

4. FACTORES DETERMINANTES

La inestabilidad de las laderas depende de la acción conjunta de varios factores diferentes (Cooke y Doornkamp, 1974; Crozier, 1984; Chacón et al, 1993, Irigaray, 1995). Estos factores se pueden agrupar en factores desencadenantes o activadores, que controlan la actividad en el tiempo, y factores determinantes o condicionantes, que la controlan en el espacio (Hansen, 1984; Crozier, 1984, 1986).

Los factores desencadenantes son aquellos que inician el movimiento debido a la modificación, frecuentemente rápida, de las condiciones preexistentes de estabilidad. Entre estos destacan la precipitación (intensa o acumulada), que implica el aumento del contenido de agua y la presión intersticial del suelo, y la actividad sísmica, que produce aumento del esfuerzo de cizalla.

Los factores determinantes son aquellos que condicionan la estabilidad sin que ésta se inicie (equilibrio límite). La combinación de los factores determina la relación entre las fuerzas resistentes y activadoras de la inestabilidad. Los factores determinantes dependen bien de la naturaleza de los materiales (litología, textura, discontinuidades, etc.) o de la morfología del terreno (pendiente, orientación, altitud, curvatura, etc.).

El objetivo del presente estudio es la evaluación de la susceptibilidad en el espacio, no en el tiempo, por tanto se consideran sólo los factores determinantes. En este estudio se emplean cuatro factores determinantes, tres derivados del Modelo Digital del Terreno: Pendiente, Altitud y Orientación, y uno temático: Litología. De estos factores, pendiente y litología han sido los más empleados por los autores que han abordado este tema (Brabb et. al. 1972; Rodríguez Ortiz, 1978, Chacón, 1987, 1988; Irigaray, 1990; Fernández, 2001; El Hamdouni, 2001; etc.)

4.1 EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

El Modelo Digital del Terreno (MDT), en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica, es la fuente de información principal para la descripción y análisis cuantitativo del medio físico. Un modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1994). Los diferentes componentes del MDT (Felicísimo, 1994; Borrough, 1988; Bosque, 1992) tales como el propio Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y los modelos derivados (pendientes, orientación, etc.) se constituyen en factores determinantes de la estabilidad. Estos componentes del MDT proceden en realidad del MDE y se obtienen de forma directa, generalmente mediante la aplicación del análisis de vecindad o utilizando otras funciones de clasificación y superposición de mapas (Felicísimo, 1994; Fernández, 2001). Los factores utilizados en este estudio proceden de forma directa del MDE.

4.1.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

El MDE se define como una superficie “raster” casi continua que ofrece información acerca de la coordenada z (altitud) en cualquier punto de esa superficie (Burrough, 1986; Bosque, 1992). A partir de este MDE se obtienen las características morfológicas y morfométricas del terreno (pendiente, exposición, iluminación, curvatura, etc). Para el presente estudio se ha tomado un MDE previamente existente (Irigaray, 2005) de toda la cuenca del río Guadalfeo con una resolución de 10 m. Los datos para la elaboración del

modelo proceden del Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000, digital vectorial. El MDE se obtiene de los datos topográficos de las curvas de nivel y puntos críticos digitalizados. A partir de estos datos se crea un TIN (Red de triángulos irregulares), mediante el modulo 3D Analyst incorporado en el paquete ArcGIS 9.0. Ese mismo módulo convierte el TIN a “raster” y se consigue el MDE. A partir de modulo de Spatial Analyst, del paquete ArcGIS 9.0 se obtienen los mapas de altitud, pendiente y orientación.

4.1.1.1 ALTITUD

La altitud no es el factor determinante más empleado, pero sí de uso común en trabajos en zonas montañosas con fuertes desniveles (Fernández, 2001), como es el caso que nos ocupa.

El mapa de altitudes o elevaciones (figura 24) consiste en una reclasificación del MDE, que es una superficie “ráster” continua y la convertimos en discreta mediante la reclasificación. Debido al alto gradiente topográfico existente en la zona de estudio (casi 3300 m en apenas 20 km), la clasificación por intervalos del MDE se ha realizado de 500 en 500 metros que se considera representativa para la escala de trabajo. A excepción del primer intervalo que abarca desde la altura inferior de la zona de estudio 190 a 550 m, y el último que abarca desde 3000 m hasta la altura superior de la zona de estudio, coincidente con la máxima peninsular, marcada por la cima del Mulhacén a aproximadamente 3475 m. El valor mínimo de altitud coincide con el río Guadalfeo. La tabla 4 muestra la distribución areal expresada en porcentaje, porcentaje acumulado y kilómetros cuadrados cada intervalo de altitud considerado. Se puede comprobar la distribución de altitudes es bastante homogénea. El tramo más representado, con un 22% es el comprendido entre 1500 y 2000 m. La altura media es de 1780 m. El 40 % del área esta por encima de 2000 metros y el 20 % por encima de 2500 m.

Altitud	Área		
	%	Acumulada	km ²
190-500	3,94	3,94	181272
500-1000	14,65	18,58	674115
1000-1500	18,54	37,12	853316
1500-2000	21,76	58,88	1001591
2000-2500	20,55	79,44	946044
2500-3000	17,43	96,87	802251
3000-3475	3,13	100,00	144274

Tabla 4: Distribución de altitudes

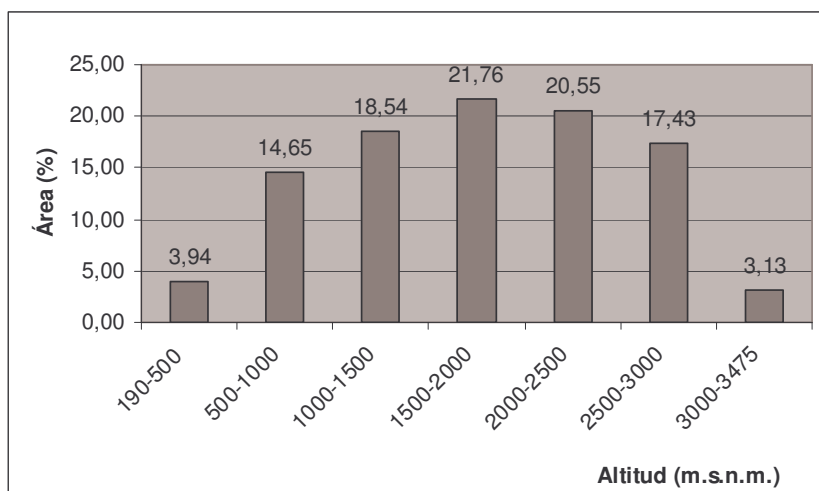


Figura 24: Distribución de altitudes

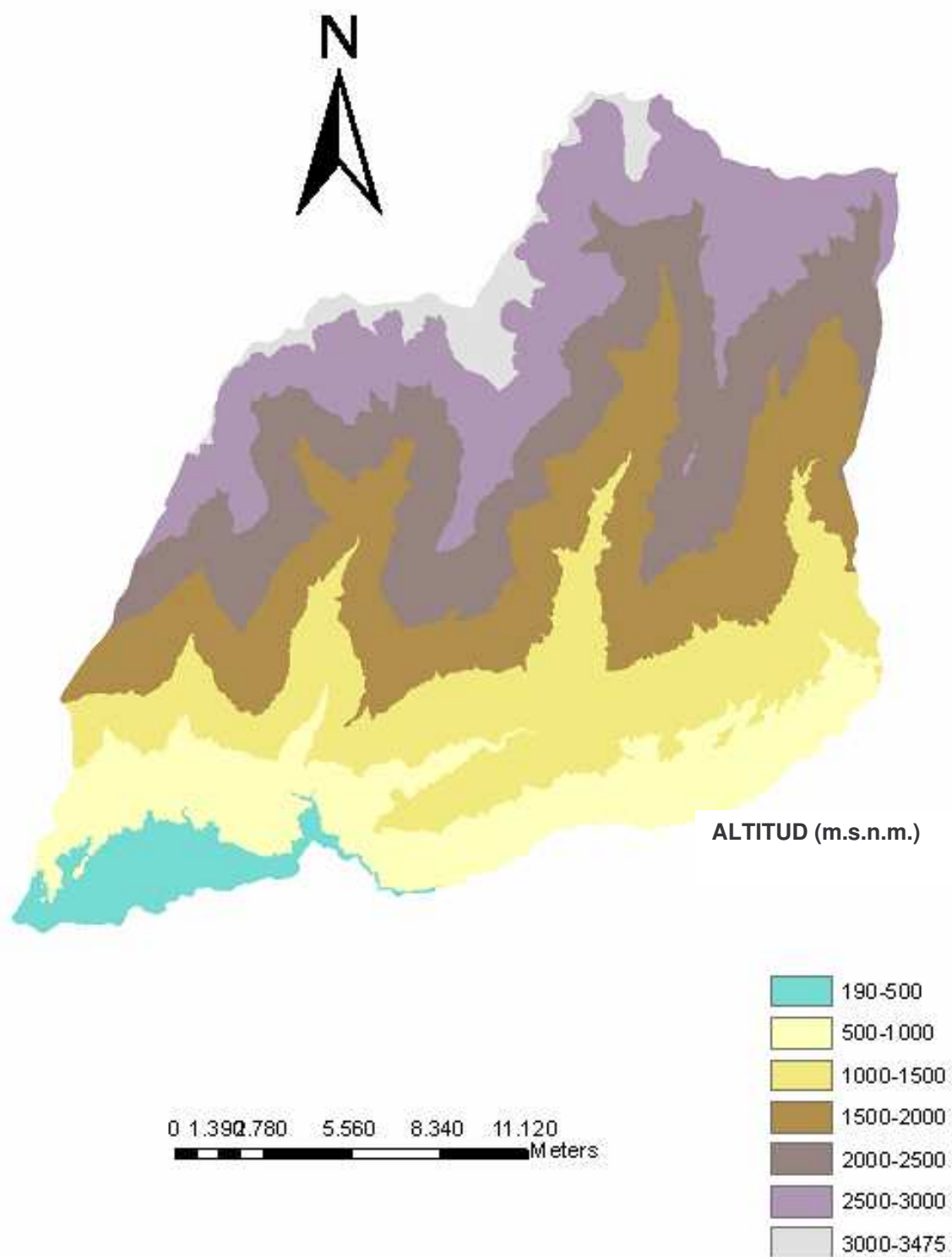


Figura 25: Mapa de Altitudes

4.1.1.2 PENDIENTE

La pendiente es el gradiente de inclinación de la línea de máxima pendiente tangente al terreno en un punto respecto a la horizontal. Se suele expresar en porcentaje, y en grados sexagesimales. Las clases obtenidas para el siguiente trabajo son: 0-5° (pendiente suave), 5-15° (pendiente moderada), 15-25° (pendiente fuerte), 25-35° (pendiente muy fuerte), 35-90° (pendiente vertical o subvertical). Con estas clases se elaboró el mapa de pendientes en la zona (figura 26).

La tabla 5 muestra la distribución areal expresada en porcentaje, porcentaje acumulado y kilómetros cuadrados cada intervalo de pendiente considerado. La principal característica de la zona es que casi el 70% del terreno presenta una pendiente superior a 15°. El 40 % de la zona está ocupado por pendientes fuertes y el 30 % tiene una pendiente muy fuerte. Estas zonas de pendiente muy fuerte coinciden con los valles encajados por donde discurren los afluentes del Guadalfeo. Sin embargo por el curso de éste, la pendiente es moderada a fuerte. Una zona amplia que tiene una pendiente suave a moderada es la cuenca neógena de Órgiva. También tiene una pendiente moderada las zonas más elevadas debido a ciertos rasgos de relieve alomado. La pendiente media de la zona es de 20°.

Ángulo (°)	Área		
	%	Acumulada	km ²
0-5	3,52	3,52	162113
5-15	24,54	28,06	1129429
15-25	40,73	68,79	1874816
25-35	29,50	98,29	1357965
>45	1,71	100,00	78540

Tabla 5: Distribución de las clases de pendientes

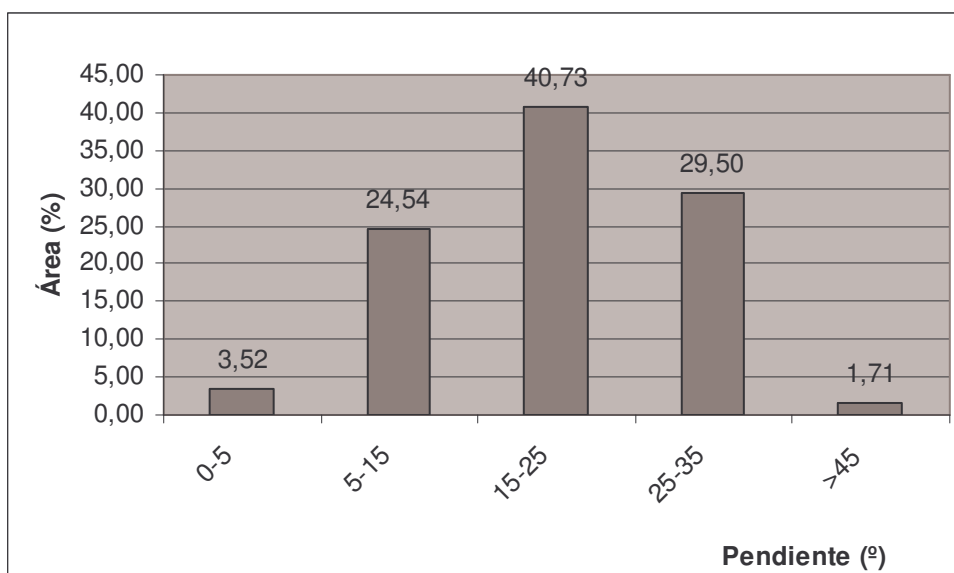


Figura 26: Distribución de las clases de pendientes

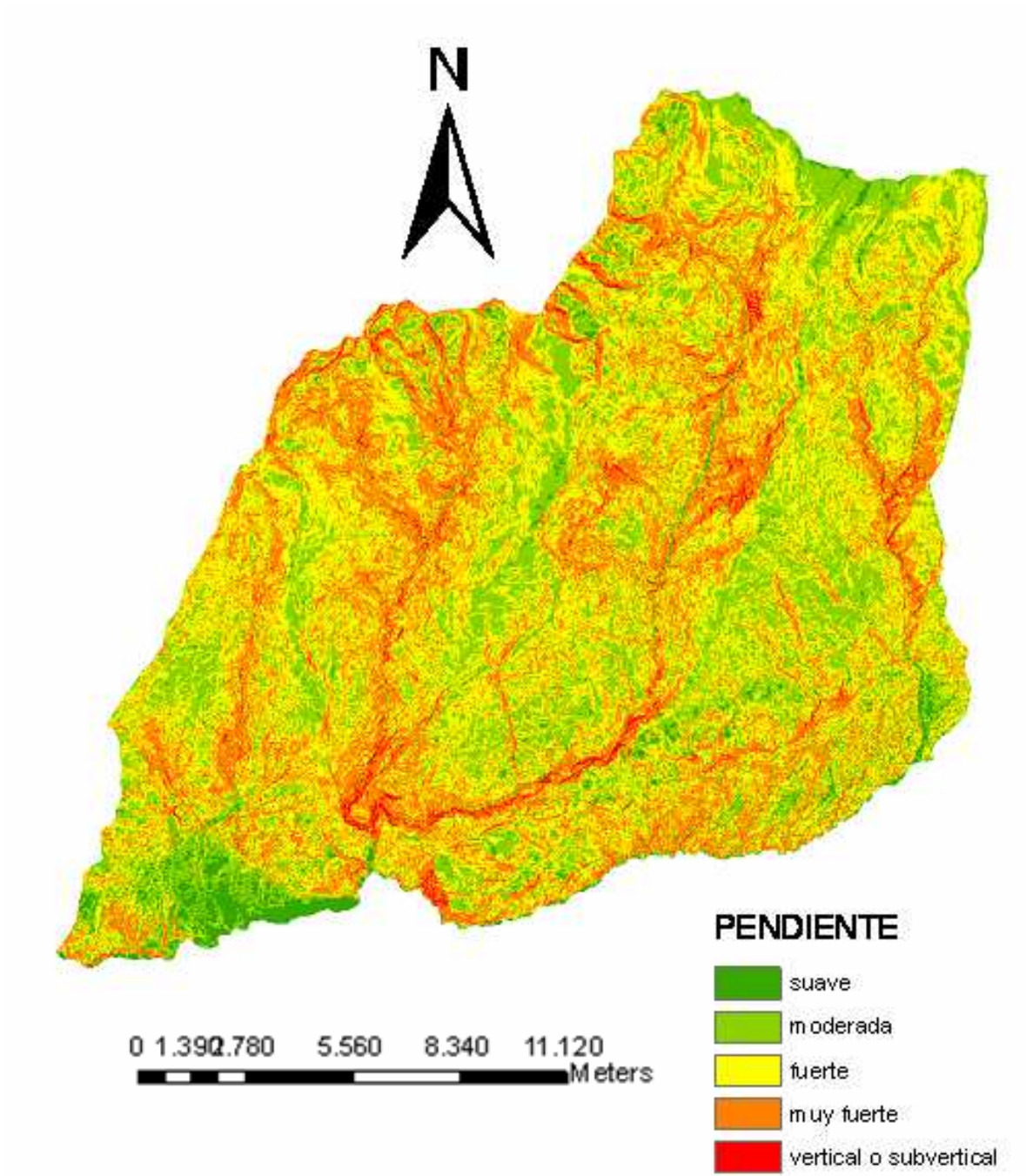


Figura 27: Mapa de Pendientes

4.1.1.3 ORIENTACIÓN

La orientación u exposición es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al Norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj.

Para simplificar el análisis, el mapa de exposición se ha clasificado en 5 clases que son las que siguen:

0°	Superficie Plana
1°-45°	Norte
45°-135°	Este
135°-225°	Sur
225°-315°	Oeste
315°-359°	Norte

La tabla 6 muestra la distribución areal expresada en porcentaje y kilómetros cuadrados cada intervalo de orientación considerado. De los datos se extrae la baja representatividad de la orientación plana, concordante con las altas pendientes de la zona, y también desataca escasa exposición de la zona al norte, presentando una alta asimetría al respecto. El 38 % de la zona está orientada al sur, siendo N162E la orientación media.

Orientación	Área	
	%	km ²
plana	0,74	33857
norte	4,88	224564
este	32,32	1487613
sur	38,44	1769506
oeste	23,62	1087323

Tabla 6: Distribución de las áreas de orientación

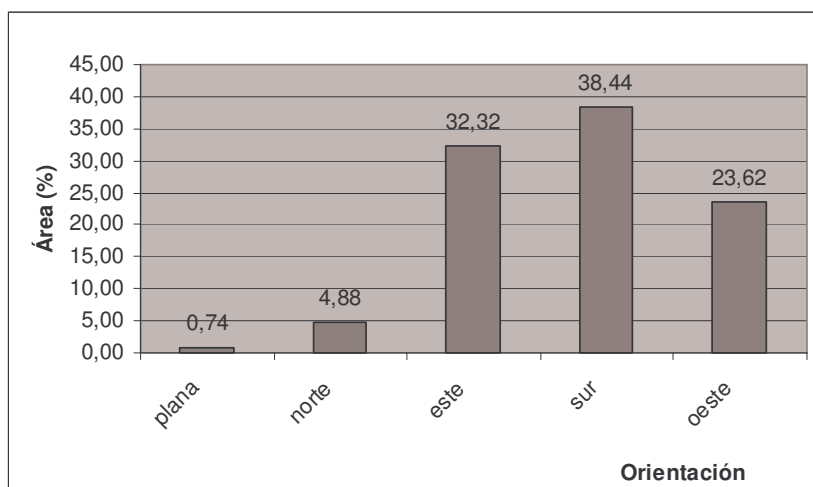


Figura 28: Distribución de las áreas de orientación

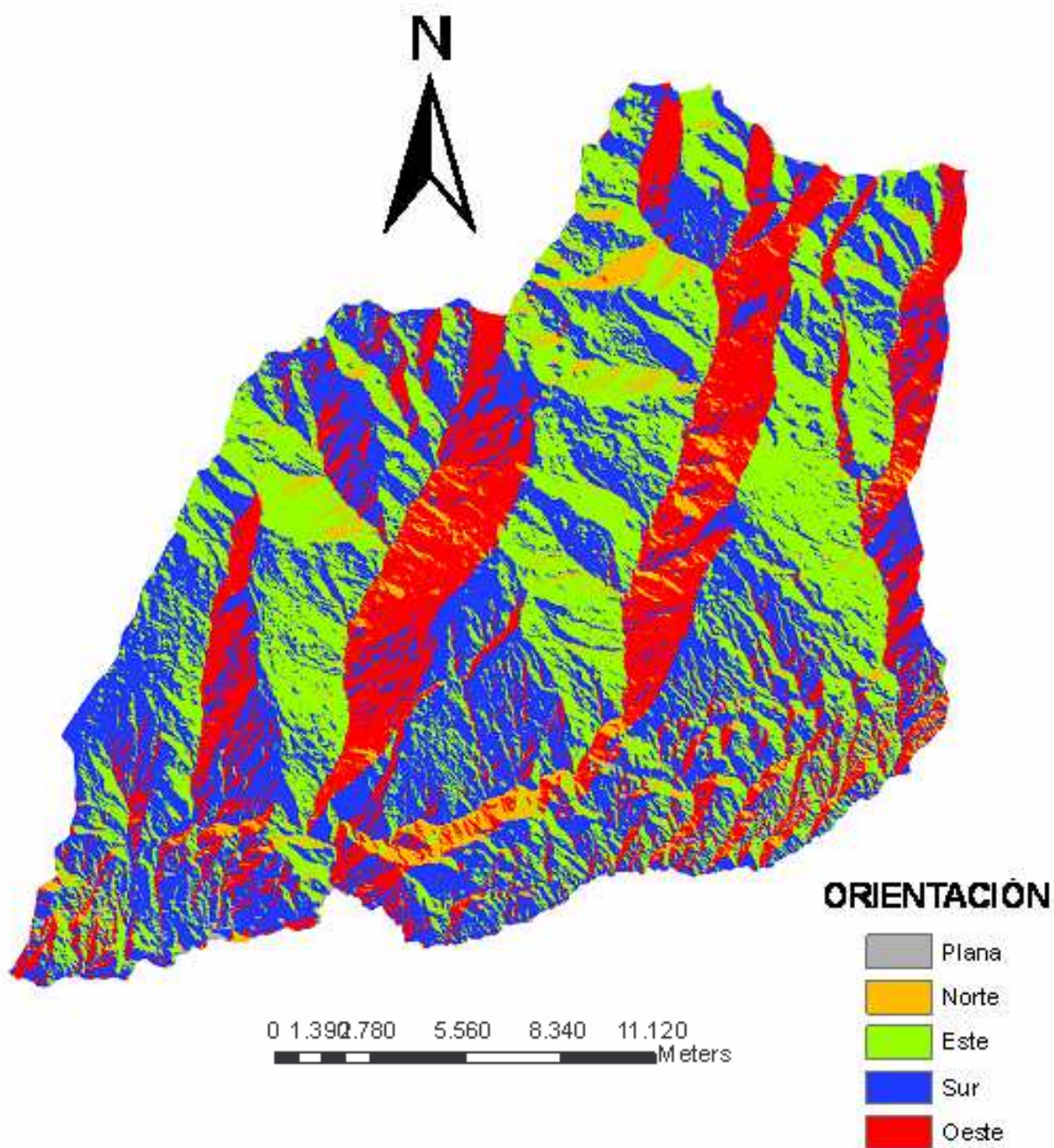


Figura 29: Mapa de Orientaciones.

4.2 FACTORES NO RELACIONADOS CON EL MDT

Otros factores que influyen sobre la estabilidad son aquellos que dependen de la naturaleza del terreno como por ejemplo la litología.

4.2.1 LITOLOGÍA

A partir del Sistema de Información Geológico-Minero de Andalucía (SIGMA) se han obtenido los mapas geológicos 1:50.000 de la región. La geología del área, como se ha podido ver, es bastante complicada (figura 29) ya que tenemos más de 40 unidades litológicas diferentes. Para el análisis realizado, tal y como recomienda la UNESCO (1976) a tal efecto, se han agrupado algunas litologías, descritas en el apartado correspondiente, en complejos litológicos (figura 30) según el comportamiento geomecánico (cohesión y ángulo de rozamiento interno) de los materiales que en definitiva condiciona en última instancia la estabilidad. Así se han diferenciado las siguientes unidades o complejos litológicos:

Unidad 1: Filitas. Corresponden a rocas procedentes del metamorfismo de arcillas de alta plasticidad. Este material cuando se altera tiene un comportamiento tipo suelo.

Unidad 2: Mármoles. Se trata de material rocoso carbonatado muy resistente, sin embargo presentan familias de discontinuidades que pueden provocar diferentes tipos de roturas. Suelen situarse sobre las filitas.

Unidad 3: Cuarcitas. Encontramos este material conformando la sierra de la Contraviesa. Tienen un alto contenido en cuarzo, está muy alterado superficialmente.

Unidad 4: Esquistos. Suelen encontrarse bajo las cuarcitas. De forma análoga a los mármoles pueden presentar varias familias de fracturas que limiten su estabilidad.

Unidad 5: Micaesquistos. En función del contenido en grafito varían bastante su resistencia. Representan el 80% del área de estudio.

Unidad 6: Anfibolitas y Gneis. Estas rocas aparecen en afloramientos restringidos, y aunque su mineralogía sea diferente se agrupan bajo una unidad ya que su comportamiento frente a los movimientos de ladera es similar.

Unidad 7: Margas. Material detrítico carbonatado. Aparece en las inmediaciones de Órgiva, en un afloramiento de escasa extensión.

Unidad 8: Conglomerados. Material detrítico de cantos redondeados. Presenta cierto grado de cementación. Los conglomerados heterométricos son más abundantes en la zona.

Unidad 9: Aluvial, derrubios, costra calcárea y Travertino. Los materiales agrupados bajo esta unidad tienen comportamientos geomecánicos diferentes. No obstante se han agrupado bajo esta unidad, debido a que se encuentran en pocos afloramientos y con poca extensión. No se han descrito movimientos sobre estos materiales.

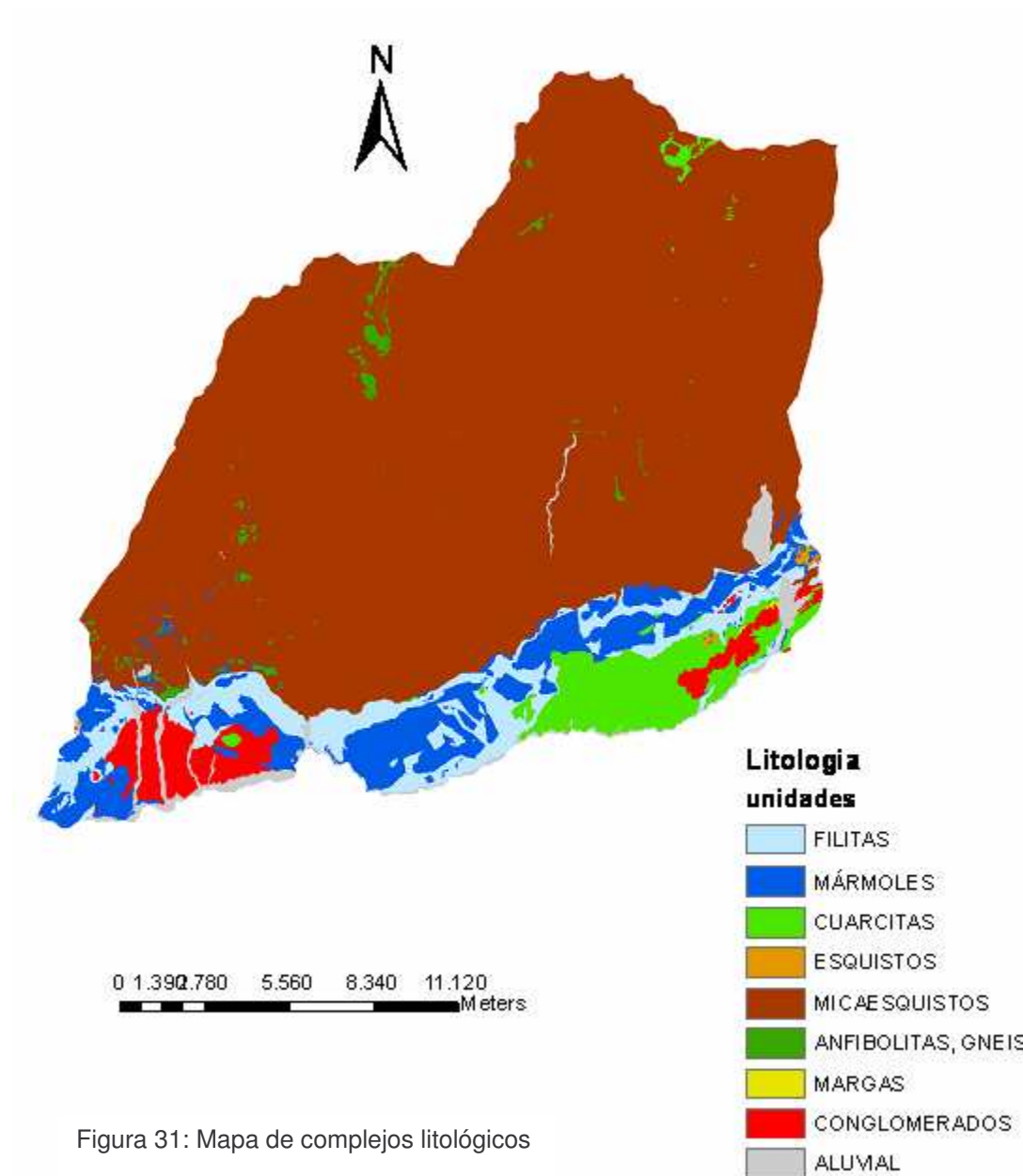


Figura 31: Mapa de complejos litológicos

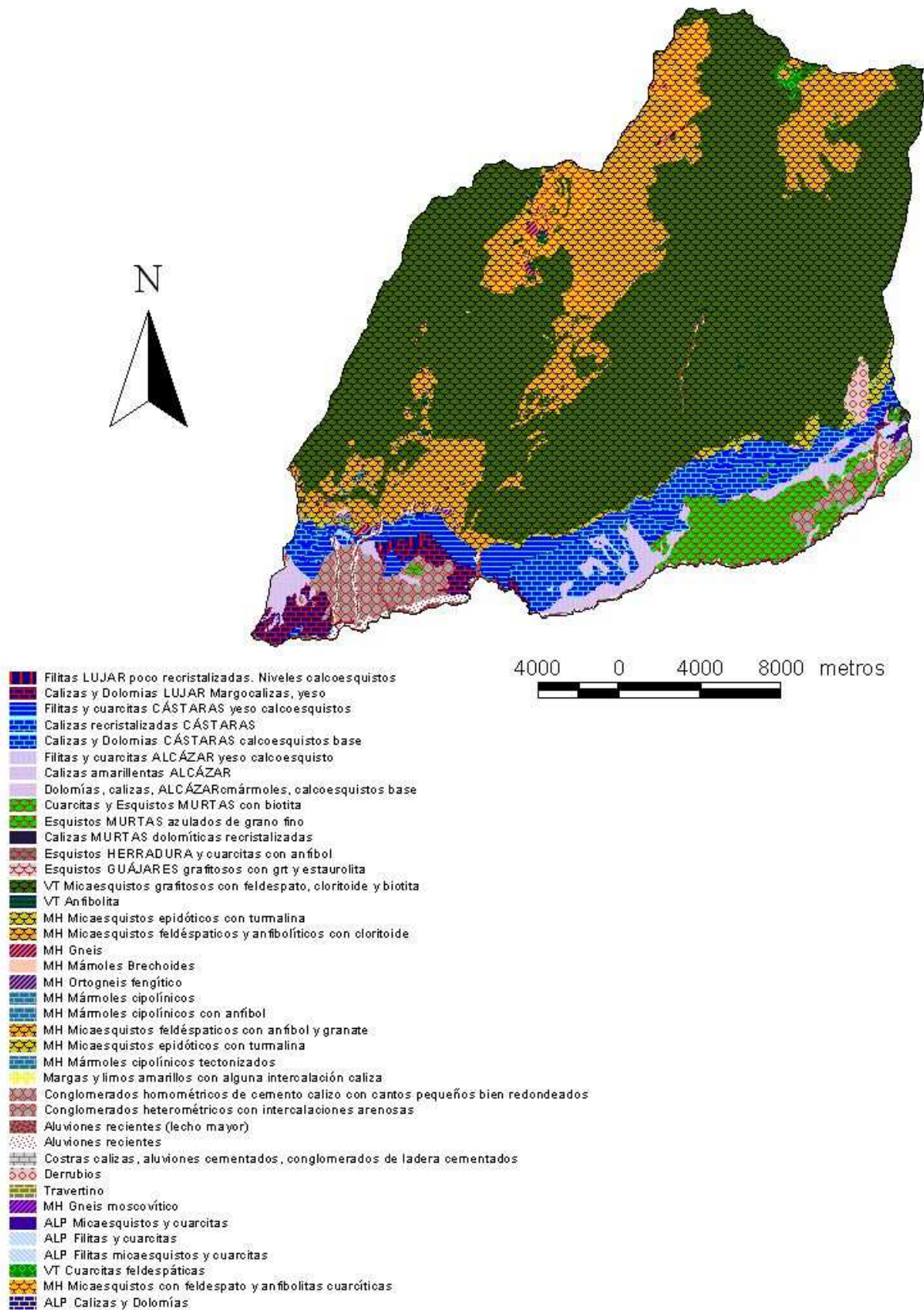


Figura 30: Mapa litológico