho más reducido.

Adicionalmente se han consultado otras fuentes como Protección Civil, no disponiéndose de una base de datos elaborada que fuese de utilidad para la validación de los resultados.

1.4. GENERACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

1.4.1. Colapsos y Movimientos de ladera

Las herramientas de trabajo que se han utilizado para la confección de los mapas de susceptibilidad por riesgos por movimientos de ladera y colapsos son habituales en la preparación de cualquier trabajo de cartografía geológica (Torrijo y Cortés, 2007).

En primer lugar se ha procedido a la descarga de documentos shape del Sistema de Consulta y difusión web de cartografía geológica (SIGECO), desde el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El SIGECO es el sistema que facilita el acceso a la información generada en el Plan de Cartografía Geológica Continua (GEODE) (2005-2011). Desde esta amplia base de datos se han podido obtener la Cartografía Geológica GEODE por hojas de gran parte de la Comunidad Autónoma de Aragón. Del mismo modo, en aquellas zonas donde no se ha encontrado la digitalización geológica se ha podido obtener la Cartografía Regional para así poder completar el mapa geológico de Aragón (ver apartado 1.3.1.1 donde se detalla la cartografía utilizada).

Se ha tenido acceso a documentos shape desde el Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR), obteniéndose el Mapa Geomorfológico de Aragón (escala 200.000), mapa de Permeabilidad (escala 200.000) y se han recopilado los mapas a escala 1:200.000 de Fallas, Suelo y Vulnerabilidad.

Además de la recopilación de datos en formato shape, se ha procedido a recopilar diferentes artículos científicos de estudios de zonas susceptibles a la formación de colapsos y de movimientos de ladera a través de bases de datos de índole científica como el SCIRUS (ver apartado 1.3.1 donde se detalla la información histórica utilizada).

Mediante el programa ArcGis se ha procedido a unificar en un solo mapa geológico las Hojas GEODE obtenidas de la base de datos del IGME.

Una vez obtenido el Mapa Geológico de Aragón, se procedió a la clasificación de cada una de las unidades litológicas del mapa en Yesos, Calizas y Otros, según la proporción de cada uno de ellos en las diferentes

unidades, para la realización de los mapas de susceptibilidad de riesgos por colapso. Del mismo modo, para los mapas de susceptibilidad de riesgos por movimientos de ladera, se clasificó la litología en Suelo, Roca y Otros en función de la consolidación de los materiales.

Para los **colapsos**, una vez realizada la clasificación de las unidades litológicas en función de la capacidad de disolución de los materiales, se ha procedido al cruce de la clasificación litológica (campo litología) con el mapa de permeabilidad de Aragón dando como resultado una clasificación del territorio según la siguiente matriz.

MATRIZ DE PELIGROSIDAD POR COLAPSOS

	FRACTURACION -PERMEABILIDAD							INDICIOS
	ALTA FISUR	ALTA PORO	MEDIA FISUR	MEDIA PORO	BAJA FISUR	BAJA PORO	IMPERMEAB	
YESOS	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MUY ALTO
CALIZAS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MUY ALTO
OTROS	MUY BAJO	ESTUDIAR	MUY BAJO	ESTUDIAR	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY ALTO

Según los cruces realizados la clasificación final del territorio se tabula en los siguientes niveles de susceptibilidad:

Muy alta: Indica que entesta zonas la probabilidad de colapso es muy alta y va asociada a zonas en los cuales existen indicios de que ya se han producido fenómenos similares.

Alta: Sin existir indicios claros de colapsos, son zonas en las que el tipo de material existente (yesos), unido al nivel de fisuración (alto) del material y/o su porosidad (media-alta), indican una probabilidad elevada de que se produzcan colapsos.

Media: Corresponde a materiales yesíferos con niveles de fisuración media y baja o porosidad baja o despreciable. También se incluyen los materiales calcáreos con alta fisuración.

Baja: Se incluyen los materiales calizos que no tienen un nivel de fisuración alta.

Muy baja: Se corresponde en general con otros materiales diferentes a los yesíferos o calcáreos. En el caso de otros materiales con porosidad alta o media (clasificado en la tabla como "a estudiar") se ha realizado un estudio específico para realizar su clasificación en el rango, ya que no se puede realizar una clasificación directamente por el cruce de capas indicado.

En la matriz obtenida para los mapas de susceptibilidad de riesgo de colapsos, se obtiene una celda a la que se le denominó “*Estudiar*”, esta celda fue denominada como “zona dudosa”, es decir debido a la litología no se le puede otorgar un riesgo por disolución al cruzar la litología con la permeabilidad, por lo que, en un estudio de detalle final, teniendo en cuenta la naturaleza de este material y la litologías infrayacentes, se le ha asignado un factor de riesgo a cada caso particular.

Con los diferentes estudios científicos se procedió a validar aquellas zonas en las que ha realizado un estudio de riesgos por colapso o por movimiento de laderas más pormenorizado y a mayor escala, comprobando así los distintos indicios y evidencias que se observaron al estudiar las ortofotos (ver apartado 1.3.2.1).

Para los mapas de susceptibilidad por riesgo de **deslizamientos de ladera** la clasificación se ha realizado a partir de las propiedades de comportamiento del material (roca o suelo), el nivel de fracturación en el caso de las rocas que a su vez condiciona la permeabilidad del macizo, la intensidad de precipitación de la zona en el caso de los suelos y las pendientes superficiales del terreno.

MATRIZ DE PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS DE LADERA

			_0°-10°	_10°-30°	_30°-45°	_45°-60°	>60°	
			1	2	3	4	5	INDICIOS
ROCAS	FRACTUR.	ALTA PERM	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
		RESTO PERM	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	MUY ALTO
SUELOS	METEO	ALTA PRECIP	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
		BAJA PRECIP	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO

Con estos criterios se obtiene la siguiente clasificación de la susceptibilidad:

Muy alta: Indica que entesta zonas la probabilidad de deslizamiento es muy alta y va asociada a zonas en los cuales existen indicios de que ya se han producido fenómenos similares. También se incluyen terrenos clasificados como suelos con pendientes superiores a 60ª o pendientes entre 45 y 60ª en zonas con intensidad de precipitación alta.

Alta: Sin existir indicios claros, son zonas en las que los materiales se corresponden con rocas altamente fisuradas y pendientes superiores a 60º. También se incluyen suelos en zonas de alta intensidad de precipitación y

pendientes entre 30 y 45^a y suelos en zonas de baja intensidad de precipitación y pendientes entre 45 y 60^a.

Media: Corresponde a suelos con pendientes entre 10 y 30^a y altas precipitaciones, y pendientes de 30 a 45^o con bajas precipitaciones. En el caso de rocas con alta fracturación y pendientes entre 45 y 60^o y baja fracturación con pendientes mayores de 60^o.

Baja: Se Corresponde a suelos con pendientes inferiores a 10^a y altas precipitaciones y pendientes de 10 a 30^o con bajas precipitaciones. En el caso de rocas con alta fracturación y pendientes entre 30 y 45^o y baja fracturación con pendientes entre 45 y 60^o.

Muy baja: Se corresponde en general con pendientes inferiores a 30^o en el caso de rocas, o entre 30 y 45 y baja fracturación. También se incluyen suelos con pendiente inferior a 10^o e intensidad de precipitación baja.

Una vez obtenidos los mapas a partir de los cruces descritos, con la ayuda de las Ortofotos, se han ido estudiando las **evidencias e indicios** tanto de los colapsos como de los movimientos de laderas, dibujando sus contornos de todo el territorio aragonés.

1.4.2. Viento

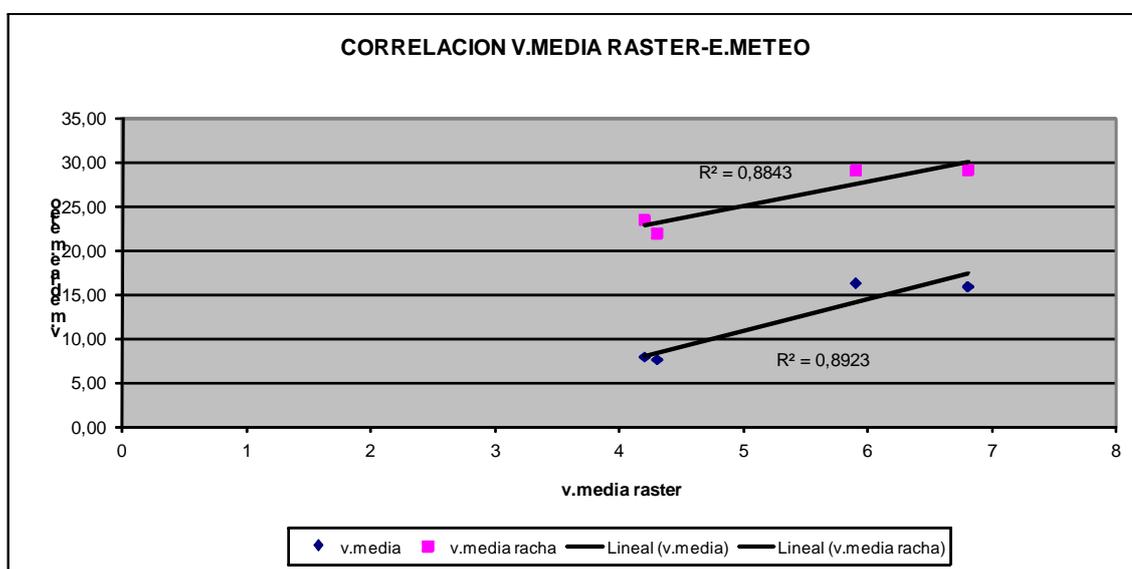
Para el desarrollo de los trabajos se ha recopilado la cartografía del ATLAS EÓLICO DE ESPAÑA, puesto a disposición por el IDAE (Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía) en colaboración con el Ministerio de Turismo, Industria y comercio, obtenida a partir de un modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España (ver apartado 1.6).

Concretamente, la cobertura utilizada es la de velocidades medias del viento con una resolución de 100 m para Aragón a una cota de 80 m sobre el terreno.

Adicionalmente, se ha recopilado la información disponible para las estaciones meteorológicas de Aragón que disponen de un mayor número de variables registradas y con series históricas representativas. En el caso de este

estudio los datos utilizados han sido las series de velocidades medias en la estación y las de velocidades de racha.

En primer lugar se ha comprobado la calidad de la correlación entre los valores de velocidades medias anuales para una altura de 80 m sobre el suelo (proporcionados por el IDAE) y los registrados en cada una de las estaciones meteorológicas para las velocidades medias de la racha, llegando a valores próximos a $R^2 = 0.9$.



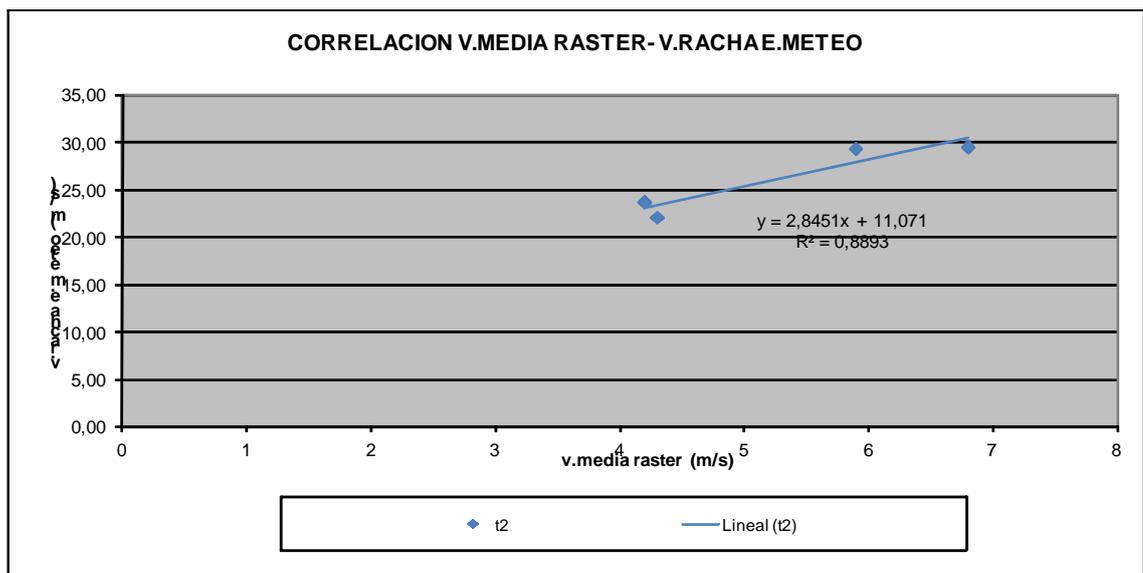
Comprobada la buena correlación, se ha realizado el análisis estadístico de los registros de cada una de las estaciones, determinando los **parámetros extremales c y k para la distribución de Weibull** de los valores de racha en cada caso.

Si bien típicamente las estadísticas de interés suelen ser velocidades promedio o parámetros de Weibull con el fin de caracterizar la zona, esta misma metodología puede ser aplicada para extraer estadísticas de fenómenos extremos, analizando su frecuencia y magnitud de una forma sistemática y georreferenciada.

Determinados los parámetros c y k de la distribución de velocidades de racha se ha calculado el valor de la velocidad de racha en cada estación para diversos periodos de retorno.

T (años)	velocidad de la racha (km/h)			
	Daroca	Zaragoza	Teruel	Huesca
2	79.50	106.26	85.30	105.50
5	88.44	117.70	97.69	115.87
10	92.54	122.93	103.49	120.58
25	96.54	128.03	109.23	125.16
50	98.95	131.10	112.71	127.90
100	101.02	133.72	115.71	130.25
500	104.92	138.67	121.43	134.66

Se ha seleccionado el evento de periodo de retorno de dos años para la realización de los planos de susceptibilidad de riesgo de vientos fuertes. Se ha obtenido el ajuste de **correlación entre los valores de velocidad media y los de velocidad de racha para T = 2 años**.



Partiendo de esta correlación y el mapa de velocidades medias, se ha generado la capa de vientos de racha para T = 2 años con una resolución de 100*100 m.

Para la representación del mapa de susceptibilidad de riesgo por vientos fuertes se ha adoptado una clasificación que toma como referencia la utilizada en el **Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa (METOALERTA)**.

SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGO	LITOLOGÍA
MUY ALTA	Rachas de viento superiores a 120 Kms/hora
ALTA	Rachas de viento entre 100 y 120 Kms/hora
MEDIA	Rachas de viento entre 80 y 100 Kms/hora
BAJA	Rachas de viento entre 60 y 80 Kms/hora
MUY BAJA	Rachas de viento inferiores a 60 Kms/hora

Realizado el análisis para un periodo de retorno de 2 años (frecuencia alta), las zonas de susceptibilidad muy alta se corresponde a lugares en los que es muy probable que se produzcan vientos superiores a 120 km/h. Las zonas de susceptibilidad alta son zonas donde la probabilidad es alta para vientos entre 100 y 120 km/h y por lo tanto menos habituales los de velocidades superiores. Las zonas de susceptibilidad media son zonas con probabilidad alta de velocidad de entre 80 y 100 km /h, y las zonas de susceptibilidad baja o muy baja son zona con muy poca probabilidad de velocidades altas.

1.4.3. Inundaciones

La metodología aplicada para la zonificación de la susceptibilidad a la inundación se basa en **criterios geomorfológicos**.

La cartografía del GEODE a escala 1/50.000 ha sido completada con la cartografía geomorfológica del SITAR en las pequeñas áreas donde no se disponía de la primera (ver apartado 1.3.1.2.).

A la cobertura generada se le ha añadido la capa de fondos aluviales proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, donde los materiales están clasificados en aluviales, terrazas bajas, terrazas medias y terrazas alta. Esta cobertura es de buena calidad pero no es completa para todos los cauces, centrándose en los cauces principales.

Con este procedimiento se ha obtenido una base cartografía completa de la geología y geomorfología a partir de la información disponible.

Dado que la cartografía generada tiene diversas fuentes de información y que el GEODE también ha sido obtenido a partir de los mapas MAGNA sin que las leyendas estén totalmente unificadas, se ha realizado una labor específica para correlacionar las diversas leyendas y poder clasificar el territorio según su susceptibilidad a la inundación.

Mediante esta labor de correlación se ha conseguido clasificar el territorio en las siguientes formaciones geomorfológicas: Aluviales, Fondos de valle, llanuras de inundación, conos de deyección, depósitos de cauce, depósitos de meandros, terrazas de primer orden, terrazas de segundo orden, glacis y resto de formaciones.

Esta reclasificación se ha asociado a tres niveles de susceptibilidad para generar finalmente los mapas.

En la siguiente tabla quedan resumidos los tres niveles de susceptibilidad a partir de los cuales se ha generado la primera cartografía de inundaciones:

SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGO	LITOLOGÍA
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> Aluviales Fondos de valle Llanura de inundación Conos de deyección Depósitos de cauce Depósitos de meandros Terrazas de primer orden
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> Terrazas de segundo orden Glacis asociados a terrazas de segundo orden

SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGO	LITOLOGÍA
BAJA	Resto

El nivel se **susceptibilidad alta** va asociado a formaciones geomorfológicas situadas en el propio cauce o sus proximidades y se corresponden con materiales propios de sedimentación del sistema fluvial con datación relativamente reciente. Esto implica que son zonas del territorio por los que es probable el flujo de agua en situaciones de precipitaciones elevadas.

El nivel de **susceptibilidad media** está asociado a formaciones geomorfológicas relacionadas con el flujo de agua, pero con una datación geológica menos reciente (terrazas de segundo orden), que suelen estar más alejadas del cauce y cuya probabilidad de flujo de agua en avenidas es mucho menor a las zonas de susceptibilidad alta.

Las zonas de **susceptibilidad baja** se corresponden con lugares del territorio donde es poco probable el riesgo de inundación con origen en el flujo de agua circulante por los ríos, estando más alejadas de los cauces.

Para la comprobación y verificación de los resultados se han utilizado los estudios hidráulicos de detalle disponibles. Estos estudios aportan muy buena precisión, pero solo se dispone de los mismos en zonas muy locales.

Se ha generado una capa a partir de todas las láminas de inundación disponibles para T = 500 años.

Esta capa se ha superpuesto sobre la cartografía de susceptibilidad obtenida en la fase 2.

Se ha comprobado la sensible coincidencia entre las láminas de inundación y el área clasificada como de susceptibilidad ALTA, permitiendo validar la metodología propuesta.

1.5. RESULTADOS

Seguidamente se describen los resultados obtenidos para los mapas de susceptibilidad.

1.5.1. COLAPSOS Y MOVIMIENTOS DE LADERA

De los resultados y tablas adjuntas se observa que para el fenómeno de los colapsos la superficie clasificada como de susceptibilidad muy alta y alta supone un valor inferior al 3% del total del territorio de Aragón, mientras que más del 55% se corresponde con susceptibilidad muy baja.

COLAPSOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ARAGÓN	0.09%	2.48%	17.05%	23.81%	56.57%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad para el territorio de Aragón.

COLAPSOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ZARAGOZA	0.15%	5.64%	20.06%	21.83%	52.33%	100.00%
HUESCA	0.01%	0.48%	9.36%	19.98%	70.17%	100.00%
TERUEL	0.10%	0.91%	21.66%	30.12%	47.21%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad por provincias.

En el caso de los deslizamientos el fenómeno es todavía más localizado, situándose más del 90 % como de susceptibilidad baja o muy baja y menos del 1.5 % con susceptibilidad muy alta o alta.

DESLIZAMIENTOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ARAGÓN	0.17%	1.06%	4.34%	8.92%	85.51%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad para el territorio de Aragón.

DESlizAMIENTOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ZARAGOZA	0.04%	0.05%	0.75%	7.40%	91.76%	100.00%
HUESCA	0.42%	2.97%	9.93%	11.74%	74.93%	100.00%
TERUEL	0.03%	0.14%	2.34%	7.58%	89.91%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad por provincias.

1.5.2. VIENTO

En el caso de los vientos la superficie asociada a susceptibilidad muy alta en un valor bajo (1.3 %), siendo zonas muy localizadas que se corresponden con lugares montañosos de gran cota, pero existe una importante superficie, próxima al 32% con susceptibilidad alta.

VIENTOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ARAGÓN	1.31%	31.98%	58.57%	8.11%	0.02%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad para el territorio de Aragón.

VIENTOS	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	TOTAL
ZARAGOZA	1.00%	49.70%	48.46%	0.84%		100.00%
HUESCA	2.70%	14.73%	59.42%	23.08%	0.07%	100.00%
TERUEL	0.22%	29.55%	69.47%	0.76%		100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad por provincias.

1.5.3. INUNDACIONES

En el caso de la susceptibilidad por inundación existe un importante porcentaje superior al 11.5 % del territorio con valor alto y un porcentaje superior al 10.5 % para el caso de valor medio.

INUNDACIONES	ALTA	MEDIA	BAJA	TOTAL
ARAGÓN	11.58%	10.54%	77.88%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad para el territorio de Aragón.

INUNDACIONES	ALTA	MEDIA	BAJA	TOTAL
ZARAGOZA	17.98%	11.47%	70.55%	100.00%
HUESCA	10.47%	14.57%	74.96%	100.00%
TERUEL	5.29%	5.19%	89.52%	100.00%

Distribución de superficies asociadas a cada nivel de susceptibilidad por provincias.

1.6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AEMET. (2007) Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa. METEOALERTA.

ARENAS, C.; GUTIÉRREZ, F.; OSÁCAR, C. Y SANCHO, C. (1999). Fluvio-lacustrine tufa deposits controlled by evaporite solution subsidence in the central Ebro Depression (NE Spain). *Sedimentology*, 47, pp. 883-909.

ASENSIO, C. (2009). Estabilización de Ladera en la Carretera A-132. P.K. 42+300. Tramo: Murillo de Gállego (Zaragoza). Actas del VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Barcelona, pp. 1189-1198.

AYALA, F.J., ANDREU, F.J., FE, M., FERRER, M., DE SIMÓN, A., FERNÁNDEZ, I., OLALLA, C., GÓMEZ, J., SANPEDRO, J. y CIENFUEGOS, F.J. (1987). Manual de Taludes. Serie Geotecnia. IGME. Madrid. 456 pp.

BELMONTE RIBAS, A (2004) Aportaciones a la Geomorfología del Macizo de Cotiella (Pirineo Oscense). Lucas Mallada, 11, pp 25-40.

BENITO, G.; GUTIÉRREZ, F.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y MACHADO, M.J. (2000). Geomorphological and sedimentological features in Quaternary fluvial systems affected by solution-induced subsidence in the Ebro Basin, NE-Spain. *Geomorphology*, 33, pp. 209-224.

BENITO, G. y GUTIÉRREZ, M. (1987). Karst in gypsum and its environmental impact on the Middle Ebro Basin (Spain) In: Becks, B.F. (Ed.): *Karst Hydrogeology: Engineering and environmental applications*. A.A. Balkema, pp. 137-141.

BENITO, G.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; GUTIÉRREZ, F. and MACHADO, M.J. (1998). River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution (Gállego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22, pp. 243-263

BONA, M.E. (2004). Estudio de riesgos geomorfológicos asociados a la ladera adyacente de la Calle Pablo Serrano (Cadrete, Zaragoza). Informe inédito 2004/147-1. Ibergeotecnia, S.R.L., Zaragoza. 16 pp.

BULL, W.B. (1974). Geologic factors affecting compaction of deposits in a land subsidence area. *Geological Society of America Bulletin*, 84, pp. 3783-3802.

CASAS, A. y RICO, M. (1999). Estabilidad de laderas y riesgo de deslizamientos e inundación en el Embalse de Yesa. Informe inédito, Universidad de Zaragoza, 31 pp. 1562-1574.

CASAS, A.M.; MOCHALES, T.; PUEYO, E.L.; SORIANO, M.A. PUEYO, O. y POCOVI, A. (2006). La prospección geofísica en áreas urbanas como instrumento para la cartografía de riesgos kársticos. En: Carlos Nunes da Costa (Ed.), Cartografía Geológica aplicada a áreas urbanas. 156-166. Lisboa

CEDEX en 1996. Clasificación decimal de ríos a escala 1:50.000.

CENTRO DE DOCUMENTACIÓN E INFORMACIÓN TERRITORIAL DE ARAGÓN DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN LOCAL Y POLÍTICA TERRITORIAL DEPARTAMENTO DE PRESIDENCIA Y RELACIONES INSTITUCIONALES. GOBIERNO DE ARAGÓN. (2007). Mapa de Permeabilidad de Aragón a escala 1:200.000. Centro de Documentación e Información Territorial de Aragón. Zaragoza.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (2011). Mapa de Caudales Máximos en Régimen Natural. CEDEX. Madrid.

CHUECA, J. (1994). Características y distribución espacial de movimientos en masa rápidos en zonas de montaña (Alta Ribagorza, Pirineo Central). Geographica, 31, pp. 31-52.

COMISIÓN TÉCNICA DE EMERGENCIA POR INUNDACIONES (CTEI), creada por la Comisión Nacional de Protección Civil (año 1983). Estudios de inundaciones.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. Informes de avenidas procedentes de la Guardería Fluvial de la Confederación Hidrográfica del Ebro (periodo comprendido entre 1975 y 2010).

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. Sistema de Información Territorial del Ebro (SITEbro). En el marco de este sistema de información geográfica han sido utilizadas las siguientes capas, entre otras: Aluvial. Estudios de inundación existentes asociados a un periodo de retorno de 500 años. Divisoria administrativa y de cuencas. Núcleo de población. Embalses.

COROMINAS, J. (1989). Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. Monografía S.E.G., nº 3, 30 pp. Zaragoza.

COROMINAS, J. y GARCIA YAGÜE, A. (1997), Terminología de los movimientos de ladera, IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables, vol. IV, 1051-1072, Granada.

CORTÉS, A.L. y MAESTRO, A. (1998). Los deslizamientos de la Sierra de Sant Just: seguimiento del fenómeno y cartografía de peligrosidad y riesgo. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel. 80 pp.

CORTÉS, A.L.; MAESTRO, A. y MARTÍN, S. (1998). Estudio geotécnico y cartografía de peligrosidad y riesgo de la Sierra de Sant Just (Teruel). Revista Teruel, 86 (1), pp. 135-190.

CRUDEN, D.M. (1991). A simple definition of a landslide. IAEG Bull., 43, 27-29.

DÍEZ HERRERO, A. (2008). Los riesgos geológicos y su estudio. En: REGUEIRO, M. (Ed.), Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España, pp. 21-28. Ministerio de Vivienda e Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Madrid, 187 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL EN COLABORACIÓN CON DIFERENTES ORGANISMOS DE LA ADMINISTRACIÓN CENTRAL Y LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS. VERSIÓN 2.01 (julio 2008). Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH).

DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (MARM). (2011) 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) (2011). Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Visor SNCZI).

DRURY, S.A. (1993). Image interpretation in geology. Chapman & Hall 238 pp.

DOMENECH ZUECO, S., OLLERO OJEDA, A. y SÁNCHEZ FABRE, M.A. DPTO. DE GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. (2008). Núcleos de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: Diagnóstico y Evaluación para la Ordenación del Territorio. Geographicalia. 54. 17-44.

EDWARDS, R.J.C. (1976). Aerial photography in engineering geology (Engineering geology in practice in Britain: 8). Ground Engineering, 9, pp. 19-25.

ESCUER, J. y SOLER, M. (2005). Identificación de reptación profunda y extensión lateral en el Velle Medio del Río Esera (Huesca). Actas del VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Valencia, pp. 767-778.

ESTAIRE, J.; SALINAS, J.L. y SOPEÑA, L. (2007). Implicaciones geotécnicas de la evolución de una ladera del valle del río Ésera (Huesca). Actas de las Jornadas Técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses, pp. 411-421.

FARACO, C. (1975). Estudio del colapso de la estructura de los limos yesíferos. Revista de Obras Públicas, 3127, pp. 776-790.

FERNÁNDEZ, T. (2001). Cartografía, análisis y modelado de susceptibilidad a movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: Aplicación a sectores del S de Granada. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

FERRER, M. (1995). Los movimientos de ladera en España. En: Reducción de riesgos geológicos en España. IGME. Madrid.

GALVE, J.P.; GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P.; BONACHEA, J.; CENDRERO, A.; GIMENO, M.J.; GUTIÉRREZ, M.; PARDO, G.; REMONDO, J. y SÁNCHEZ, J.A. (2009). Sinkholes in the salt-bearing evaporite karst of the Ebro River valley upstream of Zaragoza city (NE Spain). Geomorphological mapping and analysis as a basis for risk management. *Geomorphology*, 108, pp. 145-158.

GALVE, J.P.; GUTIÉRREZ, F.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; LUCHA, P. y CENDRERO, A. (2009). Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). *Geomorphology*, 111, pp. 160-172.

GALVE, J.P.; BONACHEA, J.; REMONDO, J.; GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J.; LUCHA, P.; CENDRERO, A.; GUTIÉRREZ, M. y SÁNCHEZ, J.A. (2008). Development and validation of sinkhole susceptibility models in mantled karst settings. A case study from the Ebro valley evaporite karst (NE Spain). *Engineering Geology*, 99, pp. 185-197.

GARCÍA YAGÜE, A. (2007). Deslizamientos Catastróficos y embalses. Actas de las Jornadas Técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses, pp. 203-212.

GARCÍA-RUIZ, J.M.; CHUECA, y JULIÁN, A. (2004). Los movimientos en masa del Alto Gállego. En: Peña et al. (Eds.), *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza pp. 141-152

GARCÍA-RUIZ, J.M. y PUIGDEFABREGAS, J. (1984). Inestabilidad de laderas en el Pirineo aragonés: tipos de movimientos y su distribución geográfica. En ETSICCP, *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*, Barcelona, I-4.1.

GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON (1982). Land Surface Evaluation for Engineering Practice. *Q. J. Eng. Geol.*, 15, pp. 265-316.

GOLDMAN, E. (2002). Even in the high Arctic nothing is permanent. *Science*, 297, pp. 1493-1494.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. y FERRER, M. (1997). Deslizamientos y aludes. En: Suarez, L. y Regueiro, M. (Eds.), *Guía ciudadana de los riesgos geológicos*. AIPG & ICOG, Madrid, 196 pp.

GONZÁLEZ-GALLEGO, J.; GARCÍA, J.L.; MORENO, J.; ANDRÉS, J. y CATELLANA, J. (2009). Estabilización de un Gran Paleodeslizamiento Reactivado en el Área de El Furco (Sallent de Gállego). Actas del VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Barcelona, pp. 379-391.

GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, F. y GUTIÉRREZ, M. (2001). Origin and evolution of the Gallocanta polje (Iberian Range, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 46, pp. 245-262.

GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, F. y GUTIÉRREZ, M. (2002). The Jiloca karst polje-tectonic graben (Iberian Range, NE Spain). *Geomorphology*, 52, pp. 215-231.

GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F. y LUCHA, P. (2004). Paleosubsidence and active subsidence due to evaporite dissolution in the Zaragoza city area (Huerva River valley, NE Spain). Processes, spatial distribution and protection measures for linear infrastructures. *Engineering Geology*, 72, pp. 309-329.

GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F. y LUCHA, P. (2005). Peligrosidad, daños y mitigación de inundaciones, subsidencia por disolución y movimientos de ladera en la localidad de Cadrete (Depresión del Ebro, Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 19, pp. 63-82.

GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F. y LUCHA, P. (2008b). The impact of halite dissolution subsidence on fluvial terrace development. The case study of the Huerva River in the Ebro Basin (NE Spain). *Geomorphology*, 100, pp. 164-179.

GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F.; BONACHEA, J. y LUCHA, P. (2008a). A sinkhole susceptibility zonation based on paleokarst analysis along a stretch of the Madrid-Barcelona high-speed railway built over gypsum- and salt-bearing evaporites (NE Spain). *Engineering Geology*, 102, pp. 62-73.

GUTIÉRREZ, F. (1994). *Geomorfología de la Región de Calatayud. El karst en yesos*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza. 302 pp.

GUTIÉRREZ, F. (1996). Gypsum karstification induced subsidence: effects on alluvial systems and derived geohazards (Calatayud Graben, Iberian Range, Spain). *Geomorphology*, 16, pp. 277-293.

GUTIÉRREZ, F.; ARAUZO, T. y DESIR, G. (1994). Deslizamientos en el escarpe en yesos de Alfajarín (Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 8, pp. 57-68.

GUTIÉRREZ, F. y COOPER, A.H. (2002). Evaporite dissolution subsidence in the historical city of Calatayud, Spain: damage appraisal and prevention. *Natural Hazards*, 25, pp. 259-288.

GUTIÉRREZ, F.; CALAFORRA, J.M.; CARDONA, F.; ORTÍ, F.; DURÁN, J.J. y GARAY, P. (2008a). Geological and environmental implications of evaporite karst in Spain. *Environmental Geology*, 53, pp. 951-965.

GUTIÉRREZ, F.; DESIR, G. y GUTIÉRREZ, M. (2003). Causes of the catastrophic failure of an earth dam built on gypsiferous alluvium and dispersive clays (Altorricón, Huesca Province, NE Spain). *Environmental Geology*, 43, pp. 842-851.

GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J.P.; GUERRERO, J.; LUCHA, P.; CENDRERO, A.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; GUTIÉRREZ, M. Y SÁNCHEZ, J.A. (2007). The origin, typology, spatial distribution, and detrimental effects of the sinkholes developed in the

alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream Zaragoza city (NE Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, pp. 912-928.

GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J.P.; LUCHA, P.; BONACHEA, J.; JORDÁ, L. y JORDÁ, R. (2009). Investigation of a large collapse sinkhole affecting a multi-storey building by means of geophysics and the trenching technique (Zaragoza city, NE Spain). *Environmental Geology*, 58, pp. 1107-1122

GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J. y LUCHA, P. (2008b). Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain). *Natural Hazards*, 45, pp. 211-233.

GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P. y GALVE, J.P. (2010). Reconstructing the geochronological evolution of large landslides by means of the trenching technique in the Yesa Reservoir (Spanish Pyrenees). *Geomorphology*, 124, pp.124-136.

GUTIÉRREZ, F.; ORTÍ, F.; GUTIÉRREZ-ELORZA, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; BENITO, G.; GRACIA-PRIETO, J. and DURÁN, J.J. (2001). The stratigraphical record and activity of evaporite dissolution subsidence in Spain, *Carbonates and Evaporites*, 16, 1, 46-70.

GUTIÉRREZ, F.; ORTÍ, F.; GUTIÉRREZ-ELORZA, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; BENITO, G.; GRACIA-PRIETO, J. y DURÁN, J.J. (2002). Paleosubsidence and active subsidence due to evaporite dissolution in Spain, *Carbonates and Evaporites*, 17, pp. 121-133.

GUTIÉRREZ, F.; ORTUÑO, M.; LUCHA, P.; GUERRERO, J.; ACOSTA, E.; CORATZA, P.; PIACENTINI, D. y SOLDATI, M. (2008). Late Quaternary episodic displacement on a sackung scarp in the central Spanish Pyrenees. Secondary paleoseismic evidence. *Geodynamical Acta*, 21, pp. 187-202.

GUTIÉRREZ, M.; GUTIÉRREZ, F. and DESIR, G. (2006). Considerations on the chronological and causal relationships between talus flatirons and paleoclimatic changes in central and northeastern Spain. *Geomorphology*, 72, pp. 177-192.

GUTIÉRREZ-SANTOLALLA, F.; ACOSTA, E., RÍOS, S.; GUERRERO, J. y LUCHA, P. (2005). Geomorphology and geochronology of sackung features (uphill-facing scarps) in the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 69, pp. 298-314.

GUTIÉRREZ-SANTOLALLA, F.; GUTIÉRREZ-ELORZA, M.; MARÍN, C.; DESIR, G. y MALDONADO, C. (2005a). Spatial distribution, morphometry and activity of La Puebla de Alfindén sinkhole field in the Ebro River valley (NE Spain), applied aspects for hazard zonation. *Environmental Geology*, 48, pp. 360-369.

GUTIÉRREZ-SANTOLALLA, F.; GUTIÉRREZ-ELORZA, M.; MARÍN, C.; MALDONADO, C. y YOUNGER, P.L. (2005b). Subsidence hazard avoidance based on



geomorphological mapping. The case study of the Ebro River valley mantled karst (NE Spain). *Environmental Geology*, 48, pp. 370-383.

HARRIS, R.C. (2004). Giant dessication cracks in Arizona. *Arizona Geology*, 34, pp. 1-4.

HERNÁNDEZ RUIZ, MÁXIMO Y OTROS (2008). Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España. Editado por el Ministerio de Vivienda.

HERRERA, G.; DAVALILLO, J.C.; BLÁZQUEZ, S.; MULAS, J.; COOKSLEY, G.; MORA, O.; SÁNCHEZ, M.; ARNAUD, A.; MONTSERRAT, O. y CROSETTO, M. (2009). Estudio de Procesos Geomorfológicos en el Pirineo Central mediante Sistemas Radar. *Actas del VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*, Barcelona, pp. 557-568.

HIJÓS, F. y SÁENZ, C. (2007). Estudios de estabilidad en las laderas del paraje de la Raya, en la cola del futuro embalse de Biscarrues sobre el río Gállego. *Actas de las Jornadas Técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses*, pp. 265-275.

IBAÑEZ, M.J. y MENSUA, S. (1976). Contribución al estudio de vertientes en condiciones semiáridas. Tipos de vertientes sobre yesos en el Valle del Ebro. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, CXII, pp. 381-394.

IBERGESA (1980a). Mapa de riesgos naturales ligados a movimientos de terreno (escala 1:25.000): zona de Jaca (Huesca). IGME, 47 pp (+ anexo cartográfico).

IBERGESA (1980b). Aspectos geotécnicos para la ordenación del territorio en zonas de montaña: área Bielsa-Plan. IGME, 31 pp (+ anexo cartográfico).

I.A.E.G. (1976). *Engineering geological maps (a guide to their preparation)*. International Association of Engineering Geology, The UNESCO Press, 80 pp.

I.G.M.E. (1971). Mapa Geológico a escala 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. IGME, Madrid.

I.G.M.E. (1991). Memoria y Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 180: Bensaque, Plan MAGNA, IGME, Madrid.

I.G.M.E. (2011). Plan de Cartografía Geológica Continua GEODE. <http://www.igme.es/infoigme/catalogo/catalogo.aspx?tab=2>. IGME, Madrid.

I.G.N. PNOA: Vuelos Fotogramétricos, Ortofotografía Aérea y Modelos Digitales del Terreno, en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

I.G.N. BCN25: Base Cartográfica Numérica realizada por Instituto Geográfico Nacional (IGN), orientado a un SIG con la información representada en el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 con corrección de errores geométricos.

I.G.N. 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.

I.T.G.E. (1978). Memoria y Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 179: Bielsa, Plan MAGNA, ITGE, Madrid.

KELLER, E.A. y BLODGETT, R.H. (2004). Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Ed. Pearson Educación, S.A. Madrid. 448 pp.

LAFUENTE, R.J.; GÓMEZ, R; MERINO, M.; DE DIEGO, P.; MARTÍNEZ, J.L. y GARCÍA, J. (2007). Laderas del embalse de Yesa. Actas de las Jornadas Técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses, pp. 277-293.

LAIN, L.; MIGUEL, I.; REOYO, E.; ARRIBAS, J.J. y HURTADO, J.M. (2005). Peligrosidad por movimientos de ladera. Municipio de Panticosa. Actas del VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Valencia, pp. 402-415.

LAMELAS, M.; MARIONI, O.; DE LA RIVA, J.R. y HOPPE, A. (2006). Sustainable land-use management with the help of spatial decision support systems: An example of a covered karst area in the surroundings of Zaragoza (Spain). All about Karst & Water (KATER) Decision Making in a Sensitive Environment. Proceedings book (CD-ROM), Viena, 58-67.

LAMELAS, M.; MARIONI, O.; HOPPE, A. y RIVA, J. (2008). Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). *Environmental Geology*, 54, pp. 963-997.

LAMELAS, M.; MARINONI, O.; SORIANO, M.A. y ECHEVERRÍA, M.T. (2005). Dolines mapping for land use planning in the surroundings of Zaragoza (north-eastern Spain). En: Gutiérrez, F. et al. (Eds.), *Sixth International Conference on Geomorphology: Geomorphology in regions of environmental contrasts. Abstracts Volume*. Zaragoza (España).

LIESA, C.; TORRIJO, F.J.; BONA, M.E.; CORTÉS, R. y COBOS, G. (2005). Caracterización de un proceso de inestabilidad de taludes en materiales diapíricos margo-yesíferos (Barbastro, Huesca). Actas del VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Valencia, pp. 779-791.

LÓPEZ VERGARA, M.L. (1979). *Fotogeología*. Junta de Energía Nuclear, 306 pp.

LUCHA, P.; CARDONA, F.; GUTIÉRREZ, F. Y GUERRERO, J. (2008). Natural and human-induced dissolution and subsidence processes in the salt outcrop of the Cardona Diapir (NE Spain). *Environmental Geology*, 53, pp. 1023-1035.

LUCHA, P.; GUTIÉRREZ, F. Y GUERRERO, J. (2008). Environmental problems derived from evaporite dissolution in the Barbastro-Balaguer anticline (Ebro Basin, NE Spain). *Environmental Geology*, 53, pp. 1045-1055.

LUZÓN, M.A.; PÉREZ, A.; SORIANO, M.A. y POCOVI, A. (2008). Sedimentary record of Pleistocene paleodolines evolution in the Ebro Basin (NE Spain) *Sedimentary Geology*, 205, pp. 1-13.

LUZÓN, A.; PÉREZ, A.; SORIANO, M.A.; GIL, H.; YUSTE, A. Y POCOVI, A. (2010) El relleno de paleodolinas en la cuenca del Ebro y sus posibles aportaciones a la evolución geodinámica y ambiental durante el Pleistoceno. *Geogaceta*, 48. pp 11-14.

MARTIN, C (1991) Alineamientos preferentes en el campo de dolinas de Villar del Cobo (Teruel). *Geogaceta*, 10, pp. 143-145.

MATULA, M. (1981a). Recommended symbols for engineering geological mapping. *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, 24, pp. 227-234.

MATULA, M. (1981b). Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, 24, pp. 235-247.

METEOSIM TRUEWIND. (2011). Análisis del recurso. Atlas eólico de España. Estudio Técnico PER 2011-2020. Coordinación y revisión IDEA.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO. IMPRESS: Información de elementos de riesgo: EDARs, ETAPs, vertederos y vertidos de las masas contaminantes. RED NATURA 2000. Cobertura de espacios LICs y ZEPAS.

MOCHALES, T.; CASAS, A.M.; PUEYO, E.L.; PUEYO, O., ROMÁN, M.T.; POCOVI, A.; SORIANO, M.A. y ANSÓN, D. (2008) Detection of underground cavities by combining gravity, magnetic and ground penetrating radar surveys: a case study from the Zaragoza area, NE Spain. *Environmental Geology*, 53, pp.1067-1077.

MOCHALES, T.; PUEYO, E.L.; CASAS, A.M. y SORIANO, M.A. (2007). Magnetic prospecting as an efficient tool for doline detection. A case study in the central Ebro Basin (Northern Spain). En: Parise, M. & Gunn, J. (Eds), *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst: Recognition, Analysis and Mitigation*. 279, 73 – 84. Geological Society, London, Special Publications. London.

MONTERRAT, O.; CROSETTO, M.; DE ARRIBA, J. y IBARZ, M. (2009). Monitorización de deslizamientos de terreno con Sar Terrestre. *Actas del VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*, Barcelona, 10 pp.

MULAS, J. (2010). Microzonación sísmica de las inestabilidades de laderas. Diseño de una metodología y su aplicación a una zona del Pirineo aragonés (Alto Tena, Huesca). IGME, Madrid, 178 pp.

MULAS, J.; PONCE, D.; MARTÍNEZ, M. y PARDO, J.M. (2001). Diseño de una metodología para la zonificación de la inestabilidad de laderas naturales producidas por terremotos. Aplicación a una zona del Pirineo Central (Huesca). Actas del V Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Madrid, pp. 1241-1252.

NELSON, F.E.; ANISIMOV, O.A. y SHIKLOMANOV, N.I. (2001). Subsidence risk from thawing permafrost. *Nature*, 410, pp. 669-890.

OLALLA, C.; MARTÍNEZ, J.M.; SALINAS, J.L.; DÍEZ, J.A. y ESTAIRE, J. (2007). Análisis de la estabilidad de una ladera situada en la cola del embalse de la futura presa Biscarrues (Huesca). Actas de las Jornadas Técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses, pp. 397-410.

PELLICER, F.; ECHEVARRÍA, M.T. e IBAÑEZA, M.J. (1991). Large-scale engineering geologic mapping in the central Spanish Pyrenees. *ITC Journal*, 4, pp. 262-268 (+ annex cartographic).

PONCE, D.; MULAS, J.; FRESNO, F. y REOYO, E. (2005). Cartografía de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la Comarca del Noroeste de La Carm. Recomendaciones para la elaboración de directrices de ordenación territorial. Actas del VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Valencia, pp. 390-401.

PROTECCIÓN CIVIL (2006). Plan Especial de Protección Civil ante inundaciones en Aragón.

RENGERS, N.; SOETERS, R.; VAN RIET, P. y VLASBLOM, E. (1984). Fenómenos de inestabilidad de pendiente en la zona de Montanuy (prov. de Huesca). En ETSICCP, *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*, Barcelona, I-7.1.

SARASA, A. (2005). Estabilización de la ladera de la "Cantera de San Gregorio" en el Barrio de la Corona de la localidad de Ejea de los Caballeros. Zaragoza (España). Actas del VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Valencia, pp. 604-615.

SERRANO, E. (1995). Geomorfología de la Sierra de Tendeñera (Pirineo Aragonés). *Ería*, 37, 143-158.

SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (S.G.E.). Vuelo Americano: vuelo nacional 1956-57 a escala 1/33.000, en blanco y negro.

SIMÓN, J.L. y SORIANO, M. A. (2002). Actual and potential doline subsidence hazard mapping: Case study in the Ebro basin (Spain). En: Bobrowsky, P. T. (Ed.), *Geoenvironmental mapping: method, theory and practice*, 649-666. Balkema Publishers, Rotterdam.

SIMÓN, J.L. y SORIANO, M.A. (1986). Diapiric deformations in the Quaternary deposits of the central Ebro Basin, Spain. *Geological Magazine*, 123, 45-57.

SIMON, J.L., SORIANO, M.A., ARLEGUI, L.E. y CABALLERO, J. (1998). Estudio de riesgos de hundimientos kársticos en el corredor de la carretera de Logroño para el Plan General de Ordenación Urbana del Ayuntamiento de Zaragoza. Universidad de Zaragoza y Ayuntamiento de Zaragoza, 59 pp.

SIMON, J.L., SORIANO, M.A., POCOVÍ, A., ARLEGUI, L.E., CASAS, A., LIESA, C.L., LUZÓN, A. PÉREZ, A., PUEYO, O., PUEYO, E., MOCHALES, T., GRACIA ABADÍA, F.J. y ANSÓN, D. (2009). Riesgo de subsidencia kárstica en áreas urbanas: El caso de Zaragoza. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 17, pp. 303-315.

SIMÓN, J.L.; SORIANO, M.A.; ARLEGUI, L.E.; GRACIA, J.; LIESA, C.L. y POCOVÍ, A. (2007). Space-time distribution of ancient and active alluvial karst subsidence. Examples from the central Ebro Basin, Spain. Environmental Geology, 53, pp.1057-1065.

SIMON, J.L; SORIANO, M.A., GRACIAS, J. Y SALVADOR, T (1991) Dolinas Aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: Un análisis empírico de los factores de riesgo. Cuaternario y Geomorfología, 1991 (5), pp 39-148.

SOETERS, R. (1984). Fenómenos de inestabilidad de pendiente en la zona de Montanuy (prov. De Huesca). En ETSICCP, Inestabilidad de laderas en el Pirineo, Barcelona, I-7.1.

SORIANO M. A. (1993) Descripción y estudio preliminar del origen de la Depresión de Valdespartera (Zaragoza). Acta Geológica Hispánica, 28, pp. 65-71.

SORIANO M. A. y SIMÓN, J. L. (1995). Alluvial dolines in the central Ebro Basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. Geomorphology, 11, pp. 295-309.

SORIANO, M. A. y SIMÓN, J.L. (1997). Analogue models of alluvial doline development. Géologie Méditerranéenne, 24, pp. 3-13.

SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. (2001). Subsidence rates of alluvial dolines in the central Ebro Basin, northeastern Spain. En: Beck, B. & Herring, J.G. (Eds.), Geotechnical and Environmental Applications of karst Geology and Hydrology, Balkema, Rotterdam, 47-52.

SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. (2002). Subsidence rates and urban damages in alluvial dolines of the central Ebro basin (NE Spain). Environmental Geology, 42, pp. 476-484.

SORIANO, M.A.; SIMON, J.L.; ARLEGUI, L.E. ; LIESA, C.L. y POCOVÍ, A. (2004). Problemas causados por el karst aluvial en el centro de la cuenca del Ebro Actas del workshop: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. pp. 651- 663.

SORIANO, M.A.; SIMÓN, J.L.; GRACIA, J. y SALVADOR, M. (1994). Alluvial sinkholes over gypsum in the Ebro Basin (Spain): genesis and environmental impact. *Hydrological Sciences Journal*, 39, 257-268.

TORRIJO, F.J. (2003). Taludes y excavaciones en suelos. Apuntes del Master en Geotecnología. Universidad de Barcelona, 42 pp.

TORRIJO, F.J. y CORTÉS, R. (2007). Los suelos y las rocas en Ingeniería Geológica: Herramientas de estudio. Ed. UPV, Valencia. 202 pp.

TORRIJO, F.J.; ANDRÉS, J.; SARASA, A. y BONA, M.E. (2009). Estudio y propuesta de corrección de inestabilidades detectadas en la zona de "El Portalet" (Huesca). Actas del VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables, Barcelona, pp. 415-426.

TORRIJO, F.J.; MELGUIZO, C. y FERNÁNDEZ, J. (2002). Estudio geomorfológico de las laderas de Cadrete (Zaragoza) para el Plan General de Ordenación Urbana. Informe inédito Z-10695. Laboratorios Proyex, S.A., Zaragoza. 48 pp.

VARNES, D.J. (1958). Landslide types and processes. In: *Landslides and Engineering Practice*. National Research Council, Highway Special Report 29, pp. 20-47.

VARNES, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In: R.L. Schuster and R.J. Krizek (Eds.). *Landslides: analysis and control*. Transportation Research Board. Special Report 176, pp. 11-33.

VARNES, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, *Natural hazards*, nº3, UNESCO, Paris, 63 pp.