



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

"Susceptibilidad a los movimientos de ladera
superficiales en la cuenca del Barranco del Ubago
(Alta Ribagorza; Pirineo aragonés)"

Autor

Juan Antonio Paricio Dolz

Director/es

Javier Chueca Cía

Filosofía y Letras / Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

2015

Resumen

Los efectos de los movimientos de ladera tienen un potencial destructivo y de costes para las administraciones muy elevado, por este motivo deben ser controlados. El presente Trabajo de Fin de Grado es un estudio de la susceptibilidad a producirse movimientos de ladera superficiales en la Cuenca del Ubago, en La Alta Ribagorza. Con dicho estudio se ha obtenido una cartografía de niveles de riesgo en dicha zona, con el fin de prevenir determinados usos del suelo que puedan verse afectados por los efectos de este fenómeno.

Palabras clave: *Cuenca del Ubago, movimiento de ladera, riesgo.*

Abstract

The effects of the slope movements have a big destructive potencial and cost for the administrations, this is the reason to study it. The following essay contains a study of this slope movements in The Basin Ubago, which is located in The Alta Ribagorza. With this study We have gotten a map which contains five levels of danger to produce slope movements in our study área.

Key words: *Basin Ubago, slope movement, danger.*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	6
1.2. OBJETIVOS.....	6
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
2.1 LOCALIZACIÓN.....	7
2.2 RELIEVE.....	8
2.3 CLIMA.....	9
2.4 HIDROLOGÍA.....	10
2.5 VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO.....	10
3. MOVIMIENTOS DE LADERA: CARACTERIZACIÓN, TIPOS Y FACTORES DESENCADENANTES.....	11
3.1 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA.....	12
a) Deslizamientos.....	13
b) Flujos.....	13
c) Desprendimientos.....	16
d) Vuelcos.....	16
e) Expansión lateral	
3.2 FACTORES DESENCADENANTES DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1 FACTORES DERIVADOS DEL MDT.....	21
a) Pendiente.....	21
b) Orientación	22
c) Precipitaciones.....	23
4.2 FACTORES NO DERIVADOS DEL MDT.....	24
a) Usos del suelo.....	24
b) Litología.....	25
c) Red hidrográfica.....	26
5. RESULTADOS Y DUSCUSIÓN.....	29
5.1 FACTORES DERIVADOS DEL MDT.....	29
a) Pendiente.....	29
b) Orientación.....	30
c) Precipitaciones.....	31
5.2 FACTORES NO DERIVADOS DEL MDT.....	32
a) Usos del suelo.....	32
b) Red hidrográfica.....	33
c) Litología.....	34

5.3 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD FINAL.....	35
6. CONCLUSIONES.....	36
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Afloramiento de litologías resistentes (calizas y areniscas). Fuente: Aroe (2011)..	8
Ilustración 2: Pastizal afectado por reptación y solifluxión. Fuente: Aroe (2011).	9
Ilustración 3: Roca desnuda y pastizal en zona de cumbres. Fuente: Aroe (2011).....	10
Ilustración 4: Roca desnuda y depósitos superficiales tipo manto de derrubios. Fuente: Aroe (2011).	11
Ilustración 5: Tipos de movimientos de ladera. Fuente: Vallejo (2002).	12
Ilustración 6: Colada de tierra. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.	14
Ilustración 7: Flujo de derrubios. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.....	14
Ilustración 8: Esquema de reptación superficial o creep. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.	15
Figura 9: Reptación y solifluxión asociadas a los fuertes desniveles del área de estudio. Fuente: Aroe (2011).....	15
Ilustración 10: Esquema de desprendimientos. Fuente: Copons (2007).	16
Ilustración 11: Esquema de vuelcos. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.	16
Ilustración 12: Esquema de expansión lateral. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.....	17
Ilustración 13: Al fondo, sackung (implicando deslizamientos, desprendimientos rocosos, vuelcos y desplazamientos por expansión lateral). En primer plano, movimientos en masa lentos reptacionales y solifluidales. Fuente: Aroe (2011).....	17
Ilustración 14: Esquema de uso de SIG para el análisis multivariable.	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gradientes de pendiente. Fuente: FAO.....	21
Tabla 2: Estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio. Fuente: Chueca (2002).	23

ÍNDICE DE MODELOS CARTOGRÁFICOS

Modelo cartográfico 1: Modelo cartográfico de la pendiente.....	21
Modelo cartográfico 2: Modelo cartográfico de la reclasificación de la pendiente.	22
Modelo cartográfico 3: Modelo cartográfico de la orientación.....	22
Modelo cartográfico 4: Modelo cartográfico de la reclasificación de la orientación.	22
Modelo cartográfico 5: Modelo cartográfico de usos del suelo.	24
Modelo cartográfico 6: Transformación de usos del suelo en formato vectorial a ráster.	25
Modelo cartográfico 7: Modelo cartográfico de la litología.	25
Modelo cartográfico 8: Modelo cartográfico para convertir vectorial a ráster.....	26
Modelo cartográfico 9: Modelo cartográfico de la extrapolación de precipitaciones.	24
Modelo cartográfico 10: Modelo cartográfico para el tratamiento de la red hidrográfica.....	27
Modelo cartográfico 11: Modelo cartográfico del mapa final de susceptibilidad.....	28

ÍNDICE DE CARTOGRAFÍAS

Cartografía 1: Mapa de localización de la zona de estudio.....	7
Cartografía 2: Mapa de pendientes y riesgo – pendiente.....	29
Cartografía 3: Orientación y riesgo – orientación.....	30
Cartografía 4: Precipitación y riesgo – precipitación.	31
Cartografía 5: Usos del suelo y riesgo – usos.....	32
Cartografía 6: Red hidrográfica y riesgo - red hidrográfica.....	33
Cartografía 7: Litología y riesgo – litología.....	34
Cartografía 8: Susceptibilidad a movimientos de ladera superficiales.	35

1. INTRODUCCIÓN

Este informe surge de la culminación de un estudio orientado a conocer la susceptibilidad a los movimientos de ladera superficiales en la cuenca del Barranco del Ubago (Alta Ribagorza, Pirineo aragonés). La zona de análisis, de la que se hablará de forma detallada en capítulos siguientes, se encuentra en la comarca de la Ribagorza, al noreste de Aragón.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El interés del estudio de este fenómeno natural deriva del potencial peligro que suponen sus efectos para determinados usos del suelo ya que, una mala gestión del territorio, puede conllevar cantidades elevadas de pérdidas económicas.

Dichos costes se clasifican en directos, cuando los daños que se producen lo hacen en el momento del movimiento en masa, como puede ser el deterioro de una carretera. O, por el contrario, se clasifican como indirectos a los costes producidos indirectamente por los daños directos, es decir, que el deterioro de la carretera (directo) suponga el corte de la misma y se paralice el transporte, suponiendo costes para dichas empresas (Azañón et al., 2011).

Los daños indirectos a menudo son los que más repercusiones negativas tienen. Dentro de este de este grupo existe gran variedad de efectos como la pérdida de productividad agrícola, descensos en sectores como el transporte o el turismo por el deterioro de accesos, represamientos por acumulación de materiales, inundaciones, colmatación de embalses, pérdida de calidad paisajística, daños sobre personas y sus bienes...

Por estos motivos mencionados, y otros que se podrían citar, queda en resalte la importancia de este tipo de estudios para que se pueda llevar a cabo una buena práctica en la ordenación territorial. No se debe olvidar que una correcta distribución de los usos del suelo puede eliminar o mitigar determinados desastres naturales.

Para el análisis de la susceptibilidad se van a utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta o metodología idónea para resolver este tipo de problemas multicriterio. Un SIG es *“un conjunto de componentes que nos van a permitir capturar, almacenar, administrar, analizar, modelar y representar de forma gráfica la información geográfica para la resolución de problemas de planificación y gestión”* (Escolano, S., 2014).

1.2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo consiste en obtener una cartografía que recoja, para el área de estudio, una zonificación establecida en función del grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera superficiales.

Para la resolución del problema planteado se va a dividir el objetivo anterior en otros objetivos parciales o secundarios, con el fin de estructurar o administrar mejor el trabajo a realizar. Los objetivos parciales o secundarios son los siguientes:

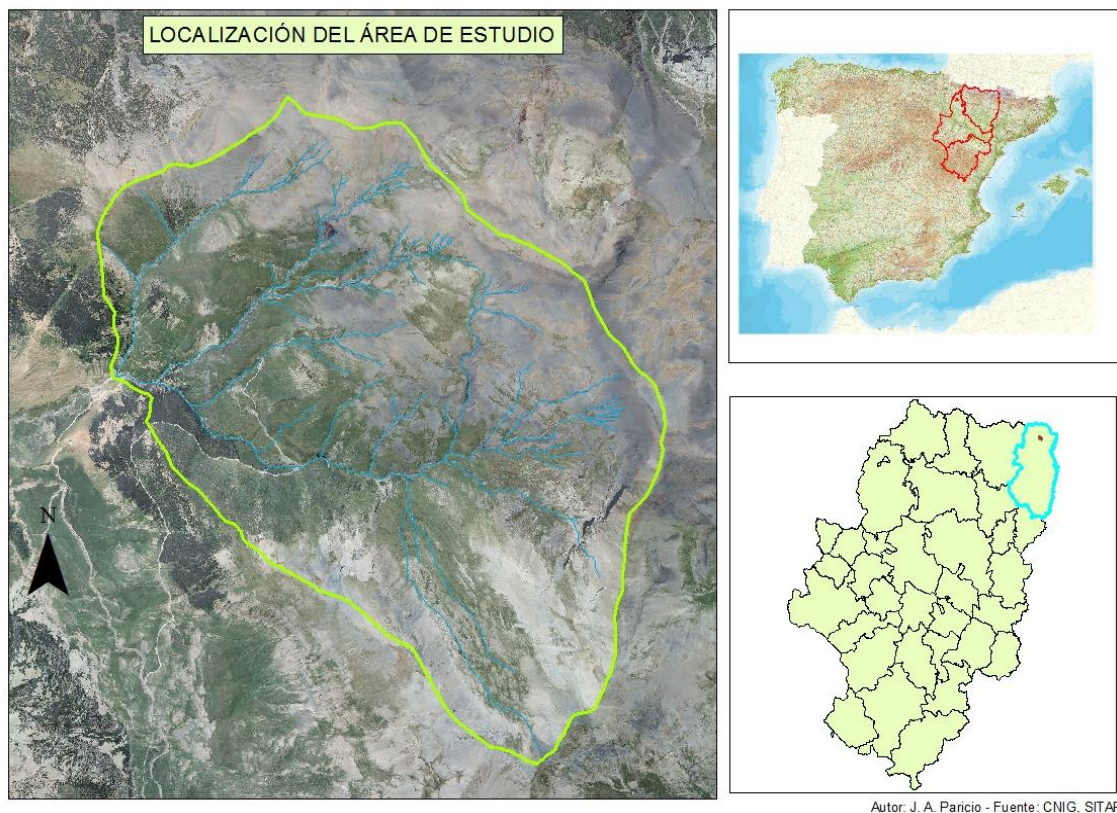
- Caracterizar los diferentes tipos de movimientos de ladera, así como los procesos que los desencadenan.
- Seleccionar y analizar mediante SIG los factores que determinan o afectan los movimientos de ladera en la zona de estudio.
- Comparar los resultados obtenidos con cartografías preexistentes y fotografías aéreas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

En el siguiente apartado, se va a llevar a cabo el encuadre geográfico de la zona de estudio. De este modo, se hará un breve repaso de su localización, aspectos del relieve, clima, la red hidrográfica y la vegetación.

2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada al NE de la Comunidad Autónoma de Aragón, dentro de la Comarca de la Ribagorza. La zona en cuestión, a la que denominaremos Cabecera del Ubago, consta de 9´7 km² y queda comprendida dentro de la Hoja topográfica 180-Benasque (Fig. 1). Los accesos a la Cabecera del Ubago son, por tratarse de una zona de alta montaña, inexistentes por carretera. Únicamente puede accederse por una pista forestal a la parte más baja de la cuenca.



Cartografía 1: Mapa de localización de la zona de estudio.

3.3 RELIEVE

El área analizada en este trabajo se localiza en la Alta Ribagorza. Es aquí donde se engloban algunas de las cumbres más emblemáticas y singulares del Pirineo, destacando la localización próxima del Aneto con 3.404 m que cuenta con la cota más elevada de esta cadena montañosa. En la cuenca del Ubago no se alcanza esa cota pero caben destacar algunos picos como la Tuca Royero con 2501m, el Pico de Estibafreda con 2691 m, la Tuca de Roques Trencades con 2755 m, la Tuca de Pasolobino con 2783 m, y el más importante, el Pico de Castanesa con 2858 m.

Desde el punto de vista geológico, la Alta Ribagorza presenta gran complejidad litológica y tectónica. Refiriéndonos más concretamente a la cuenca del Ubago, decir que se encuentra dentro del Pirineo Axial, donde se pueden encontrar intrusiones graníticas (Cerler), rocas de edad silúrica (Sierra Negra) y series metamórficas conservadas en los sedimentos paleozóicos (Castanesa) (Julián y Chueca, 2002).



Ilustración 1: Afloramiento de litologías resistentes (calizas y areniscas). Fuente: Aroe (2011).

Por último, apuntar que la tectónica de la Alta Ribagorza es notablemente compleja ya que, a la propia variedad de las estructuras hercinianas se superponen las alteraciones provocadas por las intrusiones graníticas y la acción de la tectónica alpina. En definitiva, en la Cuenca del Ubago nos encontramos con relieves enérgicos y fuertes desniveles.

2.3 CLIMA

La Alta Ribagorza, donde se localiza el área de estudio, alberga características climáticas singulares que se ven fuertemente condicionadas por la existencia de relieves abruptos y de gran contraste, dando lugar a un notable gradiente altitudinal, obteniendo cifras para la precipitación de 1.040 mm a 1.000 m de altura, hasta los 2.675 mm en torno a los 3.000 m (Chueca y Julián, 2002). La cuenca del Ubago se localiza en un espacio de transición entre el clima de influencia atlántica y el clima mediterráneo en su variante continental. Por esta razón, los picos pluviométricos se localizan en las estaciones intermedias de primavera y otoño, diferenciándose de los valles occidentales de Navarra y Aragón, que encuentran sus máximos de precipitación a finales del otoño e invierno.

Las temperaturas, siguiendo el mismo patrón que las precipitaciones, encuentran en la altitud y la orientación los factores condicionantes principales y, como consecuencia de lo anterior, se pueden encontrar contrastes muy marcados entre solanas y umbrías. El marcado contraste altitudinal determina una notable variabilidad térmica, con un gradiente térmico cercano a los $-0.48^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (Chueca y Julián, 2002).



Ilustración 2: Pastizal afectado por reptación y solifluxión. Fuente: Aroe (2011).

2.1 HIDROLOGÍA

La red hidrográfica de la Cuenca del Ubago responde a una morfología dendrítica, por su estructura ramificada. Dicha cuenca se vertebra con un cauce principal, el del Ubago, y una serie de ramificaciones que forman sus afluentes en ambos lados del curso.

El régimen fluvial, al encontrarnos en una zona con abundantes precipitaciones en forma de nieve, va a estar directamente condicionado por las variables que controlan la caída de nieve y el deshielo, así como por el comportamiento hidrogeológico de los materiales de superficie (Jiménez, 2005). Estas características hidrológicas, junto con las topográficas, litológicas y edáficas, determinan la vulnerabilidad frente a la erosión (CHSE, 1995).

2.4 VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

La Cuenca del Ubago está incluida dentro de la región Eurosiberiana, provincia Pirenaica, subprovincia Pirenaica central, sector Altopirenaico (Rivas Martínez y Loidi, 1999). En ella, se pueden diferenciar dos pisos de vegetación o bioclimáticos.

El piso alpino, que constituye el límite de la vegetación forestal ya que, por encima de los 2.200 – 2.300 m de altitud, las temperaturas son tan bajas y el periodo vegetativo tan corto que se hace imposible el desarrollo de especies arbóreas. En cuanto a la precipitación, decir que es muy abundante y en forma de nieve durante los meses de otoño e invierno, por lo que en este piso únicamente encontraremos plantas de porte arbustivo y pastos.



Ilustración 3: Roca desnuda y pastizal en zona de cumbres. Fuente: Aroe (2011).

Por debajo de este piso se encuentra el subalpino, caracterizado por unas condiciones climáticas algo más favorables que el anterior, por contar con temperaturas medias

anuales por encima de los 0°C. El periodo de heladas sigue siendo amplio, pero el vegetativo se alarga hasta superar los 4 meses, permitiendo la aparición de especies de porte arbustivo y arbóreo.

En la parte superior de la cuenca se localizan suelos metamórficos básicos y de pH ácido que, unidos a los factores del relieve y climáticos, dificultan todavía más el asentamiento de especies vegetales.

Como se ha indicado anteriormente, el relieve es extraordinariamente abrupto, siendo dominantes las pendientes por encima del 40%. Únicamente en los fondos de valle las pendientes se suavizan. Por este motivo, existe un balance morfogenético positivo que conlleva una fuerte erosión, dificultando enormemente la génesis de suelos por el predominio de la inestabilidad (Ibarra y Pérez, 2002).

3. MOVIMIENTOS DE LADERA: CARACTERIZACIÓN, TIPOS Y FACTORES DESENCADENANTES

En este apartado se va a llevar a cabo una aproximación a lo relacionado con los movimientos de ladera. En primer lugar, y antes de comenzar a definir qué es un movimiento de ladera, se debe apuntar que dichos movimientos tienen una naturaleza muy compleja y en ocasiones su clasificación resulta difícil. Un movimiento de ladera, *slope movement* o *landslide* (Varnes, 1978), consiste en el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente, quedando excluidos la subsidencia, el hundimiento kárstico y la erosión (Jiménez, 2005).

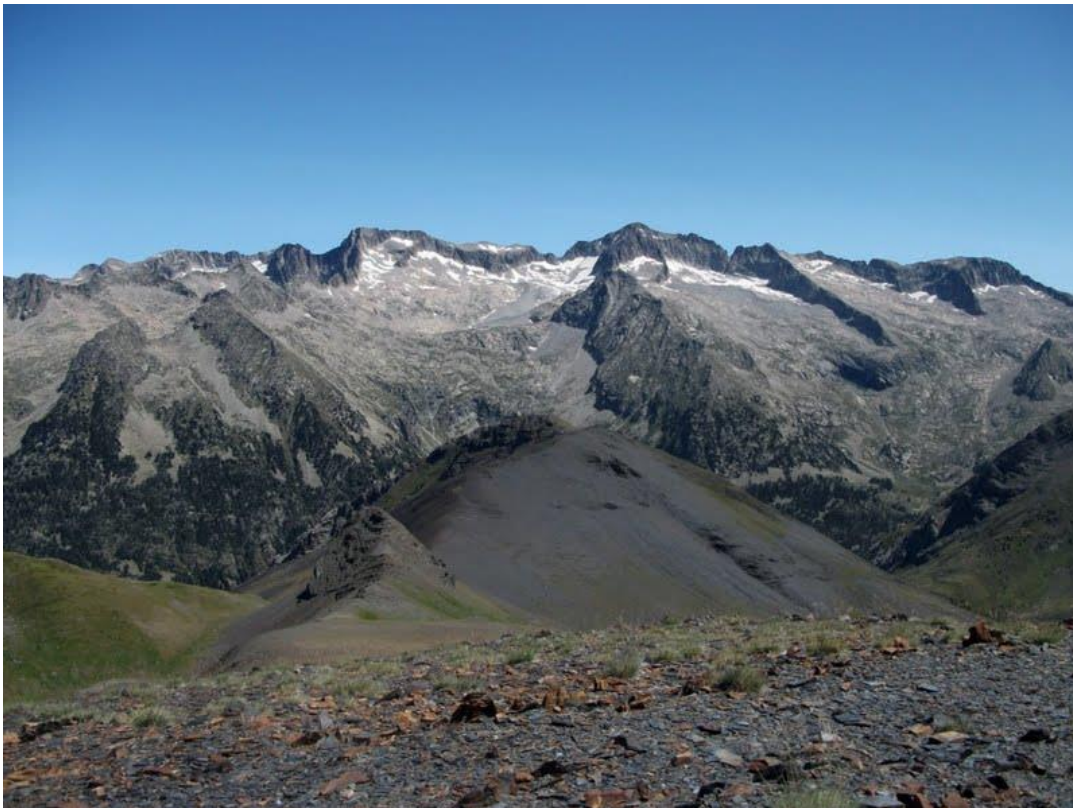


Ilustración 4: Roca desnuda y depósitos superficiales tipo manto de derrubios. Fuente: Aroe (2011).

Otra definición muy próxima a la anterior apunta que los movimientos de ladera son partes de las laderas que se desplazan vertiente abajo por el efecto de la gravedad. Los materiales inestabilizados pueden ser tanto roca como suelo y el mecanismo de desplazamiento muy diferente, desde la caída libre a través del aire hasta el desplazamiento lento de toda una montaña (Varnes 1978; Cruden y Varnes, 1996).

3.1 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA

Una vez establecida la definición, se va a hacer un repaso por los diferentes tipos de movimientos de ladera que pueden darse. Su caracterización dependerá de los criterios que hemos aceptado en la definición, en este caso, también se incluyen los movimientos de caída libre a través del aire. El término *slope movement*, incluye este tipo de movimientos porque hace referencia a las pendientes, y este tipo de movimientos se dan en pendientes máximas, en escarpes.

La clasificación de Varnes (1978) es una de las más utilizadas por ser una de las más completas. Dicha clasificación se basa en las características geomorfológicas del movimiento de ladera en cuestión. Por este motivo, y siguiendo la Figura 6, nos vamos a ceñir a la siguiente clasificación:

Desprendimientos rotacionales			
Deslizamientos traslacionales			
Flujos			
Desprendimientos			
Vuelcos			
Avalanchas			
Desplazamientos laterales			

Ilustración 5: Tipos de movimientos de ladera. Fuente: Vallejo (2002).

a) Deslizamientos (*slide*)

Se caracterizan porque en este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce a partir de una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa desplazada lo hace en conjunto, comportándose como una unidad o bloque, sin haber deformación interna a lo largo del desplazamiento.

Como se aprecia en la Fig. 6, existen dos tipos de desplazamientos en función de la geometría de la superficie de ruptura:

1. Rotacionales. Caracterizados por una superficie de ruptura cóncava o curva. Este tipo de deslizamientos se dan en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados.
2. Traslacional o planar. Deslizamientos que se producen sobre una superficie de ruptura no cóncava o rectilínea. Suelen producirse, al contrario que los rotacionales, sobre materiales heterogéneos.
3. Compuestos. Como su nombre indica, los movimientos de ladera que tienen una superficie de rotura con una geometría mixta.

b) Flujos (*Flow*)

Este tipo de desplazamientos se caracterizan por producirse gracias a movimientos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa de mayor tamaño. La masa desplazada presenta un movimiento continuo, adoptando la morfología de la ladera por la que discurre. Dentro de los flujos se engloban diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Varnes, 1978). La modelización de este tipo de movimientos (particularmente los flujos más superficiales) a partir del análisis multicriterio en SIG es la más sencilla de realizar, y en la que se ha centrado nuestro trabajo.

Las diferencias entre flujos vienen dadas por el material implicado, el contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (flujo de tipo reptación o soliflucción) a súbita (flujos de rocas). Los flujos más comunes son:

1. Las coladas (*earthflows*). Tienen lugar en materiales finos como limos y arcillas, generados en pendientes de inclinación moderada (entre 20 y 50 grados). La velocidad que experimentan es rápida, pudiendo oscilar entre los metros/día hasta km/hora. Las dimensiones de estos flujos son tan variables como las velocidades.

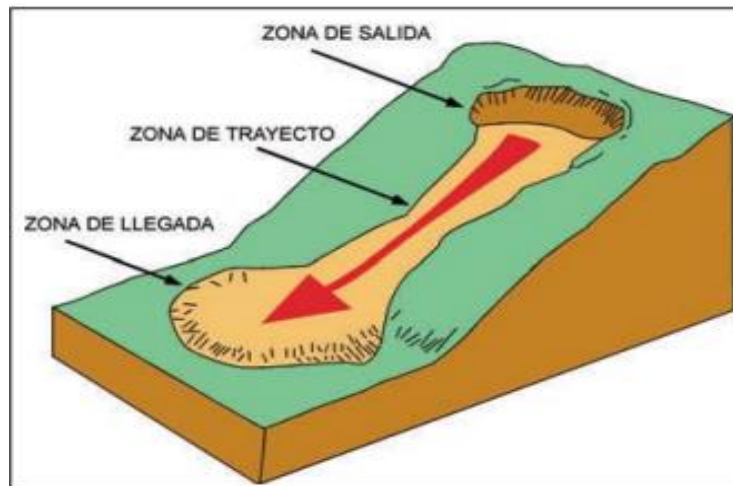


Ilustración 6: Colada de tierra. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.

2. Los flujos de derrubios (*debris flow*). Habitualmente se presentan en forma de flujo “turbulento” formado por material fangoso y bloques rocosos. Se suelen dar como consecuencia de lluvias torrenciales. Este tipo de movimientos de ladera tienen lugar en laderas con material poco consolidado y donde el agua actúa como inductor del proceso.



Ilustración 7: Flujo de derrubios. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.

3. La reptación superficial (*slow earthflow o creep*). Este proceso tiene lugar cuando la parte más superficial del terreno se desplaza a velocidades muy lentas a lo largo de una pendiente. Es un fenómeno bastante habitual, y en ocasiones puede identificarse fácilmente por la inclinación de los elementos verticales existentes en la ladera, por ejemplo, los árboles.

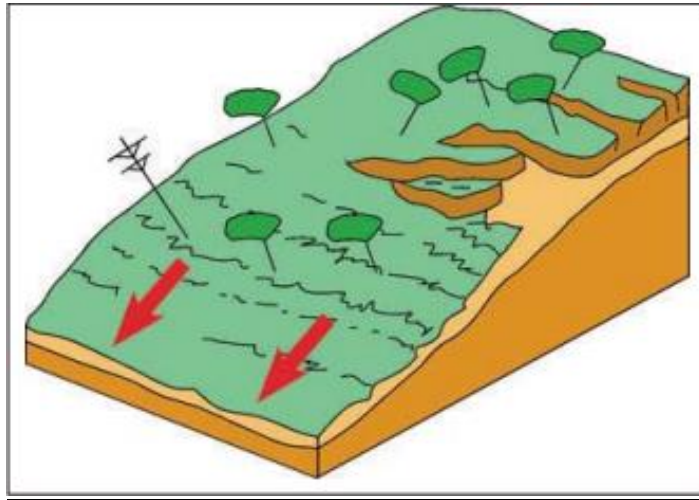


Ilustración 8: Esquema de reptación superficial o creep. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.



Figura 9: Reptación y solifluxión asociadas a los fuertes desniveles del área de estudio. Fuente: Aroe (2011).

c) Desprendimientos (*Rockfall*)

Llamamos desprendimientos a los fenómenos donde se produce un rápido movimiento de una masa rocosa o material masivo de cualquier tamaño, en escarpes o laderas de gran pendiente (próxima a 90°).

Como se ha comentado, el volumen es muy variable, desde la caída de bloques de pocos metros cúbicos, hasta caídas de grandes partes de una montaña (casos excepcionales) (Copons, 2007).

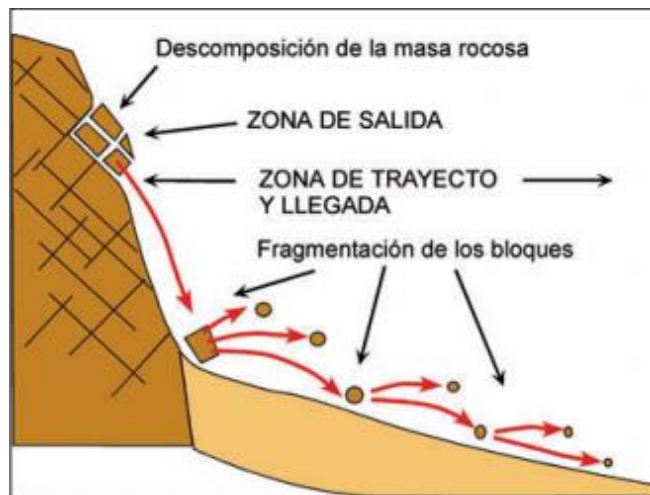


Ilustración 10: Esquema de desprendimientos. Fuente: Copons (2007).

d) Vuelcos (*Topple*)

Consisten en columnas rocosas o de tierra que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera. Se producen en escarpes donde existen fracturas verticales, que son las causantes de la individualización de dichas columnas. La velocidad de este fenómeno es lenta en sus inicios, pero suelen acelerarse rápidamente hasta el momento de producirse el vuelco.

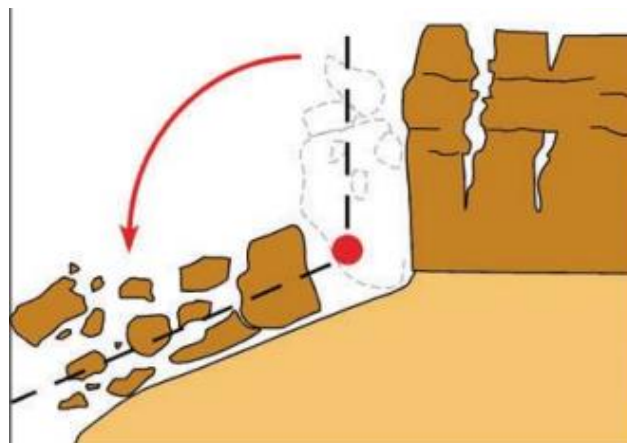


Ilustración 11: Esquema de vuelcos. Fuente: Servicio Geológico de EEUU.

e) Expansión lateral (*Lateral spread*)

La expansión lateral consiste en un desplazamiento lateral de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima. Este fenómeno se produce con más frecuencia en formaciones donde la capa más superficial de dicha formación es dura y, la de debajo, arcillosa.

La extensión de este tipo de movimientos de ladera es grande, abarcando desde centenas hasta kilómetros de anchura.

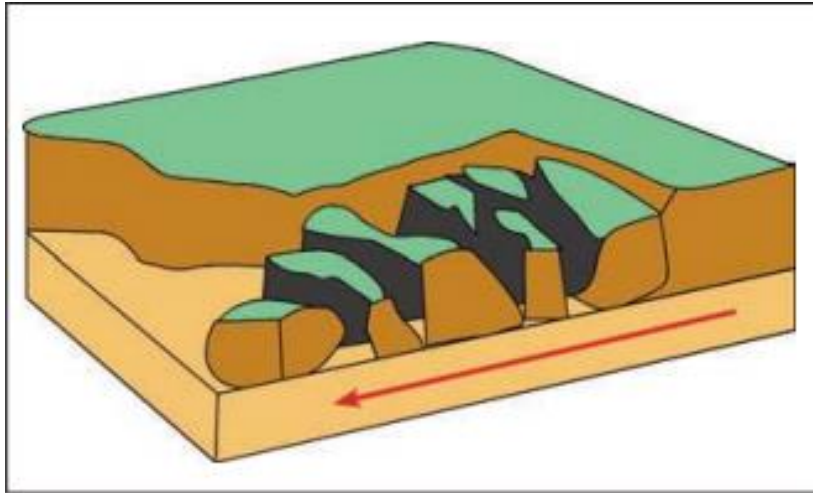


Ilustración 12: Esquema de expansión lateral. Fuente: Servicio Geológico de EEUU



Ilustración 13: Al fondo, sacking (implicando deslizamientos, desprendimientos rocosos, vuelcos y desplazamientos por expansión lateral). En primer plano, movimientos en masa lentos reptacionales y solifluidales. Fuente: Aroe (2011).

3.2 FACTORES DESENCADENANTES DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Para que se produzca un movimiento de ladera, es necesaria la presencia de varios factores condicionantes de la estabilidad de la misma. Estos son muy variados y, dependiendo de la zona de estudio, predominan unos sobre otros.

De este modo, dichos factores pueden clasificarse en tres grupos: en primer lugar existen los factores “intrínsecos” (Copons y Tallada, 2009), que están relacionados con las características geológicas y la pendiente de la ladera. En relación a este tipo de factores, apuntar que habrá litologías que tiendan más a la inestabilidad y que, a mayor pendiente, mayor riesgo o vulnerabilidad a un movimiento de ladera.

El siguiente grupo de factores son los factores “externos”, compuestos por la climatología, densidad de vegetación y los usos del suelo por parte del ser humano. Los subfactores de este grupo, condicionan los movimientos de ladera con la misma importancia que los “intrínsecos”.

Por último, se encuentran los factores “desencadenantes”, que son los que desencadenan el movimiento de ladera. Dentro de este grupo, los subfactores más significativos en la Península Ibérica son el agua, los terremotos, los procesos erosivos y las acciones antrópicas (Copons y Tallada, 2009).

La saturación del substrato geológico por agua es la causa desencadenante principal y más común. La idea anterior puede argumentarse apuntando que normalmente, inundaciones y movimientos de ladera se suelen producir al mismo tiempo, ya que los dos se manifiestan en periodos de lluvia extrema.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se van a presentar de una forma muy breve los diferentes pasos que se han llevado a cabo hasta la culminación de los objetivos. En primer lugar, una vez elegido el título concreto del trabajo, se procede a fijar los objetivos citados en el apartado anterior.

Tras encuadrar y acotar el tema en cuestión, el siguiente paso a seguir es una correcta selección bibliográfica que nos sirva de fuente de información sobre los diferentes tipos de movimientos de ladera y aquellos factores que inciden directa o indirectamente para que se produzcan. Además de esta bibliografía imprescindible sobre los movimientos de ladera, resulta de igual importancia disponer de buenas fuentes informativas sobre la zona de estudio elegida, y así poder aplicar lo consultado sobre dicha zona.

Una vez conocidos los factores condicionantes de los movimientos de ladera, debemos seleccionar aquellos que afecten a nuestra zona de estudio y trabajar con la información de tal forma que los resultados obtenidos tengan sentido. Este apartado de tratamiento de datos merece un discurso metodológico más extenso y, por tanto, en capítulos posteriores se tendrá en cuenta esta cuestión.

Existen varias metodologías posibles para abarcar el estudio de los movimientos de ladera, dependiendo de la escala o el tipo de estudio que quiera realizarse. Principalmente hay dos tipos metodológicos fundamentales (Corominas, 1992; Irigaray-Fernández y Chacón, 2002):

- a) Métodos no deterministas, cuyo objeto es el estudio de la presencia de movimientos de ladera en extensiones amplias del territorio, atendiendo a criterios geológicos y geomorfológicos y modelos basados en el tratamiento estadístico de los parámetros de las laderas. (Ampliable. Pág 3 doc. Metodologías)
- b) Métodos deterministas, cuya finalidad es predecir el comportamiento de las laderas mediante modelos de cálculo de estabilidad. Dichos métodos se basan en leyes físicas y mecánicas universales para hacer predicciones espaciales y temporales. Su ámbito de aplicación queda reducido a superficies de poco tamaño.

Como ya hemos apuntado previamente, la metodología que se va a seguir en este trabajo para determinar la susceptibilidad a movimientos de ladera de la zona de estudio se basa en el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG son herramientas informáticas que procesan y analizan datos con alguna componente espacial; más concretamente, son un conjunto de herramientas diseñado para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales.

Los principales métodos y técnicas utilizados para la zonificación de la susceptibilidad frente a los movimientos de ladera mediante SIG se pueden englobar en: a) métodos basados en el análisis de distribución de los movimientos de ladera, b) en el análisis de actividad, c) en el análisis geomorfológico, d) en el análisis cualitativo, e) en análisis

estadísticos bivariantes o multivariantes, f) en modelos deterministas, y g) métodos basados en modelos de densidad de movimientos.

En este estudio se ha optado por un modelo basado en un análisis estadístico multivariante o multivariable (Fig. 14).

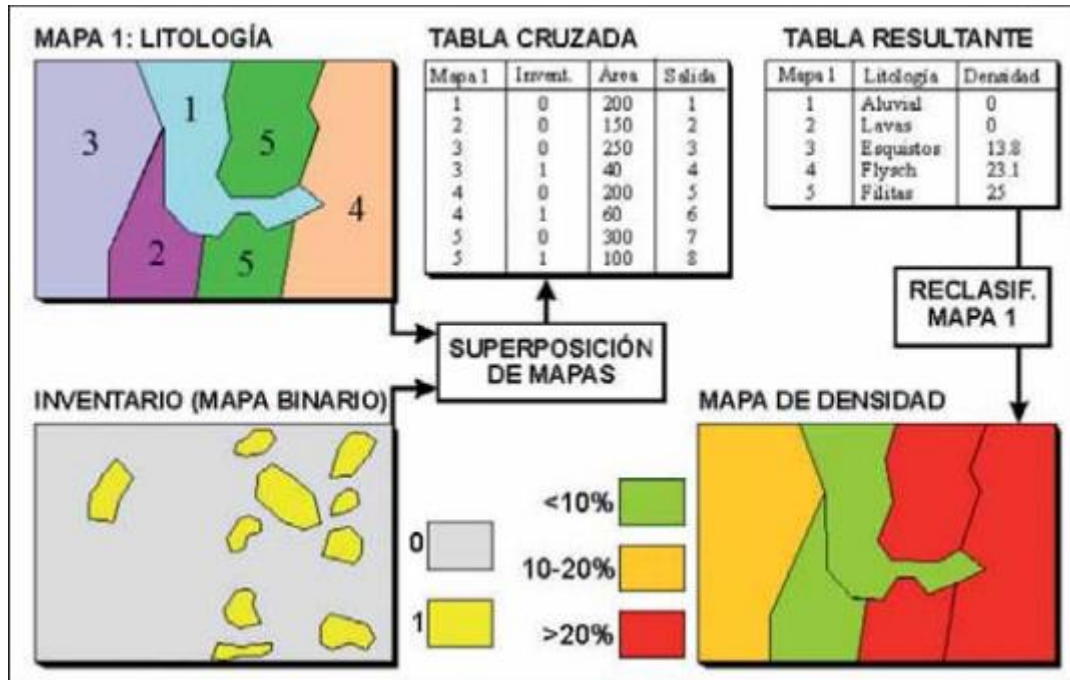


Ilustración 14: Esquema de uso de SIG para el análisis multivariable.

La técnica representada en la Figura anterior se utiliza básicamente para analizar los diferentes factores que determinan los movimientos de ladera proporcionando la contribución relativa de cada uno de ellos a la susceptibilidad total en una determinada unidad del terreno (Carrara 1983; Santacana et al.2003).

Se ha elegido esta metodología porque es idónea para nuestro estudio multivariable. Como hemos visto en líneas anteriores, un movimiento de ladera se produce por la acción conjunta de varios factores, por este motivo, es necesario resolver el problema con una técnica que nos permita analizar de forma sincrónica todos los factores implicados.

En este trabajo se ha utilizado el software ArcGis 10.2.2 de cara a la obtención de mapas intermedios de cada uno de los factores para, posteriormente, unirlos todos en un mapa de susceptibilidad final. En los próximos apartados se detallarán los procedimientos y métodos utilizados para cada variable.

4.1 VARIABLES RELACIONADAS CON EL MDT

Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. En este caso la variable de la que se parte es la altura.

La malla del ráster es de 5x5 metros, para tener la mayor resolución posible en el análisis, ya que la superficie de terreno con la que se trabaja es relativamente pequeña.

Puesto que el MDT es una capa ráster, las funciones a aplicar dentro del software utilizado, se pueden encontrar en *Arctoolbox - Spatial Analyst tools*.

a) Pendiente

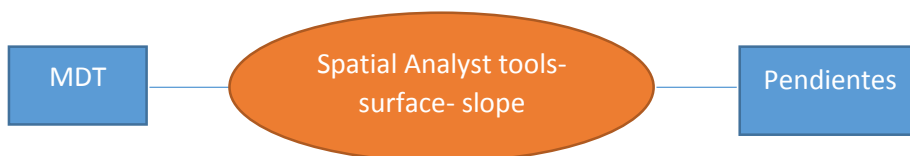
En primer lugar, para determinar las clases de pendientes, se ha consultado la clasificación de las pendientes según la FAO. Una vez realizada la consulta, se optó por utilizar 4 clases: 0 – 10%; 10 – 15%; 15 – 30%; >30%.

Clases de gradiente de la pendiente

Clase	Descripción	%
01	Plano	0–0,2
02	Nivel	0,2–0,5
03	Cercano al nivel	0,5–1,0
04	Muy ligeramente inclinado	1,0–2,0
05	Ligeramente inclinado	2–5
06	Inclinado	5–10
07	Fuertemente inclinado	10–15
08	Moderadamente escarpado	15–30
09	Escarpado	30–60
10	Muy escarpado	> 60

Tabla 1. Gradientes de pendiente. Fuente: FAO.

El modelo cartográfico utilizado para obtener la pendiente es el siguiente:



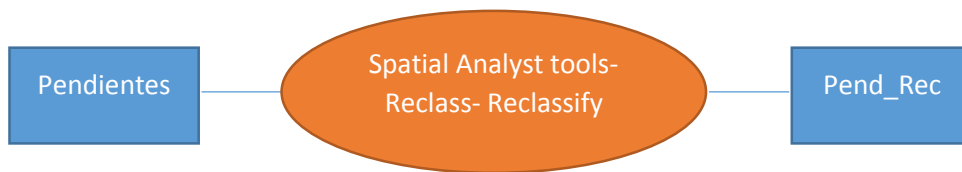
Modelo cartográfico 1: Modelo cartográfico de la pendiente.

Una vez obtenidas las pendientes por defecto, se ha procedido a aplicar la clasificación indicada al principio del apartado, obteniendo un número total de 4 clases.

Una vez concretada la cartografía anterior, se hará una reclasificación de las clases obtenidas, con el fin de hacer comparables los resultados con las demás variables. De este modo, la reclasificación de las pendientes queda de la siguiente forma:

- Pendientes de 0-10%; Reclass=1 (Riesgo muy bajo)
- Pendientes de 10-15%; Reclass= 2(Riesgo bajo)
- Pendientes de 15-30%; Reclass=3 (Riesgo moderado)
- Pendientes >30; Reclass=4 (Riesgo alto)

El modelo cartográfico para obtener el mapa de las pendientes reclasificadas es el siguiente:



Modelo cartográfico 2: Modelo cartográfico de la reclasificación de la pendiente.

b) ORIENTACIÓN

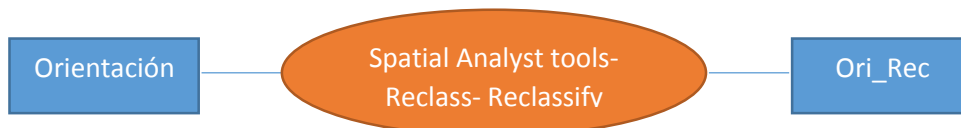
La orientación es un factor que nos permite determinar zonas más o menos húmedas en función de su orientación. El modelo cartográfico para su obtención es el siguiente:



Modelo cartográfico 3: Modelo cartográfico de la orientación.

Como vemos, a partir del MDT, se calcula la orientación del terreno, obteniendo un total de 9 clases. El siguiente paso consiste en reclasificar las 9 clases para reducirlas a 4 y atribuirles un número del 1 al 4 en función del riesgo que puedan suponer para desencadenar un movimiento de ladera.

El modelo cartográfico para reclasificar los resultados de la orientación es:



Modelo cartográfico 4: Modelo cartográfico de la reclasificación de la orientación.

En la reclasificación, se atribuye 4 (riesgo muy alto) a la orientación Norte; 3 (riesgo moderado) a la N-NE y N-NO; 2(riesgo bajo) a O y SO; y 1 (riesgo muy bajo) a la orientación S y SE. El criterio que se ha seguido es atribuir a las zonas con exposición norte o próximos a norte, valores más altos que para las zonas con exposición sur o próxima a sur.

C) Precipitaciones

Otro factor que incide de forma determinante en los movimientos de ladera es el clima, más concretamente las precipitaciones, abundantes al encontrarnos en una zona de alta montaña. Como se ha especificado en otros apartados del trabajo, a mayores niveles de precipitación, mayor riesgo de producirse un movimiento en masa de cualquier tipo.

Para analizar los niveles de precipitación en nuestra área de estudio, en primer lugar ha sido necesario recopilar datos de estaciones próximas a nuestra zona, para posteriormente hacer las correspondientes extrapolaciones. En la siguiente tabla, se muestran la relación de estaciones utilizadas, así como los datos de precipitación media anual, y la altitud para cada estación:

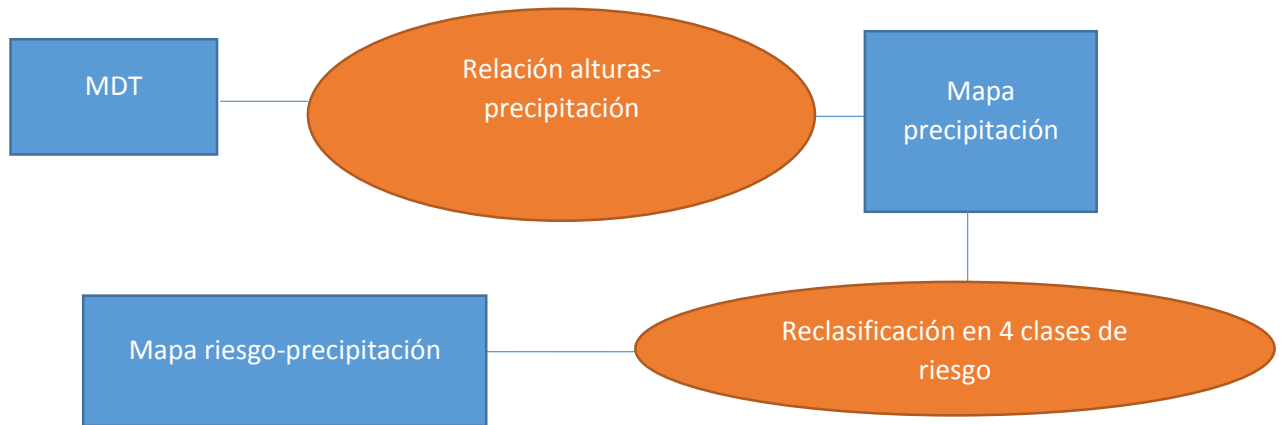
MUNICIPIO	ALTITUD (M)	PP ANUAL (MM)
CERLER	1600	1458
BENASQUE	1130	1309
VILLANOVA	928	1053
SESUÉ	930	1027
ERISTE	1100	1151
BONO	1050	1101
LA RENCLUSA	2140	2034

Tabla 2: Estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio. Fuente: Chueca (2002).

Una vez recopilados los datos necesarios, el siguiente paso consiste en relacionar en el MDT las alturas de la cuenca del Ubago, con las precipitaciones, es decir, calcular la relación altura-precipitación de nuestra área de estudio a partir de las relaciones altura-precipitación de la Tabla 2.

Una vez obtenida la cartografía de precipitaciones en la zona de estudio, el siguiente paso consiste en agrupar dichas precipitaciones en rangos de riesgo. Para ello, se crean 4 clases (una para cada nivel de riesgo).

El modelo cartográfico de lo descrito anteriormente es el siguiente:



Modelo cartográfico 5: Modelo cartográfico de la extrapolación de precipitaciones.

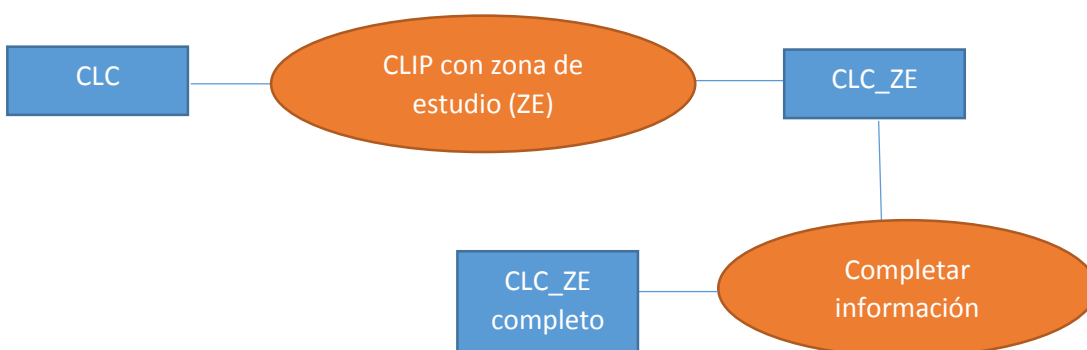
4.2 VARIABLES NO RELACIONADAS CON EL MDT

a) Usos del suelo

Para el estudio de las coberturas vegetales existentes sobre la superficie de nuestra área de estudio, se ha utilizado el *Corine Land Cover* (CLC) del 2006 y la fotointerpretación. Una vez descargado, el siguiente paso será hacer un recorte (clip) del CLC para que coincida con nuestra zona de estudio.

Por último, se edita la capa para crear un campo “coberturas”, donde se escribirá el tipo de coberturas que encontramos en la zona de estudio.

El modelo cartográfico del procedimiento que se ha llevado a cabo para el CLC es el siguiente:



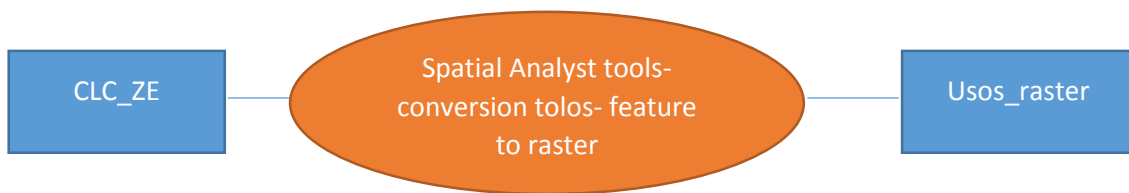
Modelo cartográfico 6: Modelo cartográfico de usos del suelo.

Por último, se crea un campo “riesgo” para calificar de forma cuantitativa los tipos de vegetación de la zona. Así, se califica del 1 a 4, siendo 1 el menor riesgo, y 4 el máximo.

Siguiendo este criterio, la calificación es la siguiente:

- 1 para el bosque de coníferas. Puesto que favorece la infiltración de forma moderada en relación a otras cubiertas vegetales.
- 3 para la roca desnuda. Ya que la roca desnuda favorece la escorrentía, en detrimento de la infiltración.
- 4 para el pastizal. Ya que es la cubierta con más capacidad para favorecer la infiltración.

Tras la asignación de las calificaciones, el siguiente y último paso consiste en transformar el formato vectorial, a uno ráster a través del campo “riesgo”.



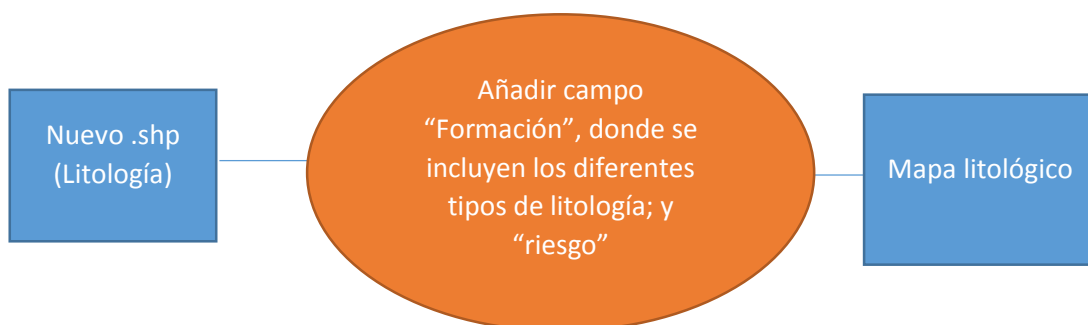
Modelo cartográfico 7: Transformación de usos del suelo en formato vectorial a ráster.

b) Litología

Las diferentes formaciones litológicas influyen de manera muy diversa en los movimientos de ladera, es decir, existen formaciones geológicas más propensas a producirlos y otras menos propensas.

Para abordar el factor litológico, se ha creado una nueva base cartográfica y a continuación se ha trasladado la información del *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 MAGNA* a dicha capa.

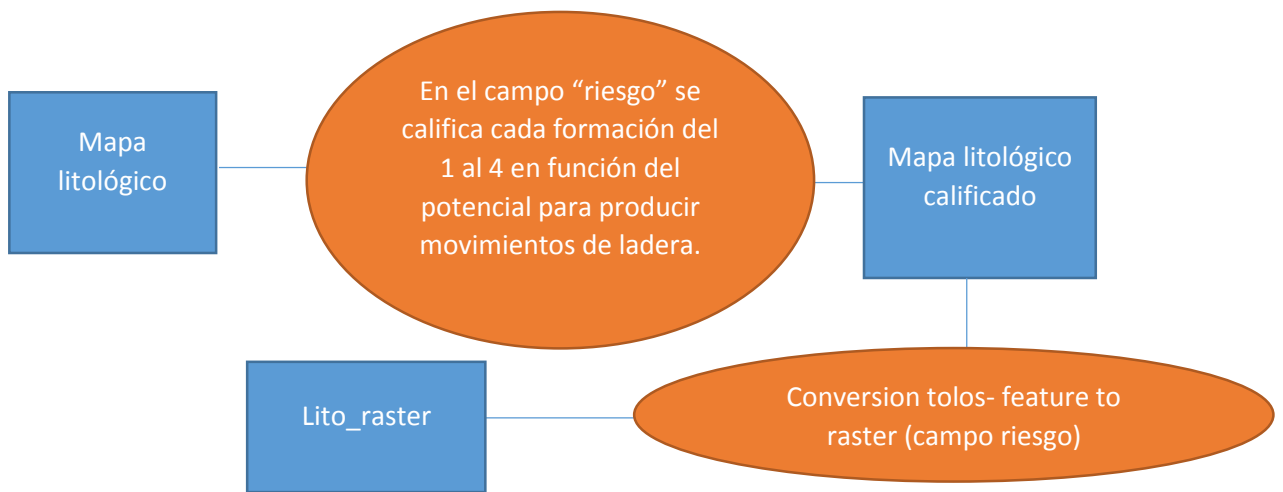
El modelo cartográfico que se ha seguido hasta obtener la cartografía sobre la litología es el siguiente:



Modelo cartográfico 8: Modelo cartográfico de la litología.

Una vez obtenido el mapa litológico, y calificada cada formación en función del riesgo potencial para desencadenar movimientos de ladera, el siguiente paso consistirá en transformar el formato de la información de vectorial a ráster. Así, se conseguirá obtener información comparable con el resto de factores. Para ello, al igual que con el

resto de variables, se les asignan valores del 1 al 4 a las diferentes formaciones litológicas en el campo riesgo, siendo 1 el nivel mínimo de riesgo y 4 el nivel máximo. El modelo cartográfico que se ha utilizado para culminar la reclasificación es el siguiente:



Modelo cartográfico 9: Modelo cartográfico para convertir vectorial a ráster.

c) Red hidrográfica

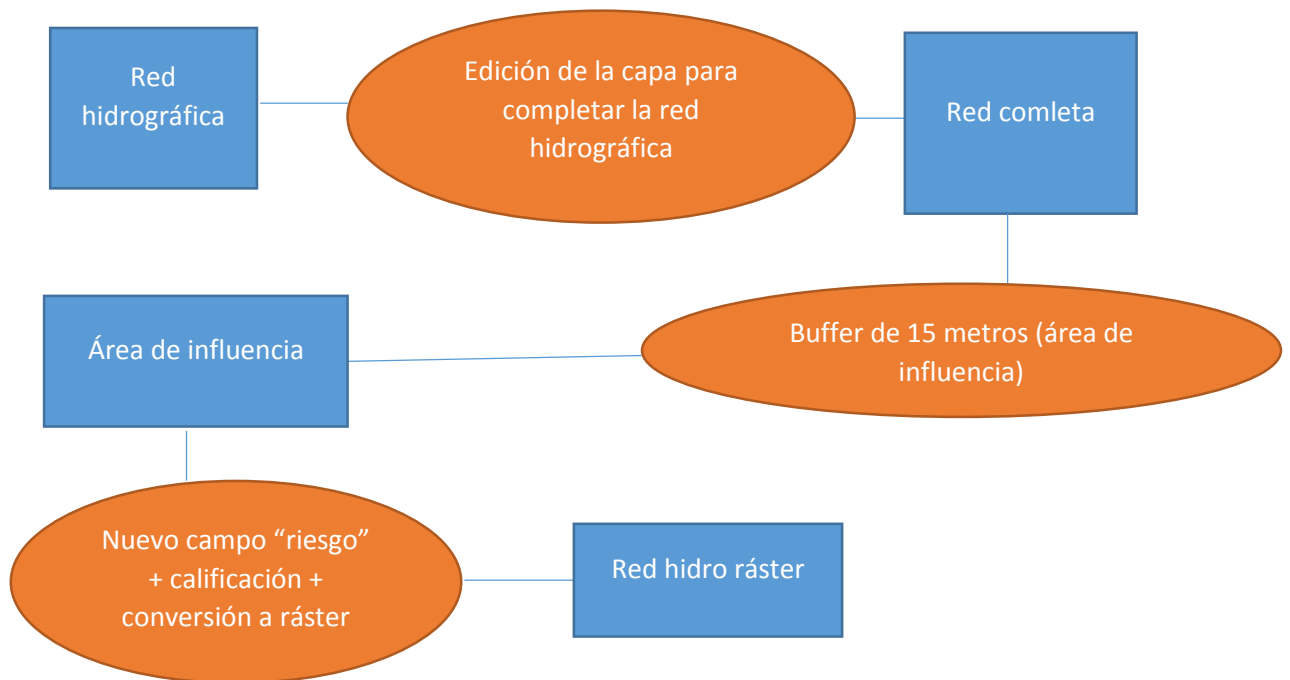
La red hidrográfica es otra variable a tener en cuenta a la hora de trabajar con movimientos de laderas ya que las proximidades a ríos o barrancos son superficies con gran vulnerabilidad y capacidad para movilizarse. En consecuencia, se va a llevar a cabo una modelización de la superficie que puede ser más susceptible a desencadenar estos movimientos.

La primera operación que se lleva a cabo consiste en completar la red hidrográfica. Para ello, se edita la capa contenedora de los ríos. Para hacerlo con la mayor precisión posible, es imprescindible trabajar con las curvas de nivel y un modelo de sombras extraído a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Una vez completada la red hidrográfica de la cuenca de estudio, hallaremos el área de influencia determinada en 15 metros hacia cada lado del cauce. Se ha elegido esta cifra por tratarse de una zona de alta montaña con fuertes pendientes.

Por último, se crea un nuevo campo en la tabla de atributos del área de influencia llamado "riesgo", donde se califica cuantitativamente cada cauce del 1 al 4, siendo 1 el riesgo mínimo y 4 el máximo. Una vez calificada el área de influencia de la red hidrográfica, se transforma el formato de la capa de vectorial a ráster por el campo riesgo, de esta manera, se podrá operar con el resto de variables.

El modelo cartográfico que se ha seguido con la red hidrográfica es el siguiente:



Modelo cartográfico 10: Modelo cartográfico para el tratamiento de la red hidrográfica.

Una vez obtenidos los mapas intermedios de los factores que se pueden ver implicados en un movimiento de ladera, el paso siguiente consiste en realizar su cruce para obtener un mapa final de susceptibilidad. Para ello, al tener todos los resultados en formato ráster, utilizaremos la función “calculadora ráster” para ponderar cada factor en función del grado de influencia que tenga.

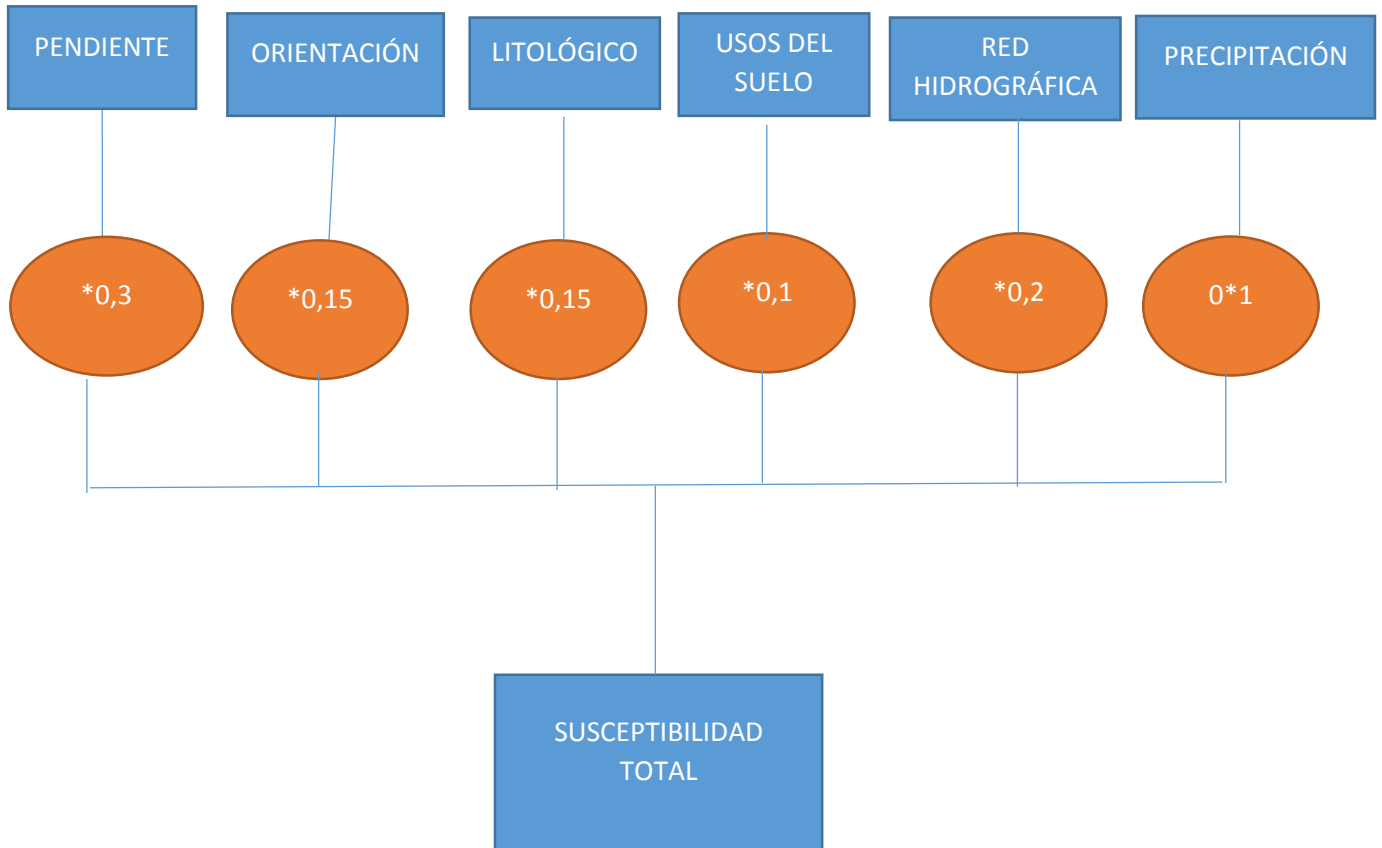
La pendiente es el factor más influyente, debido a que la gravedad es el condicionante más significativo. El área de influencia de la red hidrográfica es el segundo factor con más peso dentro de la ponderación, pues dichas áreas son extremadamente vulnerables a ser movilizadas.

La orientación también juega un papel fundamental, pues al encontrarnos en una zona de alta montaña, la humedad en el suelo ligada a las precipitaciones y el deshielo va a estar más condicionada a esta variable que a la propia altura. La litología obtiene el mismo peso que la orientación por desempeñar un papel fundamental a la hora de favorecer la infiltración o escorrentía, o tener un mayor o menor grado de compactación y plasticidad.

Por último, a la precipitación se le ha dado un peso menor en beneficio de la orientación. Hay que resaltar que las ponderaciones realizadas, aunque lógicas y basadas en la literatura sobre el tema, son aproximaciones iniciales que podrán ser corregidas o

matizadas en el futuro si los datos a recoger sobre el terreno en próximos estudios así lo aconsejan.

El modelo cartográfico es el siguiente:



Modelo cartográfico 11: Modelo cartográfico del mapa final de susceptibilidad.

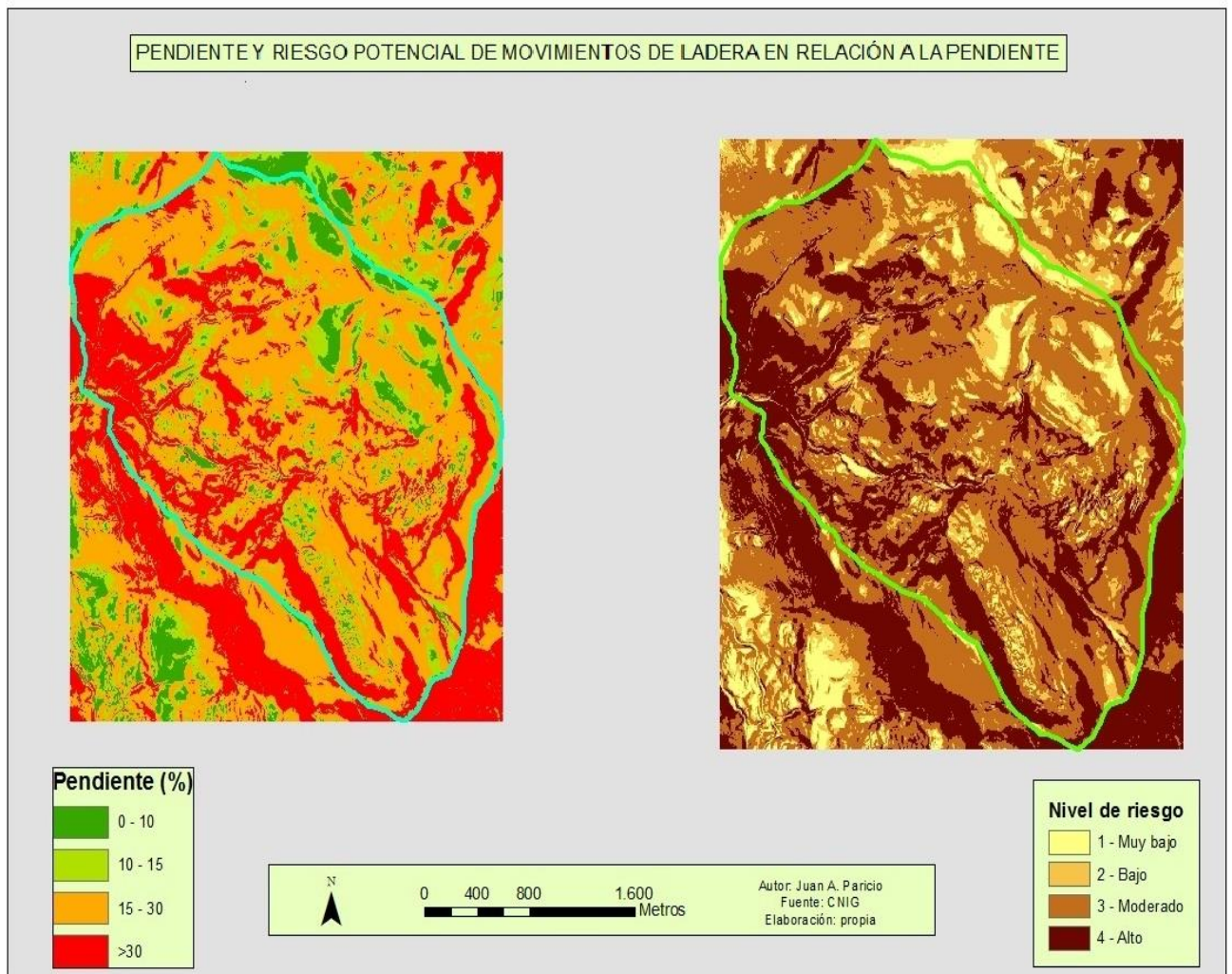
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de cada una de las variables que se han tenido en cuenta para llevar a cabo el análisis de la susceptibilidad a movimientos de ladera en la cuenca del Ubago.

5.1 RESULTADOS DE LOS FACTORES DERIVADOS DEL MDT

El Modelo Digital del Terreno ha sido utilizado para derivar variables como la pendiente, la orientación y las precipitaciones, expuestas a continuación.

a) Pendiente



Cartografía 2: Mapa de pendientes y riesgo – pendiente.

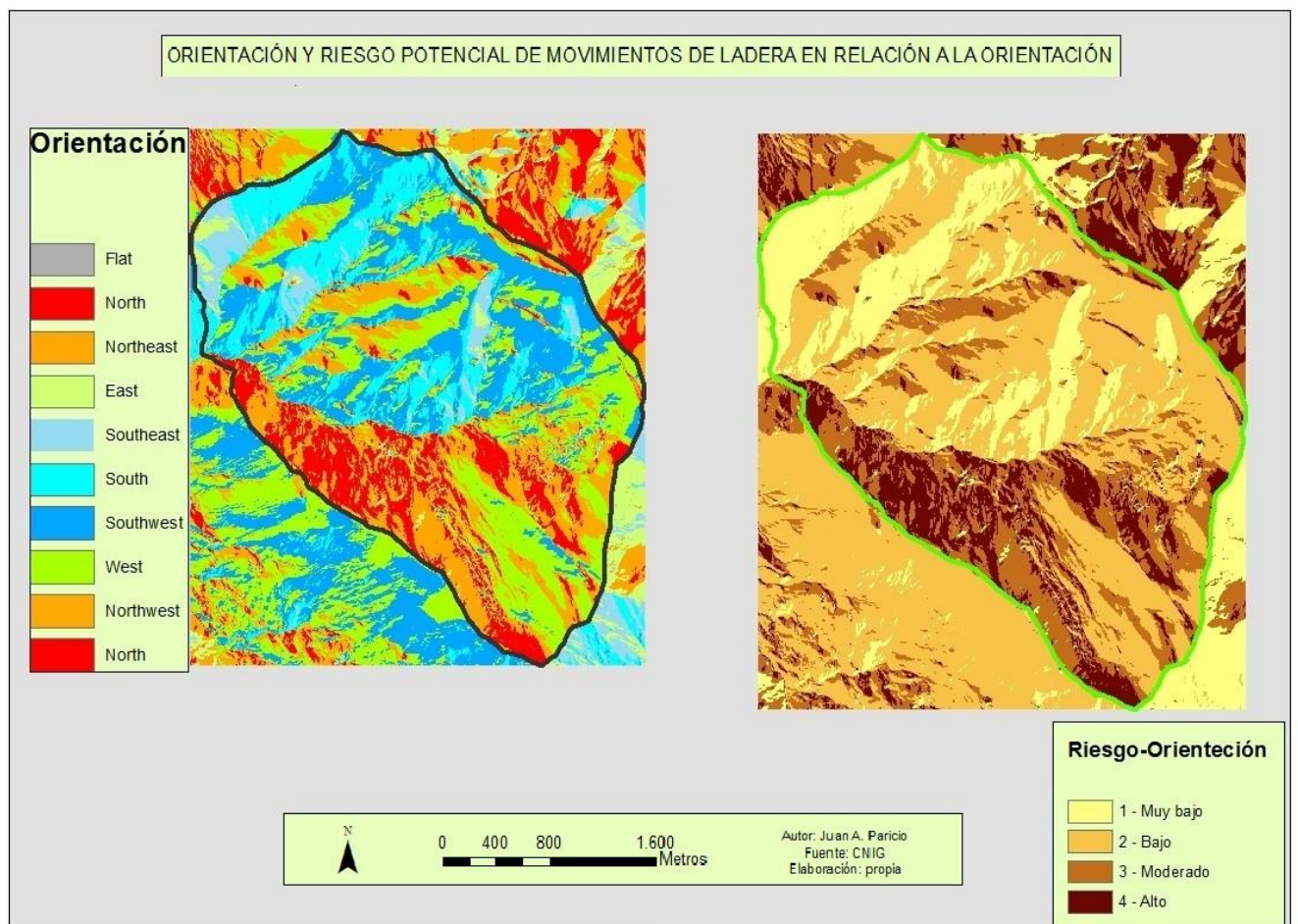
Como se aprecia en el mapa de pendientes, al encontrarnos en una zona de alta montaña de relieves con gran energía, las pendientes más frecuentes se encuentran entre el 15 y el 30%, o lo que es lo mismo, moderadamente escarpadas. El siguiente grupo más frecuente de clases de pendiente son todas aquellas superiores al 30%, donde se engloban los escarpes o próximos a ellos. De este modo, al encontrarnos en

una zona donde los valores de pendiente son tan elevados, se puede intuir que la pendiente va a ser una variable determinante en la cartografía final de susceptibilidad.

Como se expone en la metodología, a partir del mapa de pendientes se extrae el de los niveles de riesgo. Como vemos, se describe el nivel de riesgo a producirse movimientos de ladera en relación a la pendiente que encontramos en el territorio. El riesgo se divide en cuatro clases, desde muy bajo hasta alto y, en nuestra zona de estudio, por el mismo motivo que para la cartografía de pendientes, nos encontramos frecuentemente niveles de riesgo moderados y altos.

Tal como se describe en la metodología, el factor que más peso recibe en la ponderación es la pendiente, pero es preciso añadir que nos encontramos en una zona donde todavía va a influenciar más en el mapa de susceptibilidad final al encontrarnos en una zona con valores altos de riesgo.

b) Orientación



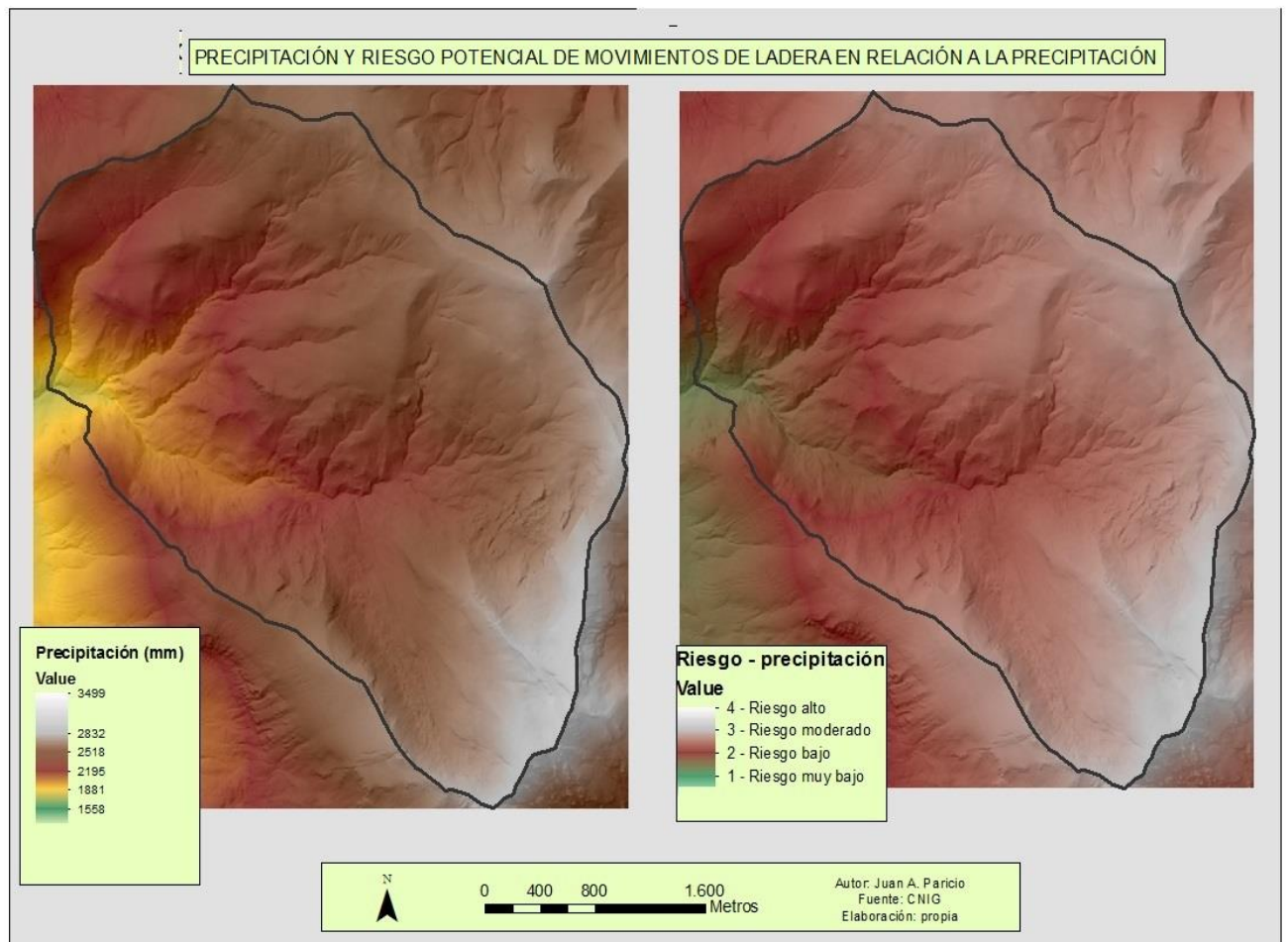
Cartografía 3: Orientación y riesgo – orientación.

La cartografía de orientación del terreno resulta práctica para visualizar las partes de la cuenca donde es previsible que exista mayor concentración de la humedad, que coinciden con las orientaciones de componente norte. Como vemos son minoritarias dentro de la cuenca, por lo que la orientación no va a ser un factor clave a la hora de obtener la susceptibilidad total cruzando todas las variables en la mayoría de la superficie.

En el mapa de riesgo, vemos representados los diferentes niveles de riesgo en función de la orientación para nuestra zona de estudio. Así, los niveles de riesgo mayores coincidirán con las orientaciones norte, por el contrario, los niveles más bajos lo harán coincidiendo con orientaciones sur.

En la cartografía se puede apreciar un nivel de riesgo muy bajo o bajo en la mayor parte de la superficie de la cuenca. Por el contrario, los niveles más altos de riesgo se encuentran en el suroeste de la misma.

c) Precipitaciones



Cartografía 4: Precipitación y riesgo – precipitación.

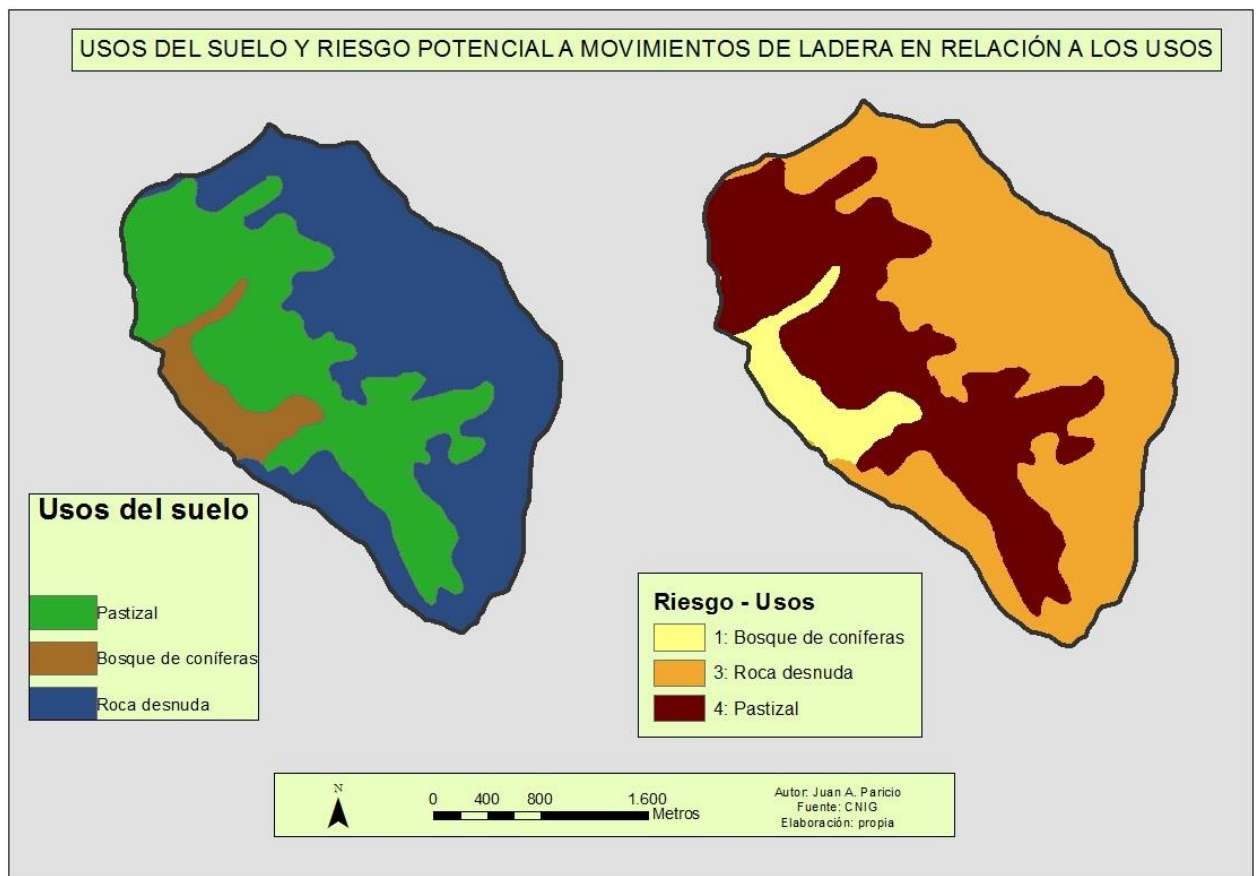
Una vez realizadas las extrapolaciones de precipitación anual a partir de los observatorios, obtenemos los resultados que se muestran en la Figura 18. Como se puede interpretar (siempre con precauciones, al ser valores producto de estimaciones ligadas a extrapolaciones), los valores de precipitación son altos en toda la cuenca, esto se debe a encontrarnos en una zona de alta montaña. A pesar de ello, se pueden distinguir varias zonas con niveles de precipitación diferentes; así, las precipitaciones se van incrementando desde la parte baja de la cuenca hasta la cabecera, donde encontramos valores que superan los 3.000 mm de precipitación anual.

En la cartografía de riesgo – precipitación, se han relacionado los diferentes niveles de precipitación con el riesgo que pueden suponer para desencadenar movimientos de ladera. De este modo, utilizaremos cuatro niveles de riesgo diferentes para la zona de estudio: alto, moderado, bajo y muy bajo.

5.2 RESULTADOS DE FACTORES NO DERIVADOS DEL MDT

En este apartado se expondrán los resultados de las variables no extraídas a partir del Modelo Digital del Terreno, es decir, usos de suelo, red hidrográfica y litología.

a) Usos del suelo

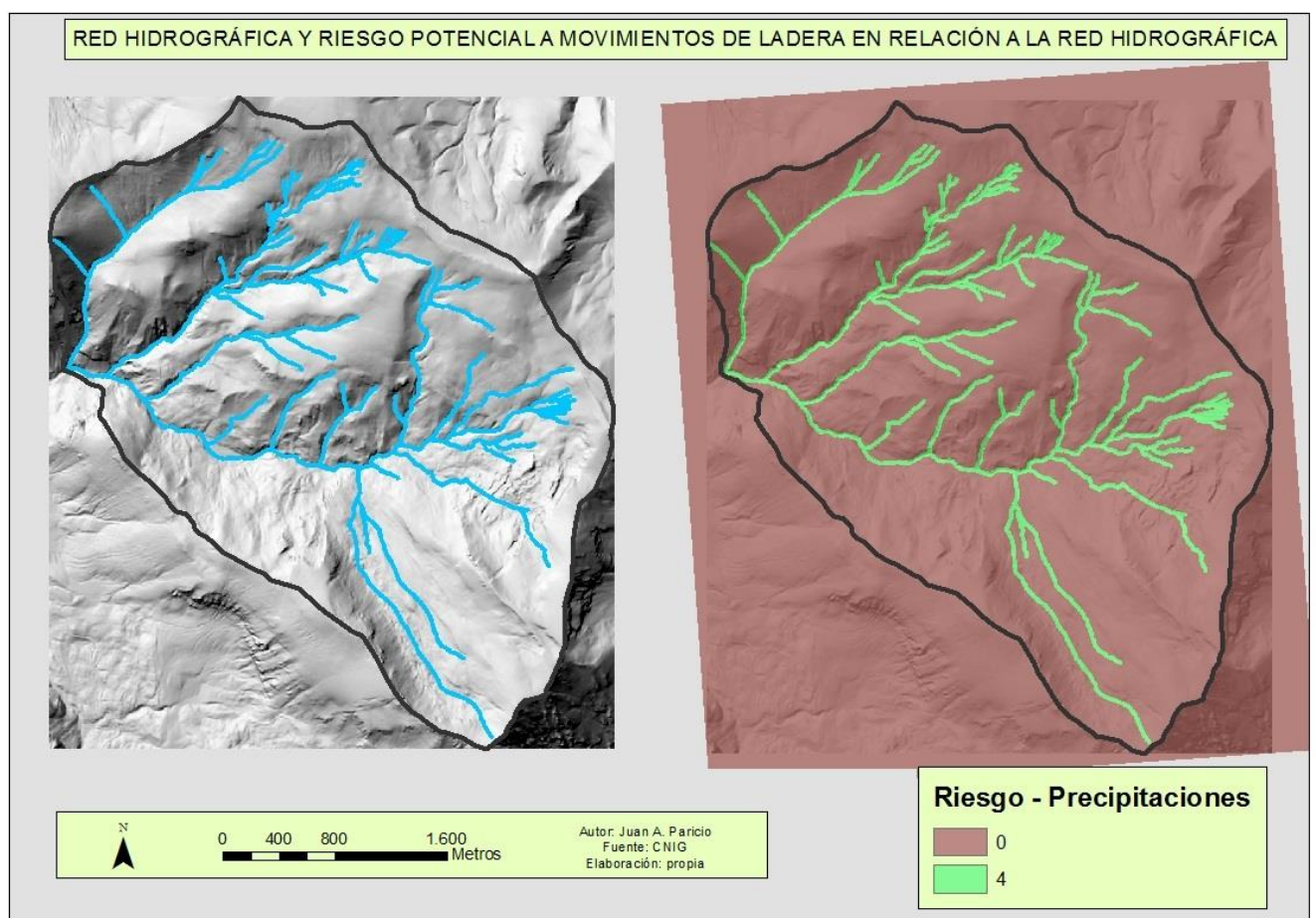


Cartografía 5: Usos del suelo y riesgo – usos.

Como se aprecia en la cartografía, la distribución en los usos del suelo es la típica en zonas de montaña. Así, la cliserie de vegetación que encontramos está compuesta por tres pisos: en la parte más baja de la cuenca se localiza el bosque de coníferas, por encima de esta formación se encuentra el pastizal y, por último, la roca desnuda.

En la cartografía del riesgo en relación a los usos, podemos observar los diferentes niveles de riesgo para cada uso. Como se puede observar, el pastizal es el uso con mayor riesgo por favorecer notoriamente la infiltración y, por tanto, la acumulación de agua. A continuación, estaría la roca desnuda, por su mayor exposición a las precipitaciones, siendo superficies donde se favorece la escorrentía y el arrastre de material. Por último, el uso con menor riesgo es el bosque de coníferas, ya que, aunque se favorezca la infiltración, no se hace en los mismos valores que con el pastizal.

b) Red hidrográfica



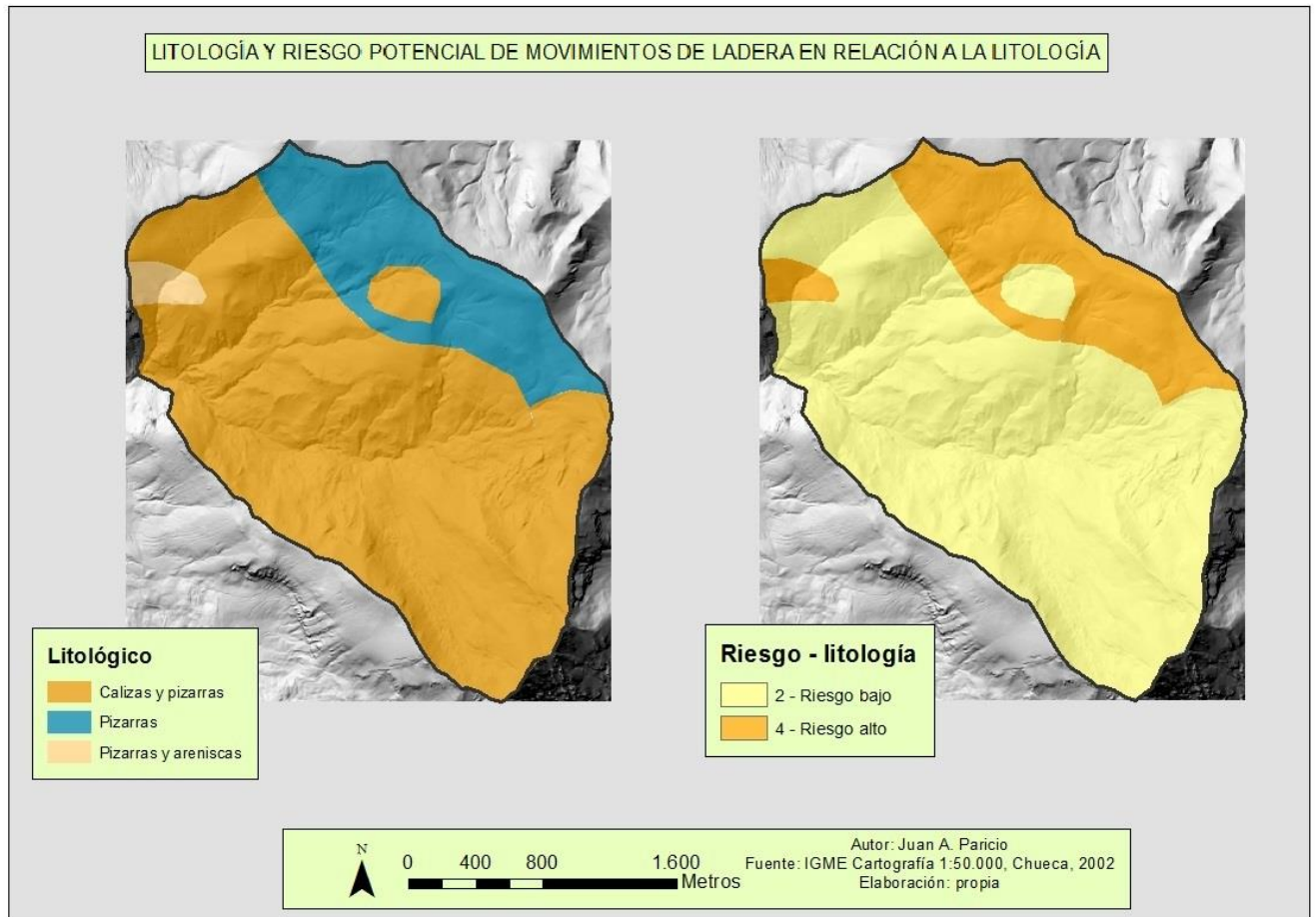
Cartografía 6: Red hidrográfica y riesgo - red hidrográfica.

La cartografía de la izquierda de la Figura 19 es el resultado de completar la red hidrográfica proporcionada por el IGN, y aplicarle un *buffer* de 15 metros. Esos 15 metros representan el área de influencia que potencialmente puede verse afectada por un curso fluvial, es decir, dicha superficie es considerada susceptible o de mayor riesgo para experimentar movimientos de ladera. El tipo de red hidrográfica de la Cuenca del Ubago responde a un patrón dendrítico, dicho patrón está formado por una corriente

principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas las direcciones.

La cartografía de la derecha, representa el nivel de riesgo al que está sometida el área de influencia de los cursos fluviales. Como se puede apreciar, se trata de un mapa binario donde el área de influencia de los cauces es representada como riesgo máximo (4) y el resto como nulo (0), ya que no se ve influenciado por la red hidrográfica y, por tanto, no entrará en el cruce ponderado de capas.

c) Litología



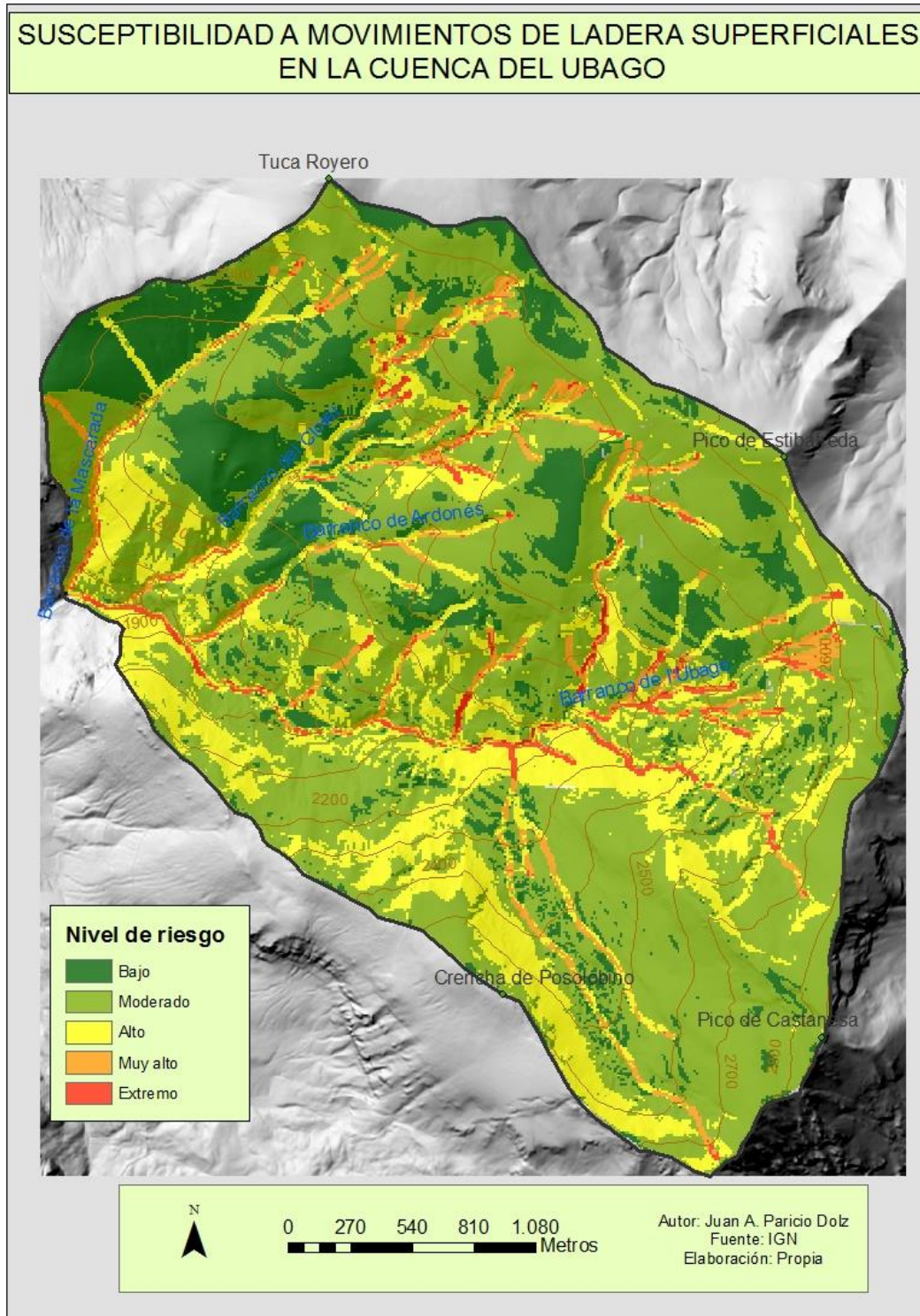
Cartografía 7: Litología y riesgo – litología.

En la cartografía anterior se puede observar la distribución de los diferentes tipos de litología que existen en la zona. Como vemos, se da un predominio claro de sectores con alternancia entre calizas y pizarras. En azul quedan representados los afloramientos masivos de pizarras y, por último, queda representada la alternancia entre pizarras y areniscas, con una distribución marginal en el área de estudio.

En la cartografía de riesgo – litología, se localizan las diferentes zonas con sus respectivos valores de riesgo en función de la litología existente. De este modo, se puede observar que los valores más significativos de riesgo se encuentran en la zona norte de la cuenca, coincidiendo con las pizarras. Esto es debido a que las pizarras son rocas caracterizadas por descomponerse en láminas y generar tras su meteorización abundantes minerales

arcillosos; por tanto, favorecen determinados movimientos de ladera ligados a una elevada plasticidad. Por otro lado, vemos como aquellas zonas que coinciden con la alternancia entre calizas y pizarras, obtienen niveles bajos (2) de riesgo, porque en este caso, además de haber pizarras, también hay series calizas intercaladas que mitigan el nivel de riesgo.

5.3 CARTOGRAFÍA FINAL DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE LADERA



Cartografía 8: Susceptibilidad a movimientos de ladera superficiales.

En este apartado se representa el mapa final de susceptibilidad (Fig. 21). Para ello, tal y como se explica en la metodología, se ha llevado a cabo un cruce de capas ponderando cada variable en función de su importancia relativa a la hora de influir en mayor o menor medida en los movimientos de ladera superficiales.

Pasando a comentar los resultados, el rasgo más visible de la cartografía es que, en general, nuestra zona de estudio se mueve en torno a valores de susceptibilidad bajos, moderados. Por el contrario, las zonas con riesgo alto, muy alto y extremo se encuentran más localizadas.

Vemos como las zonas con mayor riesgo se dan a lo largo de los cauces de la red hidrográfica, pues el área de influencia de ésta, se ha considerado como el factor más influyente por detrás de la pendiente. Por tanto, cuando los dos factores se localizan en un punto simultáneamente, obtenemos los valores más elevados de toda el área de estudio. Las zonas con riesgo alto, a menudo se localizan en los valles que dibuja la red hidrográfica.

6. CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha intentado llevar a cabo una primera aproximación al estudio mediante SIG de la susceptibilidad a producirse movimientos de ladera superficiales en la Cuenca del Ubago (Alta Ribagorza; Pirineo aragonés). Las limitaciones en tiempo han impedido un adecuado contraste de los resultados en campo debido a que, hasta mediados de julio, una buena parte de la zona de estudio suele permanecer cubierta de nieve. En cualquier caso, los productos de la modelización han podido contrastarse mediante fotointerpretación con la realidad-terreno, y se puede afirmar que los resultados obtenidos son bastante satisfactorios y prometedores, quedando para etapas más avanzadas la incorporación de un inventario detallado de movimientos de ladera en la zona al modelo multiparámetro utilizado.

El pilar fundamental sobre el que se ha cimentado el trabajo parte del análisis de los diferentes factores que participan en un movimiento de ladera superficial. En un primer momento, se seleccionaron los más determinantes o significativos, pues el tiempo disponible para realizar el trabajo limita el nivel de profundidad en el análisis. A continuación se llevó a cabo la recopilación de los datos necesarios sobre cada una de las variables seleccionadas y su tratamiento correspondiente.

La representación cartográfica conjunta de los resultados obtenidos de cada factor, así como el nivel de riesgo asociado para cada variable, constituyen una visión sintética e individualizada de cómo se desarrollan en el área de estudio. Así, se facilita la interpretación del mapa final de susceptibilidad, donde se representan todos los factores conjuntamente. A la hora de cruzar las capas de las diferentes variables para obtener la cartografía final, se tuvo una mayor consideración para la pendiente y las áreas de influencia de los cursos fluviales, pues son los factores más influyentes o determinantes para los movimientos de ladera desarrollados en zonas alpinas.

Siguiendo a éstos se encuentran la orientación y la litología, pues al encontrarnos en una zona de alta montaña las orientaciones de las laderas juegan un papel fundamental en la retención de humedad y el factor litológico condiciona de manera importante la plasticidad de los suelos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ordóñez, C., Martínez, R., (2002). Sistemas de Información Geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medio ambientales.

Cartografía del Instituto Geológico y Minero de España. Mayo de 2015, disponible [en línea] <<http://www.igme.es/infoigme/catalogo/catalogo.aspx?tab=0>>

Descargas del Instituto Geográfico Nacional. Abril de 2015, disponible [en línea]

<<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscadorCatalogo.do>>

Información de características de las diferentes litologías de la zona de estudio. Extraído el 14 de mayo de 2015, [disponible en línea] <<http://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/picosdeeuropa/index.html#329/z>>

Aroe, V. (2011, 23 de agosto): Tuca de Castanesa (2861 m) - Roques Trencades (2755 m) - Estivafreda (2700 m). Extraído el 12 de junio de 2015, [disponible en línea] <<http://marihuanamountain.blogspot.com.es/2011/08/castanesa.html>>

Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales de España. De abril a junio de 2015, disponible [en línea] <http://www.idee.es/web/guest/directorio-de-servicios>

Visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional. De abril a junio de 2015, disponible [en línea] <http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>

Visor de Google Earth. De abril a junio de 2015, disponible [en línea] http://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/products/plugin.html

Chueca et. Al, 2002. Boletín Glaciológico Aragonés.

Chueca, J., (1993). Geomorfología de la Alta Ribagorza: análisis de la dinámica de procesos en el ámbito supraforestal.

Chuvioco, E., (2010). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio.

Jiménez, J., (2005). Análisis de la susceptibilidad a movimientos de ladera con SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada.

Servicio Geológico de Estados Unidos. Extraído en abril de 2015, disponible [en línea] <<http://www.usgs.gov/>>

Medio físico de la Ribagorza. Extraído en mayo de 2015, disponible [en línea] <http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/PoliticaTerritorialJu>

sticialInterior/Documentos/docs/Areas/Informaci%C3%B3n%20territorial/Publicaciones/Coleccion_Territorio/Comarca_Ribagorza/NA_1.PDF

Azañón, J. et al. Metodología para el análisis de la susceptibilidad frente a deslizamientos en el Parque Nacional de Sierra Nevada mediante SIG

Hervás de Diego, J. y Barredo Cano, J.I. (2001). Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al barranco de Tirajana (Gran Canaria". V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables Madrid.

Navarro, J. (2011). Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante SIG en el municipio de Berlín, El Salvador.

Copons, R., Tallada, A., (2002). Movimientos de ladera.