



Análisis de factores de desestabilización de laderas en dos cuencas del ámbito atlántico: Sollube-Mape (Bizkaia) y Ramaio (Alava)

Hillside destabilization factor analysis in two basins of the atlantic side: Sollube-Mape (Bizkaia) and Aramaio (Álava)

Díaz, E.⁽¹⁾; Sáenz de Olazagoitia, A.⁽¹⁾; Ormaetxea, O.⁽¹⁾; Ibisate, A.⁽¹⁾

(1) Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Facultad de Letras. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. Francisco Tomás y Valiente, s/n, 01006, Vitoria, España. orbange.ormatxea@ehu.es

Resumen

Los procesos de ladera son un fenómeno recurrente en la vertiente cantábrica del País Vasco, donde se estudian, dos cuencas: una costera y otra de interior. La generación de procesos de ladera se ha relacionado en la primera con una elevada intensidad diaria de precipitación (46 mm de media). Mientras, en la de interior se manifiesta con la persistencia (hasta 12 días con un total de 298 mm) y la sucesión de eventos de precipitación diaria superior a 30 mm (4 en 2009 con 363,9 mm). Además se ha constatado como condicionantes, las pendientes (≥ 10 y $\geq 50\%$ respectivamente), la presencia de agua subsuperficial entre un sustrato de permeabilidad baja y un regolito fácilmente movilizable (espesor $> 0,5$ m) alterado principalmente por la actividad forestal. Por su parte la valoración mediante SIG de la susceptibilidad a los movimientos de ladera de cada punto del territorio ha concluido que el 28% de la cuenca costera presenta un valor alto, mientras que en la interior asciende al 60%.

Palabras clave: procesos de ladera, eventos de precipitación, susceptibilidad, vulnerabilidad, País Vasco.

Abstract

Slope processes are recurrent phenomena of the atlantic side of the Basque Country albeit they show different behaviours in its distinct geographical settings. In this paper an analysis of the triggering and deter-



mining factors in two basins, one coastal and another in an inner site, characterized by middle mountainous landscape, is presented. Rainfall, fieldwork and thematic cartography data have been employed in order to get a susceptibility assessment and an analysis of vulnerable areas. The location of different constructive elements and their exposition have been added to the susceptibility analysis. A relationship between rainfall events and slope processes has been verified. It differs from one basin to the other. In the coastal one, high daily rainfall intensity data (rainfall average of 46 mm) link to landslide processes generation, by contrast in the inner one, these processes are triggered by rainfall persistence (until 12 days with a total amount of 298 mm) and the succession of events of daily rainfall over 30 mm (4 in 2009 with 363,9 mm). Other elements have resulted determining factors like slope (≥ 10 y $\geq 50\%$, respectively), the presence of subsuperficial water between a waterproof substrate and a regolith ($> 0,5$ m thick) modified by the forest activity. Finally the assessment of landslide susceptibility done by GIS tools concludes that the 28% of the coastal basin has a high-very high values, meanwhile the inner one has the 60% of its area.

Keywords: slope processes rainfall events, susceptibility, vulnerability, Basque Country.

1. Introducción

La respuesta del sistema de laderas en su adaptación a cambios en las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas (González de Vallejo, 2002) puede ser instantánea y masiva generando procesos cuyos efectos determinan su consideración como riesgo natural (Ayala-Carcedo, 2002; IGME, 2006).

Dentro del marco del cambio global, los deslizamientos podrían incrementarse como consecuencia de los cambios en la precipitación extrema de corta duración (Sidle y Ochiai, 2006; Sidle, 2006; Sidle y Burt, 2009), aunque su proyección futura presenta cierta incertidumbre (IPCC, 2007). En la Península Ibérica se han identificado tres tipos de situaciones meteorológicas que dan lugar a la rotura de las laderas o a la reactivación de deslizamientos: temporales de lluvias intensas y corta duración, episodios lluviosos de intensidad moderada a baja que se prolongan durante días o algunas semanas y períodos de larga duración, estacionales o interanuales anormalmente húmedos (Moya y Corominas, 1997; Corominas *et al.* 2002, Corominas, 2006). Respecto a la cornisa cantábrica se ha comprobado que la mayoría de los deslizamientos han ocurrido y ocurren durante, o inmediatamente después de intensas lluvias

(Bonaechea, 2006; Duque *et al.*, 1991; Remondo, 2001; Remondo *et al.*, 2003a, 2003b, 2005a, 2005b y 2005c, González y Lima de Montes, 2001; Etxeberria *et al.*, 2005).

Por otra parte, varios autores se han hecho eco de las relaciones entre deslizamientos y actividad humana, como los efectos de cambios de usos de suelo, la deforestación, la construcción de pistas, las plantaciones forestales y otras prácticas (Singh, 1998; Slaymaker, 2000; Sidle y Ochiai, 2006; Sidle *et al.*, 2006; García-Ruiz *et al.*, 2010) y que se pueden englobar en el marco de la denominada *huella geomorfológica humana* (Cendrero *et al.*, 2006).

En el tratamiento del riesgo de los movimientos de ladera se suelen utilizar los conceptos de susceptibilidad (Aristizabal y Yokota, 2006) y vulnerabilidad (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002). El primero hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos (Santacana, 2001), por tanto, requiere del reconocimiento de los factores condicionantes y desencadenantes que concurren (Ayala-Carcedo, 2002). La vulnerabilidad está asociada a la pérdida o deterioro de un bien expuesto (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002) y su rango dependerá de la cantidad, el coste, tipo de afección posible y las condiciones de exposición.

En este trabajo se pretende analizar los factores que condicionan y desencadenan los movimientos de ladera en dos pequeñas cuencas de clima atlántico correspondientes a un ámbito costero y colino-montano de interior (Meaza, 1997) respectivamente. Dado el control de primer orden que ejerce el clima sobre la estabilidad y la formación procesos de ladera (Corominas, 2006), el primer objetivo que se plantea es la identificación de los umbrales de lluvia capaces de producir nuevas roturas o de reactivar procesos ya existentes. El segundo objetivo pretende determinar, a partir de un reconocimiento de los procesos de laderas ocurridos, los factores que condicionan la aparición de los mismos y su tipología. Por último se utiliza la información obtenida para elaborar una propuesta de mapas de susceptibilidad y vulnerabilidad a los movimientos de ladera.

2. Área de estudio

El análisis se ha llevado a cabo en dos cuencas hidrográficas de la vertiente cantábrica localizadas en Bizkaia y Álava respectivamente (Fig. 1).

La cuenca del río Sollube-Mape, que desemboca en la ría del Mundaka en la zona costera vizcaína de Urdaibai, tiene una superficie de 7,53 km² y un desnivel de 646 m con una cota máxima de 686 m (Sollube) (Fig. 2). Está compuesta por materiales detríticos areniscosos y pelíticos del Albiense Superior-Cenomaniense Inferior finamente estratificados y con fuertes buzamientos (Espejo, 1975). Sobre estos materiales se desarrolla un coluvión de 50-100 cm de espesor formado por clastos angulosos de arenisca inmersos en una matriz areno-arcillosa. Al tratarse de una cuenca,

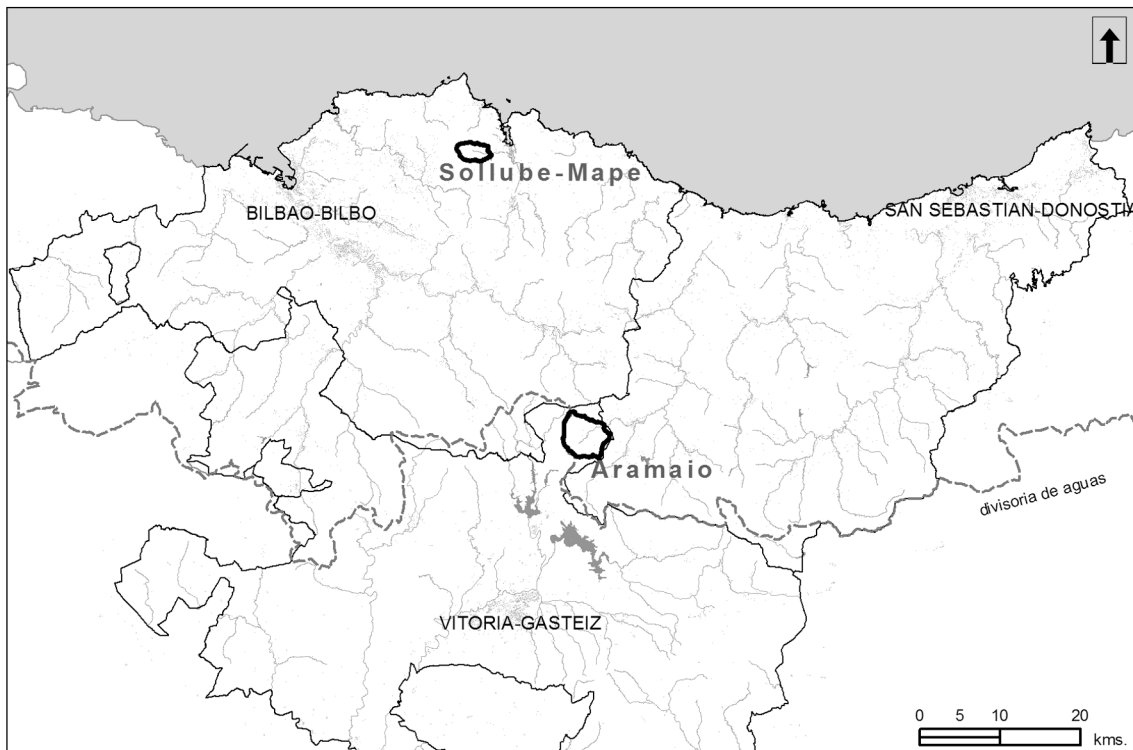


Figura 1. Localización de las cuencas de Sollube-Mape y Aramaio.
Figure 1. Location of Sollube-Mape and Aramaio basins.

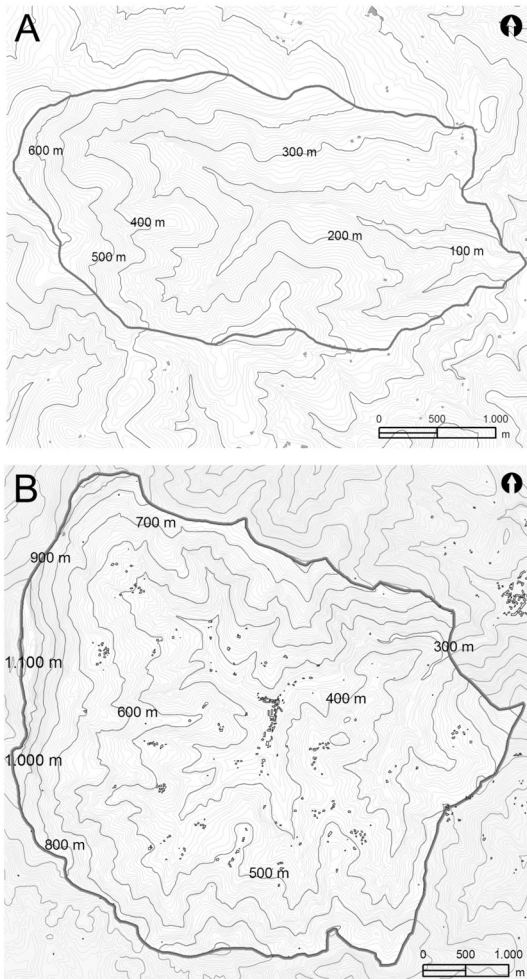


Figura 2. Topografía de las cuencas de Sollube-Mape (izquierda) y Aramaio (derecha).
Figure 2. Topographical maps of Sollube-Mape basin (left) and Aramaio basin (right).

sin asentamientos y de exclusividad forestal (plantaciones de pino insigne y eucalipto) la intensa deforestación experimentada en las últimas décadas, debido a incendios y talas a matarrasa, junto con las agresivas técnicas de repoblación empleadas (subsulado lineal, volteo del suelo, fragmentación del sustrato rocoso, etc.), así como la apertura de numerosas pistas, han desencadenado intensos procesos erosivos (Edeso *et al.*, 1994). Los usos de suelo no urbanos están conformados

por un 79 % de plantaciones forestales, un 14 % de bosques naturales y 5 % de prados atlánticos (Gobierno Vasco, 2006).

La cuenca de Aramaio (Álava) se localiza en el tránsito colino-montano de la vertiente atlántica con una cota máxima de 1128 m (monte Orisol) en la sierra de Arangio que forma parte de la divisoria cantábrico-mediterránea (Fig. 2). Tiene una superficie de 22,7 km² formada mayoritariamente por materiales del Cretácico Inferior del denominado complejo Purbeck- Weald. Se trata de una alternancia de pizarras negras, areniscas y algunos bancos de calizas negras o margas con buzamientos en torno a los 60°-65° que conforman el núcleo interno del anticlinal de Aramaio (Olivé y Ramírez del Pozo, 1978). A diferencia de la cuenca de Sollube-Mape, en ésta reside una población de 1529 habitantes (EUSTAT, 2010) que se encuentra distribuida en nueve pequeños núcleos rurales diseminados además del núcleo principal de Ibarra. Los usos de suelo no urbanos están conformados por un 55,7% de plantaciones forestales, un 22 % de bosques naturales y 11% de prados atlánticos (Gobierno Vasco, 2006).

3. Metodología

Diversos autores han analizado umbrales de intensidad y duración de lluvia para el desencadenamiento de movimientos de ladera en diferentes lugares (Domínguez *et al.*, 1999; Domínguez, 2003; González de Vallejo, 2002, Ferrer y Ayala, 1997, Fernández, 2009; Rizzo *et al.*, 2001; Corominas, 2006). En el caso de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) un estudio para el valle del Deba señala la relación de precipitaciones diarias de más de 20 mm y de 50 mm, respectivamente, con la presencia de deslizamientos (Bonaecha, 2006).

Tras la consideración de esos antecedentes, el análisis de la precipitación ha consistido en recoger los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las cuencas de estudio

de Euskalmet (2011) (Almike C069 para la cuenca de Sollube-Mape y Arrasate C023 para la de Aramaio) y en determinar el número y características de los eventos pluviométricos en esas estaciones. En este estudio, y atendiendo a los umbrales de alerta más conservadores en los diferentes servicios (Euskalmet, SAIH, INM (2007)), se ha considerado como evento la precipitación acumulada igual o mayor a 30 mm en uno o dos días consecutivos.

Una vez identificados los eventos y su duración para cada una de las series se ha llevado a cabo su clasificación por tipos, en la que se considera el número de días de precipitación así como la cantidad de la misma, resultando siete tipos de eventos (Tab. 1 y Fig. 3).

Para el segundo objetivo se requiere de la identificación y análisis de los procesos y los factores que los controlan (González de Vallejo, 2002), habiéndose desarrollado una gran variedad de métodos y técnicas (Barredo *et al.*, 2000; Clerici *et al.*, 2002; Dai y Lee, 2001; Guzzetti *et al.*, 1999; Hutchinson, 1995; Almaguer-Carmenates, 2006). En nuestro caso el trabajo metodológico ha consistido en la localización, caracterización y cartografiado de los procesos de ladera (actuales y recientes) (Glade, 2001), en campo y en fotografía aérea respectivamente, considerándose los factores ambientales que se estiman intervinen en los mismos a partir del trabajo de

campo (Dikau *et al.*, 1996; Highland y Bobrowsky, 2008). Para la clasificación de los movimientos se ha seguido la metodología aplicada por Varnes (1978), Cruden (1993) y Cruden y Varnes (1996). Además, por su profusión en las laderas de la cuenca de Aramaio, también se han analizado los procesos de piping o sufosión, que en las clasificaciones geomorfológicas se suele agrupar en los procesos de subsidencia (Fernández, 2001), y por tanto, sin desplazamiento horizontal.

Una vez constatada la evidencia pasada y actual de los movimientos de ladera en las cuencas de estudio, el análisis ha continuado con el diseño y aplicación de una metodología de valoración de la susceptibilidad al desarrollo de procesos de ladera y su plasmación cartográfica. Esa propensión se determina a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y desencadenantes (cualitativo o cuantitativo), que se materializa en un mapa de susceptibilidad (Ayala-Carcedo, 2002, Ayala-Carcedo y Corominas, 2003; Anbalagan, 1992; Guzzetti *et al.*, 1999; Dai y Lee, 2001). Para ello se utilizan técnicas SIG, ya probadas como herramientas útiles en el tratamiento de los deslizamientos (Carrara *et al.*, 1995; van Western *et al.*, 1999; Lan *et al.*, 2004). La determinación de los factores de inestabilidad se ha establecido atendiendo a las distintas propuestas bibliográficas (Almaguer-Carmenates, 2006; Bonaechea, 2006; Bathrellos *et al.*, 2009; Edeso *et*

Tabla 1. Tipos y características de los eventos de precipitaciones.

Table 1. Types and characteristics of rainfall events.

Tipo	Denominación	Intensidad	Duración
1	Precipitaciones significativas	*	2-5
2	Precipitaciones significativas y persistentes	*	6-11
3	Precipitaciones abundantes y concentradas en el tiempo	1	1-3
4	Precipitaciones persistentes con un día de precipitación abundante	1	4-11
5	Precipitaciones muy abundantes pero reducidas en el tiempo	2-3	2-3
6	Precipitaciones persistentes y de carácter intenso en 2-4 días	2-4	4-9
7	Precipitaciones de carácter extremo, muy persistentes y muy intensas	2-4	10-12

Intensidad: nº de días con $P > 30 \text{ mm}$ (* suma de la P en 2 días $\geq 30 \text{ mm}$).

Duración del evento: nº de días.

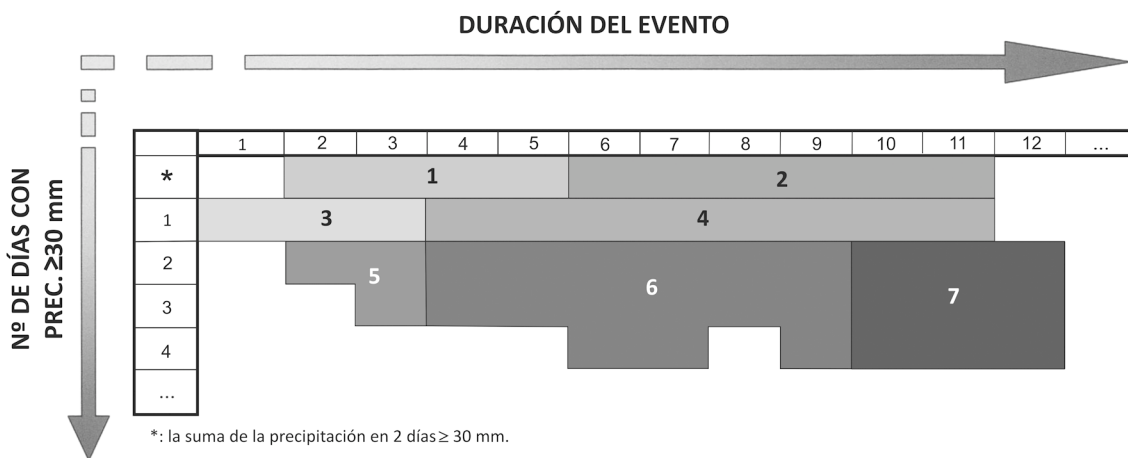


Figura 3. Tipología de eventos en función de la cantidad y duración de las precipitaciones.
 Figure 3. Typology of precipitation events due to rainfall quantity and duration.

al., 1995; Suárez, 2009; Gobierno Vasco, 1986) aplicadas a las características de las cuencas mediante el trabajo de campo. Los factores determinantes escogidos son: litología, espesor de regolito, grado de permeabilidad, pendientes, red de drenaje, vegetación, red de carreteras y pistas, vegetación, de los que existe cartografía (Gobierno Vasco, 2000) y deslizamientos detectados mediante el trabajo de campo y la identificación de procesos en las fotografías aéreas disponibles.

Asumiendo el grado de subjetividad que se les otorga a estos métodos (Almaguer-Carmenates, 2006) la metodología llevada a cabo en este trabajo ha consistido en primer lugar en clasificar cada uno de los factores determinantes de pendientes, litología, espesor de regolito, vegetación y usos y permeabilidad en distintas subcategorías, tal y como se aprecia en la primera columna de la Tabla 2. A cada una de esas subcategorías se ha asignado un peso siguiendo la propuesta de Suárez (2009), pero adaptándola al darle como valor máximo de susceptibilidad la unidad. Finalmente se han considerado factores como la presencia de cauces, pistas, carreteras y deslizamientos previos, a los que se ha otor-

gado un valor de 1 al borde de 10 m a partir de la línea o punto de su localización y otorgado un valor de 1 (Tabla 2 y Fig.4).

Todos los valores asignados en cada punto han sido sumados, y partiendo del máximo valor posible el resultado ha sido agrupado en cuatro intervalos de susceptibilidad (bajo < 2,04, medio 2,05-3,5, alto 3,51-4,96 y muy alto > 4,96). Tanto en el tratamiento de datos como en los mapas finales de resultados no se ha considerado el área intervenida por el Tren de Alta Velocidad en la cuenca de Aramaio, ya que entendemos que en ella se llevarán a cabo trabajos de restauración ambiental, que entre otros, vayan a minimizar la susceptibilidad al movimiento de las laderas afectadas por la obra.

Posteriormente al mapa final de susceptibilidad se le ha añadido el de elementos antrópicos con el fin de determinar dónde se encuentran las zonas más vulnerables asociadas a la pérdida o deterioro de un bien expuesto (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002). Tal y como señalan estos autores la vulnerabilidad es el factor de riesgo peor conocido y en ella se puede incluir tanto la vulnerabilidad humana como la económica, con un requeri-

Tabla 2. Valores asignados a cada uno de las categorías obtenidas de cada factor determinante.
 Table 2. Assigned values to the different categories of each determining factor.

<i>PENDIENTES</i>	
<3%	0
5-10%	0.25
10-30%	0.5
30-50%	0.75
>50%	1
<i>LITOLOGÍA</i>	
Calizas y calcarenitas	0.25
Rocas ígneas	0.25
Areniscas	0.5
Alternancia de areniscas y lutitas. Flysch negro	0,75
Pizarras negras, areniscas y calizas negras	0.75
Depósitos coluviales	1
<i>ESPESOR DE REGOLITO</i>	
0-0.5 m	0,33
0.5-2 m	0,66
>2m	0,99
<i>VEGETACIÓN Y USOS</i>	
Vegetación ruderal-nitrófila	0
Aliseda cantábrica	0,33
Encinar cantábrico, del interior o carrascal estellés	0,33
Robledal acidófilo y robledal-bosque mixto atlántico	0,33
Sauceda	0,33
Espinar o zarzal	0,66
Brezal-argomal-helechal atlántico	0,66
Huertas y frutales	0,66
Lastonar de <i>Brachypodium pinnatum</i> u otros pastos mesófilos	0,66
Plantaciones forestales (<i>Eucaliptus</i> sp. / <i>Pinus radiata</i>)	0.99
Prados y cultivos atlánticos	0.99
<i>PERMEABILIDAD</i>	
Impermeable	0
Alta por fisuración	0.33
Media por fisuración	0.66
Baja por fisuración	0.99
Alta por porosidad (coluviales)	0.99
Media por porosidad	0.66
<i>Baja por porosidad</i>	0.99

miento metodológico (Remondo *et al.*, 2010) que no ha sido objeto de este estudio. Desde éste, y con carácter cualitativo, se ha pretendido fijar en un mapa cuáles son las zonas más y menos vulnerables al relacionar susceptibilidad y exposición.

4. Resultados

4.1. Factores desencadenantes

En la estación correspondiente a la cuenca del Sollube-Mape se han registrado 73 even-

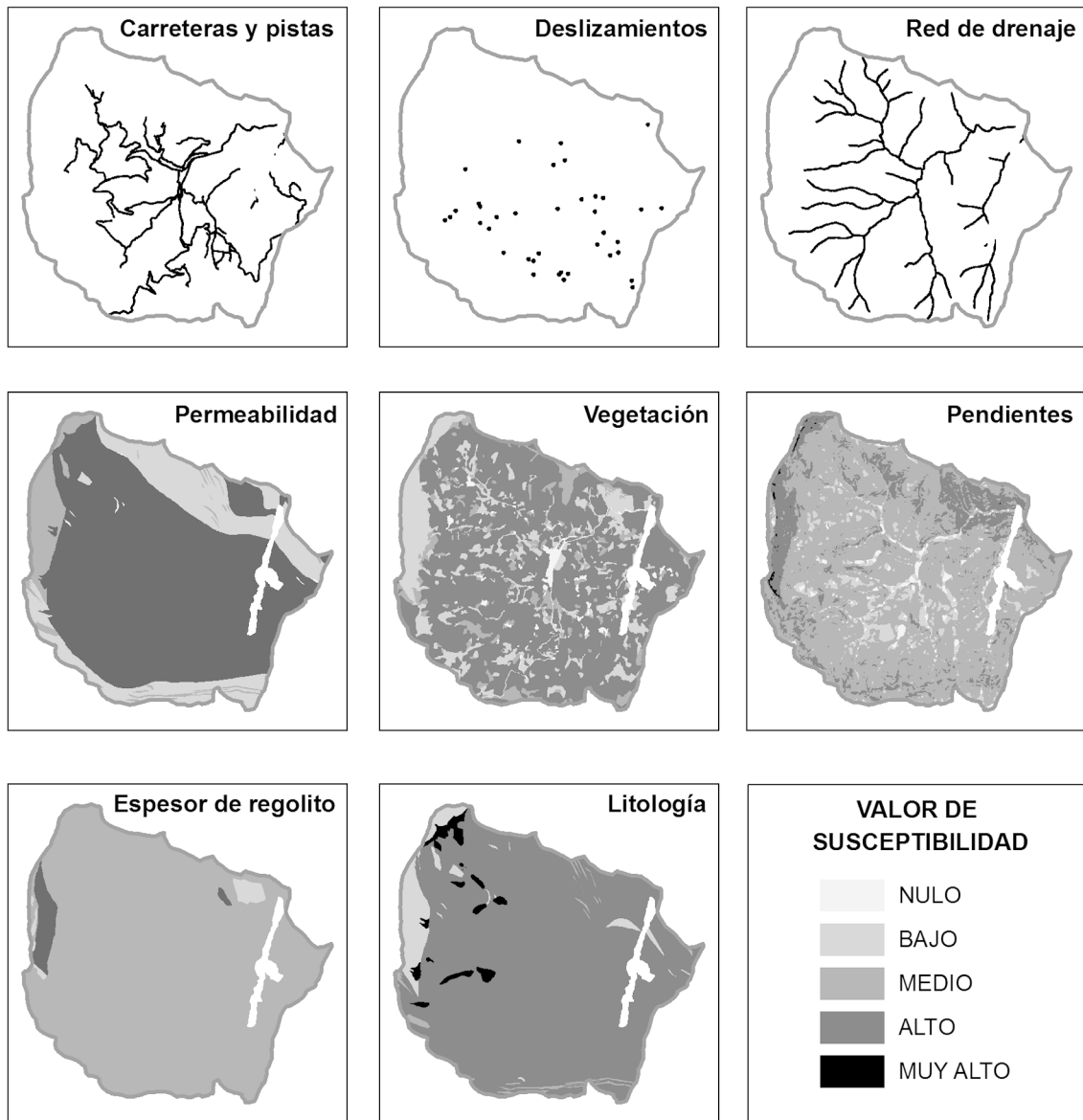


Figura 4. Ejemplo de mapas de los tipos temáticos utilizados para la valoración (cuenca de Aramaio).
 Figure 4. Example of the thematic maps used for the assessment (Aramaio basin).

tos pluviométricos para el periodo en que se dispone de datos (2002-2010). El análisis temporal ha evidenciado una clara relación entre la precipitación total anual y el número de eventos (Fig. 5a), resultando el otoño y el invierno las estaciones en las que más suceden (77% del total) con diciembre a la cabeza

(25%). En cuanto a los tipos de evento, aunque el mayor porcentaje lo ocupan las lluvias significativas (tipo 1) con el 40%, los registros más abundantes, de 154,5 mm de media, son los aportados por las precipitaciones persistentes y de carácter intenso en 2-4 días (tipo 6) (8% de los eventos), seguido de los 126,4

Tabla 3. Precipitación media y frecuencia de cada tipo de evento en las dos cuencas estudiadas.
 Table 3. Average rainfall and frequency of each event type in the two studied basins.

Tipo de evento	Sollube-Mape		Aramaio	
	P (mm)	%	P (mm)	%
1	43,46	39,7	50,40	34,1%
2	89,31	12,3	87,75	4,5%
3	52,27	20,5	56,59	28,4%
4	126,35	15,1	95,71	17,0%
5	90,87	4,1	103,25	2,3%
6	154,53	8,2	163,65	12,5%
7	-	0,0	290,80	1,1%

mm de media para las precipitaciones persistentes con un día de registro mayor de 30 mm (tipo 4) (15% de los eventos) (Tabla 3).

A través del seguimiento realizado en campo se han constatado movimientos para diferentes eventos en los que el porcentaje de la precipitación mensual respecto de la media para esos meses está por encima del 120% y la precipitación diaria supone en todos los casos un valor superior al 7% de la precipitación media anual. En cuanto a los tipos relacionados con movimientos son las precipitaciones muy abundantes pero reducidas en tiempo (2-3 días de precipitación con precipitación diaria >30 mm, tipo 5), las precipitaciones persistentes y de carácter intenso en 2-4 días (4-9 días de precipitación con 2-4 días de P >30mm, tipo 6) así como las precipitaciones persistentes con un día de precipitación muy abundante (4-11 días de precipitación con un día de P >30 mm, tipo 4).

Durante el periodo de datos disponible (2002-2010) para la estación correspondiente a Aramaio se han identificado 88 eventos de precipitación (Fig. 5b) con una distribución más irregular que en Sollube-Mape y con una presencia notoria también en primavera. Destaca como en el caso de la costa la frecuencia de las precipitaciones significativas (tipo 1) (34%) seguido de las precipitaciones muy abundantes y concentradas (1-3 días de precipitación con 1 día de P >30 mm, tipo 3) (28% de los eventos). Pero en cuanto a canti-

dades de precipitación es evidente que son las precipitaciones persistentes y de carácter intenso en 2-4 días (4-9 días de precipitación, tipo 6) y las precipitaciones de carácter ex-

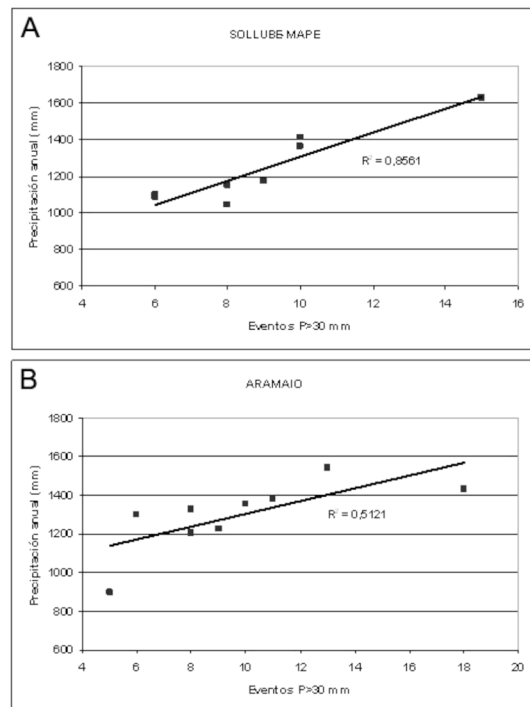


Figura 5 a y b. Relación entre la precipitación anual y el número de eventos pluviométricos para la serie analizada en las cuencas de Sollube-Mape y Aramaio.
 Figure 5 a & b. Relationship between annual total rainfall and number of precipitation events for the analysed series in the Sollube-Mape and Aramaio basins.

tremo con 10-12 días de lluvia con 2-4 días de $P > 30$ mm (tipo 7) las que mayores volúmenes registran (Tabla 3).

En cuanto a los movimientos de ladera detectados en el trabajo de campo de Aramaio éstos se producen con eventos en los que la precipitación máxima diaria no llega a los 70 mm y su característica complementaria es que se trata de precipitaciones prolongadas en el tiempo, de más de 9 días.

4.2. Procesos y factores condicionantes

En la cuenca del Sollube-Mape para el período 1965-2009 han sido localizados en fotografía aérea 43 procesos de ladera mientras que en los recorridos de campo realizados desde 2008 hasta 2010, han sido reconocidos 33 procesos (Fig. 6). Siguiendo la clasificación

de Cruden (1993) para los procesos analizados en campo, el 84 % de los mismos corresponde a deslizamientos (*rock slides* 15% y *debris slides* 69%) y un 9% han sido desprendimientos de rocas. Además se ha localizado un ejemplo de desplome de muro y un deslizamiento complejo con flujo arcilloso.

El análisis en campo de los procesos permite determinar como factores condicionantes:

Las fuertes pendientes. El 92% de los procesos se ha producido en el intervalo de pendientes de 50 a 100%, y el resto ha correspondido a pendientes entre un 30 y 50%.

Estructuras en capas alternantes con buzamientos favorables a las caídas por gravedad ($>20^\circ$ buzamiento y perpendiculares o transversales al sentido de la pendiente).

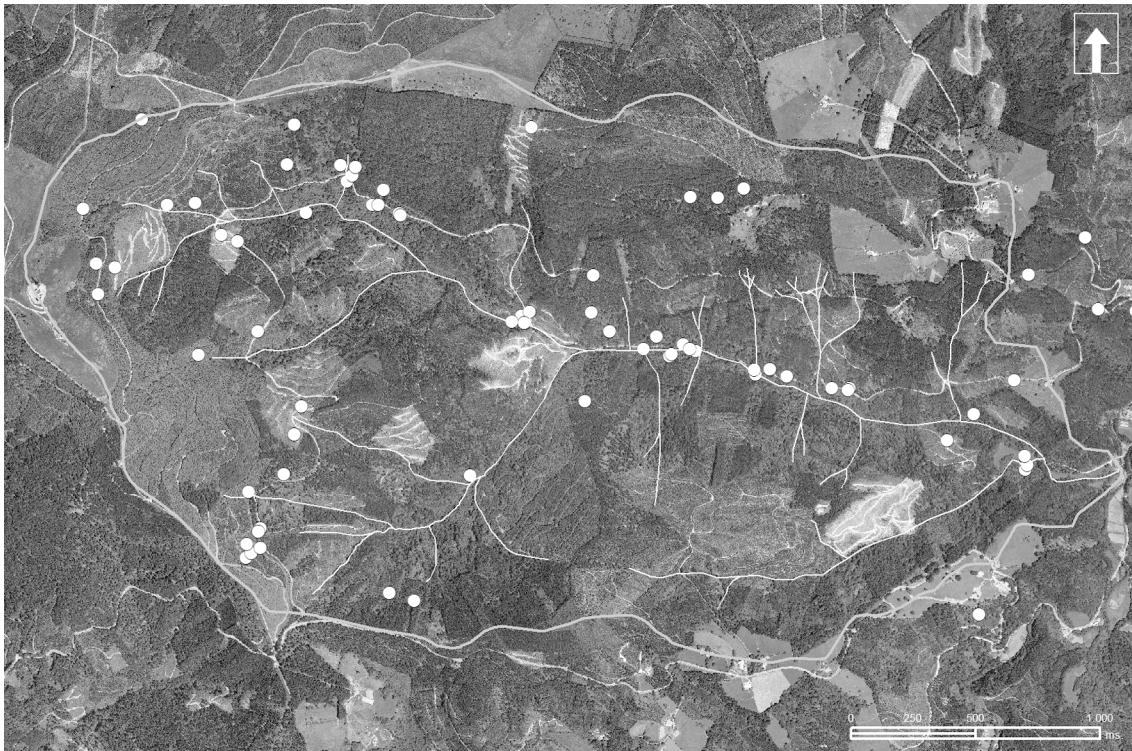


Figura 6. Localización de movimientos de ladera en la cuenca Sollube-Mape.
Figure 6. Location of mass movements in Sollube-Mape basin.



Figura 7. Ejemplo de los procesos detectados en la cuenca de Sollube-Mape.
Figure 7. Example of landslide processes detected in Sollube-Mape basin.

La presencia de agua subsuperficial concentrada entre un sustrato de baja permeabilidad por porosidad (alternancia de lutitas y areniscas, flysch negro) y una capa de material detrítico y arcilloso profundo resultado de la erosión, donde el espesor de regolito en todos los casos es superior a 0,5 m y con presencia de fracción gruesa. A lo que se añade una elevada alteración del mismo derivada de los trabajos de subsolado de las plantaciones forestales durante décadas (Merino *et al.*, 1995).

La presencia de múltiples pistas que suponen cambios en la geometría y pendiente de las laderas, en las condiciones hidrogeológicas y de drenaje superficial, al variar los flujos y dar lugar a la acumulación del agua en determinadas zonas, además de la sobrecarga que genera el paso de vehículos de gran tamaño. Así, del total de procesos detectados un 48% ha correspondido a bordes superiores o inferiores de pistas forestales (Fig. 7).

El desarrollo de una red de drenaje encajada en buena parte de su recorrido sobre ese material alterado, donde de los 7,1 km de longitud total de cauce, la cabecera de 2,3 km presenta un 20% de pendiente y su tramo medio, de 2,2 km de longitud, un 5%, y con un régimen hídrico con tiempos de concentración en torno a las dos horas y altos índices

de torrencialidad donde los descalces son procesos frecuentes favoreciendo la inestabilidad (8% de los procesos detectados).

En la cuenca de Aramaio y para un período de 8 años se han localizado en campo 35 puntos de inestabilidad y 5 en fotografía aérea (Fig. 8). Atendiendo a la clasificación propuesta por Cruden (1993) en este caso el 74 % corresponde a deslizamientos, de los cuales el 32 % son deslizamientos superficiales en praderíos (*earth slide*) un 21 % corresponde a deslizamientos rotacionales más profundos (*debris slide*) y el mismo porcentaje para deslizamientos complejos en los que también están presente los flujos (*earthflow*). Los desprendimientos tienen menor presencia, ya que únicamente se han localizado dos ejemplos de desprendimientos planares, uno de muro y un último rocoso y masivo. Además se han localizado 6 zonas que presentan fenómenos de sufosión.

Los factores condicionantes en la cuenca de Aramaio han resultado ser los siguientes:

Las fuertes pendientes aunque menores que en la cuenca costera. Un 11% de procesos se ha detectado en pendientes entre un 10 y 20%, un 55% en el intervalo de 20-30%, un 26 % entre 30-50% y un 8% en >50%.

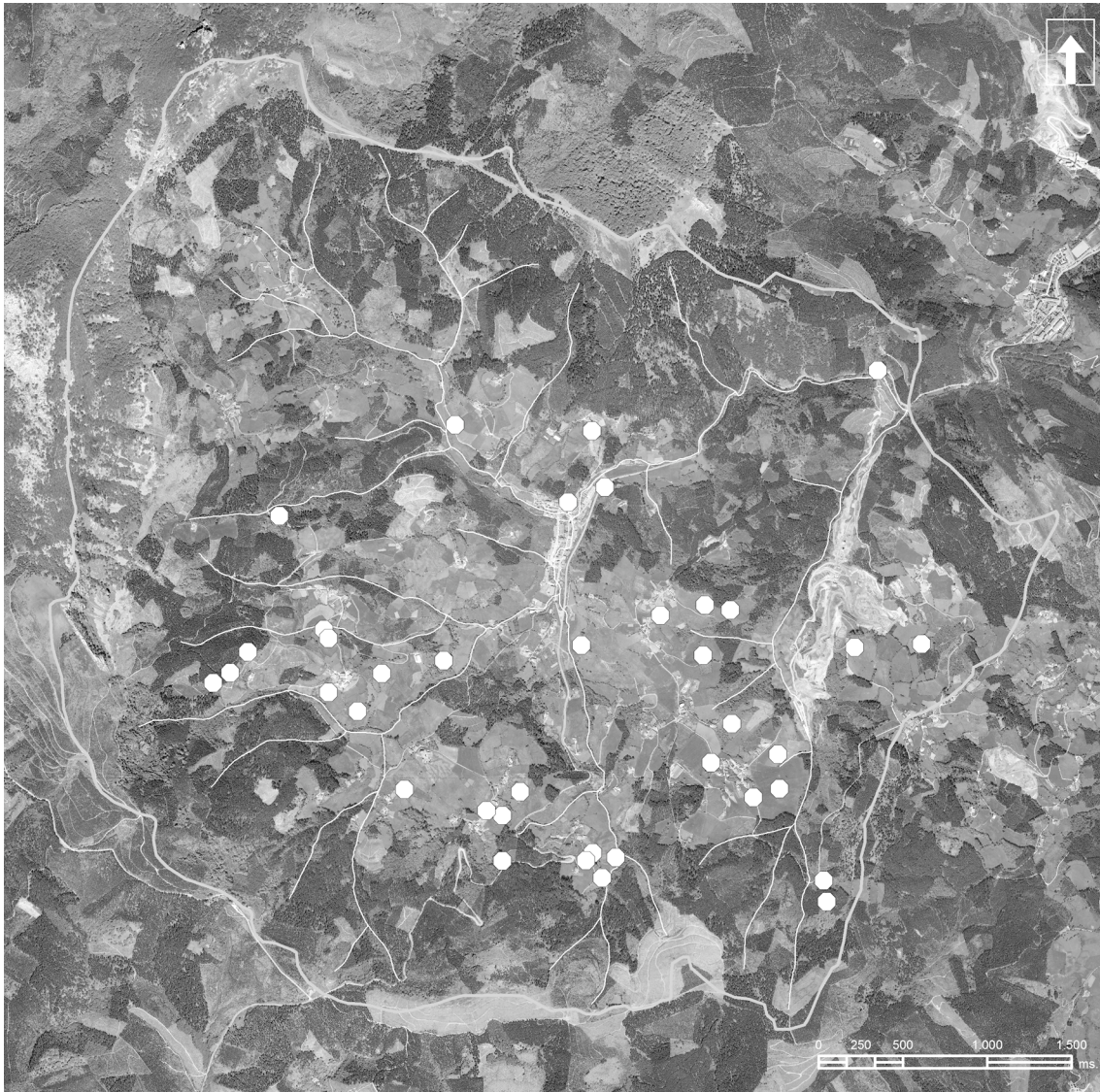


Figura 8. Localización de movimientos de ladera en la cuenca Aramaio.
Figure 8. Location of mass movements in Aramaio basin.

La presencia de agua subsuperficial concentrada entre un sustrato impermeable (pizarras negras, areniscas y calizas del Weald/Purbeck) y una capa de material detrítico arcilloso, sobre el que se desarrollan suelos con usos indistintos aunque siempre agroforestales. Un 71 % de procesos se ha detectado en prados y cultivos atlánticos y un

16% en plantaciones forestales de pino radiata (*Pinus insignis*) (Fig. 9).

La existencia de un material alterado, de 0,5-1m de espesor, que adquiere carácter fluidal en presencia de agua.

Los desequilibrios en morfología e hidrología que generan la presencia de carreteras, pis-

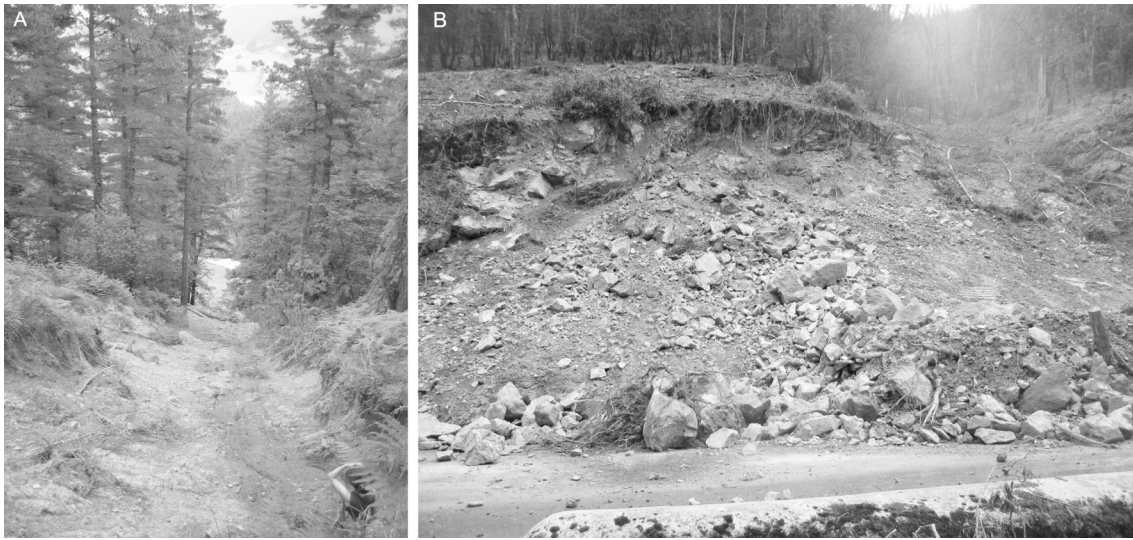


Figura 9. Ejemplo de los procesos detectados en la cuenca de Aramaio.
Figure 9. Example of landslide processes detected in Aramaio basin.

tas, circulación de maquinaria pesada, muros y escarpes, sendas ganaderas y conductos de agua sin obra. Así un 38 % de los procesos reconocidos se encuentran en el borde de una carretera o pista (Fig. 9).

4.3. Diagnóstico de la susceptibilidad y vulnerabilidad

En la cuenca de Sollube-Mape dadas sus características morfológicas la superficie difícilmente movilizable es muy escasa (0,02 %) y se ciñe a los interfluvios más alomados o a los depósitos fluviales no acoplados a la ladera (Fig. 10). El resto, y teniendo en cuenta que se trata de una cuenca muy homogénea en términos de litología, espesor de regolito, permeabilidad y vegetación, presenta una susceptibilidad media para estos cuatro factores en buena parte de su superficie (72,04%). Pero allí donde aumenta la pendiente por encima del 50%, característica común en prácticamente toda la cabecera; en los márgenes del cauce ya que se encuentra muy encajado, y allí donde hay acúmulos de detritos coluviales, la susceptibilidad pasa a

ser alta con una superficie de 18,53% en la cuenca. Si a esto se añaden los deslizamientos ya localizados, el entorno de pistas, regueros y cauces (9,39%), el cómputo global dibuja una situación de alta susceptibilidad.

En cuanto a la exposición esta cuenca presenta un uso forestal y de abastecimiento de agua exclusivamente, por ello los espacios y elementos expuestos se ciñen a las propias pistas, los puentes, las presas de abastecimiento de agua y las diversas infraestructuras de desagüe en la red de pistas, todo ello localizado en zonas de alta susceptibilidad.

En la cuenca de Aramaio las condiciones litológicas y de permeabilidad son bien distintas entre el cinturón que cierra la cuenca (de componente calizo y muy permeable) y el resto. Así, mientras en esa orla se desarrolla un bosque de hayas en altura y de encinas en el cierre del fondo de valle, el resto de interfluvios y laderas son prados y plantaciones forestales en mosaico. Atendiendo a esas características y a pesar de que los mayores desniveles se encuentran en los escarpes calizos, la mayor susceptibilidad a los movi-

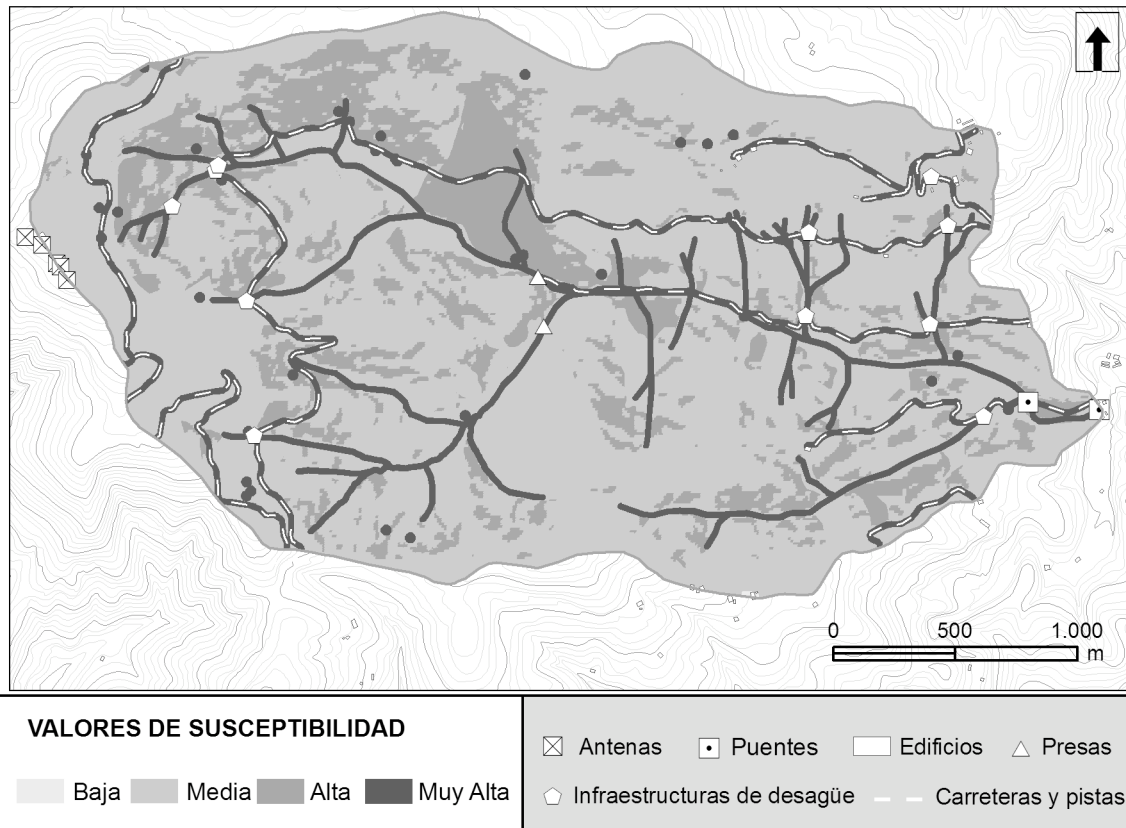


Figura 10. Mapa de susceptibilidad y exposición de la cuenca de Sollube-Mape.
 Figure 10. Susceptibility and exposition map of Sollube-Mape basin.

mientos de ladera se localiza en ese entorno agroforestal donde litología, permeabilidad y vegetación se aúnan para dar una alta susceptibilidad y a ellas acompaña en muchos casos la pendiente. El resultado es un mapa de susceptibilidad donde escasea la superficie estable, 0,13 %, y dominan las superficies muy aptas para el movimiento (53,66 % más las correspondientes de pistas, ríos y deslizamientos 6,93 %), siendo los usos afectados indistintos (Fig. 11).

En el mapa de zonas vulnerables, en el que se incluyen susceptibilidad y elementos antrópicos, hay que señalar la importancia de la red de pistas y carreteras debido a la elevada dispersión de los núcleos en un entorno de alta susceptibilidad al movimiento. Además de los

núcleos rurales encontramos también un buen número de caseríos en zonas propensas a los movimientos de ladera, así como puentes e infraestructuras de desagüe. Como resultado de este análisis se ha constatado que un 12% de los elementos antrópicos se encuentran en una zona de alta susceptibilidad y un 14% en una zona de muy alta susceptibilidad, aumentando de esta manera el riesgo.

5. Discusión

A pesar de que la serie de datos utilizada para determinar eventos pluviométricos y su clasificación no tiene significación por su escaso recorrido temporal sí ha permitido observar diferencias para un mismo ámbito atlántico y

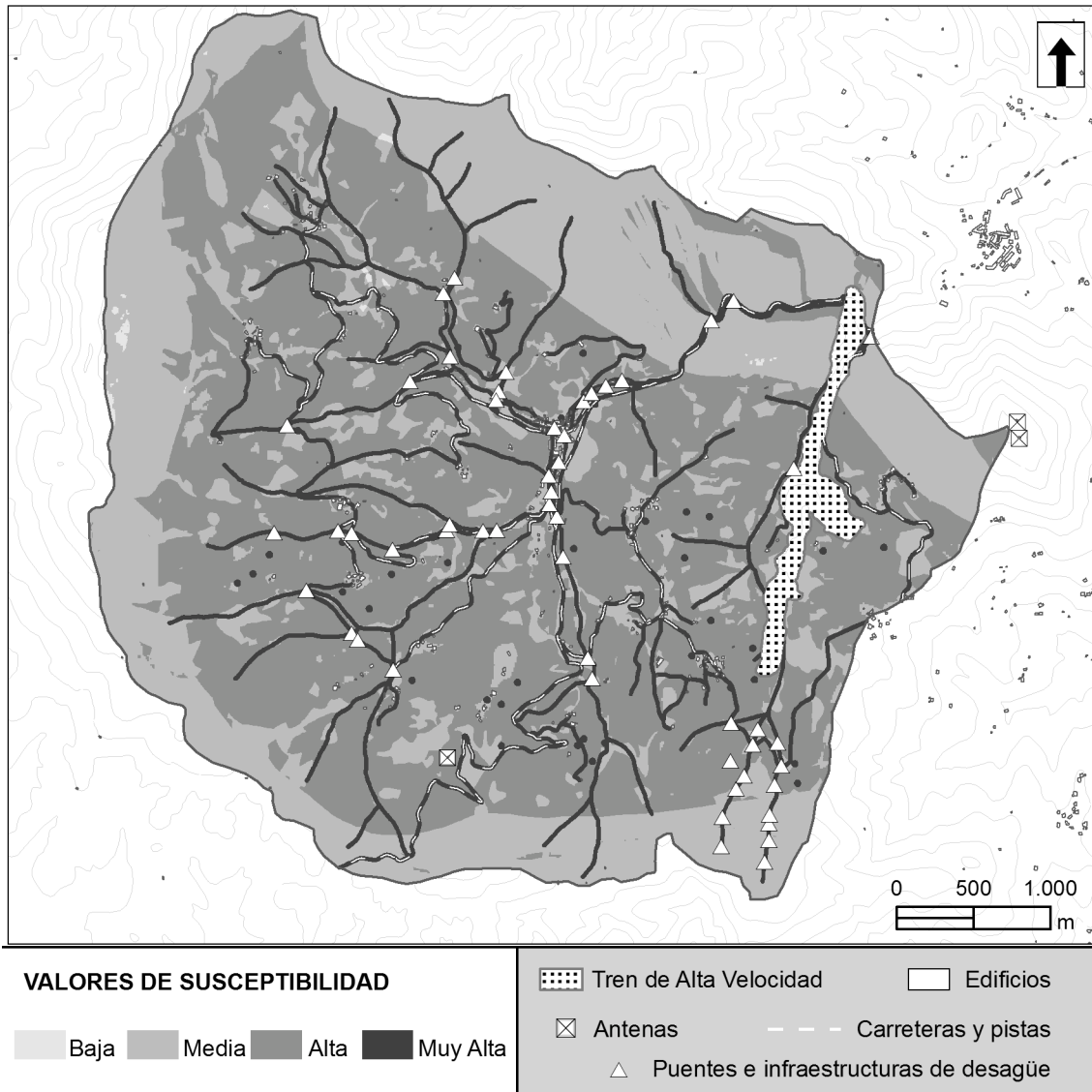


Figura 11. Mapa de susceptibilidad y exposición de la cuenca de Aramaio.
 Figure 11. Susceptibility and exposition map of Aramaio basin.

llevar a cabo una caracterización que recoge persistencia (el 30 % de los eventos registros tienen 5 o más de días de precipitación) e intensidad diaria de precipitación. En este sentido cabe destacar que para el mismo periodo de análisis 2002-2010, mientras en la cuenca costera la cantidad media de precipitación de los días con $P > 30$ mm es de 46 mm con una desviación de 26,3, en ámbito colino-mon-

tano la precipitación media es de 43 mm con una desviación de 13,1.

En cuanto a la relación ente eventos y procesos son varios los parámetros de precipitación que se utilizan para delimitar los umbrales desencadenantes de procesos de ladera: lluvia antecedente, duración, intensidad y lluvia acumulada (Chien-Yuan *et al.*,

2005). En este trabajo, y a pesar del corto intervalo de datos disponibles, se han constatado diferencias entre las dos áreas analizadas; mientras en el ámbito costero se han detectado valores altos de intensidad diaria en la generación de procesos (ej., 94,7 mm en 2006, 171,1 mm en 2009, o 125 mm en 2010), en el colino-montano se revelan la persistencia de la precipitación (9 días de precipitación de intensidad baja o moderada) y la sucesión de eventos, eventos en 2-3 meses consecutivos.

Desde una perspectiva comparativa Rizzo *et al.* (2001) establecen que para una precipitación anual de 1200 mm, aunque en régimen mediterráneo, los deslizamientos se producen con precipitaciones diarias a partir del 10% de esa precipitación, que en nuestro caso sólo han correspondido a 2 eventos en el ámbito costero (1225 mm de precipitación media) y ninguno al montano (1307 mm). Este aspecto permite reparar en las diferentes escalas espaciales a considerar para similares valores de precipitación anual cuando son empleados como umbrales. En el caso del País Vasco estos valores promedios de precipitación se dan tanto en el ámbito costero occidental como en la transición subatlántica (Uriarte, 1996), al sur de la divisoria de aguas cantábrico-mediterránea, pero dada la variabilidad en el reparto temporal de la precipitación y la complejidad en el establecimiento de valores umbrales (Corominas, 2006) resulta difícil disminuir la incertidumbre en el pronóstico de este factor determinante en los procesos de ladera y por ello se insiste en la importancia de considerar los condicionantes.

La información obtenida a partir del trabajo de campo, a pesar del grado de subjetividad que implica la utilización de métodos de evaluación indirecta mediante el uso de pesos (Hervás y Barredo, 2001), ha resultado eficaz en la óptima determinación de los factores condicionantes. Ha quedado constatado que las pendientes superiores al 10%, la presencia de material coluvial permeable, una capa de alteración con alta capacidad fluidal sobre

sustratos impermeables (espesor de regolito > 0,5 m y de matriz arcillosa), fuertes buzamientos (>20º) con orientaciones propicias y agua subsuperficial (eventos de precipitación intensos, persistentes o consecutivos) resultan determinantes en la presencia, volumen y tipo de proceso. La diferencia entre condicionantes es que en la cuenca de Sollube-Mape, representativa de cuencas de explotación forestal con pendientes superiores al 50%, una capa de alteración de fracción gruesa con matriz arcillosa, y la presencia de pistas y cauces los movimientos de ladera detectados han sido desprendimientos y deslizamientos traslacionales. En la cuenca de Aramaio agraria y forestal, con pendientes superiores al 10%, una capa de alteración arcillosa sobre una base impermeable de pizarras de fuerte buzamiento encontramos deslizamientos superficiales, corrientes de derrubio como deslizamientos rotacionales complejos con flujos de barro, y allí donde a la pendiente le acompañan las lutitas calcáreas muy meteorizadas se han generado desprendimientos.

Respecto a la incidencia de las actividades forestales y los desmontes, en nuestro caso cabe mencionar que excepto en un deslizamiento de grandes dimensiones, donde confluyeron apertura de pistas, concentración de agua subsuperficial y superficial y espacio talado reciente (Díez, 1997), el resto de movimientos se genera en zonas de plantación de bajo grado de madurez en el caso de la cuenca de Sollube-Mape. Varios autores han determinado que el periodo de máxima susceptibilidad a los deslizamientos se produce entre los 3 y 15 años después de la corta (Sidle y Burt, 2009). En cambio en Aramaio y sobre un soporte de alteración y litológico distinto, los procesos no discriminan fases de crecimiento ni usos. En este sentido cabe la reflexión sobre la dificultad en la consideración de los pesos de cada una de las categorías establecidas como determinantes (Suárez, 2009).

Otro factor desestabilizador aquí atestiguado son las pistas, que alteran los patrones hidrológicos y concentran el agua sobre porciones

inestables, descalzando pendientes y generando sobrecargas (Larrea y Arnáez, 1996; Corominas, 2006; Sidle y Ochai, 2006; Gobierno Vasco, 1994). Así, a tenor de las evidencias constatadas se hace necesaria la implementación de prácticas menos agresivas con el sistema de laderas y el desarrollo de trabajos de restauración ambiental recogidas en las directrices de gestión forestal sostenible (PEFC Euskadi, 2009).

En relación al cambio global, Sidle y Burt (2009) señalan que ante la dificultad de establecer una relación directa entre aumento de procesos de ladera y cambio climático y dada la incidencia de los factores físicos y el uso antrópico en los mismos. La prioridad de la investigación debe ir encaminada a aplicar este conocimiento en el manejo del territorio. En las cuencas de estudio se ha constatado la importancia de las características de la precipitación en el desencadenamiento de los movimientos de ladera por lo que un incremento en la frecuencia, intensidad o persistencia de las mismas en la región resultaría en una mayor inestabilidad. En cualquier caso, las zonas más susceptibles a la inestabilidad tienen que ver con las condiciones de pendientes, permeabilidad, manejo antrópico, etc., de tal manera que el resultado del análisis de estos factores, como los mapas diagnóstico aquí presentados, intentan ser un instrumento de mejora en el uso del territorio.

6. Conclusiones

La metodología aquí presentada ha sido diseñada como un instrumento para conocer la susceptibilidad a los movimientos de ladera en el marco del cambio global en dos cuencas de estudio. El análisis de las precipitaciones a partir de la clasificación aquí empleada ha permitido conocer el comportamiento de las mismas en términos de intensidad diaria y persistencia que se puede implementar para series más largas y otras estaciones que abarquen la variabilidad climática del País Vasco

que permitan estimar los escenarios de amenaza.

El seguimiento de estos eventos en su relación con el desarrollo de movimientos ha constatado las diferencias entre ámbitos territoriales diferentes, de ahí la importancia de conocer los factores condicionantes. La fiabilidad de los parámetros utilizados depende de la calidad de la cartografía empleada, así como de los pesos otorgados por quienes han llevado a cabo este diseño. Su validez sólo puede ser comprobada tras la ocurrencia de nuevos movimientos o aplicarse a otras cuencas sin considerar la información de los deslizamientos ya ocurridos y comprobar tras la valoración de la susceptibilidad la coincidencia del resultado con los procesos de ladera detectados en fotografía aérea y trabajo campo. En este sentido esta propuesta de determinación de la susceptibilidad y la exposición tiene la intención de aplicarse al conjunto de cuencas de la CAPV como diagnóstico temático para su posible consideración en la gestión territorial (Mendizabal et al. 2011).

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto "Klima aldaketa: Inpaktua eta Egokitzea –Cambio climático: Impacto y Adaptación" perteneciente a la convocatoria ETORTEK 2007– 2010 de Proyectos de Investigación Estratégica y financiado por el Gobierno Vasco. Además ha contado con la aportación del Grupo de Investigación Consolidado del Gobierno Vasco, IT 288-07 y la UFI11/09 Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana.

Bibliografía

- Almaguer-Carmenates, Y. (2006). Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. *Minería y Geología*, 22 (2), 1-45
- Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32, 269-277.
- Aristizabal, E.; Yokota, S. (2006). Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el valle del Aburrá. *Dyna*, 73 (49), 5-16.

- Ayala-Carcedo, F.J. (2002). Introducción al análisis y gestión de riesgos. En: *Riesgos Naturales* (F.J. Ayala-Carcedo; J. Olcina, eds.) Ariel, Barcelona, 133-145
- Ayala-Carcedo, F.J.; Corominas, J. (2003). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG: fundamentos y aplicaciones en España*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 191 pp.
- Barredo J.I.; Benavides, A.; Hervás, H.; Van Westen C.J. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Titajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Appl. Earth Observation*, 2 (1), 9-23.
- Bathrellos, G.D.; Kalivas, D.P.; Skilodimou, H.D. (2009). GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, Central Greece. *Estudios Geológicos*, 65(1), 49-65.
- Bonaechea, J. (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos*. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria, Santander (España), 356 pp.
- Carrara, A.; Cardinali, M.; Guzzetti, F.; Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En: *Geographical information systems in assessing natural hazards* (A. Carrara; F. Guzzetti, eds.). Kluwer, Dordrecht, (The Netherlands), 135-17,
- Cendrero, A.; Remondo, J.; Bonaechea, J.; Rivas, V.; Soto, J. (2006). Acción humana y procesos geológicos superficiales. ¿Qué le estamos haciendo a la faz de la Tierra? *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100(1), 187-210.
- Chien-Yuan, C.; Tien-Chien, C.; Fan-Chieh, Y.; Chun-Chieh, T. (2005). Rainfall duration and debris-flow initiated studies for realtime monitoring, *Environmental Geology*, 47, 715-724.
- Clerici, A.; Perego, S.; Tellini, C.; Vescovi, P. (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349-364.
- Corominas, J. (2006). El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. *Cuaternario y Geomorfología*, 20 (3-4), 89-113.
- Corominas, J.; Moya, J.; Hürlimann, M. (2002). Landslide rainfall triggers in the Spanish Eastern Pyrenees. *Proceedings 4th EGS Conference on Mediterranean Storms*. Mallorca. CD-ROM
- Cruden, D.M. (1993). *The Multilingual Landslide Glossary*. Bitech Publishers, Richmond, (British Columbia), for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory in 1993.
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes. En: *Landslides: Investigation and Mitigation* (A.K. Turner; R.L. Schuster, eds.). Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 36-75.
- Dai, F.C.; Lee, C.F. (2001). Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 911-923.
- Díez, J.R. (2007). *Perímetro de protección de las captaciones del río Mape en Hiruerreketa (Busturia)*. Consorcio de Aguas de Busturialdea, Fundación Urdaibai y Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea, 56 pp.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.L. (Eds) (1996). *Landslide recognition. Identification, movement and causes*. John Wiley & Sons, Chichester, 242 pp.
- Domínguez, M.J. (2003). *Geomorfología e inestabilidad de laderas en la cuenca carbonífera central (valle del Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno*. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Oviedo, Oviedo. 221 pp.+anejos.
- Domínguez, M.J.; Jiménez, M.; Rodríguez, A. (1999). Press archives as temporal records of landslide in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. *Geomorphology*, 30, 125-132.
- Duque, A.; Echeverría, G.; Fernández, E.; Kerejeta, A.; Cendrero, A.; Díaz de Terán, J.R.; Tamés, P. (1991). A methodological approach for the development of predictive models for hazard assessment. En: *Proceedings European Experimental Course on Applied Geomorphology*. Vol., 2, (M. Panizza; M. Soldati; M.M. Coltellacci, eds.). Instituto di Geologia. Università degli Studi di Modena, Modena, (Italia), 13-25.
- Edeso, J.M.; Meaza, G.; Merino, A.; Ormaetxea, O. (1994). Cambios en la dinámica geomorfológica y sus repercusiones en los suelos y en la vegetación natural a consecuencia de explotación forestal intensiva: el caso de la cabecera del Mape-Sollube (ría de Gernika-Urdaibai, Vizcaya). En: *Geomorfología de España* (J. Arnáez-Vadillo; J.M. García Ruíz; A. Gómez Villar, eds.), Vol., 2, Logroño, 441-456.
- Edeso, J.M.; Marauri, P.; Merino, A. (1995). Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales: el mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión. *Lurralde*, 18, 257-291.
- Espejo, J.A. (1975). *Mapa Geológico de España escala 1:50.000 2ª Serie (MAGNA). Hoja de Bermeo (38)*. IGME. Serv. Publ. Ministerio de Industria, Madrid
- Etcheberria, P.; Edeso, J.M.; Brazaola, A. (2005). Propuesta de una metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 5, 250-267.
- EUSTAT (2008). Población por ámbitos territoriales y sexo 31 diciembre 2008. http://www.eustat.es/elementos/ele0003200/ti_Poblacion_por_ambitos_territoriales_y_sexo_31-XII-2008/tbl0003278_c.html
- Fernández, T. (2001). *Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en*

- macizos rocosos mediante SIG: aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada, 648 pp.
- Fernández, D. (2009). Eventos de remoción en masa en la provincia de Tucumán: tipos, características y distribución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(4), 748-759.
- Ferrer, M.; Ayala, F. (1997). Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos de España. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Vol., 1, Granada, 185-198.
- García-Ruiz, J.M.; Beguería, S.; Alatorre, L.C.; Puigdefábregas, J. (2010). Land cover changes and shallow landsliding in the flysch sector of the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 124, 250-259.
- Glade, T. (2001). Landslide hazard assessment and historical landslide data – an inseparable couple? En: *The Use of Historical Data in Natural Hazard* (T. Glade; P. Albini; F. Francés, eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 153-168.
- Gobierno Vasco (1986). *Metodología para la elaboración del mapa sintético de riesgos potenciales, centrado en los movimientos en masa*. Departamento de Medio Ambiente, Vitoria-Gasteiz.
- Gobierno Vasco (1994). *Plan Forestal Vasco 1994-2030*. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-7393/es/contenidos/plan_programa_proyecto/plan_forestal/es_9394/plan_forestal.html
- Gobierno Vasco (2006). *El bosque vasco en cifras. Análisis de situación y evolución de Usos del Suelo y Especies Forestales*. Departamento de Pesca, Agricultura y Alimentación. http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-15135/es/contenidos/estadistica/inven_fores_bd_tablas/es_dapa/inven_fores_bd_tablas.html
- González Moradas, M.R.; Lima de Montes, Y. (2001). Cartografía del riesgo a los deslizamientos en la zona central del Principado de Asturias. *Mapping Interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, 73, 6-15.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Otero, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- Guzzetti, F.; Carrara, A.; Cardinali, M.; Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Hervás, J.; Barredo, J.I. (2001). Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de GIS, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al Barranco de Tirajana (Gran Canaria). *Proc. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. CEDEX, Ministerio de Fomento, Madrid, 305-316.
- Highland, L.M.; Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook. A guide to understanding landslides*. United States Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia, 129 pp.
- Hutchinson, J.N. (1995). Landslide hazard assessment, Keynote paper. *Proceeding of the 6th International Symposium on Landslides*, Vol., 3, Christchurch, (New Zealand), 1805-1841.
- INM (2007). Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa METEOALERTA. Ministerio de Medio Ambiente e Instituto Nacional de Meteorología. <http://www.iaem.es/Planificacion/Plan-Meteoalerta.pdf>
- IPCC (2007). Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. En: *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* (S. Solomon et al., eds.). Cambridge. Cambridge University Press, 996 pp.
- Lan, H.X.; Zhou, C.H.; Wang, L.J.; Zhang, H.Y.; Li, R.H. (2004). Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76, 109-128.
- Larrea, V.; Arnáez, J. (1996). Dinámica geomorfológica en pistas forestales de montaña: resultados en el sistema ibérico occidental. *Zubia* 8, 87-106.
- Meaza, G. (1997). El ambiente climático. En: *Geografía de Euskal Herria: Clima y Aguas* (G. Meaza; E. Ruiz, eds). Etor, 208 pp.
- Merino, A.; González, M.J.; Edeso, J.M.; Marauri, P. (1995). Modificaciones en las características de los suelos de la vertiente Cantábrica del País Vasco producidas por prácticas forestales. *Lurralde*, 18, 293-300.
- Mendizabal et al. (2011): *Cambio Climático: Impacto y Adaptación – Klima Aldaketa: Inpaktua eta Egokitzea*. Gobierno Vasco, 118 p.
- Moya, J.; Corominas, J. (1997). Condiciones pluviométricas desencadenantes de deslizamientos en el Pirineo Oriental. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Vol., 1, Granada, 199-212.
- Olcina, J.; Ayala-Carcedo, F.J. (2002). Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. En: *Riesgos Naturales* (F.J. Ayala-Carcedo; J. Olcina, eds.). Ariel Ciencia, Barcelona, 41-73.
- Olivé, A.; Ramírez del Pozo, J. (1978). *Mapa Geológico de España escala 1:50.000 2ª Serie (MAGNA). Hoja de Elorrio (87)*. IGME. Serv. Publ. Ministerio de Industria, Madrid.
- PEFC (2009). *Programme for the Endorsement of Forest Certification – Programa de reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal*. Euskadi. <http://www.pefceuskadi.org/es/pefc/certificacion-forestal/directrices-de-gfs-de-pefc-euskadi.html>
- Remondo, J. (2001). *Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Remondo, J.; González, A.; Díaz de Terán J.R.; Cendrero, A. (2003a). Landslide susceptibility models utilising

- Spatial Data Analysis techniques. A case study from the Lower Deba Valley, Guipúzcoa (Spain). *Natural Hazards*, 30 (3), 267-279.
- Remondo, J.; González, A.; Díaz de Terán J.R.; Cendrero, A.; Fabbri, A.; Chung, C.-J. (2003b). Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain. *Natural Hazards*, 30 (3), 437-449.
- Remondo, J.; Bonachea, J.; Cendrero, A. (2005a). A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment. *Landslides*, 2 (4), 321-328.
- Remondo, J.; González, A.; Chung, C.-J.; Bonachea, J.; Olague, I.; Fabbri, A. (2005b). The influence of changes of hazard and vulnerability on landslide risk assessment. En: *Proceedings of Sixth International Conference on Geomorphology* (G. Desir; F. Gutiérrez; M. Gutiérrez, eds.), Zaragoza, p. 393.
- Remondo, J.; Soto, J.; González-Díez, A.; Díaz de Terán, J.R.; Cendrero, A. (2005c). Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain. *Geomorphology*, 66 (1-4), 69-84.
- Remondo, J.; Bonachea, J.; Cendrero, A.; Díaz de Terán, J.R.; González Díez, A.; Bruschi, V. (2010). Elaboración de modelos predictivos de riesgo de deslizamientos en el norte de España. En: *Avances de la Geomorfología en España, 2008-2010*. (X. Úbeda; D. Vericat; R.J. Batalla, eds.), SEG, Solsona (Lleida), 325-328.
- Rizzo, V.; Fragale, F.; Terranova, O. (2001). Widespread landslide and flood events in the Catanzaro's Isthmus (Calabria, Italy); relationships with rainfall data. En: *The Use of Historical Data in Natural Hazard* (T. Glade; P. Albini; F. Francés, eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 169-183.
- Santacana, N. (2001). *Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del Rio Llobregat*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 399 pp.
- Servicio Vasco de Meteorología (2011). Página web del Euskalmet, Lecturas detalladas. <http://www.euskalmet.euskadi.net/s07-5853x/es/meteorologia/lectur.apl?e=5>
- Sidle, R.C. (2006). Using Weather and Climate Information for Landslide Prevention and Mitigation. En: *Climate and Land degradation*, Chapter 15, (M. Sivakumar; N. Ndiang'ui, eds.) Springer. 285 pp.
- Sidle, R.C.; Ochiai, H. (2006). *Landslides: Processes, Prediction and Land Use*. Water Resour. Monogr. 18. American Geophysical Union, Washington, D.C., 312 pp.
- Sidle, R.C.; Ziegler, A.D.; Negishi, J.N.; Nik, A.R.; Siew, R.; Turkelboom, F. (2006). Erosion processes in steep terrain: truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology Management*, 224, 199-225.
- Sidle R.C.; Burt, T.P. (2009). Temperate forests and rangelands. In: *Geomorphology and Global Environmental Change* (O. Slaymaker; T. Spencer; C. Embleton-Hamann, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 321-343.
- Singh, R.B. (1998). Land use/cover changes, extreme events and ecohydrological responses in the Himalayan region. *Hydrological Processes*, 12, 2043-2055.
- Slaymaker, O. (2000). Assessment of the geomorphic impacts of forestry in British Columbia. *Ambio*, 29, 391-387.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: análisis geotécnico Vol. I*. Universidad Industrial de Santander, (Colombia), 588 pp.
- Uriarte, A. (1996). Clasificación y definición de territorios climáticos. En: *Geografía de Euskal Herria: Clima y Aguas* (G. Meaza; E. Ruiz, eds). Etor, 240 pp.
- van Westen, C.J.; Seijmonsbergen, A.C.; Mantovani, F. (1999). Comparing Landslide Hazard Maps. *Natural Hazards*, 20, 137-158.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In: *Landslides. Analysis and control*. Special Report 176. (R.L. Schuster; R.J. Krizek, eds.) Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 11-33.