



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Detección y priorización de zonas  
con riesgo de sufrir fenómenos de  
inestabilidad de taludes en la  
comarca de Liébana (Cantabria), y  
propuesta de medidas de  
prevención y corrección para las  
mismas.*

Trabajo realizado por:  
*Alberto Andrés Muñoz*

Dirigido:  
*Elena Castillo López*  
*Daniel Jato Espino*

Titulación:  
**Grado en Ingeniería Civil**

Santander, Diciembre de 2017

**TRABAJO FINAL DE GRADO**



*“Los ordenadores son inútiles. Sólo pueden darte respuestas.”*

***Pablo R. Picasso***



## Agradecimientos

Quiero dedicar este trabajo, y agradecer, a mis padres, por su constante apoyo, y por hacer de cada uno de mis fracasos una oportunidad, y por enseñarme la humildad para celebrar mis éxitos nunca más allá de lo necesario.

A mis hermanas, por confiar siempre en mí, y animarme a continuar sin perder la sonrisa.

A mis abuelos, y al resto de mi familia, por no dejar de ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación, sin importar en cuál de ellos me fije.

A mis amigos, los de Logroño, a quienes he conocido desde siempre; a los de Santander, quienes me hicieron conocerme a mí mismo; y a los de Roma, a quienes nunca querré dejar de conocer.

A Elena Castillo López y Daniel Jato Espino, Directores de mi Trabajo de Fin de Grado, por su inestimable ayuda y conocimientos, su increíble flexibilidad y disponibilidad y, sobre todo, su incalculable comprensión ante las dificultades, tanto técnicas como personales, que me han surgido a lo largo del desarrollo de este trabajo. Porque sin ellos esto nunca hubiera sido posible.

Al resto de mis profesores, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander, y, también, de la *Facoltà di Ingegneria Civile dell' Università degli Studi di Roma Tre*, por ayudarme, de manera directa o indirecta, a amar y comprender aún más esta disciplina.

A Beatriz Aguirre Ayerbe, de Secretaría de Dirección, y a Amaya Lobo García de Cortázar, Subdirectora de Ordenación Académica, de la Escuela de Santander, porque sin su ayuda y su atención, no hubiera podido realizar este trabajo, ni elaborarlo en las condiciones que deseaba.

Al Negociado de la Escuela de Santander, por su incesante y, a veces, invisible labor, pero de inmensurable valía.

Y por último, a mi primo Antonio, quien me hizo descubrir que debemos vivir cada momento según lo que hemos aprendido, pero sin detenernos nunca, porque todo momento vivido debe convertirse en aprendizaje.

Santander, 1 de Diciembre de 2017.



*A mi primo, Antonio.*



# Resumen

## Título del Trabajo Final de Grado

Detección y priorización de zonas con riesgo de sufrir fenómenos de inestabilidad en la comarca de Liébana (Cantabria), y propuesta de medidas de prevención y corrección para las mismas.

## Autor

Alberto Andrés Muñoz

## Directores

Elena Castillo López, Daniel Jato Espino

## Convocatoria

Diciembre de 2017

## Palabras clave

Sistema de modelización espacial, desarrollo metodológico, inestabilidad de ladera, deslizamiento, factor condicionante, factor desencadenante, pesos ponderados, Evaluación Multicriterio, susceptibilidad.

## Planteamiento

Este estudio ha sido concebido con el objetivo de crear una metodología de trabajo para la comarca de Liébana, a través del diseño de un sistema de modelización espacial, aplicable a otra áreas de estudio, que permita evaluar, identificar y, de alguna manera, priorizar la susceptibilidad del terreno a deslizamientos y otros procesos de ladera.

Las condiciones del relieve de la comarca de Liébana, con pronunciadas laderas que bajan desde las cumbres que la rodean hasta los valles interiores son propicias a la aparición de factores que intervienen en la inestabilidad del terreno, lo cual ha hecho de esta región cántabra un foco de movimientos de ladera a lo largo de la Historia. Por este motivo, se ha realizado una recopilación de los procesos de ladera históricos de mayor relevancia que hayan afectado a la comarca, y de aquellos que posean cierto carácter reciente.

La metodología implantada en este estudio está basada en una primera identificación de los factores que intervienen en la estabilidad de los taludes, y la recopilación de los datos necesarios para su caracterización. La conversión de dichos datos en información espacial se ha realizado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Posteriormente se procede a la priorización de las zonas estables mediante el uso de una Evaluación Multicriterio, para la cual se han diseñado tres posibles escenarios de amenaza, en función del número de factores que intervienen en la estabilidad incluidos, y su grado de afección sobre la misma. Los resultados de esta evaluación son los denominados **mapas de susceptibilidad**, herramientas de información geográfica sobre el grado de susceptibilidad a inestabilidad de ladera presente en la comarca de Liébana.

## Conclusiones

Mediante la validación de los resultados obtenidos en este estudio, es decir, los mapas de susceptibilidad, a través de la comparativa con las bases cartográficas existentes sobre procesos activos geológicos y geomorfológicos, y con la localización de procesos de ladera históricos, se ha podido concluir que la objetividad y la robustez del método que hemos desarrollado resultan satisfactorias, pudiéndose otorgar rigor científico a los resultados obtenidos, dando pie a la utilización de los mismos en futuras investigaciones, tanto en la zona como en otras distintas, en las que el desarrollo metodológico pueda aplicarse de manera análoga.



## Abstract

### TFG Title

Detection and prioritization of areas with risk of slope instability phenomena in the region of Liébana (Cantabria), and proposal of prevention and correction measures for them.

### Author

Alberto Andrés Muñoz

### Supervisors

Elena Castillo López, Daniel Jato Espino

### Call

December 2017

### Key words

Spatial modeling system, methodological development, slope instability, landslide, conditioning factor, triggering factors, weights, Multi-Criteria Analysis, susceptibility.

### Approach

This research has been conceived with the aim of creating a working methodology for the region of Liébana, through the design of a spatial modelling system to assess, identify and, somehow, prioritize the susceptibility of the terrain to landslides and other slope instability processes.

The orographic conditions of the region of Liébana, with steep slopes that descend from the peaks that surround it to its interior valleys are conducive to the emergence of factors that favor the instability of the terrain, which has made this region Cantabrian a focus of slope movements throughout the history. For this reason, this work includes a compilation of the greatest historical and more recent hillside processes that have affected the region.

The methodology implemented in this study is based on a preliminary identification of the factors influencing the stability of slopes, and the collection of the data required for their characterization. The conversion of these data into spatial information has been done by means of Geographic Information Systems (GIS).

The next step concerned the prioritization of the instable zones using a Multicriteria evaluation, for which three possible threat scenarios have been designed, according to the number of factors influencing stability, and their potential degree of affection. The results of this evaluation are so-called susceptibility maps, which are tools of geographic information about the degree of susceptibility to instability in the region of Liébana.

### Conclusions

Based on the validation of the landslide susceptibility maps obtained in this research through their comparison with existing cartographic databases on geological and geomorphologic processes and the location of historical hillside phenomena, the objectivity and robustness of the method developed are concluded to be satisfactory, being able to give scientific rigor to the results achieved. The flexibility of the proposed approach enables its use in future research, both in the same area or in other locations affected by slope instability phenomena.



# Índice general

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>            | <b>IV</b>   |
| <b>RESUMEN</b>                    | <b>VIII</b> |
| TÍTULO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO | VIII        |
| AUTOR                             | VIII        |
| DIRECTORES                        | VIII        |
| CONVOCATORIA                      | VIII        |
| PALABRAS CLAVE                    | VIII        |
| PLANTEAMIENTO                     | VIII        |
| CONCLUSIONES                      | VIII        |
| <b>ABSTRACT</b>                   | <b>X</b>    |
| TFG TITLE                         | X           |
| AUTHOR                            | X           |
| SUPERVISORS                       | X           |
| CALL                              | X           |
| KEY WORDS                         | X           |
| APPROACH                          | X           |
| CONCLUSIONS                       | X           |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b>             | <b>XII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>          | <b>XVI</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>           | <b>XX</b>   |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>            | <b>1</b>    |
| <b>2. OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN</b>  | <b>2</b>    |
| <b>3. ENCUADRE TERRITORIAL</b>    | <b>4</b>    |
| 3.1 LOCALIZACIÓN                  | 4           |
| 3.2 MEDIO NATURAL                 | 5           |
| 3.2.1. OROGRAFÍA                  | 5           |
| 3.2.2. HIDROGRAFÍA                | 5           |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.3. GEOLOGÍA  | 6         |
| 3.2.4. CLIMATOLOGÍA  | 6         |
| 3.2.5. FLORA Y FAUNA   | 6         |
| 3.2.6. NORMATIVA AMBIENTAL Y ESPACIOS PROTEGIDOS   | 7         |
| 3.3 MEDIO HUMANO   | 8         |
| 3.3.1. SUPERFICIE Y POBLACIÓN  | 8         |
| 3.3.2. MUNICIPIOS  | 9         |
| 3.3.3. VÍAS DE COMUNICACIÓN  | 9         |
| 3.3.4. ECONOMÍA  | 13        |
| <b>4. <u>CONCEPTOS GENERALES</u></b>   | <b>15</b> |
| 4.1 MOVIMIENTOS DE LADERAS   | 15        |
| 4.2 DESLIZAMIENTOS   | 15        |
| 4.2.1. FLUJOS  | 18        |
| 4.2.2. DESPRENDIMIENTOS  | 18        |
| 4.2.3. DESPLAZAMIENTOS LATERALES   | 18        |
| 4.2.4. AVALANCHAS ROCOSAS  | 19        |
| 4.2.5. MOVIMIENTOS COMPLEJOS   | 19        |
| 4.3 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERAS   | 19        |
| 4.4 CONCEPTOS DE SUSCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO   | 21        |
| <b>5. <u>HISTORIA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA).</u></b>                 | <b>23</b> |
| 5.1 ARGAYO DE SUBIEDES (AÑO 722)   | 23        |
| 5.2 ARGAYO EN CAHECHO (AÑO 1791)   | 25        |
| 5.3 EL CANCHORRAL DE HORMAS, COLIO (AÑO 1902)  | 25        |
| 5.4 LAS PEÑAS DE BREZ  | 27        |
| 5.5 DESLIZAMIENTO DE SEBRANGO, CON DIRECCIÓN A LOS LLANOS, CAMALEÑO  | 29        |
| 5.6 ARGAYO DE SANTO TORIBIO  | 35        |
| 5.7 COLIO  | 37        |
| 5.8 DESFILADERO DE LA HERMIDA  | 39        |
| <b>6. <u>METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA DE MOVIMIENTOS DE LADERA.</u></b>            | <b>42</b> |
| 6.1 FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES DE MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA). | 43        |
| 6.1.1. FACTORES CONDICIONANTES, DE SUSCEPTIBILIDAD O PASIVOS   | 43        |
| 6.1.1.1. <i>Variables de cálculo</i>   | 43        |
| 6.1.1.2. <i>Otros factores condicionantes de interés</i>   | 47        |
| 6.1.2. FACTORES DESENCADENANTES, DE DISPARO, DETONANTES O ACTIVOS  | 49        |
| 6.3.2.1 <i>Variables de cálculo</i>  | 49        |
| 6.1.2.2. <i>Otros factores desencadenantes de interés</i>  | 55        |
| 6.2 CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO  | 58        |

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>6.2.1. PROCESO DE NORMALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE CÁLCULO</b>   | <b>59</b>         |
| <b>6.2.2. ASIGNACIÓN DE PESOS PONDERADOS</b>   | <b>60</b>         |
| <b>6.2.2.1 Escenario de amenaza I: Susceptibilidad basada en la estructura y morfología iniciales de la ladera</b> | <b>61</b>         |
| <b>6.2.2.2 Escenario de amenaza II: Aparición de factores desencadenantes de inestabilidad</b>                     | <b>61</b>         |
| <b>6.2.2.3 Escenario de amenaza III: Consecuencias de la utilización antrópica del suelo</b>                       | <b>62</b>         |
| <b>6.2.3. CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD: SUMA LINEAL PONDERADA</b>   | <b>63</b>         |
| <br>   |                   |
| <b><u>7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD</u></b>  | <b><u>66</u></b>  |
| <br>   |                   |
| <b>7.1 VARIABLES DE CÁLCULO</b>  | <b>66</b>         |
| <b>7.1.1. FACTORES CONDICIONANTES, DE SUSCEPTIBILIDAD O PASIVOS</b>  | <b>66</b>         |
| <b>7.1.1.1 Modelo Digital de Elevaciones</b>   | <b>66</b>         |
| <b>7.1.1.2 Pendientes</b>  | <b>70</b>         |
| <b>7.1.1.3 Orientaciones</b>   | <b>72</b>         |
| <b>7.1.1.4 Litología</b>   | <b>74</b>         |
| <b>7.1.2. FACTORES DESENCADENANTES, DETONANTES, DE DISPARO O ACTIVOS</b>   | <b>77</b>         |
| <b>7.1.2.1 Climatología</b>  | <b>77</b>         |
| <b>7.1.2.2 Cambios en las condiciones hidrológicas</b>   | <b>90</b>         |
| <b>7.1.2.3 Usos del Suelo</b>  | <b>92</b>         |
| <b>7.2 PESOS ASIGNADOS</b>   | <b>97</b>         |
| <b>7.3 ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD</b>  | <b>99</b>         |
| <b>7.4 ELEMENTOS VULNERABLES</b>   | <b>106</b>        |
| <b>7.4.1. RED VIARIA</b>   | <b>106</b>        |
| <b>7.4.2. NÚCLEOS DE POBLACIÓN</b>   | <b>109</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>8. VALIDACIÓN DE RESULTADOS. PROCESOS ACTIVOS EN LA ACTUALIDAD EN LA COMARCA DE LIÉBANA</u></b>              | <b><u>111</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b>8.1 VALIDACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS PUNTUALES</b>   | <b>111</b>        |
| <b>8.2 VALIDACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS LINEALES</b>  | <b>116</b>        |
| <b>8.3 VALIDACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS POLIGONALES</b>   | <b>121</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES: PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN</u></b>           | <b><u>127</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b>9.1 CONCLUSIONES FINALES</b>  | <b>127</b>        |
| <b>9.2 PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN</b>   | <b>130</b>        |
| <b>9.2.1. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN SUELO</b>   | <b>131</b>        |
| <b>9.2.2. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN ROCA</b>  | <b>137</b>        |
| <b>9.2.3. PROTECCIÓN CONTRA LOS DESPRENDIMIENTOS</b>   | <b>141</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>   | <b><u>144</u></b> |



## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de la comarca de Liébana. Encuadre en un mapa físico de Cantabria.   | 4  |
| Figura 2. Mapa de municipios de la comarca de Liébana. Nombres de los términos municipales.  | 5  |
| Figura 3. Parque Nacional de los Picos de Europa.  | 7  |
| Figura 4. Ubicación de la comarca de Liébana. Encuadre en un mapa de municipios de Cantabria.  | 8  |
| Figura 5. Mapa de carreteras de Cantabria. Detalle de la carretera N-621 a su paso por Liébana.  | 9  |
| Figura 6. Carretera Nacional N-621, a su paso por el Desfiladero de La Hermida. Liébana, Cantabria.  | 10 |
| Figura 7. Mapa de carreteras de Cantabria. Detalle de la carretera CA-184 a su paso por Liébana.   | 11 |
| Figura 8. Mapa de carreteras de Cantabria. Detalle de la carretera CA-185 a su paso por Liébana.   | 11 |
| Figura 9. Carretera Autonómica CA-185, con sentido a Fuente Dé. Liébana, Cantabria.  | 12 |
| Figura 10. Puente de San Cayetano sobre el Río Quiviesa, Potes (Liébana, Cantabria).   | 13 |
| Figura 11. Monasterio de Santo Toribio de Liébana. Municipio de Camaleño, Liébana (Cantabria).   | 14 |
| Figura 12. Esquema de las relaciones existentes entre diferentes conceptos relacionados con el riesgo.   | 22 |
| Figura 13. Detalle del Canchorrall de Hormas, Colio, (Liébana, Cantabria).   | 26 |
| Figura 14. Recorte de prensa del domingo 25 de febrero de 1973, La Vanguardia Española (Hemeroteca).   | 27 |
| Figura 15. La llamada “Roca de la Muerte”. Al pie de la ladera, el pueblo de Brez. Imagen tomada de La Vanguardia.   | 28 |
| Figura 16. Rocas ancladas mediante tirantes en 1985. Brez, (Liébana, Cantabria).   | 29 |
| Figura 17. Argayo de Sebrango, con la ubicación de los municipios afectados indicada en la imagen. Valle de Sebrango, Camaleño (Liébana, Cantabria).                 | 30 |
| Figura 18. Estado del argayo en el año 2001. Pueblo de Sebrango en la esquina inferior derecha de la imagen.   | 30 |
| Figura 19. Estado del argayo en el año 2005. Pueblo de Sebrango en la esquina inferior derecha de la imagen.   | 31 |
| Figura 20. Estado del argayo en el año 2010. Pueblo de Sebrango en la esquina inferior derecha de la imagen.   | 32 |
| Figura 21. Estado del argayo en el año 2010. Se señala el pueblo de Sebrango.  | 32 |
| Figura 22. Imagen del argayo tomada desde el posteriormente desalojado Mesón Los Llanos, en el pueblo del mismo nombre, municipio de Camaleño (Liébana, Cantabria).  | 33 |
| Figura 23. Estado actual del argayo de Sebrango. Prácticamente ha alcanzado el núcleo de población.  | 34 |
| Figura 24. Espectacular imagen aérea de la extensión del argayo, con el pueblo de Sebrango en la parte inferior de la imagen, prácticamente alcanzado por el argayo. | 35 |
| Figura 25. Imagen de los desprendimientos del argayo de Santo Toribio, en 2013, contemplados por uno de los frailes del Monasterio (Imagen: El Diario Montañés).     | 36 |
| Figura 26. Trabajos de instalación de la malla de seguridad para el argayo de Santo Toribio de 2013 (Imagen: El Diario Montañés).                                    | 36 |
| Figura 27. Imagen que presentaba el deslizamiento de 2015 en la fachada trasera del Monasterio de Santo Toribio (Imagen: El Diario Montañés).                        | 37 |
| Figura 28. Imagen del deslizamiento de Colio tomada desde la pista hormigonada donde se inició (Imagen: El Diario Montañés).   | 38 |
| Figura 29. Vecinos de Colio, en las labores de canalización del argayo que ellos mismos consideraron llevar a cabo (Imagen: El Diario Montañés).                     | 38 |
| Figura 30. Fotografía aérea de El Desfiladero de La Hermida (Imagen: Sitio web “Carreteras Peligrosas”).   | 39 |
| Figura 31. Imagen del argayo de La Hermida producido en 2014, pocos momentos después de su caída sobre la carretera N-621 (Imagen: El Diario Montañés).              | 40 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Figura 32. Labores de retirada de las piedras desprendidas sobre la carretera N-621, en el argayo del 2014 sobre el Desfiladero de La Hermida (Imagen: El Diario Montañés).</i>   | <i>41</i>  |
| <i>Figura 33. Imagen que presentan las mallas protectoras de El Desfiladero de la Hermida, la cual describe por sí sola el grado de amenaza al que se encuentra sometida la circulación por la N-621 (Imagen: El Diario Montañés).</i> | <i>41</i>  |
| <i>Figura 34. Ilustración de un proceso de solifluxión.</i>  | <i>51</i>  |
| <i>Figura 35. Mapa del modelo digital del terreno (TIN) de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>67</i>  |
| <i>Figura 36. Mapa del Modelo Digital de Elevaciones (ráster) de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>69</i>  |
| <i>Figura 37. Mapa de pendientes de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>71</i>  |
| <i>Figura 38. Mapa de orientaciones de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>73</i>  |
| <i>Figura 39. Mapa Geológico en formato poligonal de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>75</i>  |
| <i>Figura 40. Mapa Geológico en formato ráster de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>76</i>  |
| <i>Figura 41. Mapa de Precipitaciones en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>79</i>  |
| <i>Figura 42. Mapa de Temperaturas máximas en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>81</i>  |
| <i>Figura 43. Mapa de Temperaturas mínimas en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>83</i>  |
| <i>Figura 44. Mapa de Temperaturas medias en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>85</i>  |
| <i>Figura 45. Mapa de la Irradiación Solar diaria en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>87</i>  |
| <i>Figura 46. Mapa de la Velocidad del viento en los meses de deshielo (Febrero – Mayo), en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>89</i>  |
| <i>Figura 47. Mapa de la profundidad del Nivel Freático en la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>91</i>  |
| <i>Figura 48. Mapa de usos del suelo en formato poligonal de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>93</i>  |
| <i>Figura 49. Mapa de usos del suelo en formato ráster de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>95</i>  |
| <i>Figura 50. Mapa de susceptibilidad para el “Escenario de amenaza I” de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>101</i> |
| <i>Figura 51. Mapa de susceptibilidad para el “Escenario de amenaza II” de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>103</i> |
| <i>Figura 52. Mapa de susceptibilidad para el “Escenario de amenaza III” de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>105</i> |
| <i>Figura 53. Mapa de Elementos Vulnerables (Red Viaria) en superposición con el Mapa de Susceptibilidad del “Escenario de amenaza III” de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>108</i> |
| <i>Figura 54. Mapa de Elementos Vulnerables (Edificios y Construcciones) en superposición con el Mapa de Susceptibilidad del “Escenario de amenaza III” de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>                                       | <i>110</i> |
| <i>Figura 55. Mapa de validación puntual para el “Escenario de amenaza I”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>113</i> |
| <i>Figura 56. Mapa de validación puntual para el “Escenario de amenaza II”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>114</i> |
| <i>Figura 57. Mapa de validación puntual para el “Escenario de amenaza III”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>115</i> |
| <i>Figura 58. Mapa de validación Lineal para el “Escenario de amenaza I”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>118</i> |
| <i>Figura 59. Mapa de validación Lineal para el “Escenario de amenaza II”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>119</i> |
| <i>Figura 60. Mapa de validación Lineal para el “Escenario de amenaza III”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>   | <i>120</i> |
| <i>Figura 61. Mapa de validación Poligonal para el “Escenario de amenaza I”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>123</i> |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Figura 62. Mapa de validación Poligonal para el “Escenario de amenaza II”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i>  | <i>124</i> |
| <i>Figura 63. Mapa de validación Poligonal para el “Escenario de amenaza III”, del mapa de susceptibilidad de la comarca de Liébana (Cantabria)</i> | <i>125</i> |
| <i>Figura 64. Corte del terreno en Terrazas.</i>  | <i>132</i> |
| <i>Figura 65. Muro de escollera y relleno de trasdós en desmonte.</i>   | <i>133</i> |
| <i>Figura 66. Contención de gaviones.</i>   | <i>134</i> |
| <i>Figura 67. Contención de Tierra Armada.</i>  | <i>135</i> |
| <i>Figura 68. Combinación de drenaje y refuerzo. Zanjias contrafuerte.</i>  | <i>136</i> |
| <i>Figura 69. Esquema de la instalación y fundamento de los drenes californianos.</i>   | <i>137</i> |
| <i>Figura 70. Muro de anclajes en roca.</i>   | <i>138</i> |
| <i>Figura 71. Malla de Triple Torsión combinada con anclajes en roca.</i>   | <i>139</i> |
| <i>Figura 72. Muro de contención de Hormigón.</i>   | <i>140</i> |
| <i>Figura 73. Estabilización de Talud mediante Glutinado de Hormigón.</i>   | <i>141</i> |
| <i>Figura 74. Túnel artificial contra la caída de bloques rocosos.</i>  | <i>143</i> |



## Índice de tablas

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1. Clasificación de movimientos de laderas según el mecanismo de ruptura.</i>                    | <i>17</i> |
| <i>Tabla 2. Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y las laderas.</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabla 3. Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos.</i>   | <i>52</i> |
| <i>Tabla 4. Clasificación por colores de los usos del suelo de la base CORINE Land Cover 2012.</i>        | <i>55</i> |
| <i>Tabla 5. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía.</i>                              | <i>96</i> |



## 1. Introducción

El presente trabajo se centra en la detección, evaluación y priorización de zonas de la comarca de Liébana (Cantabria) que son susceptibles de sufrir fenómenos de inestabilidad, en las épocas de deshielo principalmente.

Los fenómenos de inestabilidad de taludes son uno de los desastres naturales que causan mayores pérdidas materiales y humanas, siendo sus consecuencias a menudo más graves que las asociadas a terremotos, inundaciones o huracanes. Estos fenómenos se producen debido a la combinación de muchos factores como geología, topografía, climatología o drenaje, estableciéndose las fuertes lluvias y la actividad sísmica como los principales detonantes de los movimientos de ladera.

**Liébana** es una comarca en la que las pronunciadas laderas que bajan desde las cumbres que la rodean hasta los valles interiores son propicias a dichos agentes, y por tanto, propicias a la existencia de **corrimientos de tierra o “argayos”**. Por lo tanto, existe la necesidad de estudiar y modelizar estos factores, con el fin de diseñar estrategias que permitan evitar desastres de profundo calado para el valle, poniendo en marcha en tiempo y en forma medidas preventivas y/o correctoras en aquellos taludes que sean especialmente inestables.

Somos conocedores de que existen diferentes formas en las que un talud puede romperse y que dependiendo del contenido de agua, material involucrado, ángulo de inclinación, factores ambientales locales,... el movimiento de masas puede ocurrir de forma súbita y catastrófica como ocurrió en esta misma zona en el año 2013.

Existen algunos proyectos previos que servirán como referencia para el desarrollo de este TFG, como los **Estudios de Riesgos Geotécnicos de Taludes (ERGT) para la prevención de deslizamientos, desprendimientos y argayos en carreteras** presentados por el Colegio Oficial de Geólogos, en los que ya se realiza un primer análisis sobre zonas sensibles de la región.

Ahora bien, el objetivo del presente TFG es diseñar un sistema de modelización espacial y de priorización del riesgo de inestabilidad de tal manera que, las zonas más susceptibles de deslizamiento sean objeto de un mayor control y seguimiento poniendo en marcha algunas de las medidas correctoras que se plantean si fuera necesario.

En primer lugar se identificarán los factores que intervienen en la estabilidad de taludes y se recopilarán los datos necesarios para su caracterización. La conversión de tales datos en información espacial se realizará utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), mientras que la priorización de zonas inestables se llevará a cabo mediante métodos “Multicriterio” que permitan ponderar la importancia de los factores propuestos y su posterior agregación en un índice global de riesgo de inestabilidad.

Se analizarán diferentes escenarios al objeto de poder simular diferentes situaciones temporales de tal forma que, una vez valorados los distintos riesgos de inestabilidad, se propondrán una serie de medidas preventivas, y, según el caso, correctoras, con el fin de aplicarse en cada zona, dependiendo de la prioridad con la que se las pondere.

## 2. Objetivos y motivación

A continuación se expondrán los objetivos a perseguir en el siguiente trabajo, además de los hechos y causas que han motivado su concepción y elaboración.

El **objetivo principal** de este trabajo es **diseñar un sistema de modelización espacial que permita detectar, evaluar y priorizar zonas con riesgo de inestabilidad de taludes**, utilizando como caso de estudio la comarca de Liébana (Cantabria). En segundo lugar, y no menos importante, se estudiarán las posibles medidas correctoras a aplicar en función de la priorización establecida en el sistema de modelización espacial.

A continuación se detallan los diferentes ítems que forman parte de este estudio:

Hito 1. Analizar las condiciones actuales del área de estudio. Este primer objetivo tiene como fin conocer las características del medio sobre el que se va a trabajar, a través de información sobre el medio físico (situación, relieve, etc.) como del medio humano (demografía, economía, etc.) en las condiciones actuales del área de estudio. Este primer objetivo tiene como fin conocer las características del medio sobre el que se va a trabajar, a través de información sobre el medio físico (situación, relieve, etc.) como del medio humano (demografía, economía, etc.).

Hito 2. Crear una colección de los procesos de ladera más importantes que han acontecido en la zona de estudio a lo largo de la Historia. La creación de esta base histórica de sucesos servirá de referencia para una primera interpretación de la susceptibilidad del área, y también para poder validar, posteriormente, si la susceptibilidad calculada fruto de nuestra evaluación se corresponde con zonas históricamente propensas a sufrir inestabilidad o donde se han dado procesos recientes o con cierto grado de actualidad.

Sin embargo, antes de recoger dicha información histórica, se hace necesaria una cierta documentación sobre la teoría de deslizamientos, y los conceptos y clasificaciones generales más importantes que se han establecido sobre este tipo de fenómenos, de cara a partir con un conocimiento general de base y un manejo de los términos y conceptos sobre el tema que permita un correcto desarrollo del trabajo, con objetividad y rigor científico.

Hito 3. Realizar un análisis de la susceptibilidad. El cálculo del Índice de Susceptibilidad (I), a partir del cual elaboraremos nuestros mapas de susceptibilidad e inestabilidades de ladera, se basa en la suma ponderada de las distintas variables que favorecen la aparición de movimientos de ladera, las cuales están implicadas en distinto grado a través de los pesos que se les asignan.

Por tanto, el primer paso para la evaluación será la selección de dichas variables, correspondientes a los factores condicionantes y desencadenantes de movimientos de ladera, diferenciando entre cuáles se utilizarán para el cálculo de la susceptibilidad, y cuáles son meramente informativas.

Posteriormente, con los datos obtenidos sobre cada variable será posible asignarles un peso ponderado a cada una de ellas, un modo de puntuar numéricamente su grado de intensidad, extensión a lo largo del área de estudio e implicación en los fenómenos de ladera. Se diseñarán varios escenarios posibles de amenaza, de cara a añadir robustez y objetividad al modelo, para los cuales las variables adquirirán distintos valores para sus puntuaciones ponderadas.

Por último, se realizará el cálculo de la susceptibilidad, mediante una técnica de Evaluación Multicriterio, como es la suma lineal ponderada. Los resultados obtenidos se representarán en forma de mapas de susceptibilidad, siendo este el resultado perseguido en este estudio, y se analizarán las soluciones obtenidas.

Hito 4. Validar los resultados obtenidos, mediante la comparativa con la cartografía oficial existente sobre Procesos Activos Geológicos y Geomorfológicos en la región, y la comparativa con los distintos procesos históricos que se han recogido con anterioridad en el presente estudio.

Hito 5. Extraer las conclusiones sobre el desarrollo del trabajo en base a los resultados obtenidos.

Hito 6. Introducir una serie de recomendaciones finales en forma de medidas de prevención y corrección para los distintos grados de amenaza que ha adquirido nuestra área de estudio.

Todos los hitos expuestos anteriormente serán la base para el diseño de un sistema de monitorización espacial que permita detectar, evaluar y priorizar las actuaciones en zonas con riesgo de inestabilidad que, tal y como se ha expuesto anteriormente, es el objetivo final de este trabajo.

### 3. Encuadre territorial

En el presente apartado se realizará un encuadre territorial que abarcará a toda la comarca de Liébana, ubicada en el marco de la Comunidad Autónoma de Cantabria, dándose información sobre la misma y su contexto.

#### 3.1 Localización

La comarca de Liébana, o La Liébana, es una de las comarcas históricas de Cantabria (España), siendo una de las que se encuentran mejor definidas en esta comunidad autónoma. Esto se debe a que se encuentra perfectamente rodeada por las crestas del Parque Nacional de los Picos de Europa, la sierra de Peña de Sagra y la Cordillera Cantábrica.



FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA COMARCA DE LIÉBANA. ENCUADRE EN UN MAPA FÍSICO DE CANTABRIA.

Localizamos esta comarca al suroeste de Cantabria, siendo limítrofe con las provincias de Asturias, León y Palencia.

Cuenta con parte de su territorio ubicada en la Reserva Nacional del Saja y también en el anteriormente nombrado Parque Nacional de los Picos de Europa. De esta manera, en la articulación de estos dos importantes macizos se ubica el Valle de Liébana.



FIGURA 2. MAPA DE MUNICIPIOS DE LA COMARCA DE LIÉBANA. NOMBRES DE LOS TÉRMINOS MUNICIPALES.

## 3.2 Medio Natural

### 3.2.1. Orografía

El Valle de Liébana, en el fondo, se encuentra entre los 100 metros de altura sobre el nivel del mar, en la zona del desfiladero de la Hermida, y los 300 metros de Potes, la capital de la comarca.

Este valle gran valle se puede subdividir a su vez en otros cuatro de menor dimensión: Valdebaró, Cereceda, Piedrasluengas y Cillorigo, que confluyen en Potes, siendo este el centro de la comarca.

La salida natural del valle es el propio desfiladero de la Hermida, una extensa garganta de 20 kilómetros, la cual ha ido siendo excavada por el río Deva en las rocas calizas de los Picos de Europa. Cuenta con escarpadísimas paredes, casi verticales, algunas de las cuales alcanzan más de 600 metros de altura. Este desfiladero desemboca en el mar Cantábrico en la localidad de Unquera, y será un elemento protagonista en el estudio que llevaremos a cabo en esta comarca.

Otros accesos al Valle de Liébana son el Puerto de San Glorio, que une Cantabria y la provincia de León, y el Puerto de Piedrasluengas, que hace lo propio con la provincia meridional de Palencia.

### 3.2.2. Hidrografía

Esta comarca, y los valles incluidos en ella, son atravesados por el río Deva y sus dos principales afluentes: el Quiviesa y el Bullón.

El Deva nace en Fuente Dé, pasando por el municipio de Camaleño, la villa de Potes, lugar en el cual recibe las aguas del río Quiviesa, y entrando por el pueblo de Ojedo, recibe las del río Bullón, para finalmente atravesar el Desfiladero de la Hermida y acabar uniéndose con el río Cares.

Por otro lado, el río Bullón nace en Peña Labra y desciende por los municipios de Pesaguero y Cabezón de Liébana, hasta unirse con el Deva en Ojedo.

Finalmente, el otro afluente del Deva, el río Quiviesa nace en el Puerto de San Glorio, descendiendo por el municipio de Vega de Liébana para terminar uniéndose, como se ha mencionado anteriormente, con el Deva en la villa de Potes.

### **3.2.3. Geología**

En esta comarca destaca la presencia de calizas de montaña, sobre las pizarras y areniscas, con un gran e importante valor paisajístico.

Liébana se encuentra constituida principalmente por rocas del Paleozoico (Era Primaria), pero sin duda, son las rocas del Carbonífero las predominantes. Del Carbonífero Inferior son las calizas que conforman el macizo Central y Oriental de los Picos de Europa, y también de la zona norte de la comarca.

Pertenecientes al Carbonífero Superior encontramos las pizarras y areniscas del centro de la comarca. Limitando con la provincia de Palencia aparecen pizarras y areniscas, las cuales se corresponden a los períodos Silúrico, Devónico y Carbonífero, y que sin duda, son las formaciones rocosas más antiguas de Cantabria. Las areniscas rojo parduscas del Triásico y los conglomerados compactos del Carbonífero se encuentran en la zona nororiental de la comarca.

Además, se pueden contemplar una serie de depósitos de materiales de origen glacial y fluvial, principalmente en las áreas de Fuente Dé, Áliva, Peña Vieja y en el Desfiladero de la Hermida.

### **3.2.4. Climatología**

Su relieve cerrado provoca que tenga un microclima diferente al del resto de la región, la cual está afectada por un clima atlántico.

De esta manera, Liébana se caracteriza por tener una variedad climática particular, donde se alterna el mencionado microclima, que es propiamente mediterráneo en el fondo del valle, con los rigores de la meteorología alpina en las zonas más elevadas, pasando por un clima atlántico húmedo de transición entre ellos.

Las temperaturas medias anuales son de 28°C para las máximas, y de 8°C para las mínimas.

Además cuenta con un nivel pluviométrico más seco al de otras zonas de Cantabria (800 milímetros anuales frente a los 1.000 – 1.200 milímetros de media de la comunidad autónoma).

### **3.2.5. Flora y fauna**

La propia comarca es una reserva natural donde aún perviven especies arbóreas autóctonas.

La vegetación de la comarca lebaniega posee una particular variedad donde se encuentran ejemplares típicamente mediterráneos, como la encina y el alcornoque, entremezclados con bosques de tipo atlántico, como el hayedo o el roble. La encina, junto con la cagiga, tiene una presencia importante en las zonas bajas de la comarca.

Por otro lado, el roble tocio o rebollar, también se encuentra muy extendido. Este es muy resistente a heladas y nevadas tardías, situándose preferentemente en las solanas, desde los 400 a los 1.300 metros. El roble albar se sitúa en valles o laderas suaves y en umbría, donde se encuentra desde los 500 a los 1.400 metros. El hayedo es el bosque más numeroso en Liébana, situándose en laderas de umbría desde los 600 a los 1.700 metros. El abedul se encuentra localizado en pequeñas zonas, en el límite superior de algunos hayedos, y, por otro lado, el castaño se manifiesta en bosques mixtos o en ejemplares aislados centenarios. El ya mencionado alcornoque se sitúa generalmente en las laderas expuestas al sol, desde los 400 a los 800 metros.

Finalmente, en las zonas de alta montaña, entre los 1.600 y los 2.000 metros de altitud, encontramos los puertos de alta montaña, donde se sitúan los pastos para el ganado durante los meses de verano.

Estos parajes conforman un hábitat que favorece una rica e importante variedad de **fauna**.

Destacan especies en vías de extinción como el oso, el urogallo, el águila real, y también la presencia esporádica de ejemplares de lobo.

Los corzos, venados y, en los Picos, el rebeco, también son muy abundantes, al igual que el jabalí, que es objeto de cacerías reguladas en los diferentes montes de la comarca. En los ríos, como el Deva, la trucha, la anguila y el salmón son especies muy apreciadas.



FIGURA 3. PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA.

### 3.2.6. Normativa ambiental y espacios protegidos

El alto valor de la riqueza ecológica de la comarca se ha visto favorecido por el estilo de vida tradicional de los habitantes lebaniegos, siendo reconocido por las diferentes figuras de protección institucional que se superponen en el territorio.

Un claro ejemplo son las más de 15 mil hectáreas que la comarca aporta al Parque Nacional de los Picos de Europa, o los espacios incluidos en la Red de Espacios Protegidos promovida por la Comisión Europea Natura 2000:

- El sistema fluvial del Río Deva (LIC, Lugares de Interés Comunitario)
- El Desfiladero de la Hermida (ZEPA, Zonas de Especial Protección Para Aves) .
- Zonas altas y medias de la Comarca (LIC)
- Sierra de Peña Sagra (ZEPA)

### 3.3 Medio Humano

#### 3.3.1. Superficie y población

La superficie total de la comarca es de: 574,83 km<sup>2</sup> (57.483 hectáreas), formando un 10,80 % de la superficie de Cantabria.

Tiene una población total de: 5.595 habitantes (datos del 2014), llegando apenas al 1% de la población total cántabra.

De estos datos se deduce la densidad de población, la cual es: 10,19 habitantes/km<sup>2</sup>.

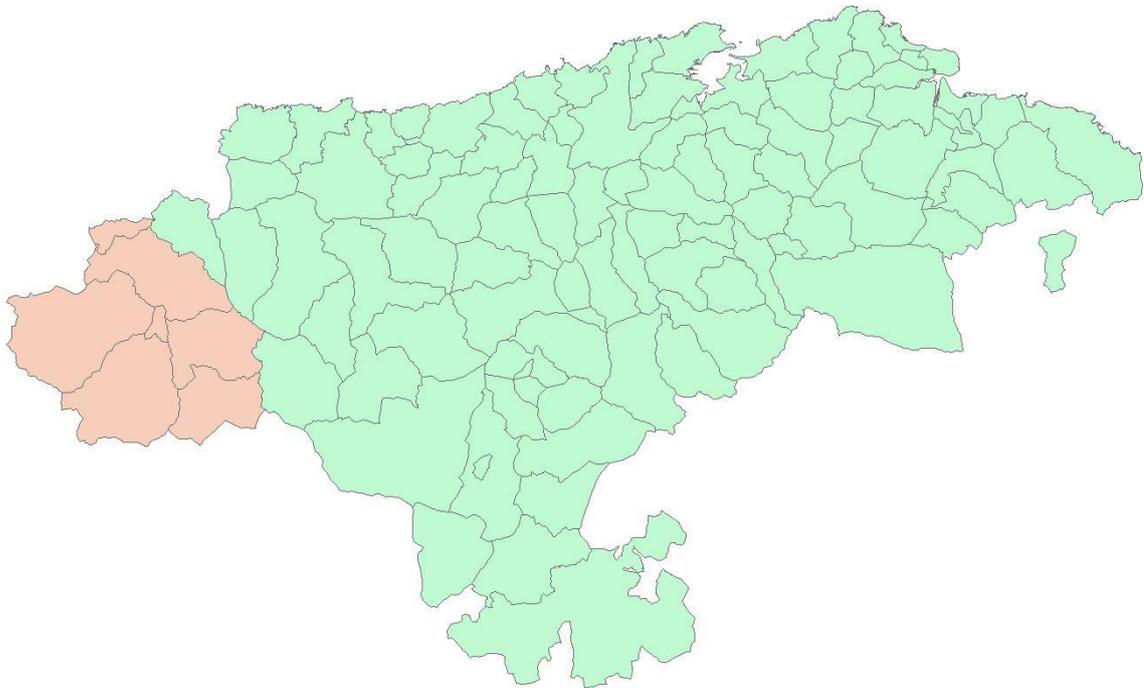


FIGURA 4. UBICACIÓN DE LA COMARCA DE LIÉBANA. ENCUADRE EN UN MAPA DE MUNICIPIOS DE CANTABRIA.

Según la destinación de uso, la superficie de Liébana se distribuye de la siguiente manera:

- Tierras de labor: 566 hectáreas
- Prados: 12.294 hectáreas
- Terreno forestal: 37.768 hectáreas
- Erial: 253 hectáreas
- Improductivo: 5.929 hectáreas
- Otras superficies: 673 hectáreas

### 3.3.2. Municipios

A continuación se nombran, por orden alfabético, los municipios que constituyen esta comarca:

- Cabezón de Liébana
- Camaleño
- Cillorigo de Liébana
- Pesaguero
- Potes
- Tresviso
- Vega de Liébana

El municipio de **Potes** es el único de los siete que es considerado núcleo urbano y, además, ejerce como capital de la comarca. Posee unos 1.400 habitantes, siendo así el más poblado de la comarca. Le siguen Cillorigo de Liébana, con 1.215 habitantes, y Camaleño, con 1.088 habitantes. Sin embargo, el municipio de mayor tamaño es el propio Camaleño, que cuenta con una superficie de 161,1 km<sup>2</sup>.

### 3.3.3. Vías de comunicación

En este apartado se expondrán las carreteras y vías de comunicación más destacadas de la comarca de Liébana, sobre algunas de las cuales se verá implicado nuestro Estudio.

La vía de comunicación más importante de entre todas las que atraviesan esta comarca es la **Carretera Nacional N-621**. Es una vía terrestre que discurre entre León y Unquera (Cantabria), atravesando Asturias y, por ende, las provincias ya citadas de León y Cantabria.



FIGURA 5. MAPA DE CARRETERAS DE CANTABRIA. DETALLE DE LA CARRETERA N-621 A SU PASO POR LIÉBANA.

Esta carretera es de doble sentido, y cuenta con un carril para cada uno de los sentidos de la circulación. Su longitud es de aproximadamente de 190 kilómetros. Aunque su recorrido no sea muy extenso, es una vía de carácter importante debido a que cruza la cordillera Cantábrica, atravesando el Parque Nacional de los Picos de Europa, por el puerto de San Glorio (1.609 metros de altura sobre el nivel del mar), y es la tradicional vía de comunicación entre León y la costa de Cantabria.

En lo que nos concierne, la provincia lebaniega, esta carretera la atraviesa en su totalidad, llegando a Potes, para continuar por el Desfiladero de La Hermida. En dicho desfiladero se introduce en Asturias, para pasar por Panes, y volver a transcurrir por Cantabria, hasta llegar a Unquera, su punto final.

La velocidad genérica de esta vía es de 90 km/h.



FIGURA 6. CARRETERA NACIONAL N-621, A SU PASO POR EL DESFILADERO DE LA HERMIDA. LIÉBANA, CANTABRIA.

A esta carretera nacional le siguen en importancia, siempre a nivel comarcal, dos carreteras de carácter autonómico: las **Carreteras Autonómicas CA-184 y CA-185**.

La primera de ellas, la CA-184 une la capital lebaniega, Potes, con la localidad castellana de Piedrasluengas, empalmando con la también carretera autonómica CA-281, que llega del municipio de Polaciones, en la comarca oriental de Saja – Nansa.

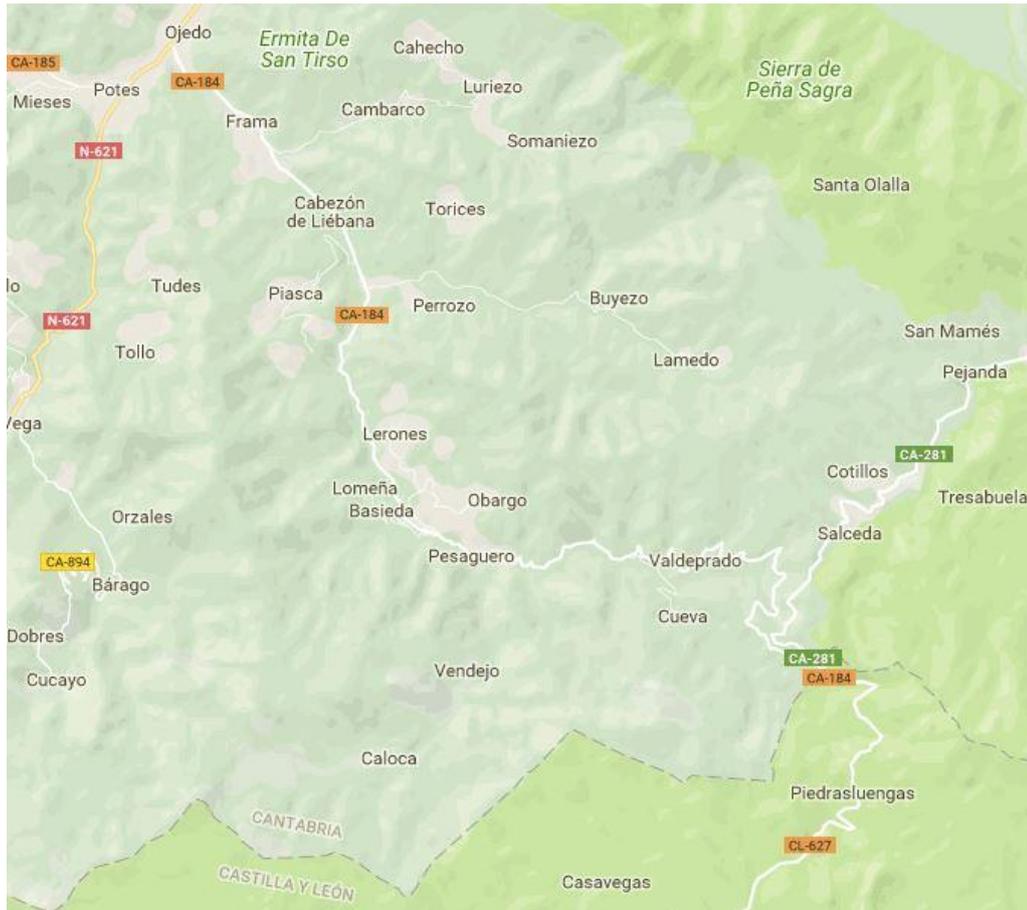


FIGURA 7. MAPA DE CARRETERAS DE CANTABRIA. DETALLE DE LA CARRETERA CA-184 A SU PASO POR LIÉBANA.

La otra, la carretera autonómica CA-185, sale de la villa de Potes, hasta llegar a la turística localidad de Fuente Dé.

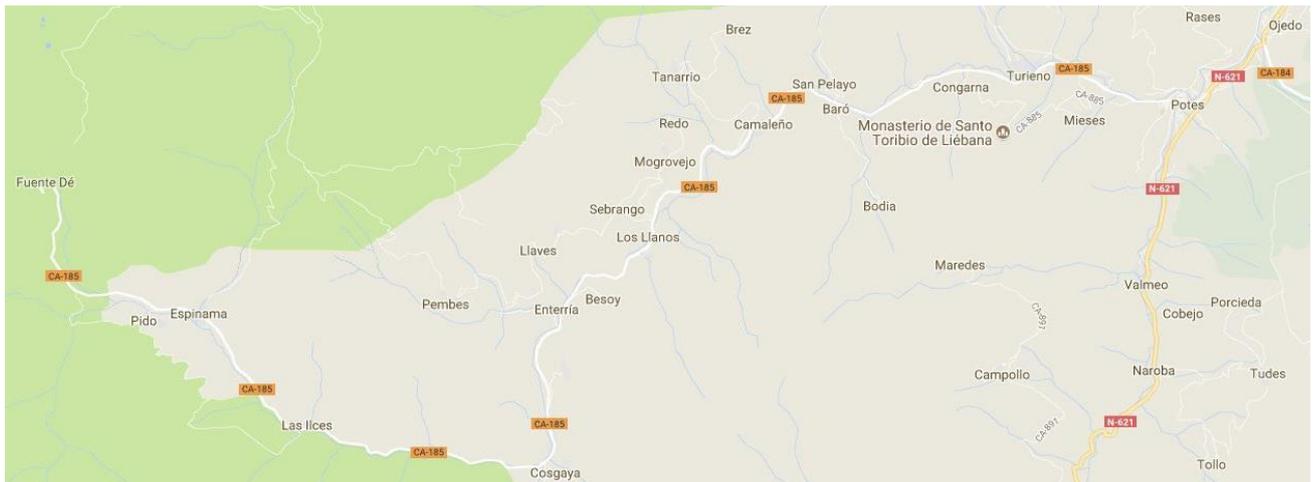


FIGURA 8. MAPA DE CARRETERAS DE CANTABRIA. DETALLE DE LA CARRETERA CA-185 A SU PASO POR LIÉBANA.

Este municipio alberga la sede de los célebres teleféricos de ascenso al Parque Nacional de los Picos de Europa, en la zona de su macizo Central, alcanzando el Mirador del Cable, a 1.823 metros de altura sobre el nivel del mar.

Además, esta vía pasa por los municipios de Camaleño o Los Llanos, entre otros, y conforma la principal ruta de acceso al Monasterio de Santo Toribio, enclave turístico de la comarca.



FIGURA 9. CARRETERA AUTONÓMICA CA-185, CON SENTIDO A FUENTE DÉ. LIÉBANA, CANTABRIA.

Otras carreteras autonómicas de menor longitud de trazado que las dos anteriores, pero que son relevantes en la comarca son:

- CA-885: esta carretera parte prácticamente de Potes, empalmando con la CA-185, hasta llegar a San Miguel. Su rasgo más importante no es otro que conectar la CA-185 con el Monasterio de Santo Toribio.
- CA-886: carretera autonómica de considerable extensión, que une la CA-185 en La Molina, con la localidad de Argüebanes.
- CA-883: conecta la N-621 en Cillorigo de Liébana con el municipio de Viñón, al oeste del primero. Además, esta carretera se bifurca en Otero, dando lugar a la CA-884, que avanza hasta Colio.
- Caso idéntico ocurre con la CA-881, esta vez al este de Cillorigo de Liébana, al cual une con la localidad de San Pedro. Esta carretera también se divide, en la CA-882, que llega hasta Cobeña.
- CA-870: nace en la Puente de la Vieda, de la CA-184, y termina en Somaniezo.
- CA-871: en Puente Asnil, une la CA-184 con Lamedo.
- CA-872: partiendo de Molino, conecta la CA-184 con el municipio de Piasca.

- CA-873: en Venta Encinas, sale de la CA-184 hacia el este para llegar a Lerones, bifurcándose antes en la CA-874 con el objetivo de alcanzar la localidad de Barreda.
- CA-875: con dirección oeste con respecto a la CA-184, nace en Venta Viñón, conectando esta carretera con el municipio de Basieda.

### 3.3.4. Economía

La economía en esta comarca ha estado históricamente relacionado al sector primario, en el cultivo de la vid (producción de vino y orujo) y en las explotaciones hortofrutícolas, y especialmente en la ganadería.

Esta última es aún la principal fuente de ingresos de los habitantes de la comarca, siendo la vaca pardo-alpina la raza más numerosa. Además, el ganado ovino y el caprino son la materia prima fundamental para la elaboración de afamados quesos con denominación de origen de la comarca.

Otra actividad de gran importancia en Liébana es la minería, ya que el subsuelo lebaniego es muy rico en sulfuros de cinc, carbonatos de cinc o sulfuros de plomo. La última explotación fue la de las minas de Áliva, cerrada hace unos años.

El sector industrial se considera prácticamente inexistente en esta comarca.

Hoy en día, la comarca lebaniega es testigo de un importante auge rural en la misma, en detrimento de los sectores primario y secundario tradicionales.



FIGURA 10. PUENTE DE SAN CAYETANO SOBRE EL RÍO QUIVIESA, POTES (LIÉBANA, CANTABRIA).

Sin embargo, dicho crecimiento turístico ha afectado casi exclusivamente a la localidad de Potes, sin verse reflejado con la misma intensidad en el resto de núcleos de población, los cuales padecen una evolución demográfica negativa.

Liébana es por tanto uno de los destinos turísticos más importantes de Cantabria en la actualidad, siendo esta un claro ejemplo de desarrollo del turismo interior, rural y de naturaleza.

Cuenta con un gran valor paisajístico, favorecido por la presencia de grandes montañas en todo su perímetro, y por el marcado carácter arquitectónico que han logrado conservar sus núcleos de población.



**FIGURA 11. MONASTERIO DE SANTO TORIBIO DE LIÉBANA. MUNICIPIO DE CAMALEÑO, LIÉBANA (CANTABRIA).**

## 4. Conceptos Generales

A continuación se profundizará en los conceptos tanto de movimientos de laderas, como de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, con el objetivo de lograr la familiarización con los mismos de cara a los apartados del trabajo que siguen al presente.

### 4.1 Movimientos de laderas

Se entiende como movimiento de ladera (Varnes, 1978) aquel movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente.

Los tipos, actividades y definiciones de movimientos de ladera son definidos por la “*Commission of Landslides*”, la cual forma parte de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG).

En 1996, Soeters y van Westen formularon que los procesos de inestabilidad de laderas son el producto de las condiciones locales geomorfológicas, hidrológicas y geológicas.

Dichas condiciones pueden verse afectadas por los procesos geodinámicos, vegetación, usos del suelo y actividades humanas, y, por último, por la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y de la sismicidad de la zona.

Es necesario establecer una completa y detallada **clasificación de los movimientos de ladera**, ya que esta va a permitir la identificación y descripción de los cuerpos que están en movimiento relativo.

La clasificación de Varnes (Varnes, 1978) es una de las más completas que existen, y por ello es una de las más utilizadas, la cual se basa principalmente en características geomorfológicas.

En la **Tabla 1** se muestra y se ilustra en una tabla cada tipo de movimiento recogido en esta clasificación:

### 4.2 Deslizamientos

Son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de dichas superficies.

La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido. La velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes.

En la zona norte de España, Asturias, Cantabria y País Vasco, a este tipo de procesos se les denominan también **argayos** (*Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua*).

En función de la geometría de la superficie de rotura se diferencian entre:

- **Deslizamiento rotacional:** la superficie de rotura posee una forma cóncava, y estos se producen generalmente en materiales cohesivos “homogéneos” o en macizos rocosos muy fracturados.  
Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre sí, dando lugar a “escalones” con la superficie basculada hacia la ladera.

Sus dimensiones más frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos.

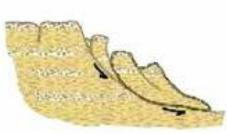
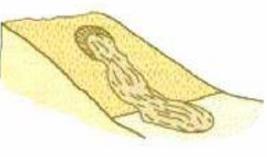
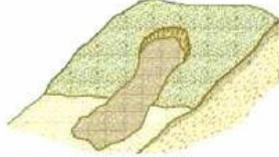
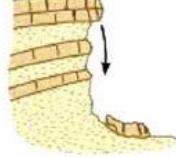
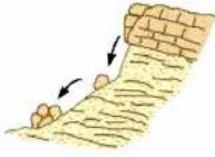
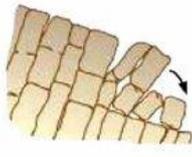
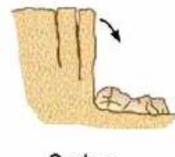
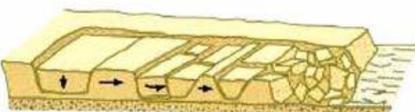
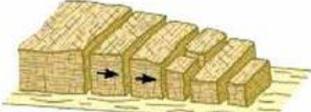
La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversales.

- Deslizamiento traslacional: la superficie es un plano con una inclinación más o menos constante, y con debilidades preexistentes. Suelen producirse sobre materiales heterogéneos con superficies de discontinuidad bien definidas.  
No suelen ser muy profundos, aunque sí muy extensos y pueden alcanzar grandes distancias.  
Son frecuentes en este tipo de inestabilidades los movimientos a impulsos o en fases diferentes en el tiempo, según las condiciones de resistencia de los planos de deslizamiento.  
Generalmente son más rápidos que los rotacionales, debido a las características cinemáticas del mecanismo de rotura.
- Deslizamientos compuestos: movimientos de ladera que tienen una superficie de rotura con una geometría mixta.

Pueden producirse deslizamientos en **derrubios**, refiriéndose este término a un material suelto, sin consolidar, con una proporción de material grueso (Varnes, 1978).

En ocasiones, cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio al pie de la ladera (debido al contenido de agua a la pendiente existente), la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas, dando lugar a un **flujo**.

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERAS SEGÚN EL MECANISMO DE RUPTURA.

| Tipos de movimientos de ladera |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| Deslizamientos rotacionales    | <br>Suelos   | <br>Rocas              |
| Deslizamientos traslacionales  | <br>Suelos   | <br>Rocas              |
| Flujos                         | <br>Suelos   | <br>Derrubios          |
| Desprendimientos               |            |                       |
| Vuelcos                        | <br>Rocas  | <br>Suelos          |
| Avalanchas                     | <br>Rocas  | <br>Derrubios        |
| Desplazamientos laterales      | <br>Suelos | <br>Bloques rocosos |

#### 4.2.1. Flujos

Son movimientos de masas de suelos (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios o “*debris flow*”) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, donde el material se encuentra disgregado y se comporta como un “fluido”.

Según Varnes (Varnes, 1978), estos movimientos tienen en común la deformación interna y continua del material, y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento.

El agua es el principal agente desencadenante, ya que provoca pérdidas de resistencia en materiales poco cohesivos. De esta manera, se afecta principalmente a suelos arcillosos.

Estos movimientos son poco profundos en relación a su extensión (pueden alcanzar varios kilómetros), y presentan una morfología tipo “glaciar”, sin necesitar grandes pendientes (incluso menores a 10°) para tener lugar.

Como hemos visto, las diferencias radican en el material implicado, y también en su contenido en agua, y la velocidad de desarrollo, pudiendo ser lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas).

Los tipos de flujos más comunes son:

- Movimientos de masas de suelos (flujos de tierra o barro):  
Se dan en materiales principalmente finos y homogéneos; la pérdida de resistencia suele estar motivada por la saturación en agua.
- Flujos de derrubios (“*debris flow*”):  
Son movimientos en los que participan fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas en una matriz fina de arena, limo y arcilla. Suelen darse en laderas cubiertas por material no consolidado, y especialmente en aquellas donde no existe cubierta vegetal. La humedad del suelo tiende a ser el principal factor desencadenante.

#### 4.2.2. Desprendimientos

Estos movimientos son caídas libres de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, etc.).

Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas (incluso en taludes verticales), en acantilados y paredes rocosas, siendo las roturas en forma de cuña las más habituales.

Se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de la ladera.

Los factores que los provocan son la erosión y la pérdida de apoyo (descalce) de los bloques previamente independizados, además del agua presente en discontinuidades y grietas, o las sacudidas sísmicas, entre otros.

Al tratarse de un proceso repentino, se considera un riesgo importante.

#### 4.2.3. Desplazamientos laterales

Este tipo de movimiento, también conocido como “extensión lateral”, se refiere al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable.

El flujo o deformación del material subyacente bajo el peso de los bloques rígidos provoca una pérdida de resistencia de dicho material, produciéndose el movimiento.

Los desplazamientos laterales también pueden ser provocados por licuefacción del material de base, o por procesos de extrusión lateral de arcillas blandas y húmedas, bajo el peso de los bloques superiores.

Los bloques se desplazan lateral, y muy lentamente, a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes, y suelen ser bastante extensos.

#### **4.2.4. Avalanchas rocosas**

Estos movimientos, considerados en otras clasificaciones como “desprendimientos” o “movimientos complejos”, alcanzan gran velocidad, con caída de masas de rocas o derrubios, que se desprenden de laderas escarpadas, e incluso pueden ir acompañadas de hielo y nieve.

Las masas rocosas se rompen y pulverizan durante la caída, dando lugar a depósitos distribuidos caóticamente, de gran diversidad de tamaños, sin estructura y con gran porosidad.

Suelen ser resultado de deslizamientos o desprendimientos de gran magnitud que, por lo elevado de la pendiente y la falta de estructura y cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad ladera abajo en zonas abruptas.

Los principales desencadenantes de este tipo de inestabilidad son: el agua de precipitación o deshielo, los movimientos sísmicos o la actividad volcánica.

#### **4.2.5. Movimientos complejos**

Estos movimientos resultan de la combinación de dos o más tipos de los movimientos elementales descritos con anterioridad.

Generalmente, alcanzan una gran extensión, afectando en ocasiones a laderas completas.

### **4.3 Causas de los movimientos de laderas**

La distribución espacial y temporal de los movimientos de ladera está condicionada por factores propios de ladera y/o factores externos a ella.

Estos factores han sido clasificados de diversas maneras según el autor que los haya estudiado, bien en tres categorías, o bien en dos.

El primer tipo de clasificaciones, en tres grupos, viene bien representada por la que realizó Suárez en 1998, la cual distingue entre:

- Condiciones originales del talud, que determinan la susceptibilidad al deterioro y son inherentes a la topografía, geología y características de los materiales, condiciones ambientales generales, cobertura vegetal, etc.
- Factores de deterioro, que producen una modificación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves.
- Factores detonantes, que activan el movimiento.

Haciendo referencia a las clasificaciones de dos, nos encontramos la clasificación realizada por González de Vallejo (González de Vallejo, 2002), cuya investigación ya hemos citado y utilizado

en el apartado anterior, la de Mora (Mora, 2004) o la de Soeters y van Westen (Van Westen & Soeters R., 1996), que agrupan las causas de movimientos de ladera en:

- Factores condicionantes, de susceptibilidad o pasivos

Aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Tal es el caso de la pendiente, la litología y las condiciones naturales de humedad, además de muchos otros dependiendo de las características locales de cada talud.

- Factores desencadenantes, de disparo, detonantes o activos

Aquellos factores externos que inducen a un comportamiento dinámico activo, y que a partir de las condiciones iniciales generarán mayor o menor intensidad del fenómeno, siendo, por lo general, responsables de la magnitud y velocidad de los movimientos. Fundamentalmente son inherentes a la intensidad del movimiento sísmico y a las lluvias.

TABLA 2. INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES FACTORES EN LAS CONDICIONES DE LOS MATERIALES Y LAS LADERAS.

| Factores        |  | Influencias y efectos  |
|-----------------|--|--|
| Condicionantes  | Relieve (pendientes, geometría)                              | Distribución del peso del terreno.   |
|                 | Litología (composición, textura)                             | Densidad, resistencia.<br>Comportamiento hidrogeológico.   |
|                 | Estructura geológica y estado tensional                      | Resistencia, deformabilidad.<br>Comportamiento discontinuo y anisótropo.<br>Zonas de debilidad.  |
|                 | Propiedades geomecánicas de los materiales                   | Comportamiento hidrogeológico.<br>Generación de presiones intersticiales.  |
|                 | Deforestación  | Modificaciones en el balance hídrico.<br>Erosión.  |
|                 | Meteorización  | Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.   |
| Desencadenantes | Precipitaciones y aportes de agua                            | Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno.  |
|                 | Cambio en las condiciones hidrológicas                       | Saturación en suelos.<br>Erosión.  |
|                 | Aplicación de cargas estáticas o dinámicas                   | Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera.<br>Incremento de presiones intersticiales.     |
|                 | Cambios morfológicos y de geometría en las laderas           | Variación de las fuerzas debidas al peso.<br>Cambio en el estado tensional.  |
|                 | Erosión o socavación del pie                                 | Cambios geométricos en la ladera.<br>Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera.          |
|                 | Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías) | Cambio en el contenido de agua del terreno.<br>Generación de grietas y planos de debilidad.<br>Disminución de las propiedades resistentes. |

Los terremotos pueden provocar movimientos de ladera de todo tipo, dependiendo de las características de los suelos (derivadas de la geología), de la magnitud del sismo y de la distancia al foco. Derrumbes, deslizamientos y flujos pueden ocurrir durante las sacudidas sísmicas.

Sin embargo, en este estudio, y como se verá más adelante, en los cálculos de la susceptibilidad de inestabilidades de ladera, en la comarca de Liébana no consideraremos la variante sísmica debido a su baja relevancia en esta área geográfica.

Caso contrario es el de la acción de las precipitaciones a la hora de desencadenar movimientos de ladera, en nuestra área de estudio, la comarca lebaniega, donde es un factor fundamental.

Los movimientos de ladera causados por lluvias están relacionados con el volumen, intensidad y distribución de dichas precipitaciones. En consecuencia, es importante tener en cuenta la respuesta del terreno a precipitaciones durante horas, días, meses, años e incluso ciclos de lluvia y sequía de varios años.

Cuando la precipitación cae sobre una ladera, un porcentaje de ella es interceptado por la vegetación, otro se infiltra en el suelo o se almacena en las depresiones para luego infiltrarse. El proceso de infiltración continúa, aún después del cese de las lluvias, y en algún momento pueden crearse condiciones críticas, ya que la humedad del suelo y la posición del nivel freático han aumentado, incrementando la presión de poros, disminuyendo los esfuerzos efectivos y, por tanto, la resistencia al esfuerzo cortante.

Es entonces cuando se pueden alcanzar los umbrales de inestabilidad que detonan el movimiento de una parte, o bien, de toda la ladera.

#### **4.4 Conceptos de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo**

La **susceptibilidad** del suelo a los movimientos de ladera (**S**), se define como la favorabilidad del ambiente físico y de los elementos inherentes de las masas de terreno y superficie como la geología, geomorfología, etc., a la ocurrencia de deslizamientos.

Indica la predisposición del terreno a deslizarse, pero no implica el aspecto temporal del mismo.

El **detonante (T)** es la acción de inicio o disparo del fenómeno del movimiento de ladera, que normalmente se identifica con fuertes lluvias o con terremotos.

La **amenaza o peligrosidad** a los movimientos de ladera (**H**), se define como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno dentro de un período de tiempo determinado, y en un área específica. Implica, por tanto, localizar las áreas inestables y las potencialmente inestables.

La amenaza se expresa como función de la susceptibilidad del terreno a deslizarse y del detonante.

La **vulnerabilidad (V)** se define como la predisposición que tiene un elemento u objeto a ser afectado.

El **riesgo** de movimientos de ladera (**R**) se obtiene al relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un movimiento de ladera, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Se puede distinguir entre riesgo específico ( $R_s$ ), es decir, como el grado de pérdidas esperadas en un cierto elemento, o bien, como riesgo total ( $R_t$ ), que representa el número de vidas perdidas, daños materiales, etc. El siguiente esquema relaciona estos conceptos (García Rodríguez, 2008):

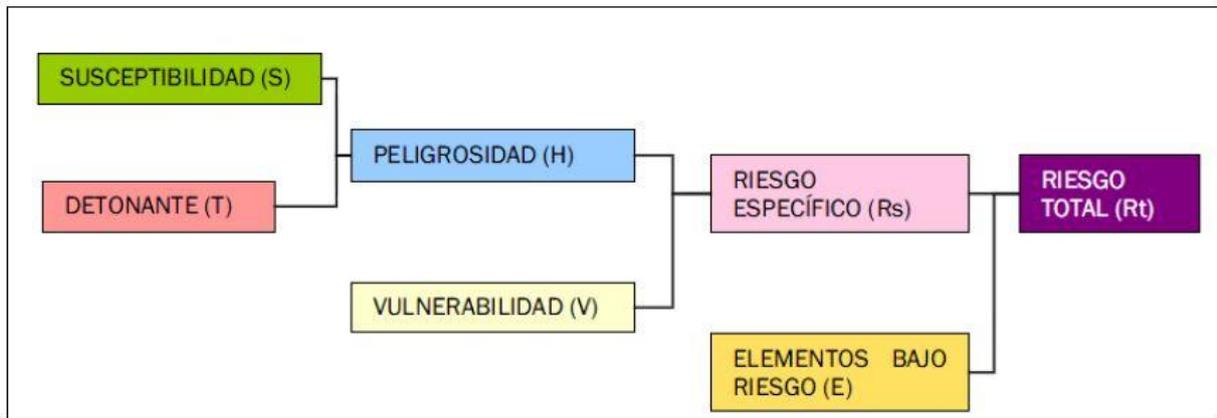


FIGURA 12. ESQUEMA DE LAS RELACIONES EXISTENTES ENTRE DIFERENTES CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL RIESGO.

## 5. Historia de los movimientos de ladera en la comarca de Liébana (Cantabria).

En el presente apartado se recogen los principales eventos históricos acontecidos en la comarca de Liébana referidos a inestabilidades de taludes, pudiendo tratarse desde argayos hasta desprendimientos de bloques rocosos, entre otros, tal y como hemos estudiado previamente.

De esta manera, por un lado analizaremos movimientos de ladera que se produjeron en la comarca en el pasado, y que su acción sobre el entorno se puede considerar hoy en día nula, y por otro, se estudiarán aquellas inestabilidades que aún poseen influencia real sobre su alrededor, tanto a escala natural como humana.

La información que se utilizará en esta parte del estudio proviene de diferentes textos y crónicas históricas para los movimientos de ladera más antiguos, y de artículos y noticias de prensa, e informes técnicos, en el caso de los más recientes.

### 5.1 Argayo de Subiedes (Año 722)

Este argayo es el primero que se ha documentado en la historia de la comarca, y posiblemente sea también el más importante que ha acontecido en ella.

Su nacimiento es conocido gracias a las crónicas que narran los hechos ocurridos al inicio de la Reconquista de la Península Ibérica, por parte de los reinos cristianos, durante la Alta Edad Media.

En las crónicas Rotense (Año 884) y Albedense se narra cómo cerca de la localidad de Cosgaya el ejército musulmán, el cual se batía en retirada de Covadonga hacia Liébana, se encontró con un gran deslizamiento de tierras, que sepultó a gran parte del mismo.

Desde el punto de vista geomorfológico, es una zona muy compleja. Se ha obtenido un gran volumen de información sobre este argayo gracias a un estudio geomorfológico llevado a cabo por el equipo de geólogas formado por Marta Solar Fernández y Marta Asensi García-Hernán, realizado para el estudio de carácter histórico "*El castillo del monte Subiedes. Control del territorio lebaniego en la Alta Edad Media.*", de Javier Marcos Martínez y Lino Mantecón Callejo.

De dicho estudio geomorfológico se ha deducido que entre los municipios de Cosgaya y Camaleño concurren una serie de factores que favorecen el desarrollo de intensos procesos erosivos de tipo gravitacional, los cuales se describen a continuación:

- Es un área muy montañosa y escarpada, de laderas inestables, con fuertes pendientes (una media del 47%).
- Existe una fuerte presencia de agua, debido a la proximidad de la línea de nieves perpetuas, deshielos estacionales y una alta torrencialidad. Además el caudal del río Deva posee un fuerte poder erosivo en este tramo.
- Alberga potentes series de sedimentos predominantemente siliciclásticos (lutitas, areniscas y conglomerados), en donde existen rápidos cambios laterales y verticales de facies y potencias.

- Dos familias de fracturas que afectan a todo el macizo rocoso, a favor de las cuales existen numerosas grietas de despegue de cuñas rocosas (acantilado del frente de Subiedes).
- La presencia de los Picos de Europa es importante debido a que es una cordillera rejuvenecida, donde es muy probable que se esté produciendo un movimiento vertical de recuperación isostática.
- La sismicidad de esta zona es moderada, con una intensidad de carácter bajo.

Atendiendo a las citas de manuscritos recogidos en “*Noticias históricas de Liébana*”, se ha podido encuadrar el origen del deslizamiento entre los años 700 y 1.300 d.C., coincidiendo con un período de bonanza climática, denominado “período cálido medieval”.

Dicho período constituyó un intervalo de tiempo de clima caliente y húmedo, precedido y sucedido por períodos fríos y secos, dándose unas condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de procesos de ladera y el incremento de la torrencialidad.

De entre todos los movimientos cartografiados en esta zona, sólo dos de ellos cumplen las condiciones que les hacen candidatos al movimiento descrito en las crónicas medievales: la Avalancha de Brez, y el desprendimiento de los montes de Subiedes, en Los Llanos.

Con respecto a este último, se tienen tres indicios que llevan a suponer que en la margen derecha del río Deva, frente al pueblo de Los Llanos, se produjo, en un momento histórico, un desplome de la cornisa rocosa de conglomerado sobre el río Deva:

1. Justo en este lugar, el perfil del río muestra una ruptura de pendiente que podría explicarse por la invasión y obstrucción del cauce por las avalanchas de roca y flujos de tierras procedentes de ambas vertientes: cuenca de Sebrango y montes de Subiedes. Los materiales desprendidos han obstruido el cauce y se han repartido por su lecho, alterando sus características hidromorfológicas: pendiente y rugosidad.
2. La presencia de un depósito formado por un caos de bloques de grandes tamaños (0,5 a 10 metros de altura) al pie del acantilado, algunos de los cuales han rodado y pasado hasta la otra margen del río.
3. El acantilado norte de los montes de Subiedes corta el cauce del arroyo Avasallo. A partir del borde de cabecera del cantil, el cauce del arroyo deja de estar encajado para discurrir en vertical formando una cascada entre un caos de bloques, desde donde sortea un desnivel de unos 175 metros. Esta morfología solo puede explicarse a través de un desprendimiento relativamente reciente que ha desgajado parte del cauce del arroyo.

Sin embargo, no se puede afirmar categóricamente que los autores de las crónicas medievales se refirieran a este lugar en concreto, pese a mencionar la comarca de Liébana y la localidad de Cosgaya.

Con el estado actual de conocimiento, la conclusión a la que se llega es que no se poseen suficientes argumentos geológicos científicos como para corroborar la contemporaneidad de estos movimientos de ladera con los hechos militares de la batalla de Covadonga.

Finalmente, es digno de mención que estudios realizados con otras crónicas medievales como base tienden a situar esta catástrofe geológica en un marco geográfico distinto, la cordillera pirenaica.

## **5.2 Argayo en Cahecho (Año 1791)**

El segundo gran argayo del que se tiene noticia documentada tuvo lugar en Cahecho en el año 1791. Los autores que han documentado este acontecimiento son Matías de Lamadrid, e Idelfonso Llorente (en 1882).

El primero de ellos, en su *“Memoria sobre los grandes montes y demás riqueza de Liébana”*, describe el argayo como una “pérdida del equilibrio de las tierras del monte Yurbiende”, produciéndose un gran deslizamiento, formado por un torrente de aguas, tierras, bloques rocosos, vegetación y demás sedimentos que fue encontrado en su avance ladera abajo.

Además, termina su texto refiriéndose a la gran frecuencia que poseen este tipo de movimientos en la zona, siendo cierto que con unas magnitudes de devastación bastante menores.

El otro de los autores, Idelfonso Llorente, relata este acontecimiento alegando a la presencia de aguas subterráneas bajo la superficie de la ladera del monte, ahora renombrado, Sorbiende.

Hace referencia también a la gran intensidad de precipitaciones que aconteció en el año 1791, y describe el deslizamiento de tierras en manera similar al otro autor, asemejándolo a un “caudaloso y turbio río”, el cual terminaba uniéndose al río Bullón, y posteriormente al Deva. Este último expulsaría todos los sedimentos procedentes del argayo al mar Cantábrico.

Este espectacular movimiento de tierras, también conocido como “flujo de Cahecho” por otras fuentes, no causó víctimas, y tampoco destacó por su velocidad, pero sí por su gran magnitud.

Así pues, se concluye que este movimiento puede entenderse como consecuencia de fuertes lluvias sobre esta zona de la comarca de Liébana.

## **5.3 El Cancherral de Hormas, Colio (Año 1902)**

Entrando ya en pleno siglo XX, encontramos este argayo producido en mayo de 1902, en el pueblo de Colio y sus alrededores.

Gran parte de la información existente sobre este fenómeno la proporciona el diario La Voz de Liébana en algunos de sus artículos, los más destacados, publicados en 1913.

En primer lugar, describe el escenario, una estrecha garganta, perpendicular a la peña cercana al pueblo de Colio, de varios centenares de metros de longitud, la cual comienza en el llamado Cancherral de Hormas.

Continúa haciendo referencia a las frecuentes caídas de enormes bloques de roca en dicho cañón, las cuales iban obstruyendo, con su propio depósito, la entrada superior del cañón. Narra cómo, llegado el momento en el que el depósito de rocas no aguantó su propio peso, de tal manera que dicho depósito cedió y se produjo un gran desprendimiento de rocas por la garganta.

Todo ello, acompañado de un fango espeso, además de todo tipo de sedimentos tanto naturales como de origen antrópico, alcanzó el cauce del río la Sorda, produciendo un desbordamiento del mismo, inundando fincas colindantes, destruyendo cosechas y dejando sobre el antes suelo fértil, enormes masas de arena y roca.

Finalmente, el enorme argayo alcanzó, como en otros casos, el cauce del río Deva.

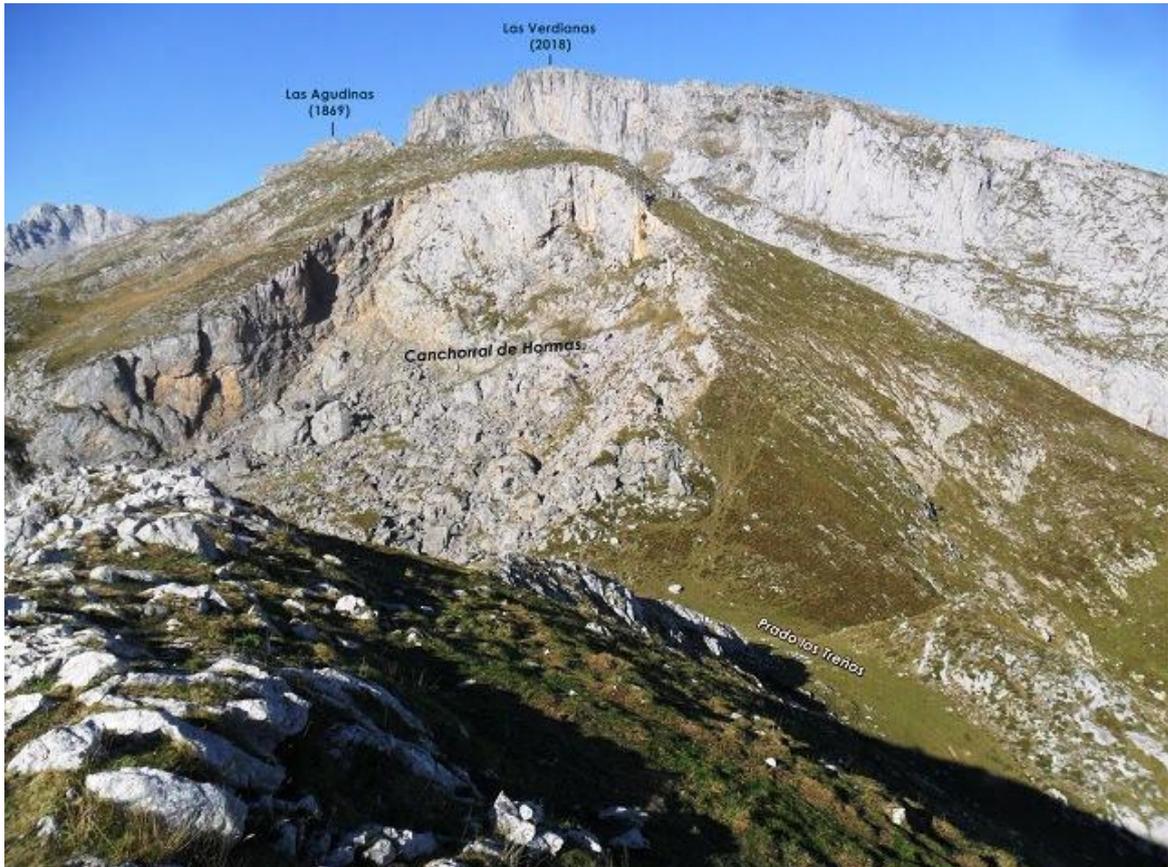


FIGURA 13. DETALLE DEL CANCHORRAL DE HORMAS, COLIO, (LIÉBANA, CANTABRIA).

Una explicación de este argayo, mucho más reciente, la da Roberto Rodríguez Fernández, en la Guía Geológica del Parque Nacional de los Picos de Europa, en la cual se achaca este fenómeno a lo siguiente:

*“[...] las calizas que forman estas cumbres se apoyan sobre un nivel de pizarras que, en momentos de precipitación intensa, se comportan plásticamente y tienden a fluir. Como consecuencia, una parte de la ingente masa de calizas situada por encima de las pizarras se ha desgajado de la montaña, y ha ido deslizándose pendiente abajo, al tiempo que se ha ido fragmentando.”*

El mismo autor también aporta el dato de que este argayo, también conocido como “La Gran Llena”, enterró la ermita de San Lorenzo, situada entre los dos barrios de Colio.

## 5.4 Las Peñas de Brez

Este fenómeno, mucho más reciente, data de principios de la década de 1970. En dicho municipio se encontró con la amenaza representada por el desprendimiento de rocas del Alto de los Cabezos y el Castro de las Cerras, suponiendo la, posiblemente, mayor avalancha rocosa de toda la cordillera, tal y como indicaron los geólogos de la Universidad de Oviedo, Jorge Marquínez y Luna Adrados.

A través de información de prensa de la época, como es el caso de La Vanguardia, podemos comprender la dimensión de este desprendimiento. Este medio describió el fenómeno centrándose en la presencia de una enorme roca "movidiza", que presentaba una gran corrosión en la base.

Se hizo hincapié en el enorme riesgo que suponían las lluvias y los deshielos de las cumbres cercanas para la estabilidad de la roca. Estas corrientes de agua podían formar torrentes, de caudales considerables, que podían favorecer el desplazamiento de tierras en la base de la roca, suponiendo una posible caída de la misma sobre el pueblo, situado al pie de la ladera.

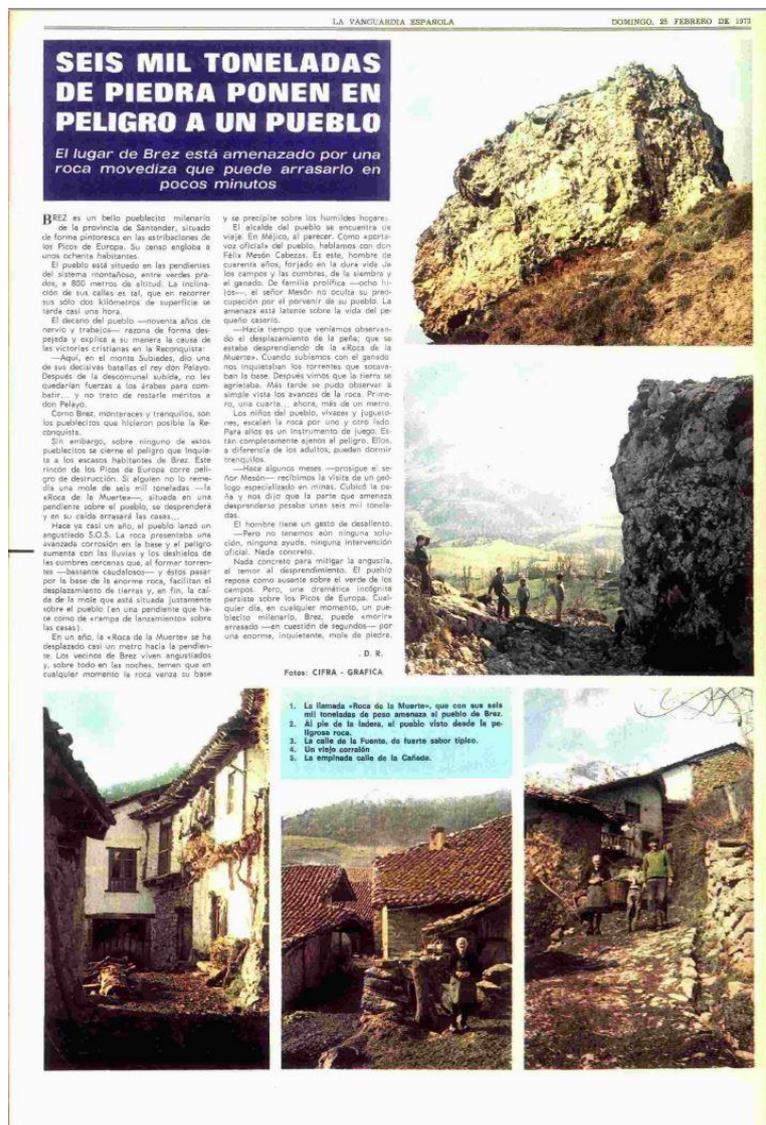


FIGURA 14. RECORTE DE PRENSA DEL DOMINGO 25 DE FEBRERO DE 1973, LA VANGUARDIA ESPAÑOLA (HEMEROTECA).

Esta roca, bautizada popularmente como la “Roca de la Muerte”, consiguió desplazarse 1 metro hacia la pendiente de la ladera en solo un año. El periódico narra cómo se optó por tomar la más radical de las medidas preventivas: la voladura de la mayor de las piedras de la peña, que contaba con seis mil toneladas de peso.

Esta voladura se llevó a cabo el 23 de abril de 1973 con 700 kgs. de explosivos, con resultado exitoso. Se cuenta también cómo se previó la excavación de una trinchera para la recepción de los fragmentos de piedra procedentes de la voladura.



**FIGURA 15. LA LLAMADA “ROCA DE LA MUERTE”. AL PIE DE LA LADERA, EL PUEBLO DE BREZ. IMAGEN TOMADA DE LA VANGUARDIA.**

Es preciso recordar que se decidió la no actuación sobre dos rocas de menor dimensión, situadas en pleno pueblo, y que las cuales, tiempo después, provocaron la rotura de un muro. Por tanto, se optó, ya en 1985, por anclarlas con tirantes, y protegerlas mediante un muro pantalla.

En la siguiente imagen, proporcionada por el periódico El Diario Montañés, se aprecia el estado que presenta hoy en día la medida correctora que se aplicó.



FIGURA 16. ROCAS ANCLADAS MEDIANTE TIRANTES EN 1985.  
BREZ, (LIÉBANA, CANTABRIA).

### 5.5 Deslizamiento de Sebrango, con dirección a Los Llanos, Camaleño

Según el estudio *“El castillo del monte Subiedes”*, de Javier Marcos y Lino Mantecón, el cual hemos consultado de cara a la redacción del apartado previo referido al argayo de Subiedes, se comprueba que esta zona ha poseído siempre una gran susceptibilidad a la aparición de argayos.

Según el análisis geomorfológico contenido en el estudio citado, en el valle de Sebrango se han identificado once movimientos de ladera, de los cuales tres de ellos son presentes suspendidos o reactivados, otros seis son de carácter reciente, y, finalmente, dos son históricos.

Además hace hincapié en que, según indica la cronología de los movimientos, la dinámica de laderas es más intensa en esta vertiente que en la de los montes de Subiedes.

El movimiento más importante, en esta zona, que ha tenido lugar en los últimos años, y que se extiende hasta la actualidad, es el existente en el área de Sebrango, municipio de Camaleño, a unos 830 metros de altura sobre el nivel del mar.

Muy cerca de este, prácticamente al otro lado del río Deva, tuvo lugar el legendario argayo de Subiedes, del que se ha hablado anteriormente.



FIGURA 17. ARGAYO DE SEBRANGO, CON LA UBICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS AFECTADOS INDICADA EN LA IMAGEN. VALLE DE SEBRANGO, CAMALEÑO (LIÉBANA, CANTABRIA).

El argayo de Sebrango responde a un **paleodeslizamiento** que se ha reactivado como consecuencia de las intensas precipitaciones sobre la zona en la primera década del siglo XXI. Este argayo también responde a la alta frecuencia con la que se producen este tipo de fenómenos en esta área, desde hace al menos 10.000 años.

Dicho movimiento comenzó en el año 2001 con una magnitud de carácter bajo, como se ve en la imagen a continuación:

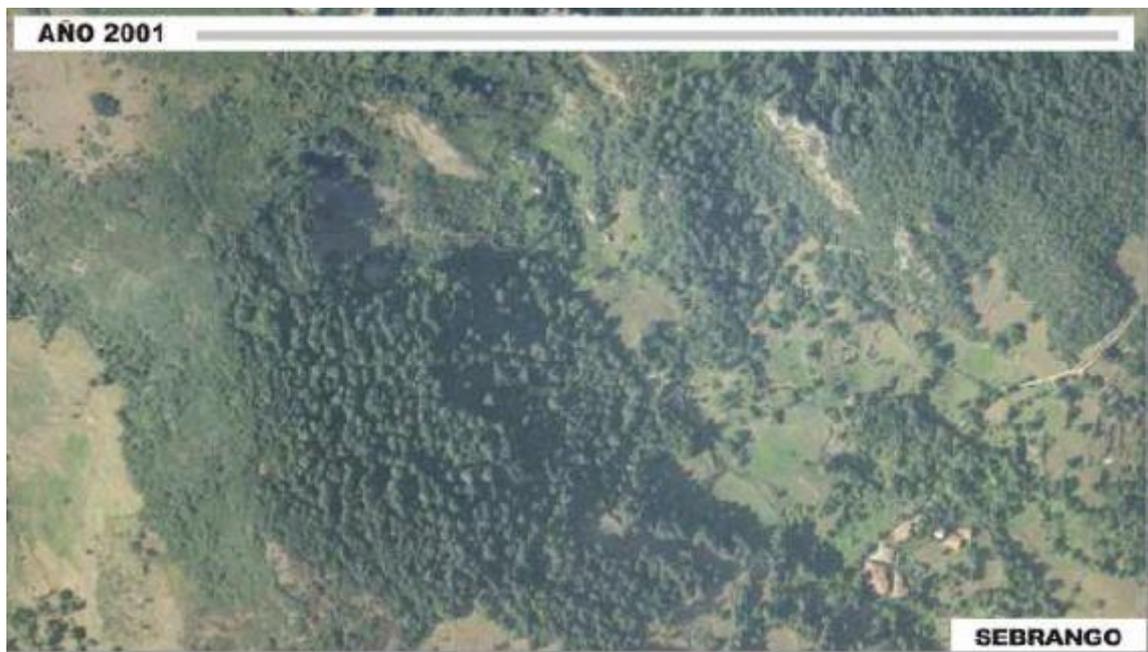
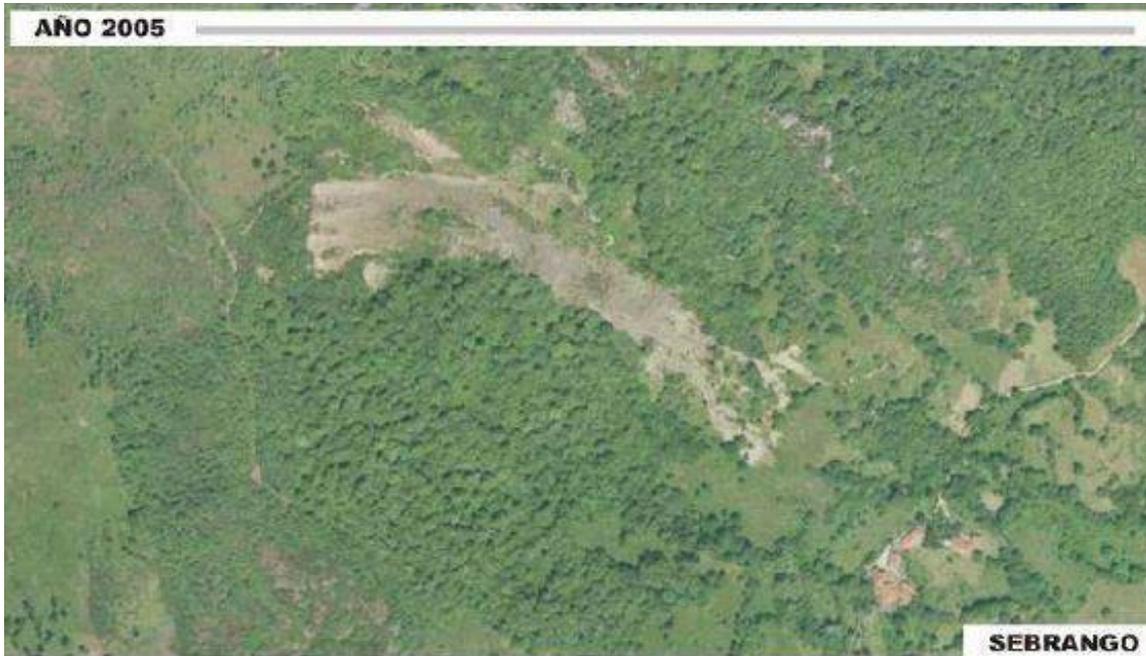


FIGURA 18. ESTADO DEL ARGAYO EN EL AÑO 2001. PUEBLO DE SEBRANGO EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA DE LA IMAGEN.

En la siguiente imagen se puede apreciar cómo en el año 2005 el argayo había aumentado considerablemente su extensión, con dirección hacia el pueblo de Sebrango (760 msnm). Es en este año cuando se empiezan a realizar las primeras quejas y denuncias por parte de los vecinos de Sebrango y de Los Llanos (570 msnm), ante la amenaza del argayo.



**FIGURA 19. ESTADO DEL ARGAYO EN EL AÑO 2005. PUEBLO DE SEBRANGO EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA DE LA IMAGEN.**

Algunos de los indicios que produjeron la alarma de la población civil, como bien se recoge en el archivo de *“Noticias de Liébana”* fueron la aparición de grietas de grandes dimensiones, presencia de lodo, desprendimientos, además de los ruidos y vibraciones provocados por la presencia de todos ellos.

En el año 2010 se puede apreciar cómo gran parte del territorio argayado posee ya vegetación en su superficie.

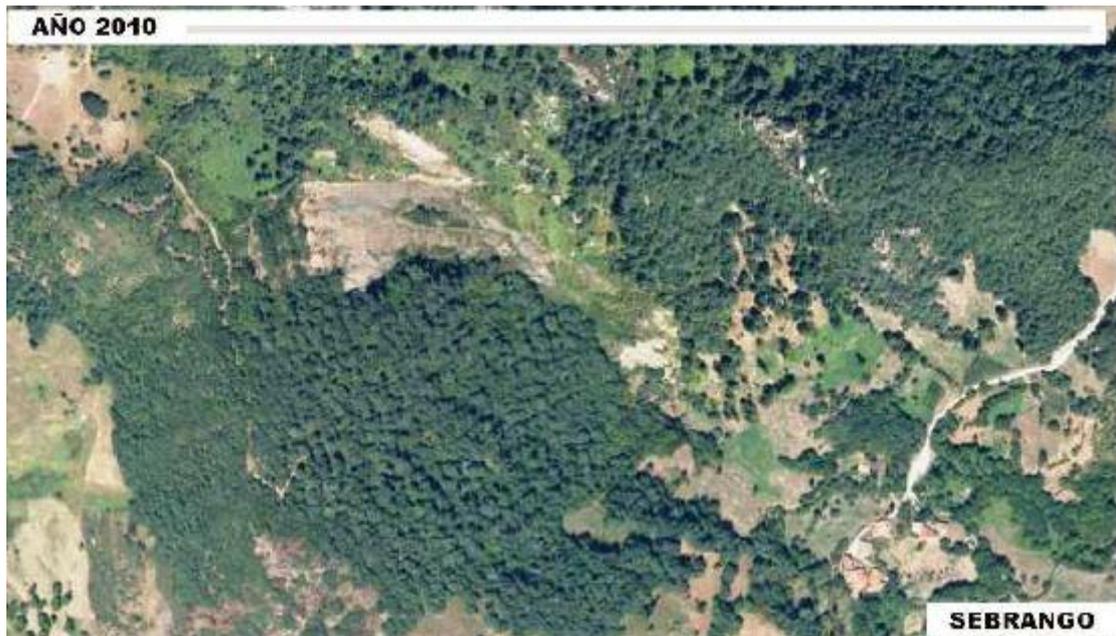


FIGURA 20. ESTADO DEL ARGAYO EN EL AÑO 2010. PUEBLO DE SEBRANGO EN LA ESQUINA INFERIOR DERECHA DE LA IMAGEN.

Los datos revelados, por un informe técnico de la Universidad de Cantabria, sobre este movimiento en 2013, indicaban que la evolución más probable que iba a sufrir este argayo no era otra que la de avanzar desde Sebrango hacia el depósito del cauce ubicado ladera abajo, donde se ubica el pueblo de Los Llanos, el cauce del río Deva, y un tramo de la carretera autonómica CA-185, que como se sabe, une Potes con Fuente Dé.

De esta manera, se decidió proceder con el desalojo del Mesón Los Llanos, y con la evacuación (unos 40 habitantes) de los pueblos de Sebrango y de Los Llanos, el 17 de junio de 2013. La de este último se debió a motivos meramente de precaución, y duró solamente dos semanas, mientras que la de Sebrango poseía un carácter de urgencia mucho mayor.

También se procedió a la ejecución de una alternativa a la carretera CA-185, que también se vio amenazada, con el objetivo de unir Los Llanos con el pueblo de Camaleño, de tal manera que no se produjera un aislamiento de muchos de los municipios (hasta un total de 650 vecinos) de la zona.

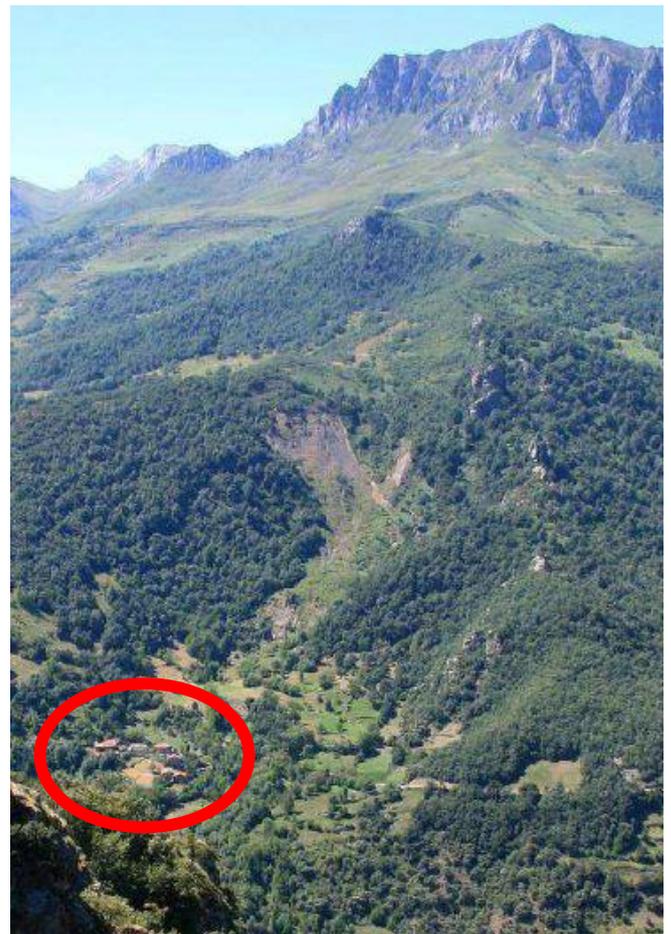


FIGURA 21. ESTADO DEL ARGAYO EN EL AÑO 2010. SE SEÑALA EL PUEBLO DE SEBRANGO.



**FIGURA 22. IMAGEN DEL ARGAYO TOMADA DESDE EL POSTERIONMENTE DESALOJADO MESÓN LOS LLANOS, EN EL PUEBLO DEL MISMO NOMBRE, MUNICIPIO DE CAMALEÑO (LIÉBANA, CANTABRIA).**

En una entrevista al alcalde de Sebrango, Óscar Casares, en 2014, coincidiendo con el aniversario de la evacuación, se indicó que el argayo se encontraba estabilizado, y con un movimiento mínimo, solo sufriendo los llamados “movimientos de ajuste”.

También se hacía mención a la ejecución de obras destinadas a achicar toda el agua procedente de la gran bolsa que se había formado, y que la canalizaran hacia el río Deva.

Sin embargo, en el invierno de 2015, la presencia del argayo volvió a afectar a la población de Sebrango y Los Llanos, aunque de manera indirecta, ya que produjo la desviación de las aguas de escorrentía, procedentes de las fuertes precipitaciones de los meses de enero y febrero, de su curso regular, y que, a pesar de las obras de canalización realizadas, provocaron inundaciones en los dos municipios y la anegación de multitud de fincas.

Hoy en día el pueblo de Sebrango se encuentra prácticamente deshabitado, y en riesgo de desaparición bajo el avance del argayo.



**FIGURA 23. ESTADO ACTUAL DEL ARGAYO DE SEBRANGO. PRÁCTICAMENTE HA ALCANZADO EL NÚCLEO DE POBLACIÓN.**

Según Óscar Gil, delegado del Colegio Oficial de Geólogos de Cantabria, el pie del desprendimiento (un argayo cuenta con tres partes, una superior, una media, y una inferior o pie) debe haber sobrepasado ya los límites de Sebrango (bajo tierra).

Esta última afirmación significa que el plano de deslizamiento está pasando actualmente por debajo del pueblo.

Las predicciones de los geólogos coinciden en que el destino del argayo es de precipitarse sobre el río Deva y la carretera CA-185, que harán de “fondo de saco”, incluyendo, por supuesto, la sepultación del pueblo de Sebrango, y del vial de acceso a Mogroviejo.



**FIGURA 24.** ESPECTACULAR IMAGEN AÉREA DE LA EXTENSIÓN DEL ARGAYO, CON EL PUEBLO DE SEBRANGO EN LA PARTE INFERIOR DE LA IMAGEN, PRÁCTICAMENTE ALCANZADO POR EL ARGAYO.

## **5.6 Argayo de Santo Toribio**

En febrero del año 2013, el Monasterio de Santo Toribio, próximo a Potes, con acceso desde la CA-185, que une dicho pueblo con Fuente Dé, sufrió un argayo de piedras y tierra.

El talud el cual se volvió inestable se encontraba en una zona de encinar donde destacan las pizarras y las rocas metamórficas. Dicho talud se encontraba reforzado mediante una malla de seguridad, la cual sufrió graves desperfectos como consecuencia del fuerte argayo.

Debido a estos desperfectos, parte del talud cayó en forma de desprendimientos sobre los muros de la capilla que alberga el “Lignum Crucis”, perteneciente al Monasterio.



**FIGURA 25. IMAGEN DE LOS DESPRENDIMIENTOS DEL ARGAYO DE SANTO TORIBIO, EN 2013, CONTEMPLADOS POR UNO DE LOS FRAILES DEL MONASTERIO (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

Poco un mes después de la caída de estos desprendimientos, se acometió con las tareas de limpieza de piedra y tierra del argayo. Posteriormente se llevaron a cabo el saneamiento y reparación de parte de la cornisa interior de la capilla, dañada por los desprendimientos producidos por el argayo. Finalmente, se decidió instalar una nueva malla de seguridad (triple malla) en la zona donde se produjo el argayo. Toda esta actuación fue acometida por la Consejería de Cultura del Gobierno de Cantabria.



**FIGURA 26. TRABAJOS DE INSTALACIÓN DE LA MALLA DE SEGURIDAD PARA EL ARGAYO DE SANTO TORIBIO DE 2013 (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

En el año 2015, de nuevo, un argayo volvió a amenazar este monasterio, muy cerca del de 2013, debido al fuerte temporal de nieve acontecido a principios de dicho año.

En esta ocasión, las consecuencias no fueron tan graves como las del anterior argayo, sin embargo, la continua amenaza de deslizamientos producidos en el tiempo provocó nuevas actuaciones por parte de la Consejería. Se decidió una solución idéntica a la tomada en el 2013 en la zona colindante del “Lignum Crucis”, es decir, una primera fase de retirada y limpieza de los escombros y árboles, y una fase posterior en la que se instaló una triple malla de seguridad para la contención de la zona.



**FIGURA 27. IMAGEN QUE PRESENTABA EL DESLIZAMIENTO DE 2015 EN LA FACHADA TRASERA DEL MONASTERIO DE SANTO TORIBIO (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

## **5.7 Colio**

En febrero de 2015 se produjo en esta localidad situada en la zona central de la comarca, al norte de Potes, un importante argayo producido por las fuertes lluvias y procesos de desnieve acontecidos en dicho mes. El deslizamiento llegó a recorrer un centenar de metros, contando con unos doce metros de anchura, desde una pista hormigonada situada a un kilómetro y medio del pueblo de Colio (municipio de Cillorigo de Liébana).

Las continuas precipitaciones durante el avance del deslizamiento contribuyeron a que aumentara su velocidad, arrastrando consigo un gran volumen de lodos, elementos rocosos e incluso árboles de considerable tamaño.

Con carácter de urgencia, los propios vecinos decidieron actuar, canalizando el agua mediante azadas, desviando el curso del deslizamiento hasta el río de La Sorda.

Posteriormente el ayuntamiento enviaría una pala y un camión para terminar de retirar el desprendimiento, ya que la actuación, de carácter “improvisado”, de los habitantes del pueblo, no garantizaba la estabilidad del argayo.

Sin embargo, esta solución no es la más adecuada a largo plazo, ya que un continuo desvío de argayos hacia el río terminaría provocando la obstrucción del mismo en algún momento.



**FIGURA 28. IMAGEN DEL DESLIZAMIENTO DE COLIO TOMADA DESDE LA PISTA HORMIGONADA DONDE SE INICIÓ (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

Muchas son las medidas que el Ayuntamiento de la localidad ha solicitado a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, como la construcción de una escollera a la altura de la pista hormigonada donde se produjo el argayo, o la construcción de cunetas a lo largo del recorrido del mismo, sin obtenerse, a día de hoy, ninguna respuesta por parte de dicho órgano.



**FIGURA 29. VECINOS DE COLIO, EN LAS LABORES DE CANALIZACIÓN DEL ARGAYO QUE ELLOS MISMOS CONSIDERARON LLEVAR A CABO (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

## 5.8 Desfiladero de La Hermida

El trazado del Desfiladero de la Hermida une las localidades de Panes (Asturias) con Castro Cillorigo (Cantabria) y fue construido a mediados del siglo XIX para sacar la madera que producía la industria forestal en Picos de Europa.

Recorre 22 kilómetros incluidos en la carretera N-621 con 174 curvas muy cerradas, algunas de las cuales no alcanzan ni los 25 metros de radio. El Desfiladero soporta un tráfico de 2.500 vehículos diarios, un volumen que se multiplica por tres en verano, y que en “Año Jubilar”, como es el caso de 2017 se doblan las cifras anteriores. Es la principal vía de entrada de los suministros que abastecen la comarca, y de los turistas que llegan para visitarla.

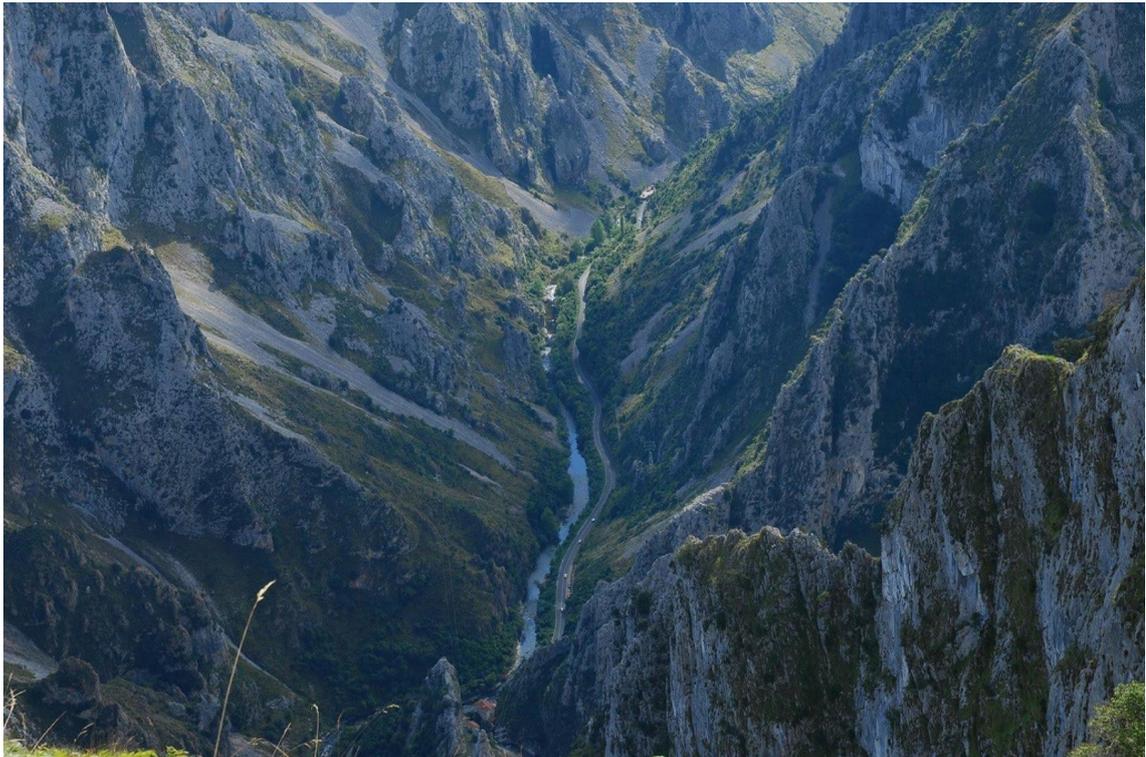


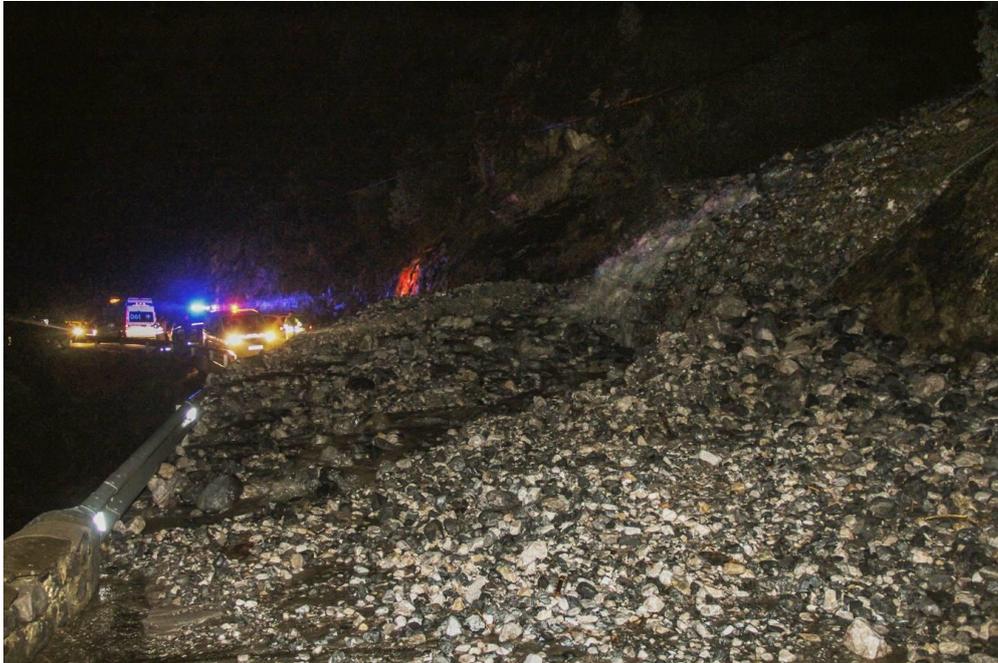
FIGURA 30. FOTOGRAFÍA AÉREA DE EL DESFILADERO DE LA HERMIDA (IMAGEN: SITIO WEB “CARRETERAS PELIGROSAS”).

Desde 1996 está prevista una reforma integral de la vía con el fin de modernizarla y adecuarla a las necesidades de la circulación actual, sin embargo, tras 20 años este proyecto aún no ha conseguido salir adelante. La actuación está presupuestada en 60 millones de euros, pero solo ha aparecido en los Presupuestos Generales del Estado con pequeñas partidas para estudios previos, redacciones técnicas e intervenciones de urgencia.

Ante la dificultad de sacar adelante dicha actuación, un plan más inmediato salió adelante por parte del Ministerio de Fomento, presupuestado en 9,8 millones de euros. Este plan prevé la rectificación de cinco curvas, las de peor trazado, para que alcancen los 8 metros, el ensanche y restauración de cuatro puentes sobre el río Deva, y, en un principio, no actuar sobre la montaña ni la ribera, debido a su carácter de inmediatez.

Al complejo trazado del Desfiladero, limitado en el mejor de los casos a 90 kilómetros por hora, que rara vez se alcanzan, se suma el peligro de los desprendimientos, de una frecuencia notable. Esto hace que esta carretera no garantice en un alto grado la seguridad de los vehículos que la atraviesan.

El último argayo de grandes dimensiones que se ha producido en este desfiladero tuvo lugar en 2014, cuando más de mil toneladas de piedras y tierra fueron arrastradas sobre la N-621, entre los pueblos de castro Cillorigo y Lebeña (punto kilométrico 154), con la lluvia como principal causa reconocida.



**FIGURA 31. IMAGEN DEL ARGAYO DE LA HERMIDA PRODUCIDO EN 2014, POCOS MOMENTOS DESPUÉS DE SU CAÍDA SOBRE LA CARRETERA N-621 (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

Este argayo no provocó ningún tipo de daños personales, pero si mantuvo la carretera cortada durante 5 horas. Sobre las paredes del Desfiladero en este punto existían mallas protectoras que impidieron que el deslizamiento fuera de mayor dimensión, ya que se encargaron de recoger las piedras que caían, hasta que su capacidad máxima se vio alcanzada, y las piedras sobrantes comenzaron a caer sobre la carretera.

Tras la reapertura de la vía al tráfico, la Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria procedió al vaciado, y retirada mediante camiones, de todas las piedras acumuladas en las mallas.

Este sólo es el último de los incidentes de una zona que se encuentra en un “continuo argayo”, siendo permanente la amenaza sobre el trazado de la carretera N-621, y sobre todo el enclave del Desfiladero. Son cada vez más repetidos los cortes de la carretera, y de otras más pequeñas cercanas a estas, las retiradas de elementos rocosos y deslizamientos de tierras que ponen en riesgo la circulación y los núcleos de población existentes en el entorno.



**FIGURA 32. LABORES DE RETIRADA DE LAS PIEDRAS DESPRENDIDAS SOBRE LA CARRETERA N-621, EN EL ARGAYO DEL 2014 SOBRE EL DESFILADERO DE LA HERMIDA (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

Este grado de amenaza convierte al Desfiladero de La Hermida en una de las zonas más susceptibles de sufrir argayos en la comarca de Liébana, pudiendo caracterizar, en una primera aproximación, de prioritaria, la toma de medidas preventivas y correctoras sobre él.



**FIGURA 33. IMAGEN QUE PRESENTAN LAS MALLAS PROTECTORAS DE EL DESFILADERO DE LA HERMIDA, LA CUAL DESCRIBE POR SÍ SOLA EL GRADO DE AMENAZA AL QUE SE ENCUENTRA SOMETIDA LA CIRCULACIÓN POR LA N-621 (IMAGEN: EL DIARIO MONTAÑÉS).**

## 6. Metodología de cálculo de la susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera.

En este apartado se expondrá detalladamente la metodología utilizada en el proceso de detección y priorización de las zonas de la comarca de Liébana que sean susceptibles, o ya se encuentren bajo la amenaza, de sufrir fenómenos de inestabilidad de ladera.

Los mapas de “susceptibilidad” a los movimientos de ladera son una herramienta geográfica que puede ser considerada como reciente, ya que se desarrollaron por primera vez en 1972, por Brabb, en San Mateo County (Brabb, 1972). Estos primeros mapas se realizaban superponiendo capas con los diferentes factores geológicos que influían en las fallas de los taludes (zonas donde comienza el movimiento de laderas) en 1988, se inició el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para la elaboración de los mapas de susceptibilidad.

Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los movimientos de ladera a través de SIG (Van Westen & Soeters R., 1996) (Aleotti & Chowdhury, 1999). Todos ellos proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los métodos estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo.

En lo que respecta a nuestro estudio, en primer lugar, se comenzará con un análisis de los distintos factores tanto condicionantes, como desencadenantes, que provocan las mencionadas inestabilidades, siendo dichos factores recogidos exclusivamente en el entorno de la comarca lebaniega.

El software que se ha utilizado para el análisis de estas variables es el programa **ArcGIS versión 10.4.1 de ESRI**, donde el marco de trabajo ha sido obtenido en función de la Base Topográfica Armonizada 1:5.000 sobre vuelo de 2007 (BTA 2007) de la Comunidad Autónoma de Cantabria (Mapas de Cantabria, 2014), y reducido al área de la comarca de Liébana. Los Modelos Digitales del Terreno elaborados a partir de esta base poseerán una resolución espacial (tamaño de píxel) de 1 x 1 m<sup>2</sup>, siendo esta la más alta posible. El sistema de coordenadas que utiliza esta base topográfica es el **datum geodésico espacial ETRS89** (*European Terrestrial Reference System 1989*, en español: Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989). Este es el sistema geodésico de referencia oficial en España, según el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio.

Posteriormente, se pondrán en valor los distintos elementos de la comarca que sean vulnerables de ser afectados por los hipotéticos movimientos de ladera, teniéndose en cuenta diversos valores como puedan ser: la ubicación, la magnitud de la inestabilidad actuante, las debilidades del elemento afectado, etc.

Finalmente, todos estos datos se recogerán para el cálculo de la susceptibilidad y amenaza de los movimientos de ladera, el cual se realizará mediante un **Análisis Multicriterio**. Este tipo de análisis nos mostrará, mediante matrices de ponderación, los diferentes grados de afección que se darán en cada zona de interés, pudiendo así lograr una priorización precisa de la urgencia de intervención en dichas zonas.

Por otro lado, esta metodología de cálculo no sólo nos advertirá del grado de urgencia de intervención que muestran las distintas zonas, sino que también indicarán la manera en la que se deberá intervenir, bien preventivamente, o bien con medidas de corrección.

## 6.1 Factores condicionantes y desencadenantes de movimientos de ladera en la comarca de Liébana (Cantabria).

Para el cálculo de la susceptibilidad de cada zona es indispensable definir primero los factores que intervendrán. No se debe olvidar que la selección y estudio de dichos factores se reduce al área de la comarca de Liébana.

De todos los factores que se expondrán, se seleccionarán aquellos que en mayor manera afecten a las zonas vulnerables de la comarca, y serán convertidos en las **variables de cálculo** que utilizaremos para el desarrollo de nuestra metodología de detección y priorización de zonas susceptibles de sufrir inestabilidades de ladera.

### 6.1.1. Factores condicionantes, de susceptibilidad o pasivos

Como se ha explicado en el capítulo referido a “*Conceptos Generales*” sobre movimientos de ladera, estos factores hacen referencia a aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Como punto de partida, se expondrán y se analizarán los factores correspondientes a este tipo que nos sirvan como variables de cálculo de la susceptibilidad.

Posteriormente, se hará mención de otros factores condicionantes que, sin haber sido utilizados como variables de cálculo, no deben desconsiderarse a la hora de lograr un mejor conocimiento de base de la zona.

#### 6.1.1.1. Variables de cálculo

##### 6.1.1.1.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Este modelo se ha obtenido a partir de la Base Topográfica Armonizada 1:5.000 sobre vuelo de 2007 (BTA 2007), disponible en el “Visualizador Web de Información Geográfica” que proporciona la Consejería de Universidades e Investigación, Medio Ambiente y Política Social del Gobierno de Cantabria (Mapas de Cantabria, 2014).

##### 6.1.1.1.2. Pendiente topográfica

La pendiente se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie y la componente vertical. Se mide, por tanto, calculando la tangente a la superficie. Su valor puede condicionar la estabilidad de una ladera, ya que de ella dependen las componentes de las fuerzas favorables al movimiento y de las fuerzas resistentes al mismo, que determinan su equilibrio. Siendo esto así, al aumentar la pendiente, también aumenta la componente tangencial de la gravedad y, por tanto, a mayores pendientes, será necesaria una mayor cohesión de la ladera para mantener su estado de equilibrio.

En el software ArcGIS se calcula el valor de la pendiente a partir del Modelo Digital de elevaciones (MDE). Ya que el MDE se encuentra en formato ráster, el programa calcula el valor de la máxima pendiente a partir del máximo valor de gradiente de las 8 celdas adyacentes.

##### 6.1.1.1.3. Orientación

El factor de orientación puede influir en el inicio de un movimiento de ladera, puesto que está afectado por la humedad retenida y la cobertura vegetal, y, a su vez, está condicionada por la consolidación de los suelos.

En ArcGIS se calcula con una herramienta análoga a la de la pendiente, a partir del Modelo Digital del Elevaciones.

#### 6.1.1.1.4. Litología

Esta variable nos proporciona información sobre el tipo de materiales geológicos en el área de estudio. La litología es uno de los principales factores condicionantes de la inestabilidad de laderas. Las litologías más blandas se meteorizan fácilmente y tienen mayor facilidad a deslizar. Esto se ve favorecido por la existencia de fracturas, composiciones minerales de fácil disolución, etc.

La litología de los materiales aflorantes y su grado de alteración condicionará sus características físico-mecánicas y, por tanto, su estabilidad potencial, por lo que el comportamiento variará de unos materiales a otros aun cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores.

Los parámetros resistivos dependerán de la composición mineralógica y de la textura, compactación, tamaño, forma y cementación de las partículas que formen la roca o sedimento. Por tanto, materiales poco cementados, con tamaños de grano fino (limo-arcilla o arenas limo-arcillosas), o de un amplio rango granulométrico (derrubios de ladera) son litologías más propensas al deslizamiento.

La influencia de la composición mineralógica de los materiales es, en ocasiones, determinante para que se produzcan inestabilidades. En sedimentos con abundancia de minerales de la arcilla del tipo montmorillonita, se puede producir, en épocas de lluvia, un hinchamiento de estos minerales por la absorción de agua en su estructura molecular y posterior dilatación, lo que provoca una expansión del terreno, con aumentos de volumen que son problemáticos si alcanzan el 5% y que, en casos excepcionales, pueden llegar al 50%. Asimismo, el lavado de las sales contenidas en determinadas arcillas marinas conduce a un reordenamiento en la estructura de las partículas, pasando de floculadas a dispersas y dando lugar a una reducción de la resistencia al corte.

También, la alternancia o intercalación de materiales de distinta naturaleza, y por tanto, con resistencia, compactación y permeabilidades diferentes, producirá heterogeneidades en el comportamiento global de la masa, que según la tipología de aquéllas, tendrá una respuesta variable a los factores externos que se manifiesten, lo que favorece la aparición de fenómenos de inestabilidad. Del mismo modo, el espesor de los diferentes materiales podrá determinar que el movimiento sea superficial o profundo.

La definición de estas nuevas categorías geológicas generales viene inspirada por la clasificación que realizó Juan Remondo en su tesis doctoral sobre la elaboración y validación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos (Remondo Tejerina, 2001).

Este autor recogió hasta 26 categorías litológicas, diferenciando entre las asociadas unidades del substrato (16) y las asociadas a depósitos superficiales (10). Dicho autor obtuvo la información necesaria para la elaboración de esta clasificación a partir del mapa geológico del Ente Vasco de la Energía, y del mapa de formaciones superficiales incluido en el Estudio Geomorfológico de Guipúzcoa, ambos a escala 1:25.000.

De estas 26 categorías expuestas por Juan Remondo se ha decidido aplicar a nuestro estudio la mayoría de ellas, eliminando algunas y añadiendo otras no presentes en su tesis, según se ha estimado oportuno en función de las condiciones litológicas existentes en Liébana.

Las categorías aplicadas en nuestro caso se presentan a continuación, divididas, del mismo modo que hizo Juan Remondo, en dos ramas diferentes. Estas categorías serán el resultado de la **reclasificación** de nuestro amplio número de categorías actuales.

Una vez obtenidas las categorías reclasificadas, se procederá a obtener el mapa litológico de la comarca de Liébana, tanto en formato poligonal, como ráster.

Finalmente, se asignará a cada una de las capas litológicas un **valor o peso** según el grado en el que afecte a la inestabilidad del terreno, pudiendo, mediante la suma ponderada de dichos valores obtener el peso final de la variable "Litología" de cara a la suma ponderada de todas las variables de cálculo consideradas, ya sean propias de los factores condicionantes o de los desencadenantes.

#### 7.1.1.4.1 Unidades del substrato

1. Areniscas y conglomerados  
Areniscas (10/63-I; 23/63-II). Son areniscas de grano medio grueso de tonos marrones, estratificadas en niveles de 5-35 cm. Se caracterizan por la presencia de abundante glauconita, niveles de óxidos de hierro y niveles de materia orgánica. Su edad es Albiense inferior.  
Sistemas Misipiense y Pensilvaniense, serie Carbonífero (24/63-I). Están formados por cantos de tamaño muy variable (desde milímetros a 2 ó 3 cm) de cuarcita, litarenita y caliza, dentro de una matriz litarenítica (paraconglomerados) Se presentan en bancos que varían desde decímetros a 3 ó 4 metros.  
Estas litologías son de permeabilidad baja.
2. Calcarenitas, margas y brechas calcáreas  
(9/63-I; 22/63-II)  
Formación constituida por una alternancia de niveles de calizas, brechas calcáreas calcáreas, calcarenitas y margas. Se organizan en secuencias turbidíticas, que suelen comenzar con brechas y terminar con laminaciones onduladas margosas. Son frecuentes los olistolitos decamétricos de calizas. Sistema Pensilvaniense, serie Carbonífero  
Permeabilidad de tipo medio.
3. Calizas estratificadas  
Encontramos distintos tipos de unidades en esta categoría, se exponen los más relevantes:  
Calizas estratificadas de los sistemas Misipiense y Pensilvaniense, serie Carbonífero (20/63-II). Son calizas que presentan litofacies y biofacies muy similares a las calizas masivas, pero se presentan estratificadas en niveles de potencia inferior al metro.  
Calcarenitas y calciruditas bioclásticas estratificadas en niveles de 5 a 90 cm (15 cm de media), de la misma edad (21/63-II). Están organizadas en secuencias estratocrecientes y presentan estratificación ondulada no paralela, lo que les confiere un aspecto noduloso.  
Todas las litologías de este tipo tienen una permeabilidad de tipo medio.
4. Calizas margosas  
(8/63-I; 19/63-II; 26/63-IV)  
Son calizas margosas de color gris oscuro o negras y de estructura masiva. Presentan fauna de rudistas. Sistema Pensilvaniense, serie Carbonífero  
En esta clase también se pueden englobar las Margas y Margocalizas de color rojo salmón a gris verdoso, mal estratificadas (19/63-III9) de edad Maastrichtiense superior-Daniense-Montiense.  
Ambas unidades se caracterizan por presentar una permeabilidad media.
5. Flysch arenoso  
(25/63-I; 26/63-II; 5/63-III; 31/63-IV).  
Pertenece al denominado "Flysch Negro" o "Flysch Oscuro". Consiste en una alternancia *flyschoides* de areniscas y lutitas negras, dominando las areniscas. Los niveles de areniscas, de tamaño de grano de muy fino a medio, presentan un espesor medio de 15 a 20 cm. Corresponden al sistema Misipiense, serie Carbonífero  
Su permeabilidad es baja.
6. Flysch lutítico

(26/63-I; 25/63-II; 6/63-III; 30/63-IV)

Pertencen al denominado “Flysch Negro” o “Flysch Oscuro”. Es una alternancia *flyschoides* de lutitas y areniscas negras, dominando las lutitas. Los niveles de arenisca, de tamaño de grano de muy fino a medio, presentan un espesor de 15 a 20 cm. Corresponden a los sistemas Misipiense y Pensilvaniense, serie Carbonífero. Esta unidad presenta permeabilidad muy baja.

7. Lutitas calcáreas y margocalizas

Constituida por margas oscuras que incluyen algunos niveles aislados de arenisca y de caliza. Sistemas Holoceno y Pensilvaniense, series Cuaternario y Carbonífero. Contiene margas y limolitas calcáreas negras, formaciones margosas del Cretácico Superior, intercalaciones margosas y unidades lutíticas carbonatadas con pequeños niveles de arenisca intercalados. Niveles altos de margocalizas y alto número de cambios laterales de facies. En algunas zonas presentan esquistosidad intensa. En conjunto presenta baja permeabilidad.

7.1.1.4.2 Depósitos superficiales

Las formaciones superficiales en la zona de estudio están constituidas por materiales sedimentarios no consolidados, por lo que se han considerado como suelos en sentido geotécnico. Para su clasificación se ha utilizado el *Airfield Classification System* de suelos, desarrollado por A. Casagrande (IGME, 1978); entre paréntesis, se indica el código correspondiente a esta clasificación. Esta clasificación utiliza como criterios (estimados en el campo), el tamaño del grano y las propiedades plásticas del suelo. Su mayor limitación se basa en que sólo especifica la textura del suelo y no la estructura del mismo.

9. Arcillas plásticas

Arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH). Estos materiales son muy compresibles, su capacidad de carga es muy baja, son de elasticidad alta, y permeables. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

10. Arcillas mezcladas

Presentan las mismas condiciones litológicas que las arenas o las gravas arcillosas, sin embargo aquí, las excelentes propiedades geomecánicas que presentaban aquellas se invierten para proporcionar una capacidad de carga muy baja, elasticidad alta y una permeabilidad elevada. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

11. Arenas

Arenas bien gradadas. Arenas y arenas gravas bien gradadas, sin o con pocos finos (SW). Materiales con capacidad de carga alta, prácticamente sin elasticidad y con excelente drenaje.

Arenas mal gradadas. Arenas mal gradadas sin o con muy pocos finos (SP). Estos materiales se caracterizan por tener capacidad portante de moderada a alta, por ser poco elásticos y por tener excelente drenaje.

Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

12. Arenas limosas

Arenas con finos, arenas muy limosas, arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcillas mal gradadas (SM). Presentan capacidad de carga de baja a moderada, poca o moderada elasticidad y son impermeables o poco permeables. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

13. Cantos y bloques

Principalmente constituyen rocas detríticas, basadas en partículas o clastos de distintos tamaños. Puede haber una fracción de material fino entre las partículas más gruesas constituyendo la matriz o un cemento de naturaleza carbonatada, arcillosa o silíceo. De cara a nuestro estudio, sus propiedades geomecánicas serán análogas a las de las gravas y las gravas arcillosas. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

14. Gravas

Gravas bien gradadas. Mezclas de gravas y arena bien gradadas, sin o con muy pocos finos (GW). Son materiales poco plásticos con drenaje excelente y alta capacidad de carga.

Gravas mal gradadas. Mezclas de gravas y arenas gruesas mal gradadas, sin o con muy pocos finos (GP). Capacidad de carga de moderada a alta, poca elasticidad y drenaje excelente.

Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

15. Gravas arcillosas

Mezcla de grava arena y arcilla bien gradadas, excelentemente aglutinadas por matriz (GC). Son materiales con alta capacidad de carga, muy poca elasticidad y prácticamente impermeables. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

16. Gravas limosas

Mezcla de grava arena y limo bien gradados, excelentemente aglutinados por matriz (GM). Materiales con capacidad de carga y elasticidad medias, carácter semipermeable. Sistemas Pleistoceno y Holoceno. Serie Cuaternario.

17. Limos y arenas muy finos

Limos inorgánicos y arenas muy finas, arenas finas limosas o arcillosas, limos arcillosos o poco plásticos (ML). Son materiales poco o moderadamente compresibles, de baja capacidad de carga, elasticidad de moderada a ligera y que drenan mal. Sistemas Misipiense y Pensilvaniense, serie Carbonífero

18. Rellenos artificiales

Son depósitos normalmente heterométricos de naturaleza generalmente, poligénica, cuyas propiedades y comportamiento físico muy variable. También pueden estar conformados, como en el caso de Liébana, por acumulaciones heterogéneas diversas, bloques de hormigón u otros materiales. Sistema Holoceno. Serie Cuaternario.

### **6.1.1.2. Otros factores condicionantes de interés**

#### **6.1.1.2.1. Índice de vegetación**

Éste es un factor controvertido, tanto en su uso como parámetro a intervenir en la estabilidad, como en el papel que desempeña. Esto es debido tanto a las circunstancias que se producen en la presencia de amplia variedad de especies vegetales existentes, dentro de las cuales algunas tienen un marcado carácter estacional, como a los efectos que en ellas se manifiestan.

Aunque es el factor que con menor magnitud condiciona de manera directa las inestabilidades de ladera, si es un condicionante notable a la hora de favorecer la acción de otros factores.

El efecto positivo que produce la vegetación es el de mantener la estabilidad superficial del terreno y evitar su degradación, ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la disgregación de los niveles superficiales. La presencia de una cobertura vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica. Como contribución negativa, está la

producida por el efecto de cuña realizado por algunas raíces al desagregar el suelo, provocando los consiguientes efectos mecánicos en grietas y fracturas.

Además, el hecho de que nuestra área de estudio presente una disposición de laderas de tipo solana, en gran parte de su superficie, fomenta un mayor crecimiento de los cultivos y de la vegetación, ya que esta orientación es la más cálida y luminosa.

En un clima húmedo como el que presenta el norte cantábrico español, la presencia de vegetación en las laderas de solana suele extenderse hacia el este, ya que la nubosidad propia de estos climas lluviosos suele concentrarse durante las tardes.

#### 6.1.1.2.2. Meteorización

Este factor produce una alteración de la roca o del sedimento original de la ladera, cambiando su resistencia y permeabilidad.

Las transformaciones químicas, mineralógicas y textuales que se generan durante el desarrollo de este proceso, por la acción de reacciones de disolución, oxidación, hidrólisis, etc., destruyen el empaquetamiento de los materiales, disgregan el conjunto y generan una pérdida de la cohesión, lo que lleva en definitiva a una disminución de su resistencia.

### 6.1.2. Factores desencadenantes, de disparo, detonantes o activos

Por otro lado, encontramos otro tipo de factores externos que inducen a un comportamiento más activo. Como se ha explicado en el capítulo “*Conceptos Generales*”, estos factores, a partir de las condiciones generales, generarán mayor o menor intensidad del fenómeno, siendo, por lo general, responsables de la magnitud y velocidad de los movimientos.

Fundamentalmente son inherentes a la intensidad de la sismicidad de la zona y a las lluvias. Sin embargo, los movimientos sísmicos no serán considerados en el área de Liébana para este estudio, debido a su baja actividad y magnitud en la comarca.

También existen otras tipologías de factores que son de gran importancia para el análisis, las cuales se tendrán en cuenta.

De manera análoga al apartado sobre los factores condicionantes, se ha subdividido el presente en, primero, las variables de cálculo más importantes para el estudio, y, segundo, en otras también relevantes pero que no formarán parte de los cálculos realizados.

#### 6.3.2.1 Variables de cálculo

##### 6.1.2.1.1. Climatología

Las causas que intervienen en los movimientos del terreno están muy influidas por las características climatológicas de la zona, que deben ser consideradas como agentes que influyen en la formación del relieve por su repercusión en los procesos geomorfológicos.

Los efectos del clima se derivan principalmente de la **pluviometría y temperatura**.

Todos los datos climáticos de los que se dispondrá en este apartado han sido obtenidos de la base de datos global (WorldClim - Global Climate Data, 2006), y, en particular, los pertenecientes a las superficies climáticas de máxima resolución espacial, que son las referidas a 30 segundos (el equivalente a 1 km<sup>2</sup>).

Esta base de datos proporciona datos climáticos de todo el planeta para cada uno de los 12 meses del año, a través de información climática recogida en el período comprendido entre los años 1970 y 2000.

##### 6.1.1.1.4.3 Precipitaciones

Por lo que respecta a las precipitaciones, no sólo influye el volumen total anual, sino también la distribución estacional, el régimen y su intensidad.

De esta manera, cuando las lluvias son torrenciales, el impacto físico de las gotas de agua ataca energicamente el suelo y provoca la disgregación y removilización de las partículas superficiales, que son arrastradas por el agua. A su vez, la cantidad de lluvia caída en tan poco tiempo excede la capacidad de infiltración en el terreno, por lo que se produce una escorrentía superficial que intensifica el efecto erosivo del agua sobre las laderas durante el transporte del sedimento y forma depósitos característicos al pie de las pendientes.

Si, por el contrario, el agua de lluvia se filtra lentamente, se produce un mayor grado de saturación del terreno, que puede llegar a formar un nivel de agua subterránea.

En general, existe una buena correlación entre la frecuencia de deslizamientos y la estación del año, correspondiendo un mayor número de aquellos a los meses más lluviosos. Este fenómeno se incrementa en zonas muy húmedas y durante los períodos con lluvias más extensas e

intensas aumenta también la magnitud de los movimientos, ya que el terreno presenta un elevado grado de saturación como consecuencia de lluvias anteriores.

Por tanto, se puede concluir que las lluvias actúan como un factor detonante fundamental de los movimientos de laderas y, además, la humedad también influye en la mayor o menor meteorización de los materiales.

En lo que respecta a la comarca lebaniega, encontramos tres tipos de microclimas dependiendo de la altitud a la que nos encontremos: un primer clima mediterráneo en las cotas ubicadas en el fondo del valle de Liébana, otro clima de carácter atlántico húmedo según va aumentando la altitud, y finalmente las condiciones climáticas alpinas propias de las altas cumbres, ubicadas en la cordillera de los Picos de Europa.

Además sabemos que Liébana cuenta con un régimen de lluvias más seco al de otras zonas de la comunidad cántabra (800 milímetros **anuales** frente a los 1.000 – 1.200 milímetros de media de Cantabria).

Los datos que se han utilizado se han obtenido, como se ha citado antes, de la base de datos *WorldClim Version2*, del apartado referido a la variable “*precipitation (mm)*”.

Los datos de precipitación pluvial de los que disponemos se miden en **milímetros (mm)**, con carácter mensual, que representaría el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno ( $l/m^2$ ).

#### 6.1.1.1.4.4 Temperaturas

Por lo que respecta a las temperaturas, parámetro de menor importancia que las precipitaciones, cuanto más altas y más extremas sean, mayor será su influencia sobre los ciclos de humedad-sequedad del suelo.

Los cambios de temperatura originarán procesos de expansión y contracción de los poros del terreno, con los consiguientes efectos sobre su grado de esponjamiento y saturación.

Se tomarán como variables de estudio los 3 rangos de datos de temperatura proporcionados por la base de datos *WorldClim*: temperaturas máximas, mínima, y las temperaturas medias de la comarca de Liébana a lo largo de los 4 meses de deshielo.

En primer lugar nos centraremos en las **temperaturas máximas** que han quedado recogidas en la comarca de Liébana por la base *WorldClim*.

Centrándonos ahora en los intervalos de **temperaturas mínimas** de la comarca, procedentes de la base de datos *WorldClim*, se ha de mencionar el grado de importancia que adquiere esta variable en fenómenos como:

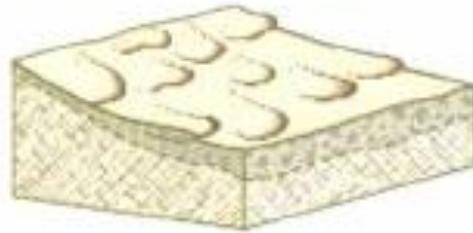
- Estado de la precipitación: líquida (lluvia) o sólida (nieve, granizo).
- Congelamiento del suelo y de aguas superficiales y subsuperficiales.

Como sabemos, los procesos de deshielo son fundamentales a la hora de desencadenar procesos de ladera, ya que afectan a la estructura del suelo o macizo rocoso, al ser responsables de su posible fracturación.

Una vez conocemos las temperaturas máximas es de vital importancia conocer las mínimas, ya que así contamos con todo el espectro de variación de temperaturas, en este caso a nivel mensual, a lo largo de la comarca. Los cambios de temperatura son fundamentales, porque, en función de su brusquedad, son capaces de generar procesos de ladera por sí solos.

Un ejemplo es la **solifluxión**, un tipo de flujo (colada) que afecta igualmente a la zona más superficial de las laderas, y es un movimiento producido por los procesos hielo-deshielo que, por

los cambios de temperatura a lo largo de un cierto período de tiempo (diarios, mensuales, estacionales, etc.) afecta al agua contenida en los suelos finos en regiones frías.



### f) Solifluxión

FIGURA 34. ILUSTRACIÓN DE UN PROCESO DE SOLIFLUXIÓN.

Finalmente, vamos a observar los valores de **temperatura media** que se dan en la comarca lebaniega, como anteriormente, a lo largo de los meses de deshielo.

Este parámetro climático posee una influencia de carácter mucho más moderado que los de temperatura máxima o mínima, ya que dichos valores extremos son utilizados debido a que poseen las propiedades más desfavorables de cara a afectar a la estabilidad de las laderas y del terreno.

#### 6.1.1.1.4.5 Insolación

Otro factor climático relevante a la hora de analizar la susceptibilidad de que se produzcan movimientos de ladera es la **insolación**, y esto se debe a que puede contribuir a la erosión de suelos y laderas.

Definimos la insolación como la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o un año (insolación anual). Puede calcularse asumiendo que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de la misma, y se denomina insolación diurna o anual no atenuada. Por otro lado, si se mide en la superficie de la Tierra para lo cual hay que tener presente la atmósfera, denominándose en este caso insolación atenuada.

#### 6.1.1.1.4.6 Velocidad del viento

En el campo de la meteorología, se suele denominar los vientos según su fuerza y la dirección en la que soplan. Sin embargo, la manera de clasificarlos más extendida es a través de su velocidad o intensidad.

La clasificación más utilizada, en base a la velocidad, es la **escala de Beaufort**. Esta es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas, y la fuerza del propio viento.

TABLA 3. ESCALA DE BEAUFORT DE LA FUERZA DE LOS VIENTOS.

| Número de Beaufort | Velocidad del viento (km/h) | Nudos (millas náuticas/h) | Denominación                  | Aspecto del mar   | Efectos en tierra  |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|--|
| 0                  | 0 a 1                       | < 1                       | Calma                         | Despejado   | Calma, el humo asciende verticalmente  |
| 1                  | 2 a 5                       | 1 a 3                     | Ventolina                     | Pequeñas olas, pero sin espuma  | El humo indica la dirección del viento   |
| 2                  | 6 a 11                      | 4 a 6                     | Flojito (Brisa muy débil)     | Crestas de apariencia vítrea, sin romper  | Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos   |
| 3                  | 12 a 19                     | 7 a 10                    | Flojo (Brisa Ligera)          | Pequeñas olas, crestas rompientes.  | Se agitan las hojas, ondulan las banderas  |
| 4                  | 20 a 28                     | 11 a 16                   | Bonancible (Brisa moderada)   | Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas                                  | Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles   |
| 5                  | 29 a 38                     | 17 a 21                   | Fresquito (Brisa fresca)      | Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes                            | Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada  |
| 6                  | 39 a 49                     | 22 a 27                   | Fresco (Brisa fuerte)         | Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma                     | Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas   |
| 7                  | 50 a 61                     | 28 a 33                   | Frescachón (Viento fuerte)    | Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento                         | Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento  |
| 8                  | 62 a 74                     | 34 a 40                   | Temporal (Viento duro)        | Grandes olas rompientes, franjas de espuma  | Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.          |
| 9                  | 75 a 88                     | 41 a 47                   | Temporal fuerte (Muy duro)    | Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada                                 | Daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones. Arrastre de vehículos.         |
| 10                 | 89 a 102                    | 48 a 55                   | Temporal duro (Temporal)      | Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.             | Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones. Daños mayores en objetos a la intemperie.                |
| 11                 | 103 a 117                   | 56 a 63                   | Temporal muy duro (Borrasca)  | Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida | Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas. Voladura de personas y de otros muchos objetos. |
| 12                 | + 118                       | +64                       | Temporal huracanado (Huracán) | Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula                       | Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón                                 |

Utilizaremos esta escala para, a partir de los datos disponibles sobre la velocidad del viento en Liébana, conocer los posibles efectos que se puedan producir en tierra.

Como sabemos esta escala se elabora a partir de la velocidad del viento, en unidades de kilómetro por hora (km/h). Por tanto no se debe olvidar que la base de datos climáticos *WorldClim Version2* proporciona la información sobre la velocidad del viento en **metros por segundo (m/s)**, debiéndose realizar los cambios unidades pertinentes de cara a una correcta clasificación del tipo de viento dado.

#### 6.1.2.1.2. Cambios en las condiciones hidrológicas

En esta capa analizaremos las condiciones hidrológicas de la comarca lebaniega, y los cambios que en ellas se producen, a través de la posición (profundidad) del **nivel freático** a lo largo del terreno de dicha zona de estudio.

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es, por tanto, la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno.

A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica. La posición del nivel freático representa un factor fundamental a la hora de analizar la susceptibilidad de movimientos de ladera en un área determinada, ya que, junto con la intensidad de precipitaciones, representan las variables que dan a conocer el comportamiento que tendrá el **agua** sobre la superficie del terreno del área de estudio.

Como sabemos, el agua es el agente que contribuye con mayor peso a la modificación de las condiciones de estabilidad de una ladera. Por una parte, provoca la disgregación física de la estructura de las partículas del suelo, así como la alteración química de estas, a través de procesos de disolución, oxidación, etc.

Todo ello genera cambios mineralógicos, composicionales y textuales, lo que da como resultado, en ambos casos, una disminución de sus parámetros resistivos.

Por otra parte, cuando el agua se infiltra y percola en el subsuelo a través de poros y fisuras, puede formarse un nivel de saturación variable, con un drenaje y un flujo determinado. A nivel intuitivo, puede pensarse entonces, que el papel desestabilizador del agua procede del efecto lubricante que esta produce sobre las partículas y discontinuidades del terreno.

Sin embargo, su acción desestabilizadora proviene tanto de la sobrecarga proporcionada por el peso del agua al ocupar poros y fisuras antes vacíos, como de las presiones intersticiales. Al tener un suelo saturado, constituido por partículas sólidas y agua, los esfuerzos son absorbidos en diferente proporción por ambos elementos. Como el agua no puede soportar esfuerzos cortantes, se disminuyen las tensiones efectivas del terreno, y se incrementa el esfuerzo de corte, lo que afecta, por tanto, a la estabilidad.

Esto es de gran importancia cuando el terreno está compuesto por una alternancia de capas permeables e impermeables, ya que las primeras son capaces de desarrollar presiones intersticiales considerables.

La posición del nivel freático está estrechamente ligada a la intensidad, volumen y distribución de precipitaciones a la hora de producir movimientos de ladera. Cuando la precipitación cae sobre una ladera, un porcentaje de ella es interceptado por la vegetación, otro se infiltra en el suelo o se almacena en las depresiones para infiltrarse posteriormente. Dicho proceso de infiltración continúa aún después del cese de las lluvias, y en algún momento pueden crearse condiciones críticas, ya que la humedad del suelo y la posición del nivel freático han aumentado, incrementando la presión de poros, disminuyendo los esfuerzos efectivos y, por tanto, la resistencia al esfuerzo cortante. Es entonces cuando se pueden alcanzar los umbrales de inestabilidad que desencadenan el movimiento de una parte o de toda la ladera.

Por un lado, un gran aumento del nivel freático, causa bien de las precipitaciones o bien de la fusión de nieve, puede provocar una saturación del material superficial, provocando la salida del agua almacenada en el subsuelo hacia el exterior, favoreciéndose procesos de deslizamiento, como aquellos de suelo (planos) sobre roca, o los circulares por empuje.

Debe considerarse también el índice de vegetación en zonas de climas lluviosos, ya que puede ocurrir que la evapotranspiración no alcance a compensar la alta infiltración, por lo que el nivel freático asciende saturando el material

Por otro lado, el descenso del nivel freático, por periodos de sequía o por extracción de agua de los acuíferos, afecta a materiales no consolidados, que, como consecuencia de la pérdida del agua, sufren cambios en el estado tensional (se incrementan las tensiones efectivas al disminuir la presión intersticial), reduciendo su volumen, con descenso de la cota de superficie, lo que se denomina como **fenómenos de subsidencia**; son procesos lentos, aunque con frecuencia se aceleran por actuaciones antrópicas, y pueden afectar a grandes extensiones.

Es frecuente la subsidencia en suelos arcillosos por sobreexplotación de acuíferos arenosos intercalados.

La importancia de la subsidencia depende del tipo de sedimentos, su espesor y de la magnitud del descenso del nivel freático. La velocidad del proceso puede ser de varios centímetros al año. En ocasiones, las deformaciones del terreno son recuperables en parte ante nuevos cambios en las condiciones hidrológicas si no han superado el límite elástico.

La subsidencia supone un riesgo cuando ocurre en zonas urbanas, al dañar y agrietar las edificaciones y afectar a sus cimientos. Otras consecuencias son las inundaciones en zonas costeras, los cambios en el drenaje, etc.

#### 6.1.2.1.3. Usos del suelo

Esta capa representa la ocupación y utilización del territorio.

Los datos e información necesarios para la elaboración de esta capa han sido obtenidos de la base de datos **CORINE Land Cover 2012**.

El Programa CORINE (CoOrdination of INformation of the Environment) se define como “un proyecto experimental para la recopilación, la coordinación y la homogenización de la información sobre el medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad.”.

Su objetivo es el de obtener una base de datos europea de ocupación del suelo a escala 1:100.000.

Desde la primera versión de 1990 (CLC90), ha ido recibiendo varias referidas a los principales cambios en la ocupación del suelo acontecidos durante dichos períodos de tiempo.

Para nuestra zona de estudio utilizaremos la base creada más recientemente: CORINE Land Cover 2012 (CLC2012), la cual la proporciona el Instituto Geográfico Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2012).

Esta base está dividida en 5 clases diferentes de utilización del suelo:

1. Superficies Artificiales
2. Áreas agrícolas
3. Áreas forestales y seminaturales
4. Humedales
5. Cursos de agua (interiores y marinos)

Estas a su vez se subdividen en distintas categorías, quedando establecida la clasificación de usos del suelo en forma de una escala cromática.

**TABLA 4. CLASIFICACIÓN POR COLORES DE LOS USOS DEL SUELO DE LA BASE CORINE LAND COVER 2012.**



### 6.1.2.2. Otros factores desencadenantes de interés

#### 7.1.2.1.1 Erosión al pie de la ladera

Las laderas escarpadas de las riberas de los valles fluviales se ven afectadas por el caudal y nivel de agua. Durante las crecidas se modifican las condiciones geométricas y erosivas, y puede cambiar la posición y extensión del cauce, al tiempo que aumenta la carga hidráulica y la capacidad erosiva del río. De este modo se induce una socavación lateral en los márgenes y cambia la morfología inicial de las vertientes, aumentando su verticalidad. Todo ello genera una disminución de su soporte por la base, desarrollándose deformaciones elásticas e incrementándose el esfuerzo de corte sobre los materiales.

Dichos esfuerzos y deformaciones terminan provocando los desprendimientos y deslizamientos en las laderas. En el caso de la comarca de Liébana, muchas veces, estos movimientos de ladera poseen un efecto retorno sobre la capacidad erosiva del río. Esto se debe a que los propios materiales desprendidos sobre el río taponan su cauce, aumentando la carga hidráulica y modificando las condiciones de erosión que se dan en él.

El mismo efecto de socavación se produce en la base de los acantilados costeros por la acción del violento choque de las olas durante los períodos de tormenta, lo que actúa como factor modificador y desestabilizador del relieve y de la línea de costa.

#### 7.1.2.1.2 Aplicación cargas estáticas/dinámicas, a partir de actividades antrópicas

Entendemos la influencia de estas cargas como los cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera.

Centrándonos en las actividades de origen humano, estas pueden modificar parte de los factores que se han tratado anteriormente la intervención en laderas naturales o la construcción de taludes artificiales, tenderá a variar las condiciones de equilibrio iniciales, y podrá originar procesos de inestabilidad. Una ladera en equilibrio estricto puede ponerse en movimiento cuando se sobrecarga en su parte superior, situación que se ocasiona por la construcción de edificios, depósitos de agua o carreteras sobre materiales que no pueden mantenerse estables bajo las nuevas condiciones de carga adicional.

A su vez, una excavación en la base de una vertiente natural disminuye las tensiones estabilizadoras normales y aumenta las restantes. Esta circunstancia se produce en las construcciones al pie de un talud, o, con mucha más frecuencia, en el caso de la ejecución de obras lineales, principalmente carreteras, cuyo trazado tiene una alta probabilidad de atravesar zonas con desprendimientos y deslizamientos activos o antiguos, además de ser la causa de la generación de dichos movimientos.

También en las acumulaciones artificiales de materiales, tales como vertederos de residuos urbanos, inertes y escombreras de mina pueden desencadenarse movimientos de masa si no se han construido atendiendo a las condiciones de estabilidad y seguridad que requiere la geometría y la naturaleza del relleno.

En las obras públicas, las inestabilidades de ladera pueden constituir un grave problema en las boquillas de los túneles, que además pueden generar subsidencia en zonas urbanas. El nivel de agua en embalses puede estar sometido a importantes variaciones estacionales. Cuando las presas son sometidas a un desembalse rápido tras un periodo de aguas altas, el nivel del vaso desciende con más rapidez que el del agua existente en los poros de los materiales circundantes, por lo que las zonas que antes se encontraban bajo el agua pueden deslizar dentro del embalse. Al perder parte del sustento por la base, los materiales que quedan por encima pierden apoyo, desarrollándose deslizamientos ladera arriba.

Por lo que respecta a las actuaciones urbanísticas, la edificación en zonas de pendiente elevada comporta la ejecución de muros de contención, a veces con drenaje insuficiente, que produce un efecto de retención sobre las aguas de infiltración. La expansión urbanística conlleva, de modo paralelo a la edificación, la ejecución de redes de abastecimiento, saneamiento y pluviales, cuyas fugas provocan una infiltración directa y continua en el terreno. A estas infiltraciones puede unirse el riego de zonas ajardinadas, con lo que, en su conjunto, se supera con creces la infiltración pluvial anual. Si estas fugas provocan movimientos del terreno, las conducciones rígidas enterradas pueden fisurarse, y el fenómeno se autoalimenta de nuevo.

La actividad humana modifica las condiciones hidrogeológicas del área urbanizada, y como hemos visto, las modificaciones del nivel freático son un factor desencadenante de alta importancia a la hora de producir posibles inestabilidades. Por tanto, al estar ocupada por edificaciones y pavimento la práctica totalidad del suelo urbano, no queda casi superficie para que se produzca una infiltración de agua de lluvia y un drenaje natural.

Por tanto, la alimentación principal de las aguas subterráneas se produce por las fugas antes señaladas, generando una humedad continua del terreno subsuperficial.

Además, esta infiltración no se lleva a cabo por toda la superficie del suelo, sino que se localiza en determinados puntos, provocando heterogeneidades en el comportamiento del subsuelo. A esto se suma que en épocas de lluvia, ya que el agua queda recogida por la red de alcantarillado, la inyección directa producida por los eventuales escapes de la red sea muy elevada, lo cual puede producir movimientos de masa repentinos.

Estas circunstancias aconsejan que en las urbanizaciones realizadas sobre zonas escarpadas, las redes de drenaje sean diseñadas, proyectadas y ejecutadas atendiendo a las características naturales del terreno.

## **6.2 Cálculo de la susceptibilidad mediante Análisis Multicriterio**

Como se ha expuesto en el apartado anterior, la manera de comprobar el grado de amenaza al que se ve sometida una construcción antrópica, bien sea una carretera o un edificio, y la posibilidad de que se vea convertida en un elemento vulnerable, es a través del posicionamiento de la misma sobre un **mapa de susceptibilidad a movimientos de ladera**.

Estos mapas de susceptibilidad nos indican el grado de amenaza al que se ve sometida un área determinada de terreno, de cara a que se produzcan inestabilidades de ladera. Dicho grado de amenaza viene calculado a partir de las variables que hemos expuesto anteriormente, siendo tanto los factores condicionantes como los desencadenantes.

Por tanto, el análisis del riesgo al que se encuentran expuestas las construcciones antrópicas de interés consiste en la superposición de las mismas con los mapas de susceptibilidad, siendo las estructuras más amenazadas aquellas que se encuentren más próximas a zonas de susceptibilidad alta de producirse movimientos de ladera.

Estos mapas de susceptibilidad consisten en la clasificación del área total de estudio, Liébana, en diferentes categorías según el grado de amenaza a deslizamientos al que se vea sometida cada una de las zonas de esta comarca. En nuestro caso, la clasificación crecerá desde una susceptibilidad “Muy Baja”, hasta una “Muy Alta”, pasando por “Baja”, “Moderada” y “Alta”, según aumente la inestabilidad.

Para poder catalogar el tipo de amenaza de cada zona es necesario tener en cuenta todas las variables de cálculo que se han expuesto con anterioridad. Se diseñarán una serie de posibles **escenarios** hipotéticos de amenaza, diferenciándose entre sí mediante el factor, condicionante o desencadenante que sea el predominante sobre los demás.

Mediante la asignación de un peso a cada una de las variables estudiadas, construiremos las denominadas **matrices de pesos** de dichas variables. Para poder asignar un peso a cada una de las variables, se debe, en primer lugar, llevar a cabo un proceso denominado **normalización**. Este proceso consiste en construir una escala de valores que crece de 0 a 1 para cada variable, de cara a tener todas ellas en una misma magnitud, siendo así posible realizar una suma ponderada entre ellas. Una vez normalizadas las variables, el valor numérico de los pesos que se van a asignar dependerá del grado de implicación del factor, bien condicionante o bien desencadenante, en la inestabilidad susceptible de producirse. Es decir, el cálculo de la susceptibilidad se llevará a cabo mediante una **Evaluación Multicriterio**.

El objetivo general de la Evaluación Multicriterio (Pietersen, 2006) es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de posibilidades en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos. Cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo o decisiones multicriterio, respectivamente.

Las técnicas de EMC consisten en una primera etapa en el diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, tomando en cuenta la preferencia de los expertos expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.

En este caso, seguiremos una técnica de EMC implementada en SIG y aplicada a la susceptibilidad a movimientos de ladera.

Aplicando la matriz de pesos correspondiente a cada uno de los distintos escenarios obtendremos el grado de amenaza, de manera ponderada y lineal, para cada uno de dichos escenarios.

Finalmente, con los grados de susceptibilidad de la zona de estudio deducidos, se dispondrá a la elaboración de los mapas de susceptibilidad a inestabilidades de ladera de la comarca de Liébana, objeto final de este estudio. Estos mapas nos permitirán conocer los elementos de construcción antrópica, como carreteras o edificios, que se vean amenazados por deslizamientos y otros movimientos de ladera, mediante la superposición de mapas de posición de los mismos, con los de susceptibilidad, como se ha explicado anteriormente.

Una vez localizados los elementos vulnerables o amenazados, será posible la propuesta de distintas alternativas de prevención y corrección, respectivamente, para dichos elementos.

### **6.2.1. Proceso de normalización de las variables de cálculo**

Antes de introducir los factores o indicadores en el modelo, es necesario estandarizar las variables en una misma escala para hacerlos comparables, debido a que el rango de valores finales de cada indicador es diferente. Se pueden dar dos casos a la hora de normalizar una variable:

- Cuanto mayor sea el valor de la capa, mayor susceptibilidad a inestabilidad:

$$\text{valor de la celda} / \text{máximo valor en todo el ráster}$$

- Cuanto menor sea el valor de la capa, mayor susceptibilidad a inestabilidad:

$$\text{mínimo valor en todo el ráster} / \text{valor de la celda}$$

Si la capa incluye valores negativos en un inicio, se debe aplicar la siguiente corrección antes de usar cualquiera de las 2 anteriores:

$$\text{valor de la celda corregido} = \text{valor de la celda} + \text{mínimo valor en todo el ráster} + 1$$

Una vez hecho esto, se tendrán todas las variables de cálculo necesarias para la ponderación normalizadas a una misma escala de 0 a 1, dependiendo de cómo afecten a la estabilidad de la ladera. Por ejemplo, para la variable referida a la intensidad de precipitaciones, se buscarán los máximos, ya que a mayor precipitación, mayor inestabilidad.

De esta manera, el máximo de precipitación adquirirá el valor de 1. Por otro lado, para una variable como la profundidad del nivel freático interesará localizar los valores mínimos, ya que cuánto más cerca esté el agua de la superficie, más riesgo existe de que esta aflore y forme un flujo de escorrentía sobre el terreno. En este caso, los valores mínimos de profundidad de nivel freático asumirán la normalización cercana a 1.

Las variables de cálculo que se han decidido normalizar han sido:

1. Altitud, a través del Modelo Digital de Elevaciones.
2. Pendiente o inclinación.
3. Litología.
4. Variables climáticas:
  - Intensidad de precipitación.

- Temperaturas máximas, mínimas y medias.
  - Insolación.
  - Velocidad del viento.
5. Profundidad del Nivel Freático.
  6. Usos del Suelo.

Llegados a este punto, se ha determinado la no inclusión de la variable de cálculo “Orientaciones”, ya que su difícil normalización. Además, su principal implicación reside en la magnitud de radiación solar que incide sobre la superficie del terreno y de las laderas, y este factor lo tenemos bien definido a través de la variable climática “Insolación”, por tanto, no existen grandes consecuencias a la hora de prescindir de aquella variable.

Para las variables climáticas, de las cuales contamos con 4 mediciones, una para cada una de los meses de deshielo (Febrero, Marzo, Abril y Mayo), se ha decidido normalizar aquellas correspondientes al período (mes) más desfavorable para la estabilidad de las laderas. Como se puede apreciar en los mapas climáticos adjuntos en el capítulo siguiente, el mes que presenta las características más desfavorables es **Mayo**, ya que adquiere los valores más altos para intensidad de precipitación, temperatura máxima, media e insolación. Estas variables provocan la selección de este mes debido a que la época de deshielo, en la cual se produce la máxima carga del sistema de agua, muchas veces por filtraciones, se corresponde a temperaturas suaves, más propias de las épocas cercanas a la estación estival. Un buen ejemplo es el argayo acontecido en **Sebrango en 2013**, el cual, como ya se ha expuesto en el Capítulo 5 “Historia de los movimientos de ladera en la comarca de Liébana (Cantabria).”, tuvo lugar en el mes de junio. Por tanto, el mes de Mayo se presenta como un buen candidato de cara al análisis más desfavorable de la susceptibilidad.

La normalización o estandarización de las variables es un paso de gran importancia tanto para el desarrollo metodológico de los modelos multicriterio, como para una correcta valoración en cada indicador.

### **6.2.2. Asignación de pesos ponderados**

En el momento en el que se han normalizado todas las variables de cálculo a utilizar, se procede a la ponderación de cada una de ellas, mediante la asignación de pesos de valor numérico. El valor numérico de estos pesos siempre estará comprendido **entre 0 y 1**, y la suma de dichos pesos será **igual a la unidad**.

A cada una de las variables se le asociará un peso en función de su implicación en el aumento de la inestabilidad de los suelos y laderas del área de estudio. Las distintas puntuaciones a asignar estarán fundamentadas en una síntesis de la preferencia de los expertos en la materia expresada en términos de valores numéricos. Se ha de precisar que la asignación de dichos pesos adquiere un grado de cierta subjetividad, debido a la interpretación del autor sobre las preferencias de los expertos. Sin embargo, el procedimiento es lo suficientemente robusto y objetivo como para que se vea afectado por dicho grado de subjetividad.

En este estudio se ha decidido plantear **dos escenarios de amenaza distintos**, y dependiendo de cuál se esté analizando, el valor de los pesos asignados variará. Esto se debe a que la presencia de las variables de cálculo en cada uno de los escenarios será mayor o menor, según sea el caso, siendo así diferentes sus grados de implicación, magnitud a la que están asociadas los pesos.

### **6.2.2.1 Escenario de amenaza I: Susceptibilidad basada en la estructura y morfología iniciales de la ladera**

Este primer escenario de amenaza estará basado en la naturaleza inicial que presenta la ladera, a través de sus características estructurales y morfológicas. El objetivo de la propuesta de este escenario es el de conocer la susceptibilidad a la existencia de inestabilidades que presenta el área de estudio, es decir, Liébana, de manera natural, sin presencia de agentes actuantes externos, bien sean de origen natural, como las precipitaciones, o de origen antrópico, como la agricultura. En un primer momento, dicha propuesta puede considerarse como el planteamiento de una realidad utópica, debido a que siempre participarán en el entorno agentes externos. Sin embargo, es este carácter extremo el que hace que esta propuesta resulte interesante, ya que aquellas zonas que naturalmente sean susceptibles de sufrir movimientos de ladera serán las primeras en tenerse en cuenta a la hora de prevenir catástrofes una vez entren en juego factores como la precipitación o la intervención humana.

Para analizar la susceptibilidad de dichas zonas, se tendrán en cuenta las siguientes variables de cálculo:

1. Altitud, a través del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), cuya unidad de medida es el metro, con origen el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA, cota cero).
2. Pendiente topográfica, medida en tanto por ciento (%).

La pendiente topográfica y la altura de las laderas, como sabemos, son factores que condicionan el desarrollo de procesos de deslizamiento por su contribución a la inestabilidad de los materiales. En terrenos homogéneos, cada tipo de material tendrá una altura crítica y un ángulo máximo, a partir de los cuales se producirá un desequilibrio gravitacional, siendo posible la rotura. Así pues, una zona donde la topografía sea abrupta, con valles profundos, grandes diferencias de altura entre vaguadas, alto gradiente hidráulico, relieve escarpado, etc. es indicativa de zonas con alto potencial de inestabilidad.

3. Litología, para la cual ya se han asignado unos pesos ponderados para cada una de las categorías que la conforman, de cara a normalizar la variable y hacer posible su ponderación junto a las demás, ya que esta, a diferencia de aquellas, poseía un carácter cualitativo. De este modo, esta variable adquirirá un peso ponderado total, al igual que las anteriores.

Las características de esta variable se encuentran ligadas a las de las otras dos anteriores, ya que según el tipo de suelo el valor de la altura y pendiente críticas variará. Por otro lado, la litología de los materiales aflorantes y su grado de alteración condicionarán las características físico-mecánicas del suelo, y por tanto, su estabilidad potencial, por lo que el comportamiento variará de unos materiales a otros aun cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores externos.

### **6.2.2.2 Escenario de amenaza II: Aparición de factores desencadenantes de inestabilidad**

El segundo escenario que se ha diseñado para la comarca de Liébana parte de las condiciones iniciales propuestas para el anterior escenario, y se le han añadido los factores desencadenantes de origen natural estudiados, es decir, los agentes climáticos y los posibles cambios en el nivel de agua freática que estos generan.

Este escenario se vuelve mucho más objetivo que el anterior, al incluir una cantidad notable de nuevas variables en el análisis, las cuales son:

4. Intensidad de Precipitación
5. Temperaturas máximas

6. Temperaturas mínimas
7. Temperaturas medias
8. Insolación
9. Velocidad del Viento
10. Profundidad del Nivel Freático

El desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas (González de Vallejo, 2002) está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático. En consecuencia, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas durante horas (tormentas) o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas a lo largo del año) o plurianual (ciclos húmedos y de sequía).

El agua en el terreno da lugar a presiones que alteran los estados tensionales, por presiones intersticiales y aumento del peso, a procesos de erosión interna y extrema y a cambios mineralógicos, aspectos todos ellos que modifican las propiedades y resistencia de los materiales, sobre todo en los suelos.

La infiltración del agua de lluvia produce flujos subsuperficiales y subterráneos en las laderas, el aumento del contenido en agua de la zona no saturada y la elevación del nivel freático, recargando la zona saturada. La cantidad de agua que se infiltra al terreno depende de la intensidad y duración de las lluvias, tamaño de la cuenca de aporte, contenido previo de agua en el terreno (posición del nivel freático y grado de saturación), de su permeabilidad y transmisividad y de la topografía y otras características de la ladera, como la presencia de vegetación. Dependiendo de estos factores, se generan estados de desequilibrio que pueden dar lugar a la inestabilidad de las laderas.

Las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar movimientos superficiales, como deslizamientos y flujos de barro o derrubios, que afectan a materiales de alteración y a suelos, y desprendimientos de bloques rocosos previamente independizados del macizo, siendo frecuentes también las reactivaciones de antiguos deslizamientos.

La rápida infiltración del agua de lluvia, saturando el terreno superficial e incrementando las presiones intersticiales, explica la generación de los movimientos. La falta de vegetación en las laderas, la presencia de materiales sueltos y la existencia previa de inestabilidades juegan un papel fundamental por la mayor capacidad de infiltración y movilización de los materiales.

Si se añade a todo esto la influencia de las temperaturas extremas y medias en los ciclos de hielo-deshielo, el efecto erosivo sobre el terreno y la evaporación del agua contenida en el subsuelo, productos de la insolación, y las implicaciones de los fuertes vientos en la ocurrencia de desprendimientos, se puede completar un análisis muy completo sobre la susceptibilidad de que se produzcan movimientos de ladera en el área de estudio.

### **6.2.2.3 Escenario de amenaza III: Consecuencias de la utilización antrópica del suelo**

Con el planteamiento del segundo escenario se pueden obtener predicciones bastante parejas a las que requiere la realidad de la zona estudiada, sin embargo, se hace necesaria una variable más, al menos en el caso de Liébana, en el cual no se van a considerar las implicaciones de la actividad sísmica en la zona debido a su baja magnitud y frecuencia. Esta variable que se añade no es otra que la actividad humana sobre el entorno, a través del estudio de utilización que se le da al suelo. Se añade por tanto la variable "Usos del Suelo", la cual se analiza mediante la base cartográfica CORINE Land Cover 2012.

Las actuaciones humanas (González de Vallejo, 2002) ocupan un lugar importante dentro de los factores que modifican las condiciones y fuerzas que actúan sobre las laderas. Las excavaciones, la construcción de presas y embalses, las sobrecargas de edificios, estructuras, terraplenes,

rellenos o escombreras sobre las laderas y las voladuras en zonas cercanas, entre otros, modifican los estados tensodeformacionales del terreno y sus propiedades geotécnicas, generando inestabilidades. Las principales causas de desestabilización son los **cambios de geometría** y pendiente, los cambios en las **condiciones hidrogeológicas** y las fuerzas estáticas extremas. En menor medida están las cargas dinámicas y las excavaciones subterráneas bajo las laderas.

Las **excavaciones superficiales** para vías de comunicación y transporte, boquillas de túneles, minería y otras obras varían los perfiles de equilibrio de las laderas y pueden desencadenar movimientos, dependiendo de otros factores condicionantes, como la estructura geológica, la resistencia o el contenido en agua del terreno. En laderas con inestabilidades naturales antiguas o activas, o en condiciones cercanas al equilibrio límite, la excavación de taludes frecuentemente provoca la reactivación o aceleración de los movimientos. Las excavaciones más desfavorables son las realizadas a pie de las laderas (por soportar esta zona las mayores tensiones), situación frecuente en la construcción de vías de comunicación por valles o por zonas bajas de las laderas. Las excavaciones influyen igualmente en la alteración del sistema de drenaje superficial y en la modificación del comportamiento hidrogeológico de la ladera, al variar los niveles freáticos y los flujos, o dar lugar a la acumulación de agua en determinadas zonas.

En laderas en **áreas urbanas**, las filtraciones y pérdidas de agua de los depósitos y de las redes de abastecimiento y saneamiento, pueden inducir inestabilidades. El riego de jardines y la construcción de lagos artificiales, sin las medidas adecuadas para evitar la infiltración del agua hacia el interior de la ladera, son también causa de deslizamientos.

Con la adición de esta última variable, sumándose un total de 11, obtenemos, ahora sí, un escenario para el análisis de susceptibilidad lo suficientemente completo como para que dicho análisis sea objetivo y robusto de cara a la validación de los datos con la información sobre inestabilidades de ladera existente en la actualidad.

### 6.2.3. Cálculo de la susceptibilidad: Suma lineal ponderada

Llegados a este punto, se dispone de todos los datos necesarios para calcular la susceptibilidad a inestabilidades de ladera del área de estudio; se dispone de las variables a considerar en cada uno de los escenarios propuestos, y se dispone también de las puntuaciones que recibe cada una, las cuales indicarán el grado de implicación de la variable en la aparición del fenómeno de inestabilidad.

El método para el cual se utilizarán estos parámetros, y el cual nos proporcionará el diagnóstico de susceptibilidad de la zona es la **suma lineal ponderada**, a través de la herramienta de ArcGIS “*Weighted Sum*”. Esta herramienta admite como datos de entrada los rásters de las variables normalizadas, escaladas de 0 a 1, y los pesos asociados para cada una. El ráster de salida de la herramienta será del mismo tipo que los datos normalizados de entrada, y nos dará las soluciones objetivo de este estudio.

La ponderación lineal es un método compensatorio que permite abordar situaciones de incertidumbre en varios niveles de información. En este método se construye una función de valor para cada una de las alternativas y es completamente compensatorio. En este caso, multiplicaremos cada una de las variables, ya normalizadas, por su peso correspondiente, para cada uno de los escenarios diseñados, y posteriormente se sumarán los resultados. La expresión que define este método es la siguiente (Hervás de Diego & Barredo Cano, 2001):

$$I = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}$$

Donde “I” es el índice de susceptibilidad, “ $w_j$ ” es el peso de la variable y “ $x_{ij}$ ” es el valor normalizado que adquiere el ráster de entrada, es decir, la variable, en cada celda. De este modo, los valores del ráster de salida serán correspondientes al **Índice de Susceptibilidad**, parámetro adimensional, que, como los datos de entrada, también crece de 0 a 1, de cara a representar la susceptibilidad a movimientos de ladera (Hernando Sandoval, 2012).

Este índice está diseñado para casos en que los criterios de disciplinas diferentes se cuantifiquen con base en juicios de expertos para obtener una escala numérica.

La **susceptibilidad** (Suárez, 2009), generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que tan favorables o desfavorables son las condiciones de este, para que puedan ocurrir deslizamientos. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que crecen de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos.

En nuestro estudio se ha clasificado el Índice de Susceptibilidad en función de 5 criterios (Sarkar & Kanungo, 2004) (Hernando Sandoval, 2012), los cuales son:

- **Susceptibilidad Muy Alta**  
Zonas de laderas muy escarpadas con pendientes superiores a los 40°, en unidades geomorfológicas propias de movimientos en masa de ocurrencia reciente y muy continua; las rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas de resistencia blanda y aquellas afectadas por el trazo de fallas regionales activas, así como los depósitos, coluviales, vulcanoclásticos, glaciares y de cenizas, produciendo todo tipo de movimientos en masa, como deslizamientos, caídas de roca, flujo de detritos y de tierra bien definidos; adicionalmente el número de eventos es muy alto; grandes deslizamientos antiguos que registran reactivaciones locales de su masa deslizada, deslizamientos activos de tipo local, zonas de rocas muy fracturadas que originan continuas caídas de rocas y derrumbes; en general la erosión de los suelos presenta una intensidad media alta.  
En estas áreas pueden encontrarse actividades agropecuarias en altas pendientes y sin prácticas de conservación provocando conflictos de uso por sobre-explotación severa de los suelos, siendo estos muy susceptibles tanto por el uso como por la presencia inicial de erosión y cárcavas, entre otros procesos y donde no existen coberturas vegetales que ayuden en la regulación de los flujos de agua.
- **Susceptibilidad Alta**  
Zonas con laderas muy abruptas a escarpadas con rangos de pendientes entre 19° a 40°, en unidades geomorfológicas de origen denudacional y estructural son predominantes; Las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de resistencia blanda, así como los depósitos, coluviales, vulcanoclásticos, glaciares y de cenizas, áreas proclives a la generación de movimientos en masa tipo deslizamientos, caídas de roca, flujo de detritos y de tierra que se encuentran definidos, tienen ocurrencia reciente y continua; el número de eventos es alto y se ve incrementado por la alta pluviosidad y procesos erosivos (erosión laminar y surcos) intensos. Se presentan suelos sobre todo del orden de los inceptisoles (poco evolucionados) y entisoles (poca o ninguna evolución genética) que cubren la mayor parte del área de la plancha, moderadamente profundos a profundos con buen drenaje natural, los suelos tienen texturas arcillosas y franco arcillosas; las coberturas de vegetación secundaria y arbustales, herbazales, en estas zonas por lo general han desaparecido las coberturas que mejor control hacían de la erosión, regulación de los flujos superficiales y subsuperficiales.
- **Susceptibilidad Moderada**  
Zonas con laderas muy inclinadas a abrupta cuyos rangos de pendiente son del orden de 11° a 19°, presentes en unidades geomorfológicas de origen denudacional son predominantes; las rocas de origen sedimentario, ígneo y metamórfico de resistencia

Intermedia y blanda así como los depósitos coluviales, produciendo movimientos en masa lentos (reptación), deslizamientos, flujos y caídas de roca de carácter local; los cuales tiene ocurrencia reciente y poco frecuente; con procesos erosivos moderados (terracetas o patas de vaca). En esta clase de susceptibilidad, además de suelos inceptisoles y entisoles, aparecen oxisoles (suelos más evolucionados) y además de texturas arcillosas, existen suelos con texturas francas y francas arenosas, Las coberturas de la tierra están relacionadas con actividades agropecuarias, herbazales, arbustales, vegetación secundaria o en transición y pequeños sectores con bosques denso alto de tierra firme; gran parte de las áreas con actividades agropecuarias está incluida en este grado de susceptibilidad.

Estas áreas son susceptibles a deslizamientos de suelo o roca cuando son afectadas por intervención antrópica o actividad sísmica. Sus características permiten calificar estas zonas como zonas relativamente estables.

- Susceptibilidad Baja

Zonas con laderas con pendientes inclinadas con rangos entre 7° a 11°, presentes en unidades geomorfológicas propias de grandes planicies, mesetas o altiplanos; de composición litológica en rocas de resistencia dura a intermedia o en depósitos antiguos con buena consolidación; los movimientos en masa de tipo reptación y propagación lateral pueden identificarse de manera esporádica y no tan reciente; el número de eventos es bajo a casi nulo y poco probable de incrementarse. Se presentan suelos sobre todo del orden de los inceptisoles (poco evolucionados) y entisoles (poca o ninguna evolución genética, que por la inclinación, no representan mayor predisposición a los movimientos en masa; sobre ellos han evolucionado diversos tipos de bosques y se han implementado actividades agropecuarias de relativo bajo impacto por el relieve, agrupadas con relictos de bosques o espacios naturales, arbustales y vegetación secundaria.

Estas áreas pueden ser susceptibles a deslizamientos de suelo o roca, si son afectadas por intervención antrópica. Sus características permiten catalogarlas como terrenos estables.

- Susceptibilidad Muy Baja

Zonas suavemente inclinadas con pendientes inferiores a 7°, presentes en unidades geomorfológicas propias de ambientes fluviales de grandes ríos, en especial llanuras de inundación o bastas planicies; la composición litológica corresponde con rocas de resistencia intermedia o depósitos sin consolidar, la posibilidad de generarse inestabilidad del terreno es muy baja, los movimientos en masa son mínimos a nulos en donde la reptación pueden identificarse de manera esporádica. En estas áreas no son susceptibles a movimientos en masa, sobre todo si se implementan prácticas de conservación de suelos, la condición de relieve plano y estable, hace que los suelos por condición natural no contribuyan significativamente a generar movimientos en masa.

Estas áreas no son susceptibles a deslizamientos de suelo o roca, pero en ocasiones pueden presentar movimientos en masa esporádicos, cuando son afectadas por intervención antrópica. Sus características permiten catalogarlas como terrenos sin susceptibilidad a movimientos en masa.

Finalmente, con el resultado de esta suma lineal ponderada, el cual viene dado por los Índices de Susceptibilidad para cada escenario de amenaza, es el **mapa de susceptibilidad** para cada uno de dichos escenarios, mediante Evaluación Multicriterio (EMC).

Estos mapas servirán para localizar las zonas más inestables de la comarca lebaniega, y serán objeto de validación mediante comparación con cartografías y bases de datos de los Procesos Activos Geológicos y Geomorfológicos existentes en Liébana en la actualidad.

Además, las conclusiones sobre dichos mapas nos permitirán establecer una serie de recomendaciones y propuestas de cara a mejorar la estabilidad de las zonas con mayor susceptibilidad, a través de medidas constructivas preventivas y correctoras, según se den casos de amenaza o afección, respectivamente.

## **7. Resultados del análisis de susceptibilidad**

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en relación con los objetivos perseguidos en el apartado anterior. Se mostrarán los resultados del análisis de cada una de las variables de cálculo, para cada uno de los escenarios de amenaza que se han tenido en cuenta en este estudio de la susceptibilidad, se razonarán los valores numéricos de los pesos que se han asignado a dichas variables, y, con ello, se calculará la susceptibilidad de que se produzcan movimientos de ladera mediante el método de la suma lineal ponderada.

Por último, se establecerá la correlación entre los resultados obtenidos y los elementos antrópicos vulnerables de la zona de estudio, mediante la superposición entre los mismos. De esta manera se hará visible cuáles de estos elementos se encuentran amenazados y en qué grado.

Se acompañará cada uno de los resultados con mapas y tablas para ilustrar de mejor manera las magnitudes de dichos resultados.

### **7.1 Variables de cálculo**

#### **7.1.1. Factores condicionantes, de susceptibilidad o pasivos**

##### *7.1.1.1 Modelo Digital de Elevaciones*

La equidistancia que se ha tomado entre las curvas de nivel para nuestra zona de estudio es de 5 metros.

Las alturas en la zona de estudio oscilan entre los 70 metros y los 2.615 metros sobre el nivel del mar (Nivel Medio del Mar en Alicante, NMMA).

Con dichos datos se ha construido un Modelo Digital del Terreno según un modelo TIN.

A continuación se adjunta una imagen, tomada del software ArcGIS, de la elaboración del Modelo Digital del Terreno. La oscilación de las distintas alturas que se alcanzan en nuestra área de estudio se representa mediante una simbología basada en una escala de color, en valores de metros (m). Como se indica en el cuadro de leyenda del mapa, la escala de color se divide en 9 intervalos iguales, desde los 70 metros de cota mínima, hasta el punto de mayor altura, donde se alcanzan los 2.615 metros.

La media de las alturas que se ha calculado para la comarca de Liébana es de aproximadamente: 1.072 metros sobre el nivel del mar, la cual es de una magnitud notable, y que se podría encuadrar en el rango de zonas sub-alpinas y de montaña.

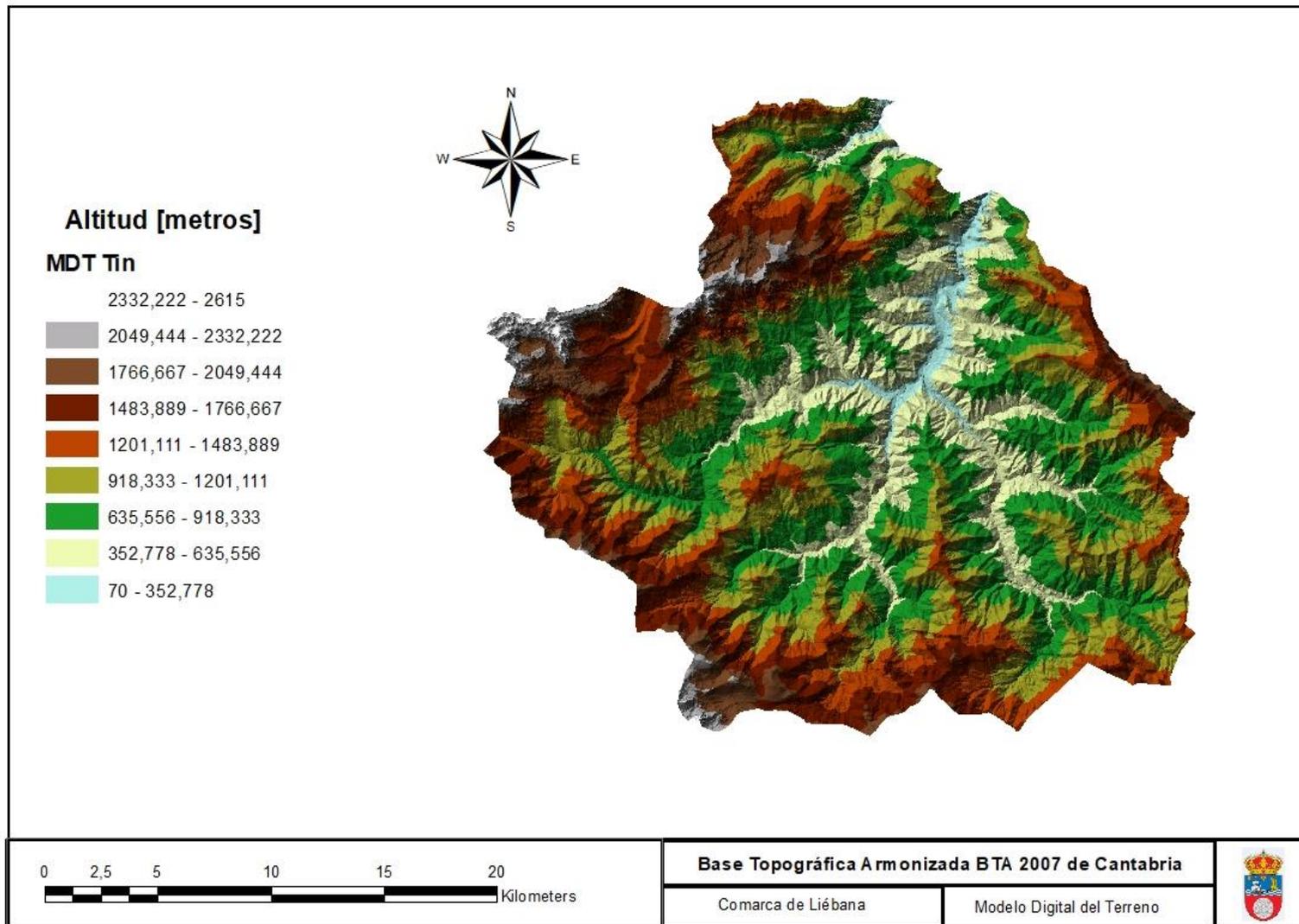


FIGURA 35. MAPA DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (TIN) DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

A partir del cual se genera el Modelo Digital de Elevaciones, de tipo ráster, mediante una conversión “*TIN to Raster*”. Este modelo se ha diseñado con un tamaño de celda de 1 metro por un 1 metro, de cara a obtener la máxima resolución posible.

En este caso, la simbología para representar el MDE consiste en una escala de grises, en el que el blanco hace referencia a los puntos más bajos, y, por otro lado, el negro nos indica los puntos más altos del área lebaniega.

Este modelo digital es la base para la obtención de las variables que se describen a continuación.

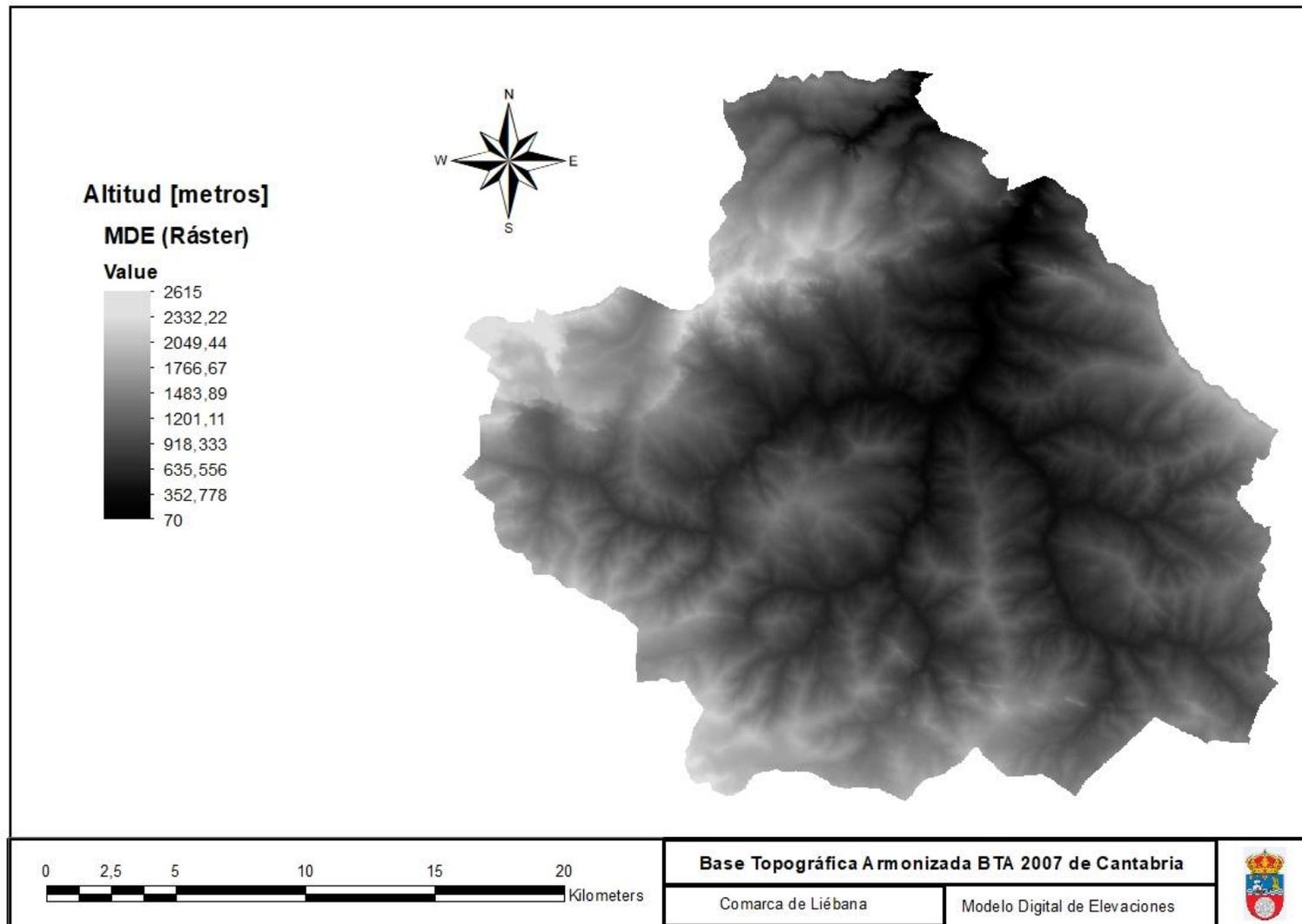


FIGURA 36. MAPA DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (RÁSTER) DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### **7.1.1.2 Pendientes**

En el software ArcGIS se calcula el valor de la pendiente a partir del Modelo Digital de elevaciones (MDE), mediante la herramienta “*Slope*”. Ya que el MDE se encuentra en formato ráster, el programa calcula el valor de la máxima pendiente a partir del máximo valor de gradiente de las 8 celdas adyacentes.

En la imagen que acompaña al texto podemos encontrar un mapa de pendientes de la zona, clasificadas en una escala de color donde los tonos verdes representan las zonas más llanas, pasando por tonalidades amarillas según aumenta la pendiente, y las de color rojo, las paredes casi verticales.

Las pendientes en la el área de estudio oscilan entre los  $0^{\circ}$  y los  $89,59^{\circ}$ , estando, como se ve, representadas en valores de grado ( $^{\circ}$ ).

Además, la media de la pendiente topográfica en esta comarca es de  $27,63^{\circ}$ , aproximadamente. Esto es casi un 51%, expresada porcentualmente, lo que nos hace indicar que es un área montañosa muy abrupta, con laderas escarpadas, depresiones, y donde, en algunas zonas localizadas, es posible encontrar paredes casi verticales (en el mapa, color rojo).

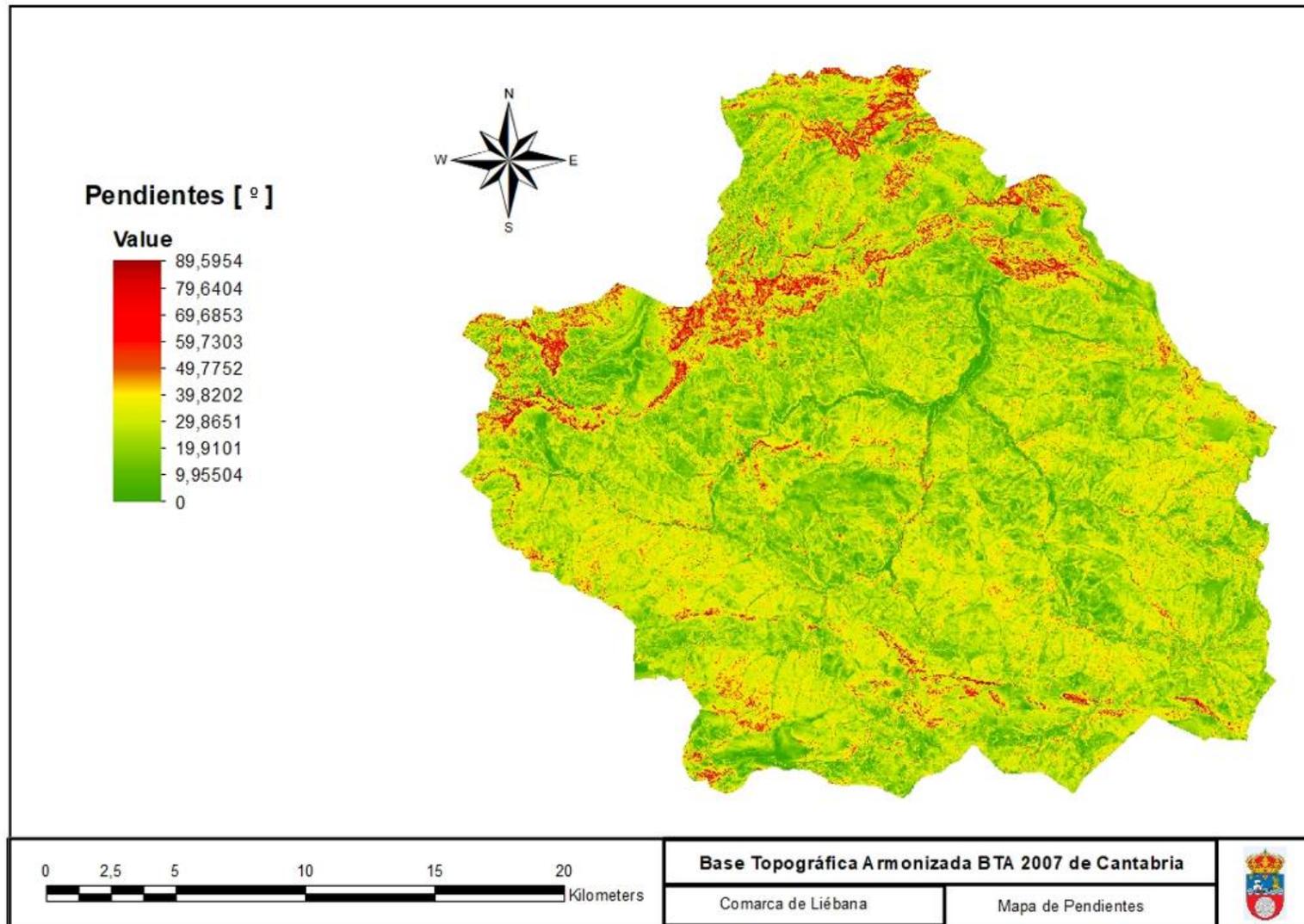


FIGURA 37. MAPA DE PENDIENTES DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### **7.1.1.3 Orientaciones**

En ArcGIS se calcula con una herramienta análoga a la de la pendiente, denominada “Aspect”, a partir del Modelo Digital del Elevaciones.

Se adjunta una captura del mapa de orientaciones del área de estudio, donde, como se puede ver en el cuadro de leyenda, se ha dado un rango a cada una de las orientaciones posibles, a través de una escala cromática, con valores de grado, de 0° a 360°.

La media de orientaciones en esta área es, en valor de grados, 172,23°, lo que nos indica que la orientación “Sur” (157,5° - 202,5°) es la predominante.

Al encontrarnos al norte del trópico de Cáncer, la disposición sur, predominante en esta zona, de las laderas, con respecto a la incidencia de los rayos solares determina el tipo de las propias laderas montañosas: **de solana** (de umbría aquellas dispuestas hacia el norte).

Las laderas de solana reciben mucha más energía solar, son más cálidas, y a menudo más cultivadas y habitadas por el ser humano.

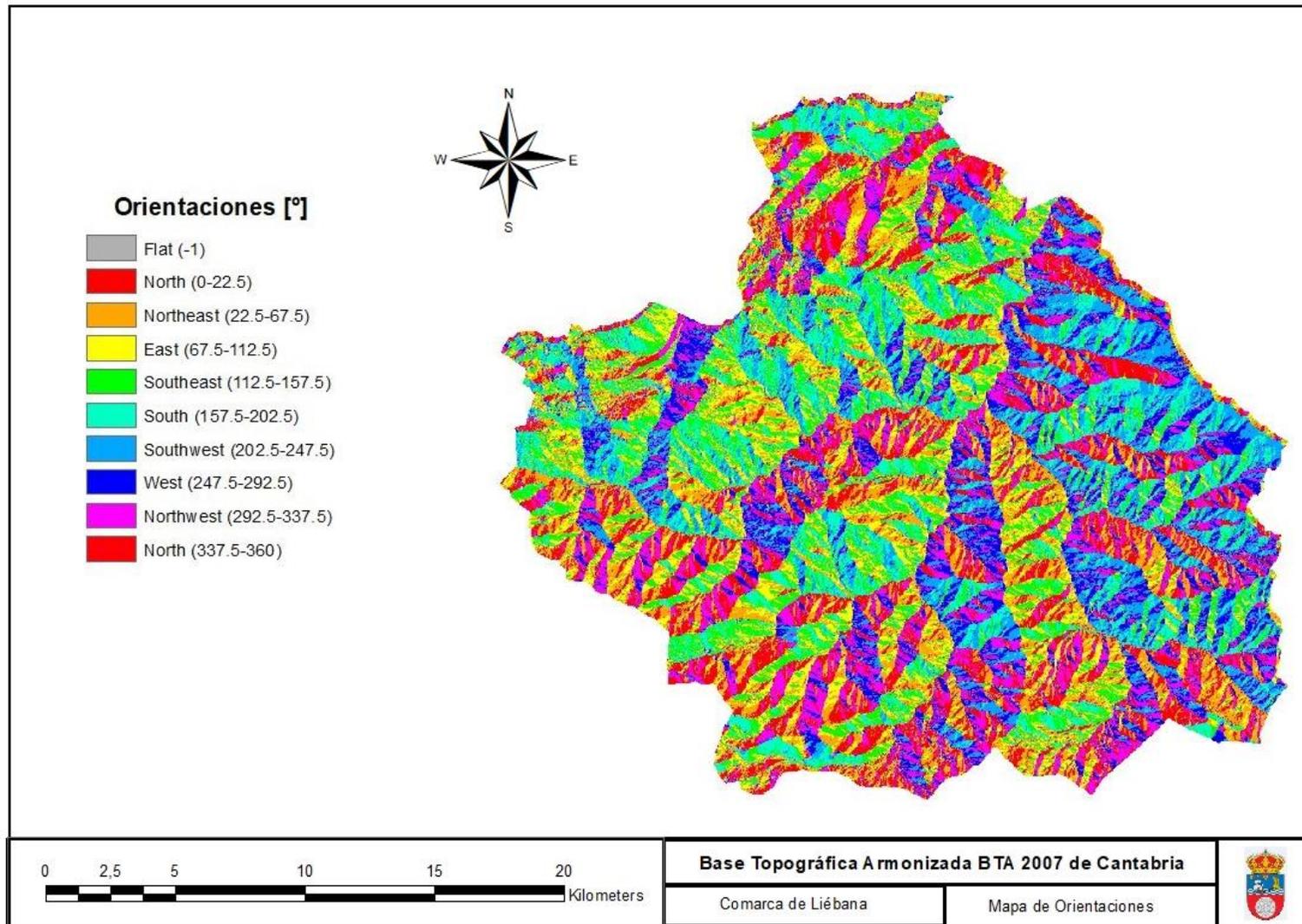


FIGURA 38. MAPA DE ORIENTACIONES DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

#### 7.1.1.4 Litología

De cara a centrarnos en la comarca de Liébana, en primer lugar se expone cómo se han obtenido los datos de las diferentes capas y estratos litológicos presentes en el área de estudio.

A través del “Visualizador Web de Información Geográfica” que proporciona la Consejería de Universidades e Investigación, Medio Ambiente y Política Social del Gobierno de Cantabria (Mapas de Cantabria, 2014) se han descargado los mapas de “Geología, Geomorfología y Procesos Activos”, siendo la escala de sus respectivas Series igual a 1:25.000.

En estos mapas de litología se ha de especificar que su topología es **poligonal**, y que se basan en una cartografía de unidades de **igual constitución litológica** (características físicas de las rocas o sedimentos).

El mapa de litología que se ha obtenido deriva de la “Serie Mapa Geológico 1:25.000” de Cantabria, reducido a la zona de Liébana, y seleccionando únicamente los datos referidos a “Unidades Geológicas”, que es la capa más completa y detallada de la Serie.

Sin embargo, nos encontramos, debido al alto nivel de detalle del mapa geológico, con un elevadísimo número de estratos individuales, lo cual dificulta enormemente la ponderación de la variable Litología de cara al análisis de susceptibilidad.

Por tanto, se optará por reclasificar todas esas capas en un número mucho menor de nuevas categorías geológicas, de carácter más general, capaces de agrupar a dichas capas individuales proporcionadas de inicio.

##### 7.1.1.4.3 Mapa litológico de Liébana

Llegado el momento en el que se han obtenido las nuevas categorías reclasificadas, en las cuales hemos agrupado el elevadísimo número de capas litológicas que el Mapa Geológico de Cantabria 1:25.000 suministraba, se procede a la elaboración de los mapas litológicos de la comarca lebaniega.

En primer lugar, se muestra el mapa litológico en formato poligonal, el cual viene dado por la propia cartografía de base de la Serie Mapa Geológico de Cantabria. En este formato es donde se ha trabajado para llevar a cabo la reclasificación, mediante la creación de un nuevo campo de atributos denominado “Reclass”, cuyos elementos no eran otros que las categorías objeto de obtención. A estas categorías, según se iban introduciendo en la tabla de atributos, se les ha ido asignando cada una de las antiguas categorías, según procediera. Se han obtenido así un total de **17 nuevas categorías litológicas**, reduciéndose notablemente el número de valores geológicos a considerar, y simplificándose así el análisis y el manejo de la variable “Litología” en las próximas etapas de evaluación ponderada de la susceptibilidad.

En segundo lugar, se adjunta el mapa litológico en formato ráster. Esta conversión, realizada mediante las herramientas que proporciona ArcGIS, es básica para nuestro estudio, ya que a la hora de ponderar y superponer todas las variables de cálculo de las que disponemos, sean referidas tanto a factores condicionantes como a desencadenantes, todas ellas se deben presentar en un mismo formato digital, y ese no es otro que el formato ráster.

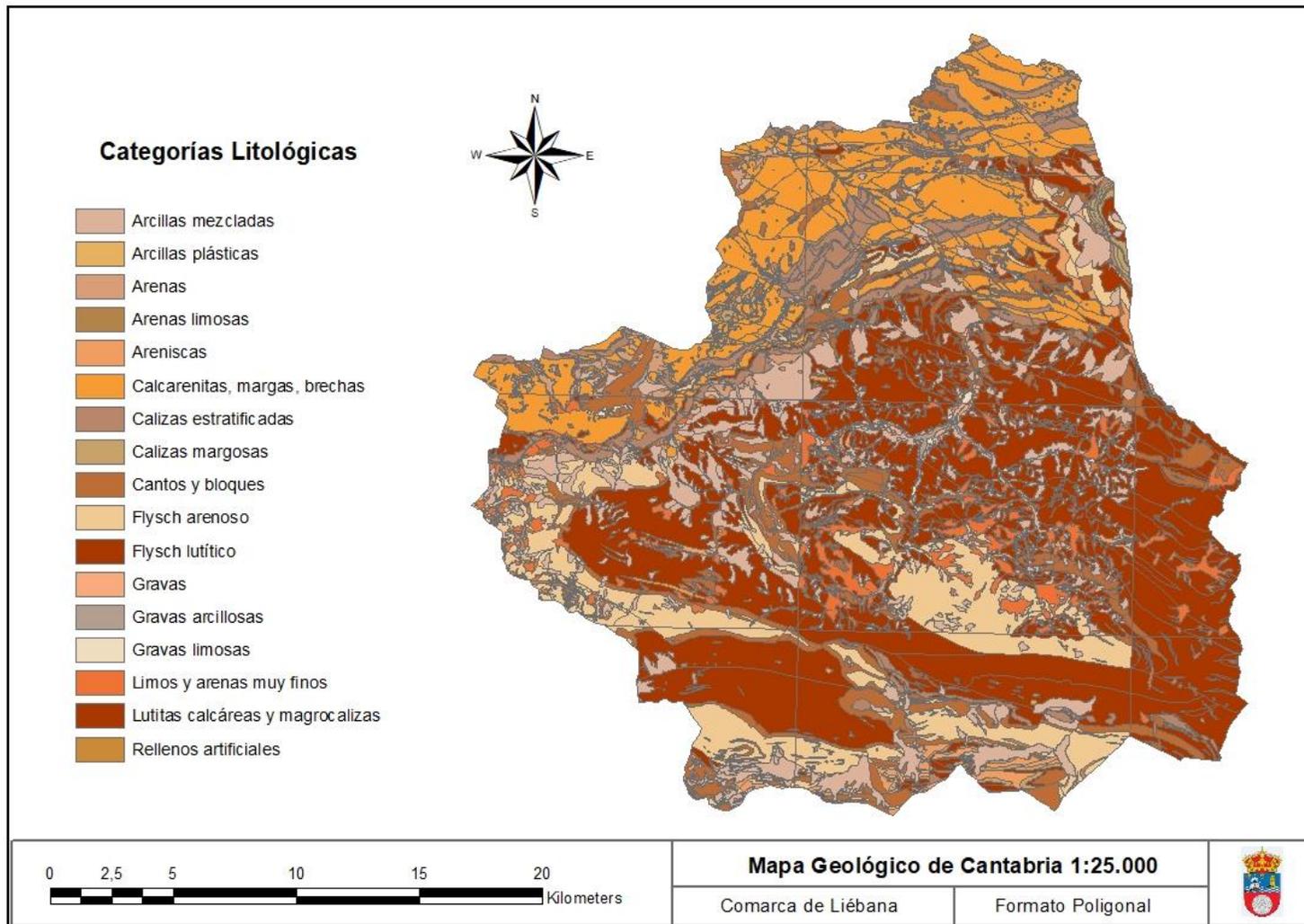


FIGURA 39. MAPA GEOLÓGICO EN FORMATO POLIGONAL DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

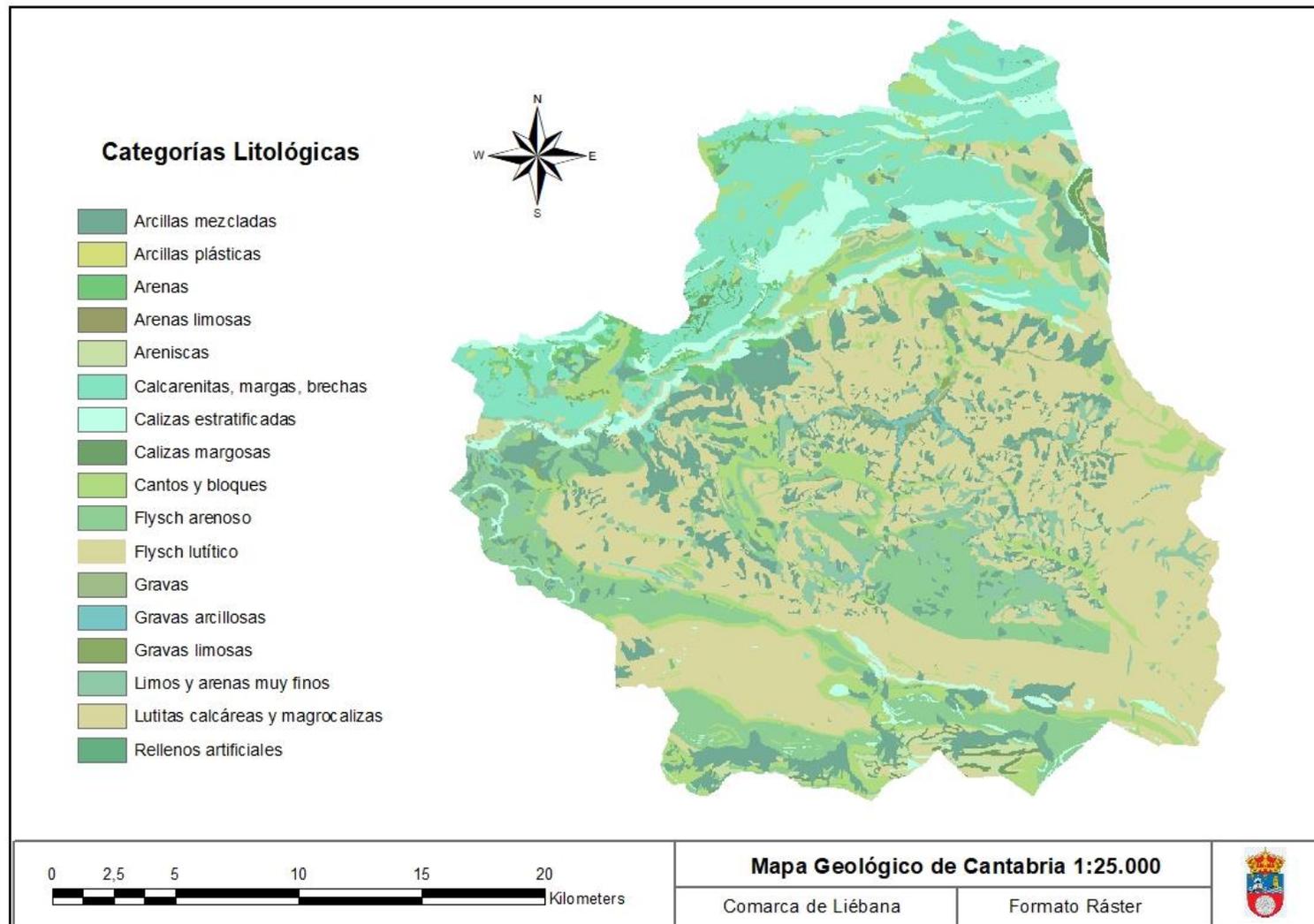


FIGURA 40. MAPA GEOLÓGICO EN FORMATO RÁSTER DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

#### 7.1.1.4.4 Valores asignados a cada categoría

Debido a que la extracción de datos de un mapa litológico nos llevará a la formación de una variable de cálculo de tipo **cuantitativo o nominal**, y estas no suelen dar muy buenos resultados (Dillon y Goldstein, 1986), se hace necesaria la asignación de valores numéricos a cada una de estas variables, de cara a su ponderación.

Esta asignación de valores se ha llevado a cabo mediante la aplicación de “criterio de experto”, basado en la experiencia y en el conocimiento sobre el área de estudio, y en el análisis de la frecuencia relativa de las distintas categorías (tipos litológicos) en relación con la distribución de deslizamientos. En nuestro estudio este criterio está basado en los estudios de Juan Remondo, debido, tanto al elevado reconocimiento de su trabajo y su alto grado de objetividad, como a la proximidad a Liébana de las ubicaciones de sus investigaciones, siendo estas la cuenca del río Deva (Guipúzcoa) y algunos municipios de Cantabria.

En la siguiente tabla se exponen los distintos valores que se han asignado al conjunto total de las diferentes litologías, ordenadas alfabéticamente:

| Categoría                        | Valores numéricos asignados |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Arcillas mezcladas               | 0,833                       |
| Arcillas plásticas               | 0,833                       |
| Arenas                           | 0,600                       |
| Arenas limosas                   | 0,633                       |
| Areniscas y conglomerados        | 0,167                       |
| Calcarenitas, margas, brechas    | 0,067                       |
| Calizas estratificadas           | 0,500                       |
| Calizas margosas                 | 0,167                       |
| Cantos y bloques                 | 0,667                       |
| Flysch arenoso                   | 1                           |
| Flysch lutítico                  | 1                           |
| Gravas                           | 0,667                       |
| Gravas arcillosas                | 0,733                       |
| Gravas limosas                   | 0,667                       |
| Limos y arenas muy finos         | 0,733                       |
| Lutitas calcáreas y magrocalizas | 0,333                       |
| Rellenos artificiales            | 0,667                       |

El rango de variación de los valores numéricos aumenta desde 0 hasta 1. Los valores **crecen a medida que favorezcan la inestabilidad**. Si bien los valores asignados presentan un cierto problema de subjetividad, el procedimiento es suficientemente robusto y ampliamente aceptado.

### 7.1.2. Factores desencadenantes, detonantes, de disparo o activos

#### 7.1.2.1 Climatología

##### 7.1.2.1.1 Precipitaciones

En lo que respecta a la comarca lebaniega, encontramos tres tipos de microclimas dependiendo de la altitud a la que nos encontremos: un primer clima mediterráneo en las cotas ubicadas en el fondo del valle de Liébana, otro clima de carácter atlántico húmedo según va aumentando la

altitud, y finalmente las condiciones climáticas alpinas propias de las altas cumbres, ubicadas en la cordillera de los Picos de Europa.

Además sabemos que Liébana cuenta con un régimen de lluvias más seco al de otras zonas de la comunidad cántabra (800 milímetros **anuales** frente a los 1.000 – 1.200 milímetros de media de Cantabria).

Los datos que se han utilizado se han obtenido, como se ha citado antes, de la base de datos *WorldClim Version2*, del apartado referido a la variable “*precipitation (mm)*”.

Los datos de precipitación pluvial de los que disponemos se miden en **milímetros (mm)**, con carácter mensual, que representaría el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno ( $l/m^2$ ).

Se han seleccionado los datos pertenecientes a los meses desde Febrero hasta Mayo, ya que esta es la época del año en el que se producen los fenómenos de deshielo y de desnieve.

Dichos fenómenos son fundamentales a la hora de la aparición de movimientos e inestabilidades de ladera, ya que poseen una fuerte capacidad de arrastre, provocan grandes filtraciones de agua en el terreno y modifican enormemente, debido a su carácter erosivo, la morfología de la ladera.

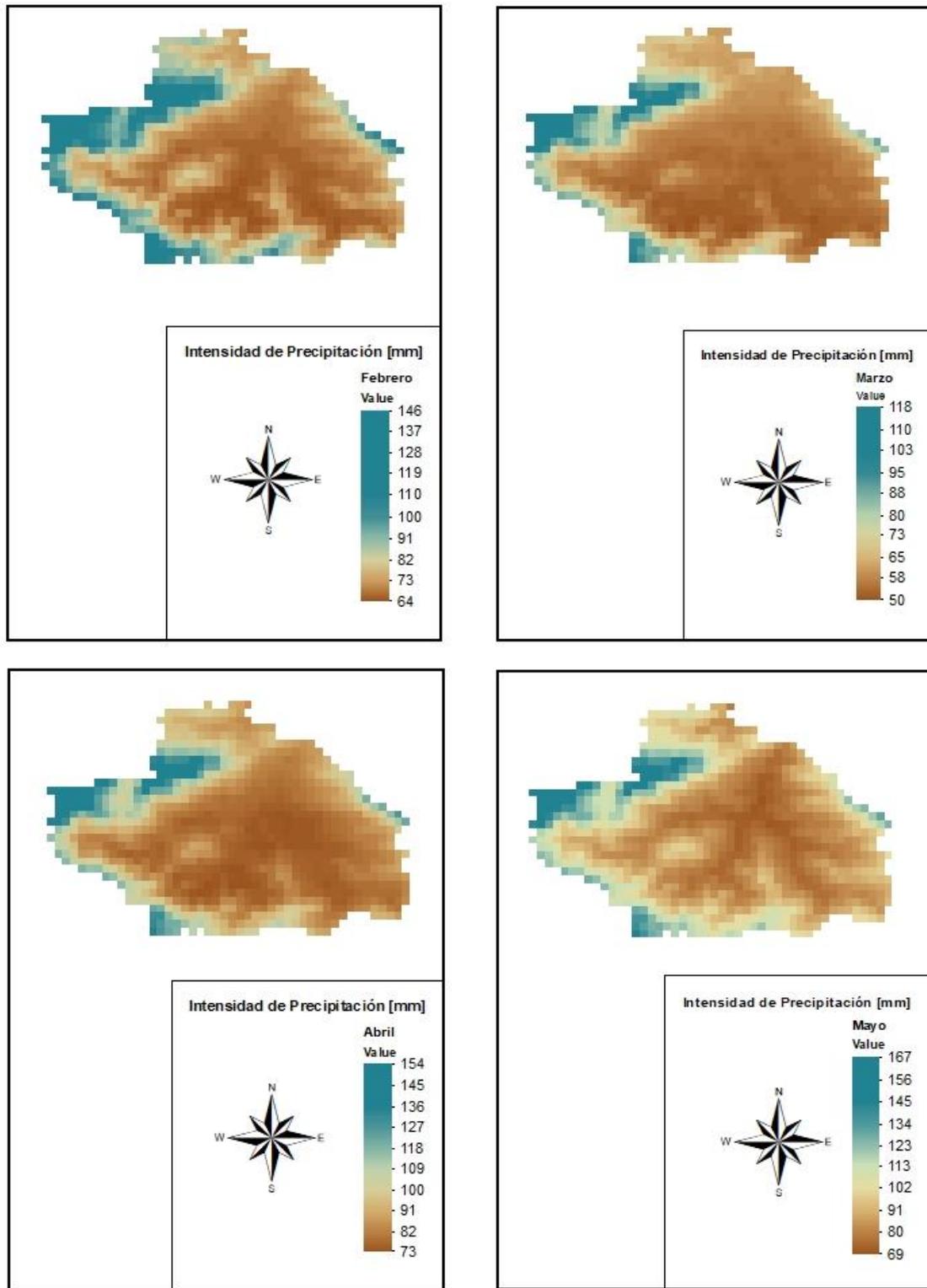
Se ha elaborado un mapa conjunto en ArcGIS que recoge los 4 mapas de precipitaciones de los meses pertenecientes a la época de deshielo, los cuales hemos citado anteriormente.

Como se puede apreciar, las zonas donde la intensidad de precipitación es mayor son aquellas que presentan mayor altitud, estando estas situadas al oeste de la comarca, coincidiendo con la ubicación de los Picos de Europa.

Por otro lado, resulta bastante fácil de identificar las zonas más secas de la comarca, siendo estas los puntos más bajos de la misma: los cauces de ríos y las zonas de valle (especialmente visible en el mes de Abril donde las zonas más oscuras, ligadas a la baja precipitación, forman una silueta de “ramificación” paralela a las zonas más bajas de Liébana).

Observando los datos pluviométricos recogidos se ve que el mes con la precipitación máxima es el mes de Mayo, con una media de 167 mm mensuales recogidos. Además, observando la baja presencia de zonas “marrón oscuro”, las cuales representan la intensidad de precipitación baja, podemos concluir que este es el mes más húmedo de la época de deshielo.

De manera contraria, el mes que presenta las mínimas precipitaciones, y también la más baja de las precipitaciones máximas alcanzadas es Marzo, con valores de 50 mm y 118 mm mensuales respectivamente, datos que lo convierten en el mes más seco de la época de deshielo.



**Mapas de Precipitaciones en los meses de deshielo  
Comarca de Liébana (Cantabria)**



Base de datos: WorldClim Version2 (1970 - 2000)

FIGURA 41. MAPA DE PRECIPITACIONES EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

#### 7.1.2.1.2 Temperaturas

Por lo que respecta a las temperaturas, parámetro de menor importancia que las precipitaciones, cuanto más altas y más extremas sean, mayor será su influencia sobre los ciclos de humedad-sequedad del suelo.

Los cambios de temperatura originarán procesos de expansión y contracción de los poros del terreno, con los consiguientes efectos sobre su grado de esponjamiento y saturación.

Se tomarán como variables de estudio los 3 rangos de datos de temperatura proporcionados por la base de datos *WorldClim*: temperaturas máximas, mínima, y las temperaturas medias de la comarca de Liébana a lo largo de los 4 meses de deshielo.

En primer lugar nos centraremos en las **temperaturas máximas** que han quedado recogidas en la comarca de Liébana por la base *WorldClim*.

Como se puede observar en los mapas de temperaturas que acompaña a este texto, el mes con las temperaturas máximas más altas es mayo, como es lógico, el más próximo al período estival, y el mes con las máximas más bajas es febrero, aún en invierno. En lo que respecta a dicho mes, febrero, el cual es el primero de la época de deshielo, es importante destacar que las zonas donde se producen las temperaturas más elevadas, entre 11 y 13º C, corresponde a los puntos más bajos de la comarca, correspondientes a los cauces de los ríos Deva, Quiviesa y Bullón.

Se deben tener localizadas las zonas más cálidas, principalmente en este mes de febrero, ya que en ellas es donde comenzarán a producirse los primeros deshielos del año, produciéndose aportaciones de agua sobre el terreno, con sus correspondientes consecuencias sobre la estabilidad del mismo.

Además, estos ciclos de hielo – deshielo pueden producir desplazamientos estacionales de partículas aisladas o delgadas capas de suelo por efecto de la gravedad. Esto se debe a que, al helarse el suelo se expande, para contraerse después en la fase de deshielo generando el desplazamiento neto de las partículas según la pendiente de la ladera. Consecuencia directa de este desplazamiento de las partículas es el debilitamiento de los suelos y rocas, favoreciéndose la aparición de fisuras. El aumento de agua sobre la superficie producido por el deshielo provoca que, con la infiltración de la misma sobre dicha superficie, aumente la presión en los poros, dando lugar al movimiento del material superficial.

Por todos estos efectos es fundamental localizar los puntos donde se alcanzan mayores temperaturas, ya que en ellos es donde antes, y con mayor velocidad se producirán los fenómenos de deshielo en esta comarca.

En una comarca de carácter montañosa como Liébana se debe tener en cuenta que el posible aumento de la temperatura en las cordilleras alpinas contribuirá al aumento de los desprendimientos en las cotas más elevadas que, en la actualidad, están protegidas de los contrastes térmicos por la presencia de un manto nival prácticamente desde el mes de diciembre hasta mayo.

Por último, también debe mencionarse el efecto que pueden provocar las altas temperaturas sobre la humedad del suelo y el grado de evaporación al que se somete al agua infiltrada y superficial.

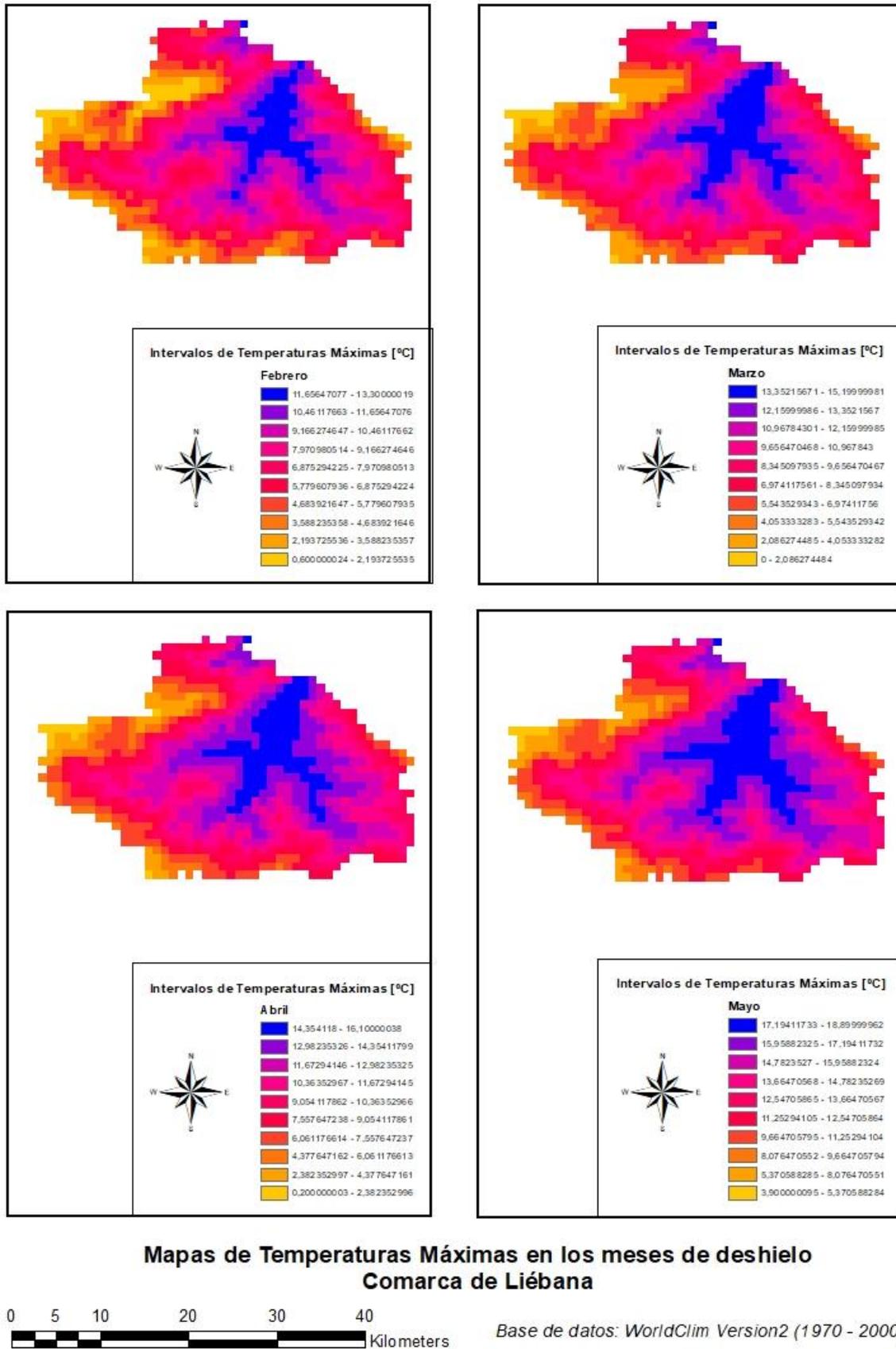


FIGURA 42. MAPA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

En lo que respecta a la comarca lebaniega, el mapa de temperaturas mínimas indica claramente cómo las zonas más bajas presentan mínimas más suaves que las zonas más elevadas. Las zonas en tonos más claros representan las zonas de menor altitud, coincidiendo con los cauces de los ríos, y las más oscuras las grandes cumbres de los Picos de Europa, la Sierra de Peña Sagra o la Cordillera Cantábrica.

Sin embargo, es evidente que nos encontramos en una comarca de gran altitud con respecto al nivel del mar, y con condiciones lo suficientemente frías como para que se produzcan fenómenos de hielo-deshielo durante el invierno. Esto se hace evidente viendo que prácticamente en toda la comarca se alcanzan temperaturas negativas a lo largo del mes de febrero, siendo posible el congelamiento de aguas superficiales y subterráneas, a lo que hay que añadir las bajas temperaturas de los meses anteriores del invierno (diciembre y enero).

Aunque a lo largo de la época de deshielo las temperaturas mínimas vayan aumentando hasta los 9°C que se alcanzan en el mes de mayo, es en este mes cuando aún se mantienen temperaturas negativas en los puntos más altos de la comarca, posibilitando la presencia de capas de nieve en este mes.

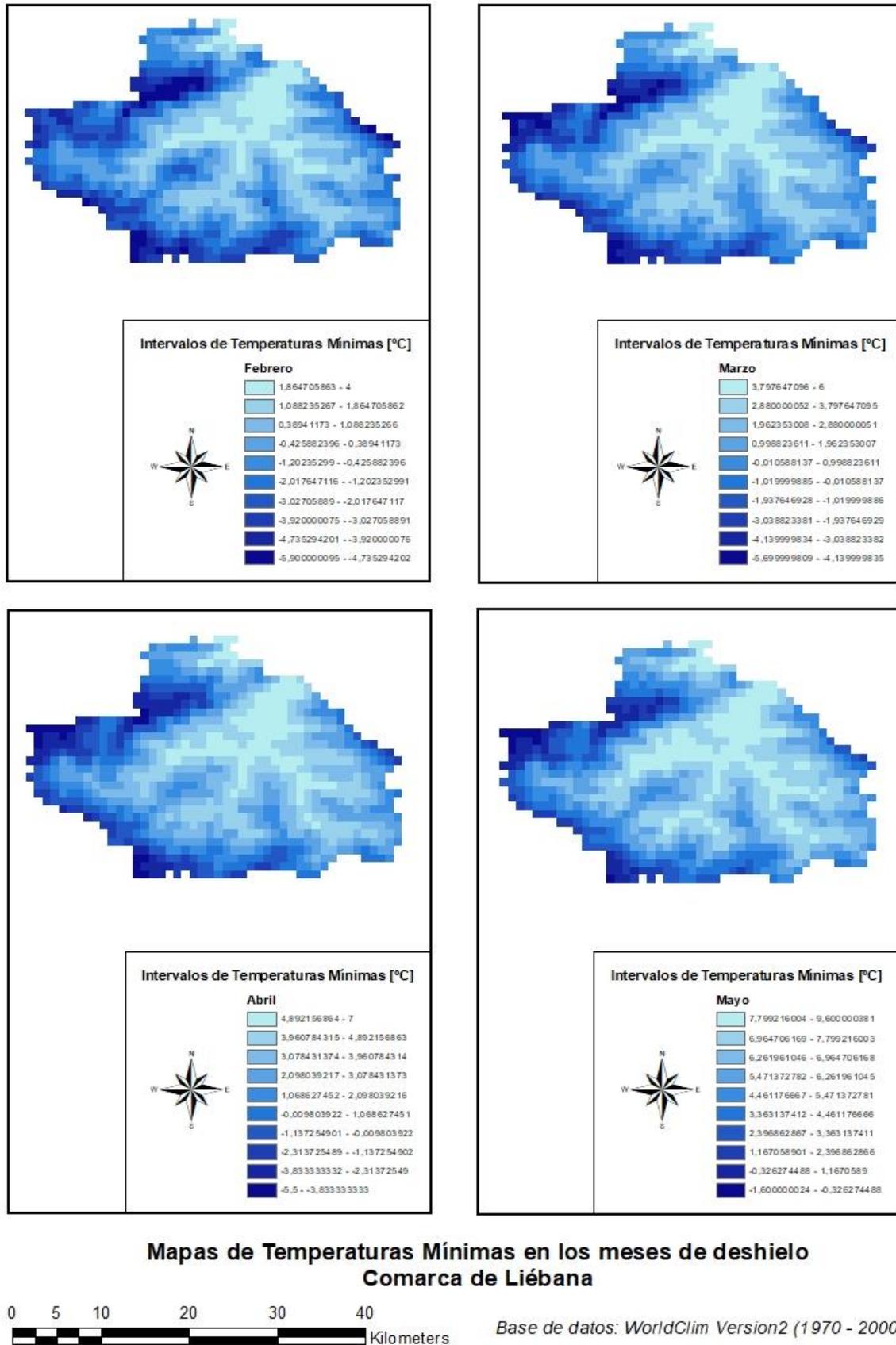


FIGURA 43. MAPA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

El factor de temperatura media nos servirá como síntesis de lo que nos han mostrado los dos anteriores: cómo las temperaturas más altas, simbolizadas mediante tonos de verde claro, se concentran en las zonas bajas de la comarca, donde discurren los cauces de los principales ríos de Liébana (Deva, Quiviesa y Bullón), y las más altas, en tono verde oscuro, en los puntos de mayor altitud.

La principal conclusión a nivel térmico que se puede deducir de esta comarca es la que se ha expuesto de manera teórica en el tercer capítulo de este estudio “Medio natural: climatología”, la cual recordamos:

*“Su relieve cerrado provoca que tenga un microclima diferente al del resto de la región, la cual está afectada por un clima atlántico.*

*De esta manera, Liébana se caracteriza por tener una variedad climática particular, donde se alterna el mencionado microclima, que es propiamente mediterráneo en el fondo del valle, con los rigores de la meteorología alpina en las zonas más elevadas, pasando por un clima atlántico húmedo de transición entre ellos.”*

Esta afirmación queda claramente validada tanto por los mapas de temperatura media como por los de intensidad de precipitaciones, ambos elaborados con los datos procedentes de la base *WorldClim*.

De cara a la evaluación de la amenaza que suponen los movimientos de ladera en esta comarca, la temperatura jugará un papel fundamental, ya que, dos enfoques sobre la misma hacen que se presenten condiciones muy desfavorables para la estabilidad de las laderas y suelos.

El primero de ellos hace referencia a la gran variación entre temperaturas que existe en la comarca, dándose en algún momento de los períodos de deshielo variaciones de entre 10 y 15°C entre máximas y mínimas en un mismo mes, con todas las implicaciones sobre el terreno que supone esto, las cuales se han expuesto con anterioridad.

Por otro lado, se hace fácilmente visible que esta comarca se trata de un entorno frío en los meses de invierno, ya que prácticamente se dan temperaturas medias inferiores a cero durante toda la época de deshielo, facilitando la presencia de nieve y hielo en muchas zonas dispersas a lo largo de la comarca, además de, por supuesto, en las cumbres y cordilleras de mayor altitud.

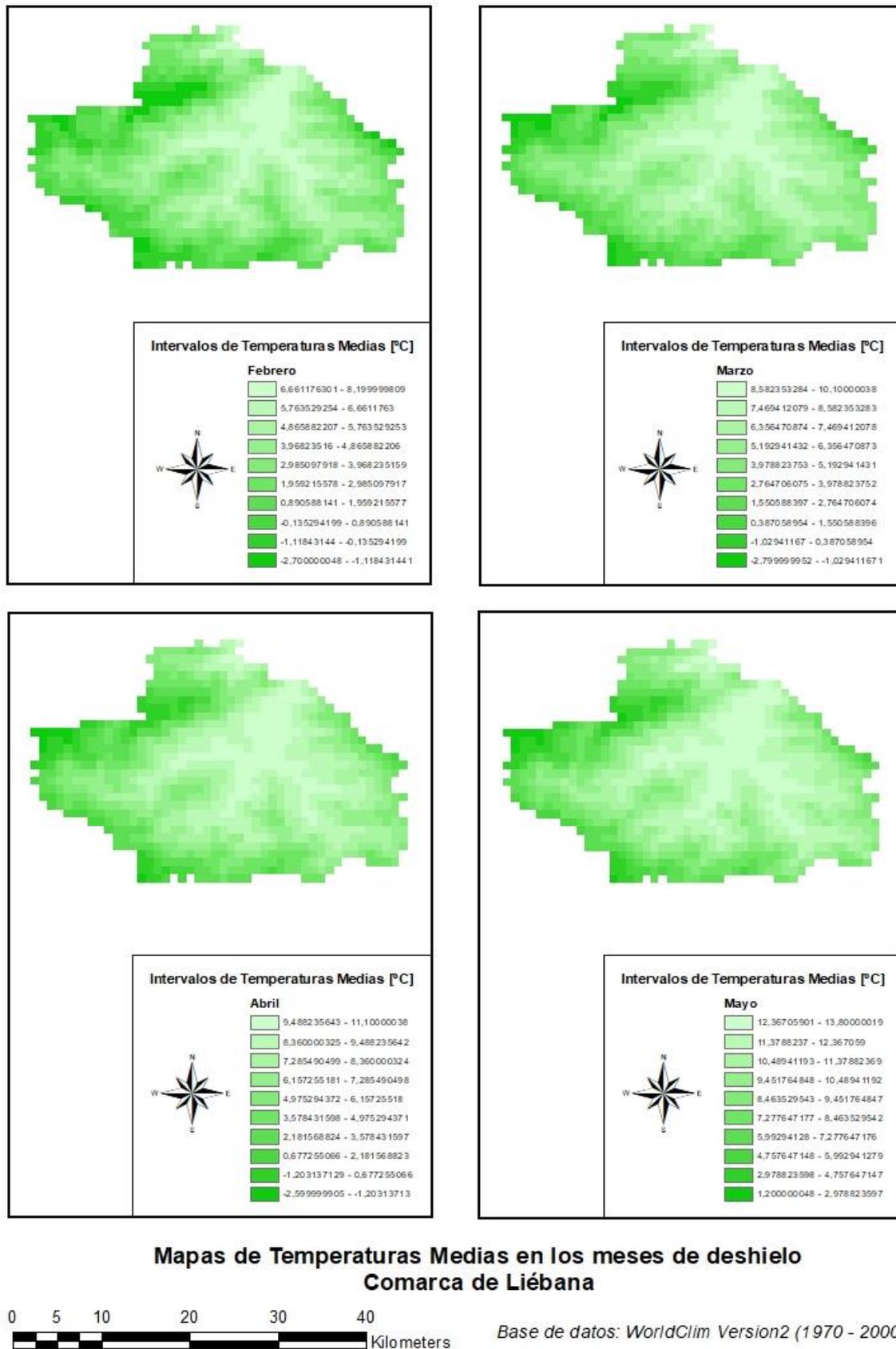


FIGURA 44. MAPA DE TEMPERATURAS MEDIAS EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### 7.1.2.1.3 Insolación

En la comarca de Liébana, como se puede apreciar en el mapa de irradiación solar de la página siguiente, esta aumenta con el paso de los meses de deshielo, hasta alcanzar las magnitudes más altas de este período durante el mes de mayo. Esto es algo trivial ya que según se acerca la estación estival la duración de los días es mayor, y por tanto aumenta la radiación que recibe la Tierra por parte del Sol.

Los puntos de la comarca donde se alcanzan cotas más altas de radiación son aquellos que presentan mayor altitud, como las cordilleras y las grandes cumbres. Simbolizados en tonos de marrón oscuro, zonas como los picos de Europa, la Sierra de Peña Sagra al este o parte de la Cordillera Cantábrica incluida en Liébana, por ejemplo, el Puerto de San Glorio, al sur de la comarca, presentan niveles de radiación cercanos a 9.000 kJ / m<sup>2</sup> día en febrero, al inicio del deshielo, y van aumentando con el paso de los meses hasta alcanzar los casi 20.000 kJ / m<sup>2</sup> día en el mes de mayo.

Estas elevadas insolaciones en los puntos alpinos se debe a que cuanto mayor es la altitud, más despejadas se encuentran las laderas y superficies del terreno, posibilitándose la incidencia directa del sol ante la ausencia de sombras de elementos naturales o antrópicos.

De este modo, las zonas con menores índices de radiación corresponden a los cauces de los ríos, donde la presencia de desfiladeros y depresiones provocan una menor incidencia del sol, la cual, por otro lado, favorece un mayor desarrollo de la vegetación.

Este factor climático resulta importante porque incide en la estabilidad – inestabilidad de laderas, al influir en la condición de humedad del material, disminuyendo la resistencia de dichas laderas mientras mayor grado de humedad presenten estas. Este factor se encuentra ligado a su vez a la presencia de vegetación, siendo esta más prominente en zonas protegidas de intensa radiación solar.

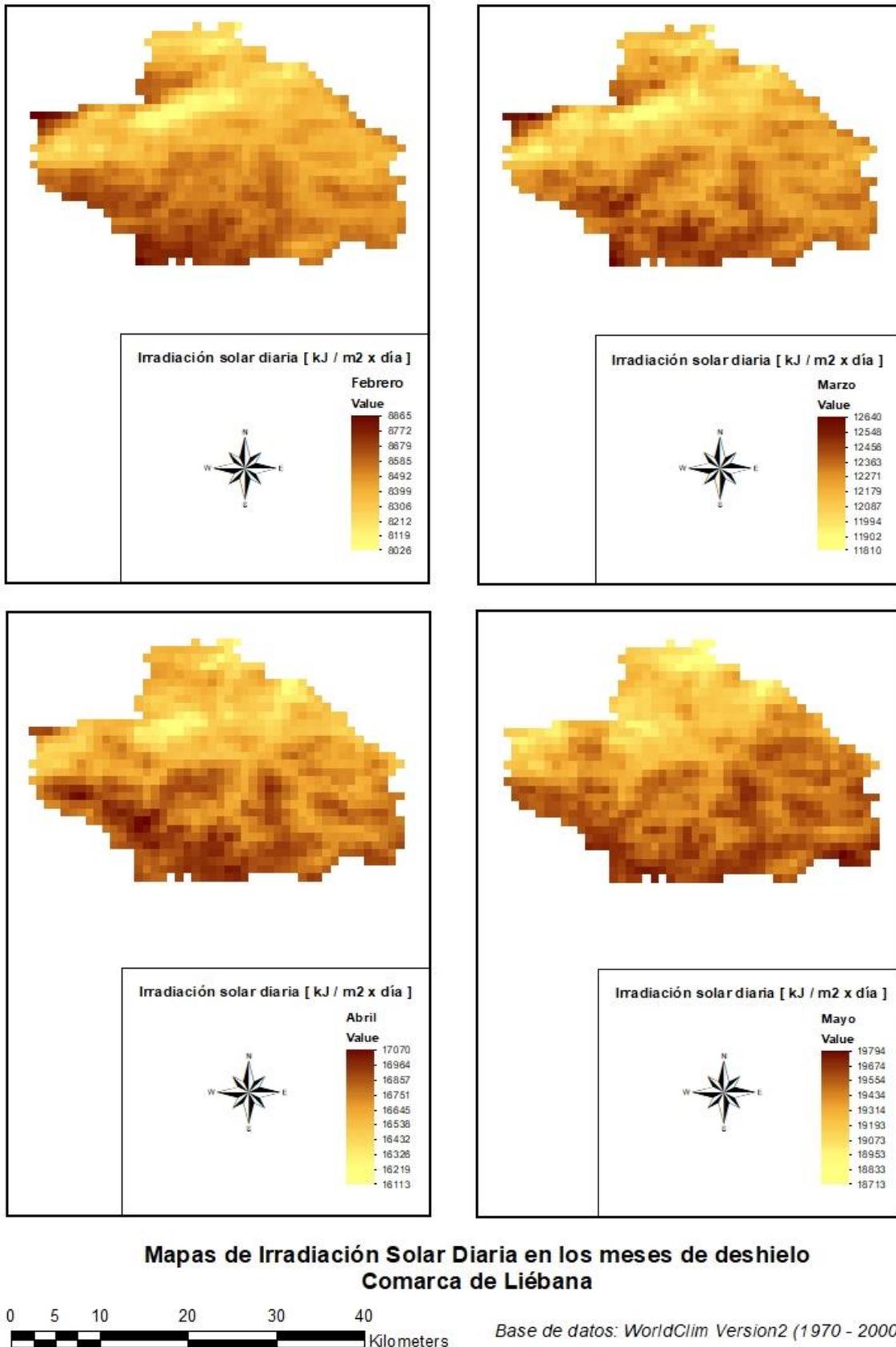


FIGURA 45. MAPA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

#### 7.1.2.1.4 Velocidad del viento

Así pues, observando el mapa de velocidad del viento que se ha elaborado para cada uno de los meses de deshielo, podemos ver qué categorías de vientos, según la escala de Beaufort, afectan a la comarca y cuáles son sus efectos.

Es en el primer mes, en **febrero**, cuando se producen los vientos de mayor velocidad del período de deshielo, alcanzándose casi 35 km/h. Sin embargo, estos se reducen a las zonas más elevadas, situadas en los Picos de Europa, mientras que la categoría más extendida es la “Categoría 4”, con vientos de entre 20 a 28 km/h, también conocidos como brisas moderadas. Los principales efectos de este tipo de vientos son el levantamiento de polvo y el agitación de las copas de los árboles.

También se dan durante este mes las categorías “2”, “3” y “5”, pero de manera mucho más reducida y dispersa. Considerando el escenario más desfavorable de entre ellas, el de la “Categoría 5”, se alcanzan velocidades de entre 29 y 38 km/h, teniendo como consecuencia pequeños movimientos de los árboles.

Los meses de **marzo** y **abril** también están caracterizados por una mayoría de vientos de “Categoría 4”, siendo además estos los de mayor velocidad que se alcanzan.

Por otro lado, durante el mes de **mayo** la velocidad del viento se vuelve aún menor, siendo la “Categoría 3” la más repetida. Esta categoría hace referencia a vientos de velocidades entre 12 y 19 km/h, denominados brisas ligeras, cuyos efectos son prácticamente irrelevantes a gran escala, siendo su identificación más visible a través del movimiento de hojas o la ondulación de banderas.

Como se puede comprobar, la velocidad media que presenta el viento durante los meses de deshielo en Liébana dista mucho de los umbrales de riesgo que se establecen a partir de categorías como la “7” o la “8”, donde se alcanzan velocidades de entre 50 y 70 km/h aproximadamente, poniéndose en riesgo la integridad de personas y bienes materiales.

La velocidad del viento está considerada como un factor climático desencadenante a la hora de que se produzcan fenómenos de inestabilidad de ladera, principalmente desprendimientos, avalanchas y aludes.

Sin embargo, en la comarca de Liébana los vientos que se alcanzan durante el período de tiempo a analizar no son lo suficientemente elevados como para provocar movimientos de ladera por sí solos, pero sí deben ser considerados en un estudio global de todos los factores que afectan a dichos movimientos. Esto se debe, a efectos que puede provocar el viento como, por ejemplo, el propio sobre los árboles y la vegetación, ya que el agitación al cual los somete, en caso de pendiente del terreno fuerte, puede provocar que el terreno se remueva y se desestabilice.

Otra forma indirecta que tiene el viento para influir sobre la estabilidad del terreno es cómo puede modificar el ángulo de incidencia con el que caen las gotas de lluvia sobre la superficie de la ladera.

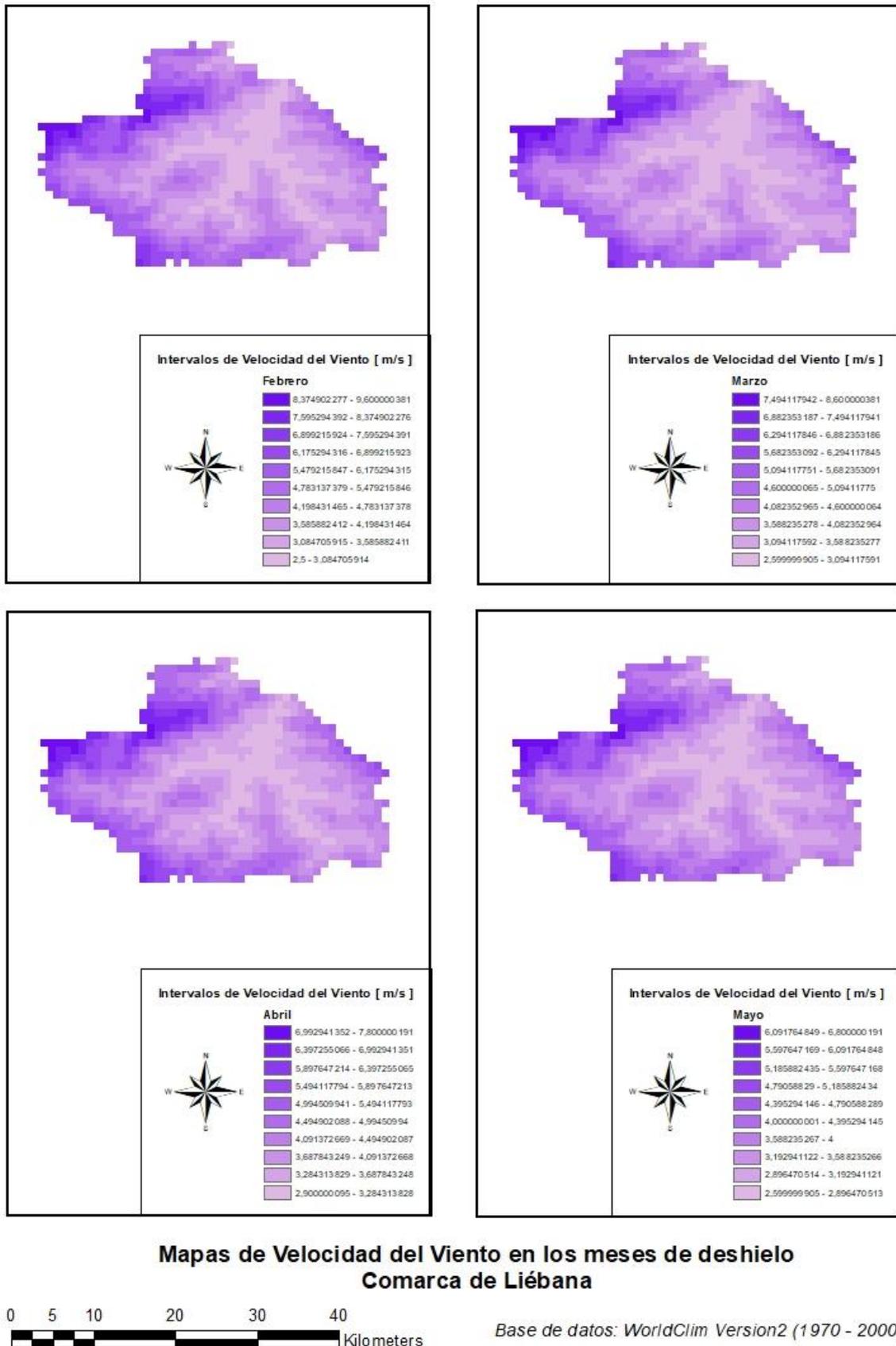


FIGURA 46. MAPA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LOS MESES DE DESHIELO (FEBRERO – MAYO), EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### **7.1.2.2 Cambios en las condiciones hidrológicas**

Centrándonos en la zona de estudio que nos concierne, se dispone de los datos de la profundidad del nivel freático (*WTD*, es decir, *Water Table Depth*) recortados a la comarca de Liébana, a través de una malla de puntos que se ha introducido en el software ArcGIS.

Por ello se ha convertido dicha malla a un formato ráster mediante las herramientas de conversión que proporciona ArcGIS, utilizando como campo de atributos de referencia, la requerida profundidad de nivel freático. En esta conversión se ha optado por seleccionar una resolución (tamaño de píxel o celda) de 1.000 x 1.000 metros, ya que al tratarse de una conversión de puntos, solo el conjunto de dichos puntos incluidos en cada celda será convertido a ráster, por tanto dicho tamaño de celda de gran dimensión nos asegura que todos los puntos queden integrados en al menos una celda.

La simbología por la que se ha optado es una escala cromática en de amarillos, verdes y azules, donde los primeros hacen referencia a las profundidades más bajas, próximas a la superficie terrestre, mientras que los colores azules representan las zonas más profundas.

La unidad de medida utilizada es el metro (m).

Como se puede apreciar en el mapa ráster que se ha elaborado sobre la profundidad del nivel freático, prácticamente la gran mayoría de la superficie de la comarca de Liébana posee el agua subterránea a profundidades muy cercanas a la superficie terrestre.

Numéricamente, dichas zonas de baja profundidad se encuentran enmarcadas en su mayoría en intervalos que van desde la cota cero del terreno (superficie de la ladera) hasta unos 60 metros de profundidad, aproximadamente.

Dichas zonas coinciden además con los cauces de los ríos Deva, Quiviesa y Bullón, donde la infiltración de agua en el terreno es más favorable.

A lo largo de la comarca podemos encontrar también muchas zonas donde se alcanzan hasta los 180 metros de profundidad, estando aquí incluida la **profundidad media del nivel freático de la comarca: 88,14 metros**.

Puede establecerse una correlación entre la profundidad del nivel freático y la altitud del terreno, ya que, normalmente, ambas aumentan conjuntamente. Es por ello que las zonas donde se alcanzan mayores profundidades del agua subterránea (tonos azul oscuro) coincidan con los puntos de mayor altitud, como es el caso de los Picos de Europa, aunque no sería correcto establecer esta correlación como arbitraria, ya que existen puntos de gran profundidad dispersos a lo largo de toda la superficie de Liébana.

El punto de máxima profundidad de nivel freático alcanzado en esta comarca se encuentra exactamente a 545,13 metros.

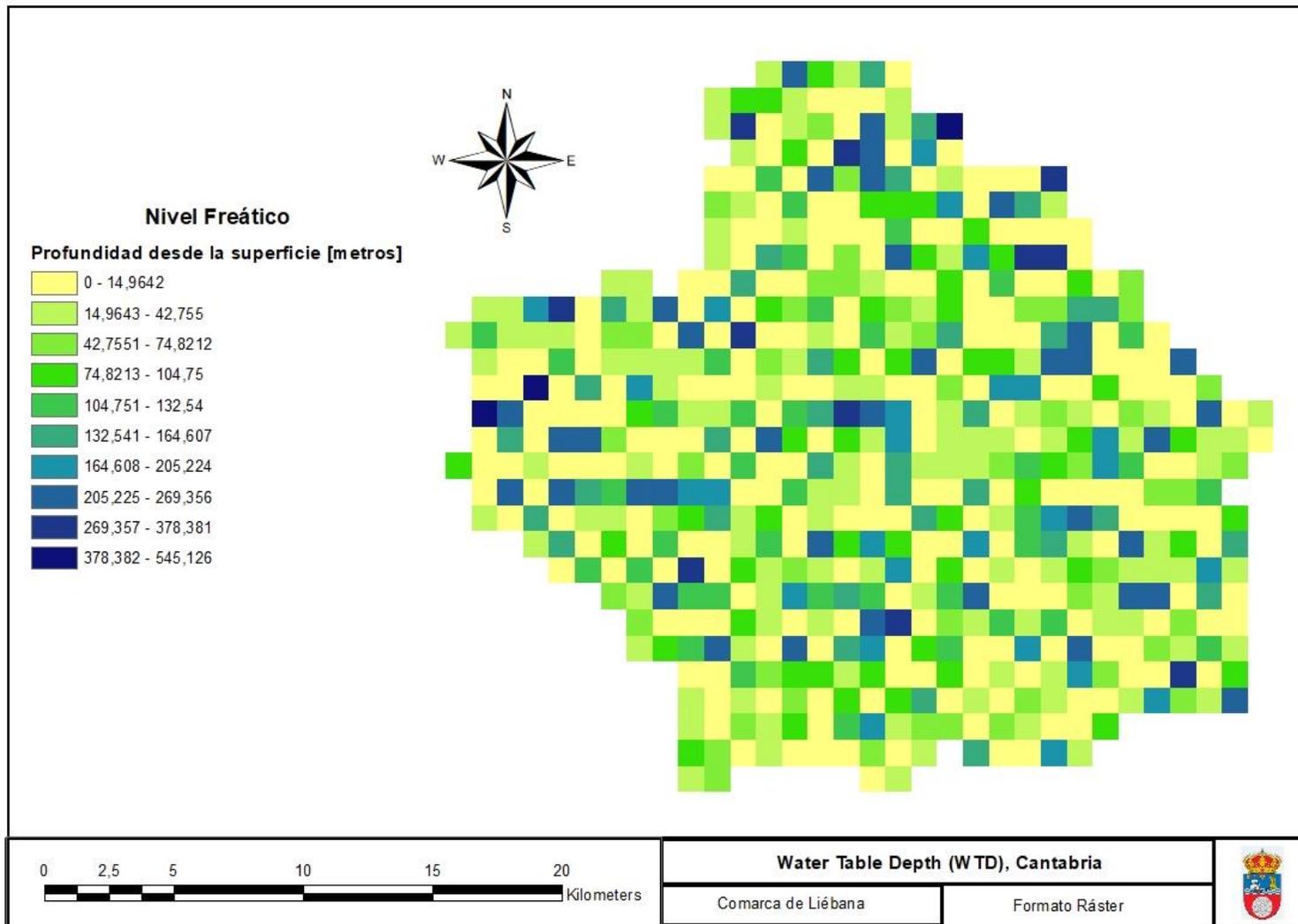


FIGURA 47. MAPA DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### **7.1.2.3 Usos del Suelo**

Para el área considerada, la comarca de Liébana, se encuentran identificados por la base CLC2012 hasta 12 tipos de utilización del suelo, los cuales son:

1. Tejido urbano discontinuo (Código: 1.1.2.)
2. Prados y praderas (Código: 2.3.1.)
3. Mosaico de cultivos (Código: 2.4.2.)
4. Terrenos agrícolas con vegetación natural (Código: 2.4.3.)
5. Bosques de frondosas (Código: 3.1.1.)
6. Bosques de coníferas (Código: 3.1.2.)
7. Bosques mixtos (Código: 3.1.3.)
8. Pastizales naturales (Código: 3.2.1.)
9. Landas y matorrales mesófilos (Código: 3.2.2.)
10. Matorral boscoso de transición (Código: 3.2.4.)
11. Roquedo (Código: 3.3.2.)
12. Espacios con vegetación escasa (Código: 3.3.3.)

El mapa de utilización de suelos que hemos diseñado para la comarca de Liébana, a partir de la base CLC2012, se encontraba inicialmente clasificado por el código del tipo de uso de suelo. Sin embargo, se ha decidido añadir un nuevo campo de atributos al mapa, llamado "ClaseSuelo", en formato de texto, con los nombres de las 12 categorías de uso de suelo antes nombradas, para facilitar su lectura.

Además se les ha otorgado una clasificación de colores nueva para que la diferenciación de las categorías sea más clara y directa.

Como se puede observar, la superficie más extendida es la que representan los bosques de frondosas. Se encuentran también grandes zonas de landas y matorrales mesófilos al norte de la comarca y en las zonas limítrofes de la misma. En la zona oeste se encuentran superficies rocosas, representadas en gris, coincidiendo, como es lógico, con las cumbres y zonas más elevadas de la cordillera de los Picos de Europa.

Podemos encontrar a lo largo de la comarca numerosas, aunque dispersas, zonas de, por un lado, pastizales naturales, y por otro, prados y praderas, dedicados principalmente al pasto del ganado.

Es apreciable la baja densidad de núcleos urbanos, ya que el único tejido urbano visible, y por tanto relevante, es el referido al área de Potes (representado en color rojo), en la zona central de la comarca. Esta área además es la que concentra una mayor cantidad de usos de suelo distintos, debido a su posición de capital de la comarca.

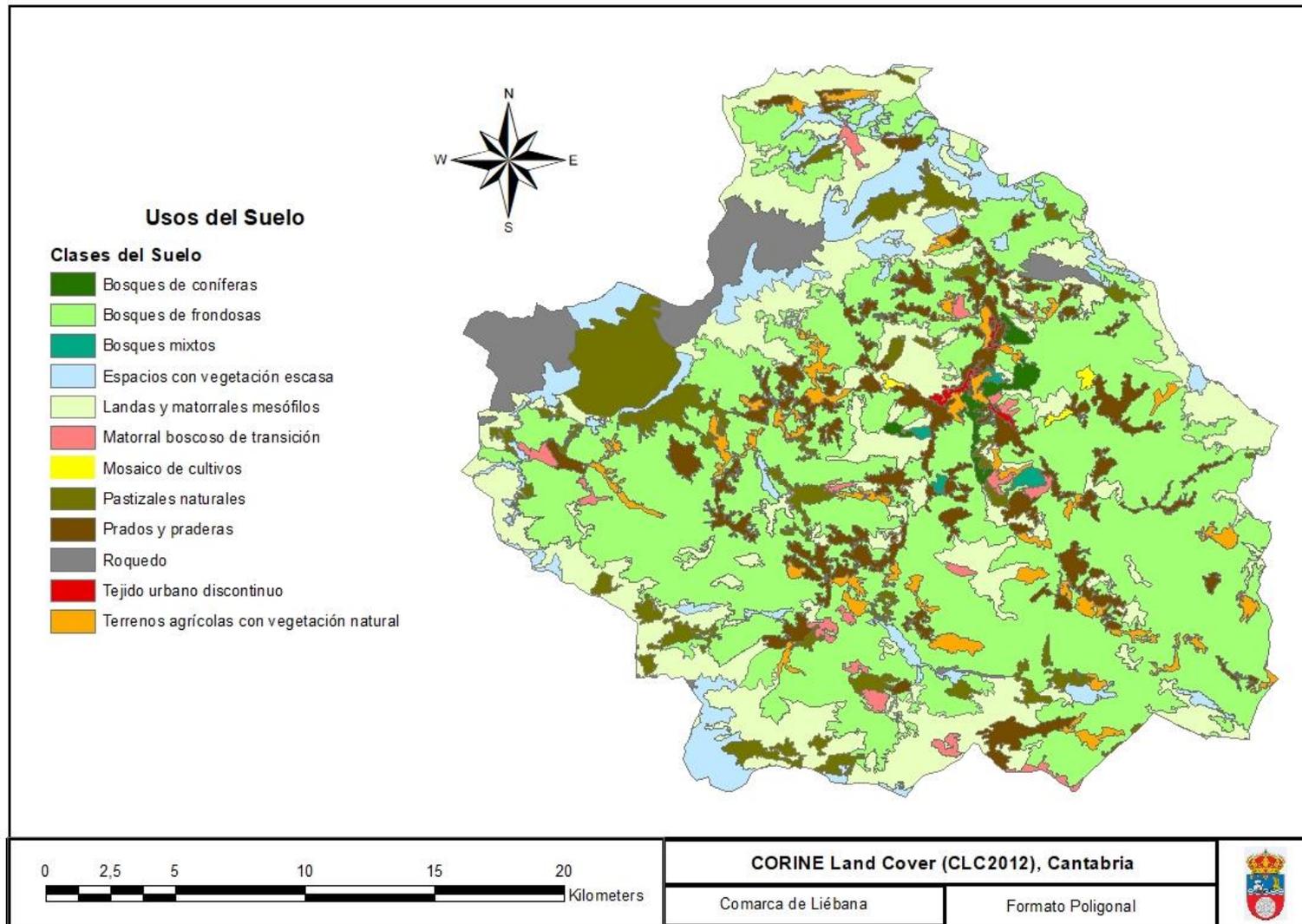


FIGURA 48. MAPA DE USOS DEL SUELO EN FORMATO POLIGONAL DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

Finalmente, dado que el mapa se encuentra en un formato de tipo poligonal, se ha convertido este a formato ráster, para su utilización con los distintos modelos digitales del terreno y mapas elaborados, ya que se encuentran en dicho formato. Para ello se ha recurrido a las herramientas de conversión que proporciona el programa ArcGIS.

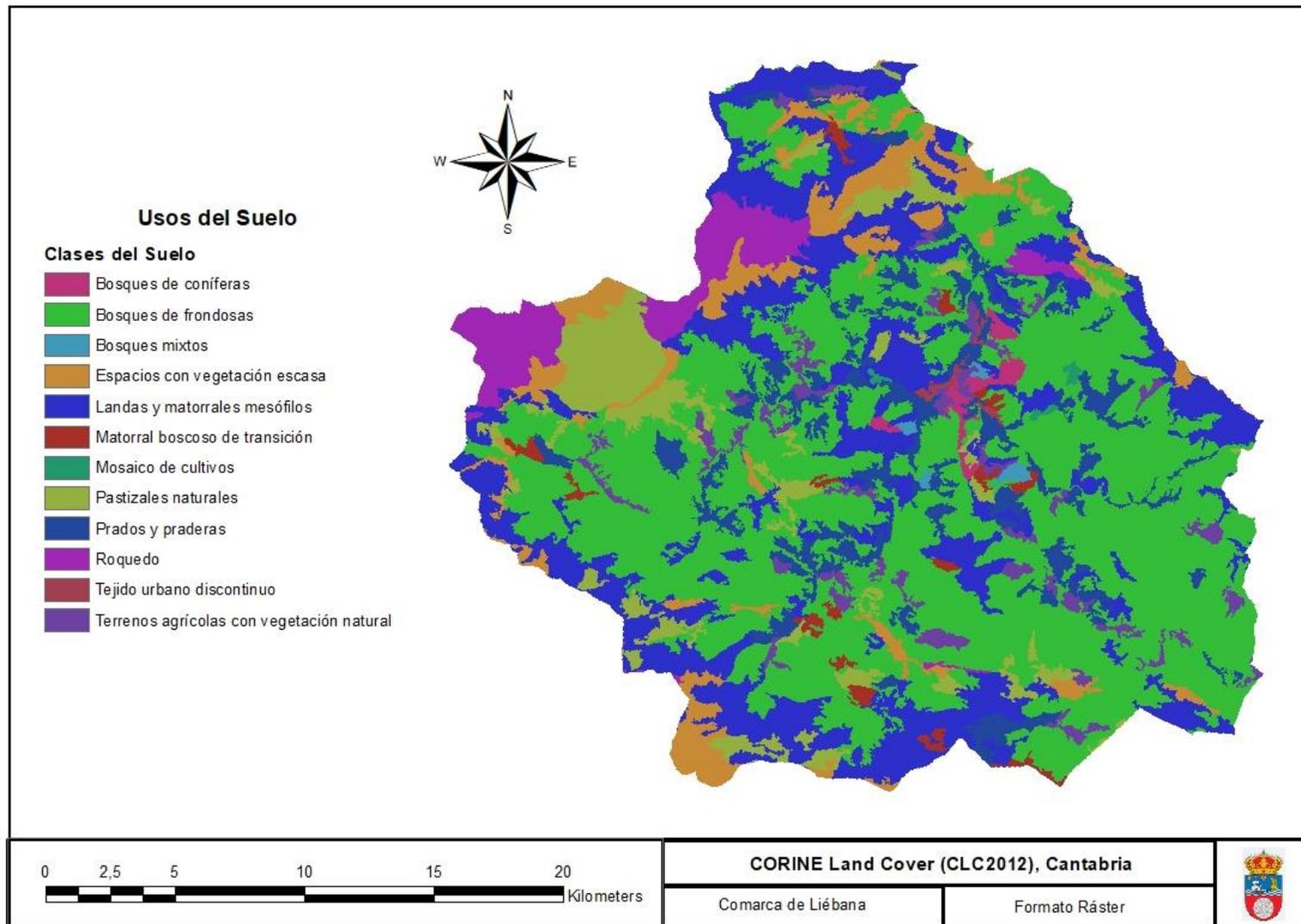


FIGURA 49. MAPA DE USOS DEL SUELO EN FORMATO RÁSTER DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

Debido a que se trata de una variable cualitativa, es preciso asignar a cada categoría un valor numérico, de cara a su ponderación, de la misma manera que se he hecho con la capa "Litología". Un buen parámetro para caracterizar el grado de implicación de los usos que se le dan al suelo es llamado **umbral de escorrentía (P<sub>0</sub>)**.

Este parámetro es uno de los parámetros que se tienden a determinar en un estudio hidrológico, el cual tiene por finalidad calcular el caudal que producirá una lluvia caída en el punto de salida de una cuenca o subcuenca, siendo este tipo de estudio hidrológico el más habitual en España. Dicho caudal, que verterá por el punto de salida de la cuenca, proviene del agua precipitada que se ha transportado mediante escorrentía por la superficie del terreno. Ahora bien, no toda la precipitación caída sobre el terreno producirá escorrentía. Efectivamente, parte del agua caída en la lluvia penetrará en el mismo y otra seguirá hacia abajo superficialmente.

Así pues, el umbral de escorrentía P<sub>0</sub> es la cantidad de precipitación a partir de la cual el terreno no es capaz de infiltrar más agua, y esta **fluye sobre la superficie** en un flujo difuso. Este umbral depende de la humedad inicial del suelo, el uso del suelo, el tipo de suelo y la pendiente, y su unidad de medida es el **milímetro (mm)**. Los valores orientativos del umbral de escorrentía para las características de las cuencas españolas se encuentran entre los 24 y 35 mm.

De este modo, utilizaremos este parámetro como variable numérica representativa de los usos del suelo, de cara normalizarla para su uso en el análisis multicriterio de la susceptibilidad.

Los valores del umbral de escorrentía que se proporcionan para los usos del suelo de la base CORINE Land Cover pueden aplicarse a 4 categorías distintas para cada tipo de uso de suelo, siendo estas catalogadas como "A", "B", "C" o "D":

TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS A EFECTOS DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.

| Tabla. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentia |  |   |   |                   |
|--|--|---|---|-------------------|
| GRUPO  | INFILTRACION<br>(cuando están muy húmedos) | POTENCIA                                    | TEXTURA   | DRENAJE           |
| A  | Rápida                                     | Grande                                      | Arenosa Areno-limosa  | Perfecto          |
| B  | Moderada                                   | Media a grande                              | Franco-arenosa<br>Franca<br>Franco-arcillosa-arenosa<br>Franco-limosa | Bueno a moderado  |
| C  | Lenta                                      | Media a pequeña                             | Franco-arcillosa Franco-arcillo<br>-limosa Arcillo-arenosa            | Imperfecto        |
| D  | Muy lenta                                  | Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla | Arcillosa   | Pobre o muy pobre |

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D

Como la metodología de este estudio está fundamentada en centrarse siempre en los casos más desfavorables, se tomarán para nuestros tipos de suelo los valores del umbral de escorrentía correspondientes al **grupo A**, ya que es el que presenta las condiciones de infiltración de agua más rápidas, la potencia más elevada, una textura de tipo arenosa, areno-limosa, y un drenaje perfecto.

Por tanto, seleccionando los valores del umbral de escorrentía para la base CORINE Land Cover, reducida a la comarca de Liébana, así quedan referenciadas las distintas clases de suelo:

1. Tejido urbano discontinuo (Código: 1.1.2.): **24 mm**
2. Prados y praderas (Código: 2.3.1.): **119 mm**
3. Mosaico de cultivos (Código: 2.4.2.): **108 mm**

4. Terrenos agrícolas con vegetación natural (Código: 2.4.3.): **119 mm**
5. Bosques de frondosas (Código: 3.1.1.): **90 mm**
6. Bosques de coníferas (Código: 3.1.2.): **90 mm**
7. Bosques mixtos (Código: 3.1.3.): **90 mm**
8. Pastizales naturales (Código: 3.2.1.): **79 mm**
9. Landas y matorrales mesófilos (Código: 3.2.2.): **76 mm**
10. Matorral boscoso de transición (Código: 3.2.4.): **76 mm**
11. Roquedo (Código: 3.3.2.): **2 mm**
12. Espacios con vegetación escasa (Código: 3.3.3.): **57 mm**

## 7.2 Pesos asignados

Para el **primer escenario** de amenaza se han considerado las variables: Altitud, Pendiente topográfica y Litología.

La pendiente topográfica del terreno va a ser considerada el factor más determinante de este escenario. Esto se debe a la gran presencia de laderas casi verticales a lo largo de amplias zonas de la comarca lebaniega, y además de poseer una pendiente media de casi el 50%, lo que hace entender que es un área muy abrupta, lo que favorece enormemente la inestabilidad. Junto con la fuerza de la gravedad, es un elemento determinante para producir energías que estimulan los movimientos de remoción en masa (Marcano, Cartaya, Pacheco, & Méndez, 2006).

Por otro lado, la geología obtiene un peso relativo grande y cercano al de la pendiente, debido a las consideraciones de expertos correspondiendo a los sustentos teóricos que refieren su importancia en los movimientos de ladera al considerar la litología, además de la afección a materiales de tipo suelo o rocosos o la presencia de fallas, datos que proporciona la Serie de Mapas Geológicos del Gobierno de Cantabria (Mapas de Cantabria, 2014).

Finalmente, el factor altitud se pondera con el resto de la puntuación disponible, que es un cuarto de la unidad, y esta puntuación está justificada ya que también es un factor de gran importancia, ya que no influye por sí solo, pero su magnitud esta correlacionada a otras variables de manera muy directa. Por ejemplo, según aumenta la altitud, la climatología se vuelve más extrema, además de favorecer una pendiente topográfica más pronunciada. Por otro lado, las altas cumbres y cordilleras son zonas de alta actividad tectónica, lo que favorece la inestabilidad del terreno.

Con todo ello, esta es la matriz de pesos ponderados que se ha decidido asignar a las variables presentes en este escenario:

| Variables de cálculo | Pesos asignados |
|----------------------|-----------------|
| Altitud              | 0,2500          |
| Pendiente            | 0,4000          |
| Litología            | 0,3500          |

En el **segundo escenario** se han añadido las variables climáticas y la profundidad del nivel freático.

En este escenario el factor fundamental es la precipitación, ya que está considerada como un factor extremo (Mujica & Pacheco, 2013), y va a ser tomada en cuenta por sí misma, pero también a la hora de ponderar los otros factores, en función de la correlación que mantengan con la propia precipitación.

Se decide, en primer lugar, separar los factores condicionantes, a los que se otorga en total un 40% del peso en la generación de inestabilidades, y los desencadenantes, a quienes se les asigna un 60 % de la responsabilidad. A la hora de ponderar las variables condicionantes, se mantienen las proporciones establecidas en el primer escenario.

Como queremos dotar a la precipitación de un valor dominante, se lo otorga un tercio de la importancia en valores climáticos, siendo esto un 20% del peso total. El nivel freático adquiere un valor muy relevante en la susceptibilidad, ya que está directamente relacionado con las precipitaciones, ya que en zonas donde el nivel es mínimo (somero) es muy probable que el sistema se satura al producirse lluvias, por tanto se le asigna un valor de hasta 0,1 sobre la unidad. Finalmente, la puntuación de las temperaturas debe ser la misma para las extremas y para la media, y estas siempre deben de ser mayores a la insolación, y esta, a su vez, al viento en términos de influencia, por tanto el porcentaje de pesos restante se distribuye de la manera más óptima posible.

Estos son los valores numéricos que se ha decidido asignar a cada una de las variables que intervienen en el escenario propuesto:

| <b>Variables de cálculo</b>    | <b>Pesos asignados</b> |
|--------------------------------|------------------------|
| Altura                         | 0,1000                 |
| Pendiente                      | 0,1600                 |
| Litología                      | 0,1400                 |
| Intensidad de Precipitación    | 0,2000                 |
| Temperaturas máximas           | 0,0750                 |
| Temperaturas mínimas           | 0,0750                 |
| Temperaturas medias            | 0,0750                 |
| Insolación                     | 0,0500                 |
| Velocidad del Viento           | 0,0250                 |
| Profundidad del Nivel Freático | 0,1000                 |

Por último, en el **tercer escenario** entran en juego el uso que le da el hombre al suelo, variable que hemos cuantificado en este estudio, ya que se trata de una variable cualitativa, a través del parámetro de umbral de escorrentía  $P_0$ . Esta variable se considera análoga a la profundidad del nivel freático, y por eso también se le dará una importancia de 0,1. Pero como el objetivo es acentuar la influencia de las precipitaciones, el valor del nivel freático y de las precipitaciones no se verá afectado en su ponderación, mientras que el resto de variables si se verán ajustadas, siempre, de la manera más óptima (Arroyo, 1992).

De este modo, los pesos asignados a las variables en este escenario son los siguientes:

| <b>Variables de cálculo</b>    | <b>Pesos asignados</b> |
|--------------------------------|------------------------|
| Altura                         | 0,0875                 |
| Pendiente                      | 0,1400                 |
| Litología                      | 0,1225                 |
| Intensidad de Precipitación    | 0,2000                 |
| Temperaturas máximas           | 0,0700                 |
| Temperaturas mínimas           | 0,0700                 |
| Temperaturas medias            | 0,0700                 |
| Insolación                     | 0,0300                 |
| Velocidad del Viento           | 0,0100                 |
| Profundidad del Nivel Freático | 0,1000                 |
| Usos del Suelo                 | 0,1000                 |

Finalmente, se construye la **matriz de pesos total** para nuestro análisis de susceptibilidad en la comarca de Liébana, la cual está formada por 11 variables de cálculo de tipo cuantitativo o cualitativo, aplicadas a 3 escenarios de amenaza suplementarios entre sí.

| Variables                      | Escenario I | Escenario II | Escenario III |
|--------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Altitud                        | 0.2500      | 0.1000       | 0.0875        |
| Pendiente                      | 0.4000      | 0.1600       | 0.1400        |
| Litología                      | 0.3500      | 0.1400       | 0.1225        |
| Intensidad de Precipitación    | 0           | 0.2000       | 0.2000        |
| Temperaturas máximas           | 0           | 0.0750       | 0.0700        |
| Temperaturas mínimas           | 0           | 0.0750       | 0.0700        |
| Temperaturas medias            | 0           | 0.0750       | 0.0700        |
| Insolación                     | 0           | 0.0500       | 0.0300        |
| Velocidad del Viento           | 0           | 0.0250       | 0.0100        |
| Profundidad del Nivel Freático | 0           | 0.1000       | 0.1000        |
| Usos del Suelo                 | 0           | 0            | 0.1000        |

### 7.3 Análisis de la susceptibilidad

Como se ha explicado, la evaluación multicriterio desarrollada para analizar la susceptibilidad a movimientos de ladera en Liébana se ha llevado a cabo mediante **Suma Lineal Ponderada (SPL)**. Este método de ponderación se basa en el sumatorio de los productos de unos criterios, que serán nuestras variables basadas en los factores condicionantes y desencadenantes del terreno, y el valor numérico de unos pesos que se les han asignado, como es el caso de este estudio.

Con este objetivo se ha utilizado la herramienta de ArcGIS *“Weighted Sum”*, de la paleta de Herramientas Analíticas Espaciales del programa. En dicha interfaz se introducen como datos de entrada, los ficheros de cada una de nuestras variables, todos ellos de tipo ráster y formato de píxel *“Float”*, y a cada uno se le asigna un peso *“Weight”*, correspondiente a los mostrados en matriz de pesos anterior.

El resultado es un fichero de salida también de tipo ráster y en formato *“Float”*, cuya rampa de valores también crece de 0 a 1. Los valores de celda de este fichero van a ser interpretados como **Índices de Susceptibilidad**, un parámetro de carácter adimensional, el cual se clasifica en 5 categorías, que crecen de zona estable a inestable; como se ha definido en el apartado **“Cálculo de la susceptibilidad: Suma lineal ponderada”**, estas categorías son: Muy Baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta.

A continuación se adjuntan, para cada escenario de amenaza, los mapas de susceptibilidad que se han construido a partir de la información disponible y recogida en este estudio.

El mapa correspondiente al **Escenario de amenaza I** está basado en las variables asociadas a la estructura y a la geomorfología de la ladera, es decir, la altitud, la pendiente topográfica y la litología.

Sabiendo que cuánto más elevadas son las altitudes y las pendientes, más pronunciadas, mayor es el riesgo de inestabilidad. Por tanto, es lógico apuntar que las zonas más montañosas correspondientes a cordilleras y macizos rocosos serán las que presenten, a priori, mayores probabilidades de que se produzcan movimientos e inestabilidades de ladera.

Esta premisa se confirma con el mapa de susceptibilidad, en el cual las zonas correspondientes a las cordilleras de los Picos de Europa, la Sierra de Peña Sagra y la parte de la Cordillera Cantábrica perteneciente a Liébana, se encuentran representadas en tonalidades naranjas, propias de una susceptibilidad “Alta”.

Como se puede apreciar, las zonas con susceptibilidades bajas más apreciables son aquellas correspondientes a los cauces de los principales ríos de la región (Deva, Quiviesa y Bullón), ya que presentan las cotas más bajas al tratarse de los fondos de las vaguadas y valles, y no presentan prácticamente pendiente.

Sin embargo, estas zonas, tanto las cordilleras como los cauces de los ríos, representan zonas muy localizadas a lo largo de la comarca, precisando la mayoría del territorio de estudio la aplicación de otra variable en el análisis de la susceptibilidad: la litología del área de estudio.

Este factor es responsable de que en prácticamente toda la extensión de la comarca se presente un grado de susceptibilidad “Moderado”, a excepción de algunas zonas periféricas al norte y al este de la misma.

En estas zonas de susceptibilidad media encontramos una litología dominante de *flysch* lutítico y arenoso, siendo estas las capas con las que se ha ponderado con mayor influencia sobre la estabilidad, con un peso de 1, es decir, el máximo posible. Estas capas, predominantes en la zona central de la comarca, se encuentran rodeadas por zonas de lutitas calcáreas y magrocalizas, limos y arenas muy finos, areniscas y conglomerados, pero sobre todo destaca la presencia de arcillas mezcladas y gravas arcillosas, de manera dispersa pero abundante, a lo largo de toda la zona centro y sur de la comarca. Estos últimos tipos de suelo resultan vitales para la estabilidad, ya que la presencia de arcillas o de elementos mezclados con las mismas condiciona muchísimo la estabilidad del terreno, debido a su capacidad de carga baja, alta elasticidad, y sobre todo, una elevadísima permeabilidad.

Esta última apreciación es la que motiva el diseño de un segundo escenario de amenaza para este estudio, ya que con la introducción de los agentes naturales externos aparece el elemento más determinante a la hora de que se produzca un movimiento de ladera: **el agua**.

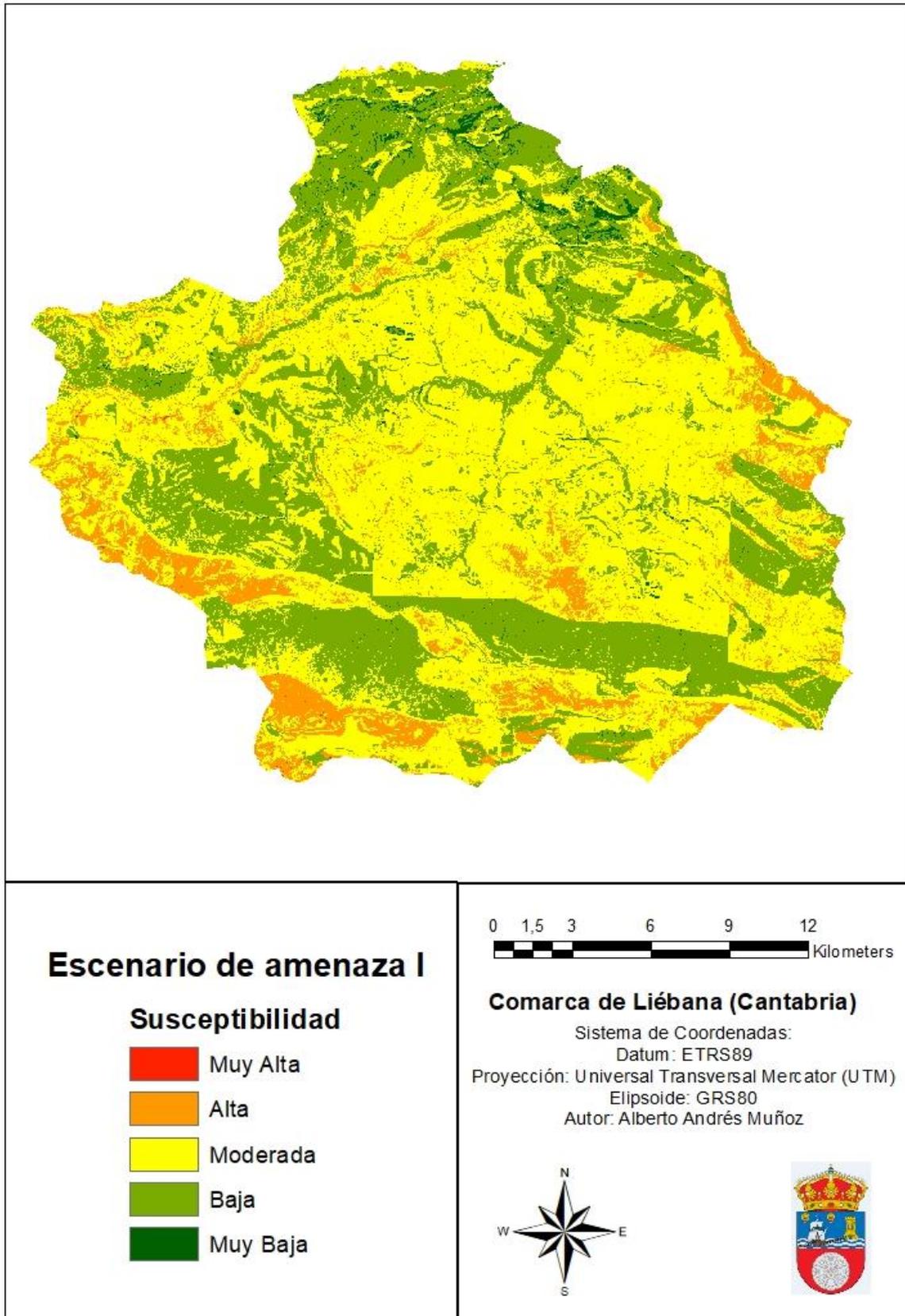


FIGURA 50. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA I” DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

El **Escenario de amenaza II** añade al anterior los factores desencadenantes de origen natural: la climatología y las variaciones del nivel freático presente en el subsuelo.

Las zonas de susceptibilidad “Alta” señaladas en el mapa anterior se mantienen en este, incluso en algunas zonas localizadas de estas se ha elevado el nivel de alerta a “Muy Alta”. En la zona norte existe una clara nueva presencia de zonas de susceptibilidad “Alta”, de pequeña extensión pero con un desarrollo lineal hacia el noreste de gran longitud. Esto se debe, en parte, al cambio de estrato litológico predominante, ya que se pasa de la zona lutítica del centro y del sur, a una nueva zona con las calcarenitas, margas y brechas calcáreas como capa dominante, además de una fuerte presencia de calizas.

Otra zona que aparece con grados de susceptibilidad medio-altos es la zona de los Picos de Europa asturianos, situada al oeste de la comarca, y al norte de los leoneses, los cuales ya presentaban susceptibilidad alta en el anterior mapa. Esta zona, a pesar de tener una menor altitud y pendientes menos pronunciadas que su homóloga leonesa, destaca por abarcar la intensidad de precipitaciones más elevadas de la comarca, tanto en el mes de estudio, es decir, Mayo, como en el resto de los meses de la época de deshielo. Por el contrario, las zonas que presentan menores precipitaciones son las correspondientes a los fondos de los valles y vaguadas, o sea, los cauces de los ríos, los cuales aún se pueden ver perfectamente simbolizados en el mapa con la tonalidad verde propia de las amenazas de inestabilidades bajas. Dichas zonas bajas son las que presentan a su vez mayores temperaturas, máximas y medias, descendiendo estas según el terreno gana en altitud. Es por ello que las zonas de altitud media de la comarca mantienen su grado de susceptibilidad medio, ya que la temperatura es un factor fundamental a la hora del desarrollo de fenómenos de hielo-deshielo, como sabemos, de gran implicación en el desencadenamiento de movimientos de ladera, y más aún en una comarca de carácter alpino como es Liébana.

Por otro lado, la insolación, una variable que es función de la orientación de las laderas, adquiere sus valores más altos en el sur de la comarca, siendo esto lógico al encontrarse en esa zona la Cordillera Cantábrica, donde las elevadas cumbres y macizos montañosos provocan zonas de sombra y menor incidencia solar directa en los puntos más bajos de los valles. Caso idéntico, aunque en menor medida, en los Picos de Europa y la Sierra de Peña Sagra, siendo la zona central de Liébana, el llamado Valle de Liébana, donde se ubica Potes, la zona con menores cotas de radiación solar de la comarca. Los vientos de velocidad mayor se concentran en la zona norte de la comarca, contribuyendo a aumentar la susceptibilidad en aquella “barrera” que hemos localizado entre los estratos lutíticos y calcáeos.

Finalmente, la profundidad del nivel freático resulta un factor interesante en el sentido de que consigue, en zonas muy localizadas, elevar las mismas de valores de susceptibilidad altos a muy altos, como puede ser el caso de áreas al sur de los Picos de Europa leoneses, o, también al sur, de la Sierra de Peña Sagra. En este mapa destaca especialmente una zona, situada en la zona centro-norte de la comarca, a escasos kilómetros del cauce del río Deva, y la zona de baja susceptibilidad que simboliza el área de Potes. Esta zona posee una pequeña, pero muy apreciable, susceptibilidad “Muy Alta”. Dicha área corresponde al entorno entre los pueblos de **Argüebanes y Lon**, zonas las cuales se deberán tener muy en cuenta de cara al futuro, debido a las fuertes condiciones de susceptibilidad que se dan en esa zona, según los resultados de este estudio.

Por último, en la zona centro-oeste, se localiza entre dos áreas de susceptibilidad “Alta”, el entorno del pueblo de Sebrango, cercano a la CA-185. Como hemos visto en el Capítulo 5, en el apartado “**Deslizamiento de Sebrango, con dirección a Los Llanos, Camaleño**”, esta zona se corresponde, de manera aproximada, con dicho movimiento de ladera. Este argayo corresponde a un paleodeslizamiento que comenzó, como sabemos, en el año 2001, y se ha extendido hasta la actualidad, provocando en 2013 la evacuación de los pocos habitantes del pueblo de Sebrango, y la también evacuación, aunque por motivos de precaución, del pueblo de Los Llanos. Hoy en día el pueblo de Sebrango se encuentra prácticamente deshabitado y en riesgo de desaparición bajo el avance del argayo.

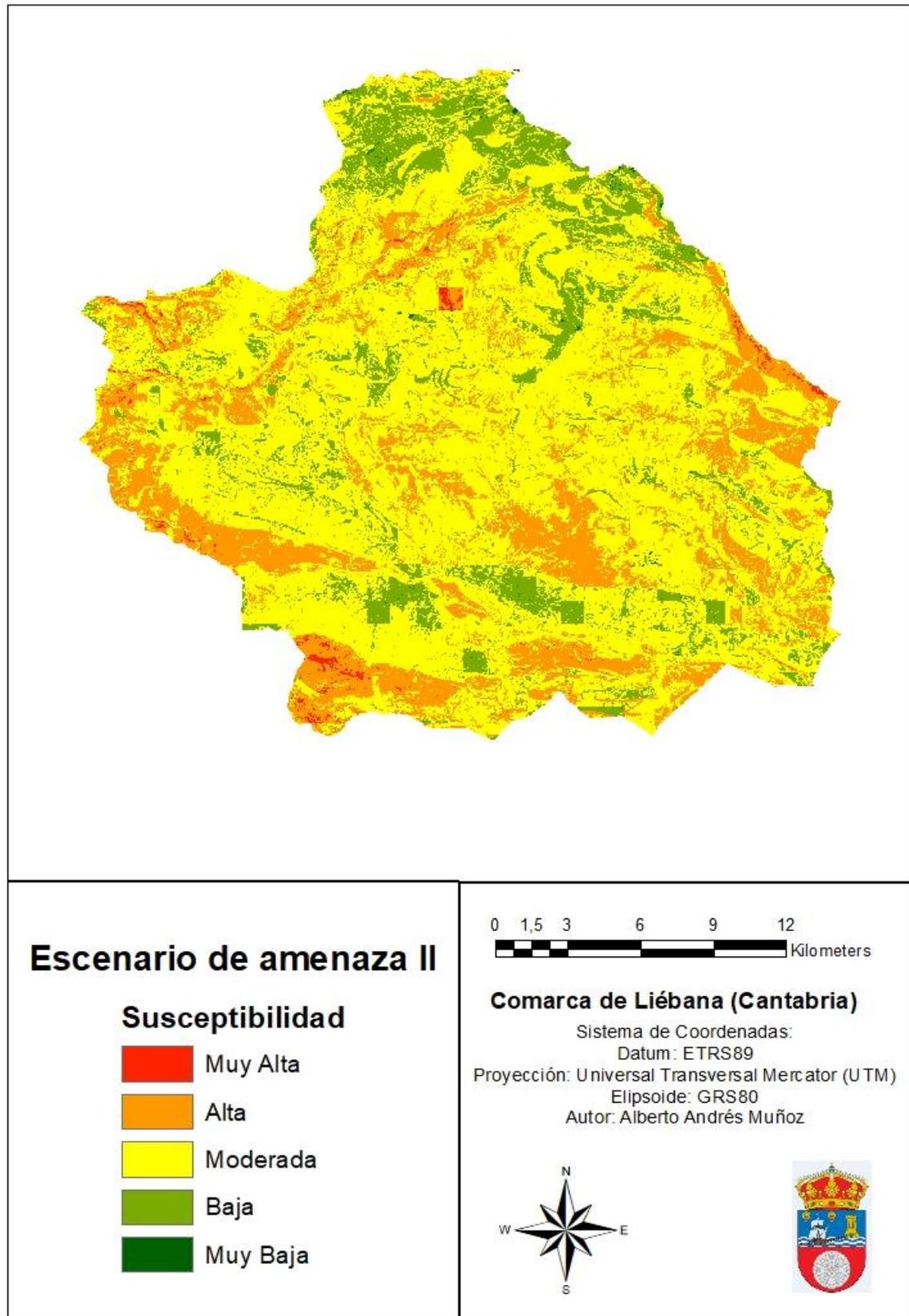


FIGURA 51. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA II” DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

Por último, el mapa correspondiente al **Escenario de amenaza III** se completa con la adición de la variable correspondiente a la utilización del suelo y la Ordenación del Territorio que da el hombre al área de Liébana. Los datos de “Usos del Suelo” provienen de la base CORINE Land Cover (CLC 2012).

Como se ha explicado previamente, se ha utilizado el umbral de escorrentía  $P_0$  como parámetro característico de este variable, siendo los mayores valores de este los correspondientes a las zonas de “Mosaicos de cultivos”, “Prados y praderas” y “Terrenos agrícolas con vegetación natural”. Estas dos últimas se encuentran muy presentes en la zona central de la comarca, de manera dispersa pero abundante. Dichos tipos de uso del suelo son los que incrementan la susceptibilidad en la zona sur de la comarca, donde además, se puede apreciar una zona de susceptibilidad “Muy Alta” con cierta continuidad, y no localizada en puntos aislados.

Al añadir la variable del “Uso de Suelos”, ha aumentado la muy elevada susceptibilidad de la zona de Argüebanes, la cual posee un entorno de prados y praderas, los cuales poseen el umbral de escorrentía más elevado de los que se han considerado en este estudio.

Del mismo modo, se puede apreciar como el área cercana al argayo de Sebrango ha aumentado aún más su susceptibilidad con la introducción de la nueva variable. En esta zona se encuentran grandes extensiones de bosques de frondosas, con zonas dispersas de prados y praderas entre ellos, las cuales alcanzan un tamaño notable.

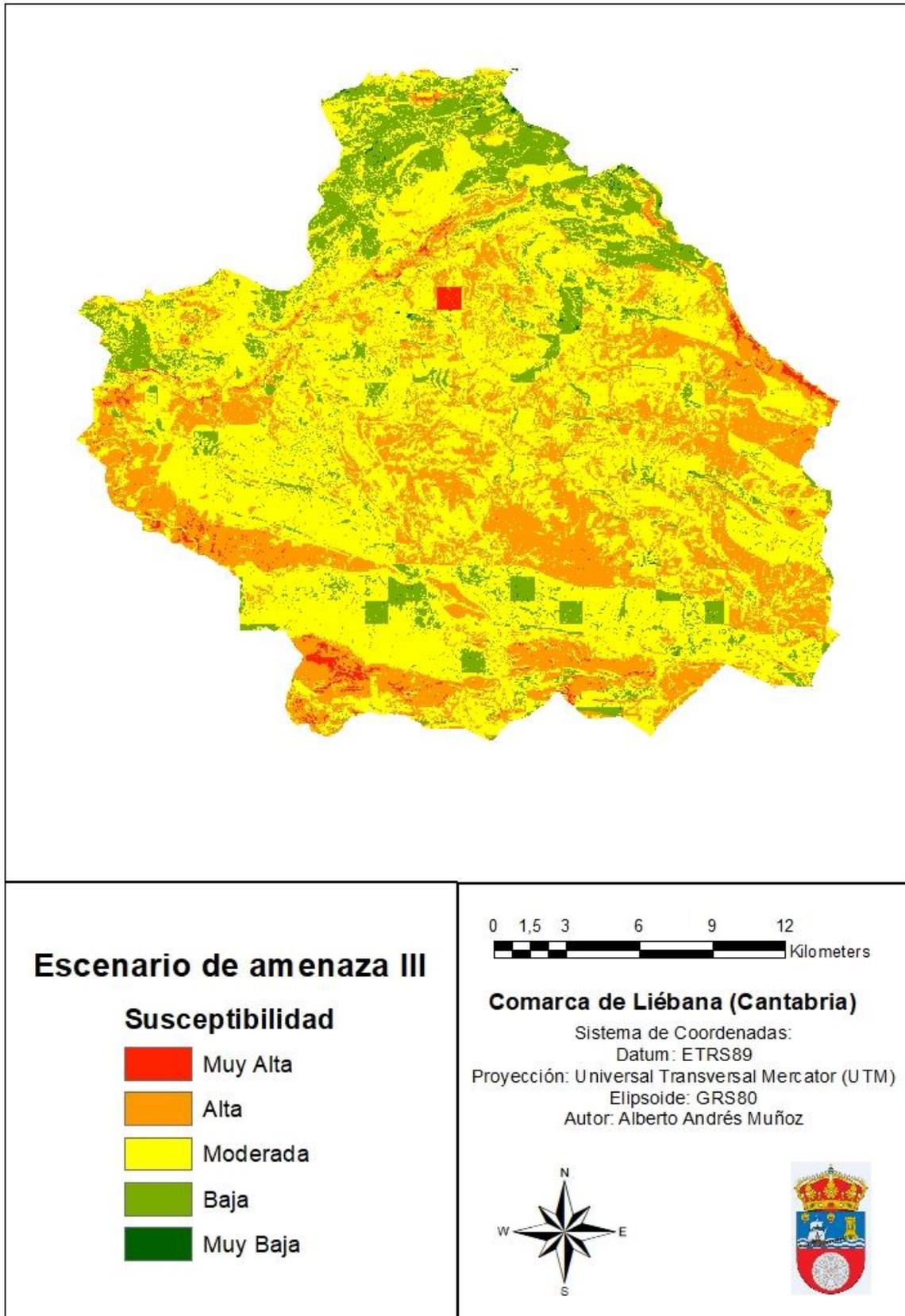


FIGURA 52. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA III” DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

## 7.4 Elementos vulnerables

Una vez ha sido identificada la amenaza a los movimientos de ladera en el área de la comarca de Liébana, el siguiente proceso sería la estimación del riesgo, para ello hay que tener en cuenta los elementos vulnerables.

Los elementos que se han considerado como vulnerables son la red viaria y las zonas urbanas, a través de sus edificios y construcciones.

### 7.4.1. Red Viaria

La Red de Carreteras de Cantabria, reducida al entorno de la comarca lebaniega ha sido explicada con anterioridad en este estudio, en el apartado “Medio Humano: vías de comunicación”, perteneciente al tercer capítulo.

En dicho apartado se exponían los principales ramales de comunicación que conectan los diferentes municipios de Liébana entre sí, y a la propia comarca con el resto de Cantabria y las provincias colindantes.

Son 3 las carreteras que destacan por encima del resto:

- Carretera Nacional N-621: Une León con Unquera (Cantabria), y a lo largo de un tramo atraviesa Asturias. Esta carretera discurre a lo largo del Desfiladero de La Hermida.
- Carretera Autonómica CA-184: Une la capital de la comarca, Potes, con la localidad castellana de Piedrasluengas.
- Carretera Autonómica CA-185: Conecta Potes con la localidad lebaniega de Fuente Dé.

A estas 3 vías principales se han de añadir multitud de carreteras autonómicas y municipales de menor importancia y longitud que conectan entre sí los distintos municipios de Liébana.

Los datos geográficos a partir de los que se ha obtenido la información sobre la red viaria de Liébana han sido proporcionados por la Base Topográfica Armonizada 1:5.000 sobre vuelo de 2007 (BTA 2007), de la Comunidad Autónoma de Cantabria, a través de sus capas “RedViaria”.

A partir de dichos datos se ha elaborado un mapa de la red vial que discurre por la comarca, de cara a su utilización en el análisis de la susceptibilidad de que se produzcan movimientos de ladera, a través de su estudio en conjunto con los factores de amenaza a los que se someten las laderas de la comarca de Liébana.

Para ello, procedemos a comparar visualmente el mapa de la red viaria con el mapa de susceptibilidad del **Escenario III (el más completo y objetivo)**, mediante la superposición de los mismos. Se han seleccionado aquellas que vías que se encuentren próximas a zonas de susceptibilidad “Muy Alta”, “Alta”, y zonas de grado “Moderado”, pero colindantes a zonas de grado alto.

La simbología de la red viaria representada se divide en diferentes colores dependiendo de la hoja de la base cartográfica en la que se encuentren, pudiendo aparecer una misma vía pintada en varios colores distintos según qué hoja atravesase su trazado.

En total se han encontrado hasta 9 vías con riesgo de verse afectadas por movimientos de ladera:

1. Carretera Autonómica Local CA-1, que une el pueblo de Tresviso con la localidad asturiana de Sotres, de 11 kilómetros de longitud.

2. Carretera Municipal CM-22/03, que une la Carretera de La Hermida (N-621) con el pueblo de Bejes.
3. Carretera Autonómica Local CA-880, que representa el acceso a Lebeña, desde La Hermida.
4. Carretera Autonómica Local CA-870, acceso a Aniezo desde la CA-184.
5. Carretera Autonómica Local CA-871, acceso a Lamedo desde la CA-184.
6. Carretera Autonómica Local CA-894, acceso a Dobres y Cucayo, teniendo cruce con la Carretera Nacional N-621, es decir, la Carretera de La Hermida.
7. Carretera Autonómica CA-185, vía que une Potes con Fuente Dé, y como hemos visto, fue afectada por el argayo de Sebrango.
8. Carretera Autonómica Local CA-886, une la CA-185 con el pueblo de Argüebanes.
9. Carretera Nacional N-621, conocida como Carretera de La Hermida, donde abundan los desprendimientos, y se encuentra en zonas de susceptibilidad alta, sobre todo al sur de la comarca de Liébana, en zonas cercanas a los Picos de Europa leoneses y al Puerto de San Glorio.

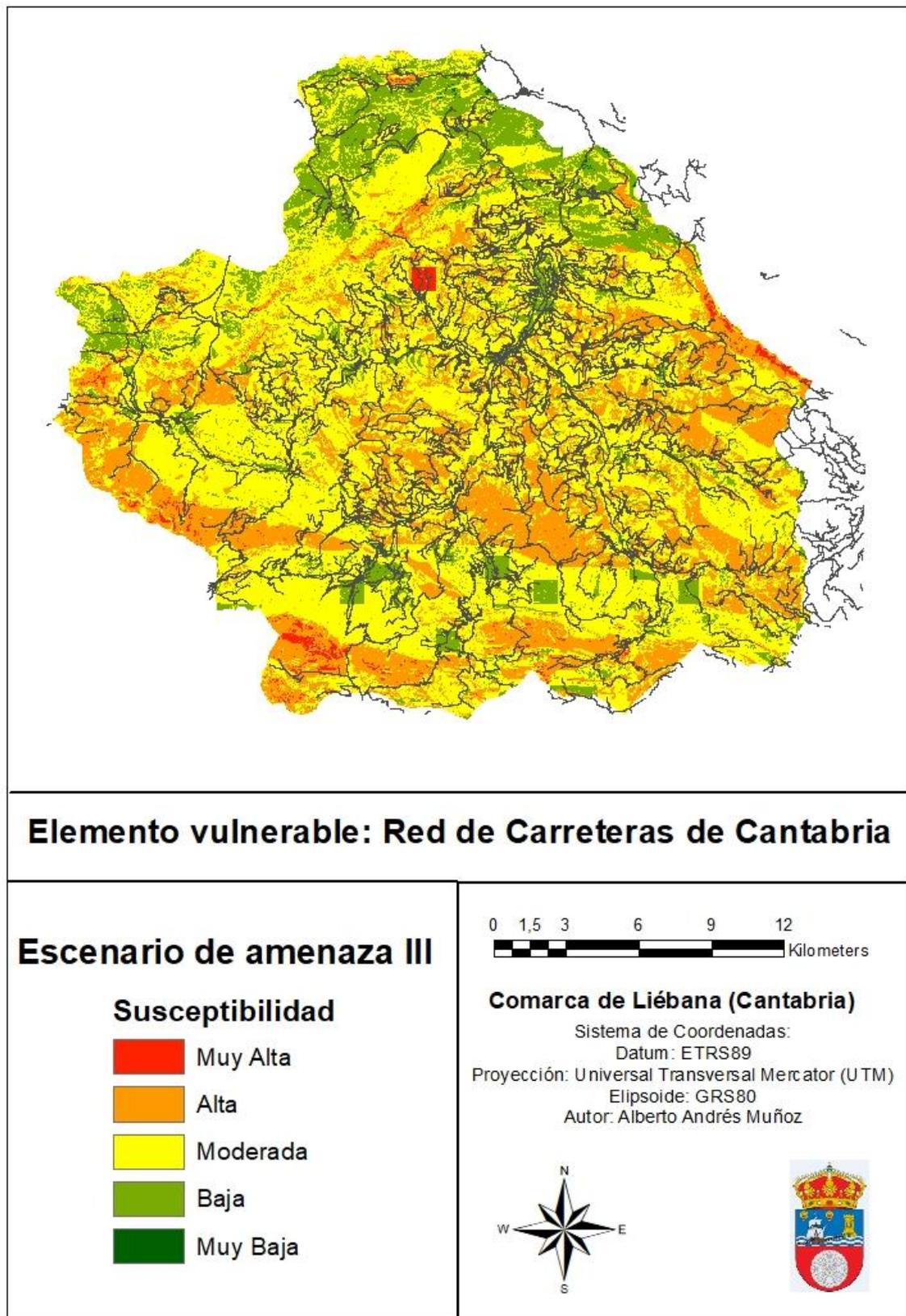


FIGURA 53. MAPA DE ELEMENTOS VULNERABLES (RED VIARIA) EN SUPERPOSICIÓN CON EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DEL “ESCENARIO DE AMENAZA III” DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

#### 7.4.2. Núcleos de población

Por otro lado, se consideran los núcleos de población de Liébana, expresados a través de sus edificios y construcciones de área urbana.

La comarca de Liébana cuenta con un poblamiento bastante disperso en torno al núcleo urbano principal, es decir, Potes, incluso existen construcciones aisladas en las laderas y cerca de zonas de montaña, las cuales conforman el área más amenazada.

A través de la cartografía disponible de usos de suelos, proporcionada por la base CORINE Land Cover 2012 como hemos visto anteriormente, podemos distinguir las zonas de “Tejido urbano discontinuo”, en lo que a Ordenación del Territorio se refiere.

Sin embargo, esta cartografía, debido a su gran número de categorías, y a la diversidad de las mismas, no permite apreciar con claridad las construcciones antrópicas que pueden verse afectadas por los distintos factores de amenaza que hemos tratado.

Por tanto, se ha decidido elaborar un mapa alternativo de la situación de todos los edificios y construcciones humanas en zonas urbanizadas y aisladas, a lo largo de la comarca lebaniega.

Se han obtenido los datos, en formato poligonal, de la Base Topográfica Armonizada 1:5.000 sobre vuelo de 2007 (BTA 2007), de la Comunidad Autónoma de Cantabria, a través de sus capas “EdiPobCons”.

Este nuevo mapa se utilizará de manera análoga al de la red viaria, de modo que podamos superponerlo a los factores de amenaza de inestabilidades de ladera, de cara a establecer que construcciones pueden verse afectadas por dichas inestabilidades. Este grado de afección dependerá de la proximidad a la que se encuentren de zonas con susceptibilidades altas de que se produzcan movimientos de ladera.

Los municipios que se puedan ver más afectados por los posibles movimientos de ladera que puedan producirse en el área de estudio se enumeran a continuación:

1. Tresviso y Bejes, en el límite norte de la comarca.
2. Lebaña, en la zona nordeste, cercana a zonas de grado alto, y alguna muy localizada de nivel muy alto.
3. En el área centro-este, encontramos por un lado el pueblo de Cahecho, el cual ya ha sufrido argayos en el pasado, como se narra en el apartado “**Argayo en Cahecho (Año 1791)**”. Por otro lado encontramos el ente supramunicipal que engloba a los pueblos de Luriego, Cambarco y San Andrés.
4. En la zona central de la comarca se localizan, como ya se mencionado, los pueblos de Argüebanes y Lon, los cuales hemos catalogado con un grado de susceptibilidad muy elevado.
5. En la zona oeste de la comarca, cerca de los Picos de Europa, se encuentran los pueblos de Pido, Espinamo y Pambes, todos ellos con altos grados de susceptibilidad.
6. Finalmente, entre dos zonas de elevada amenaza se encuentran los municipios de Sebrango y Los Llanos, ubicación del mencionado argayo de Sebrango, el cual ha puesto al pueblo del mismo nombre en riesgo de desaparición.

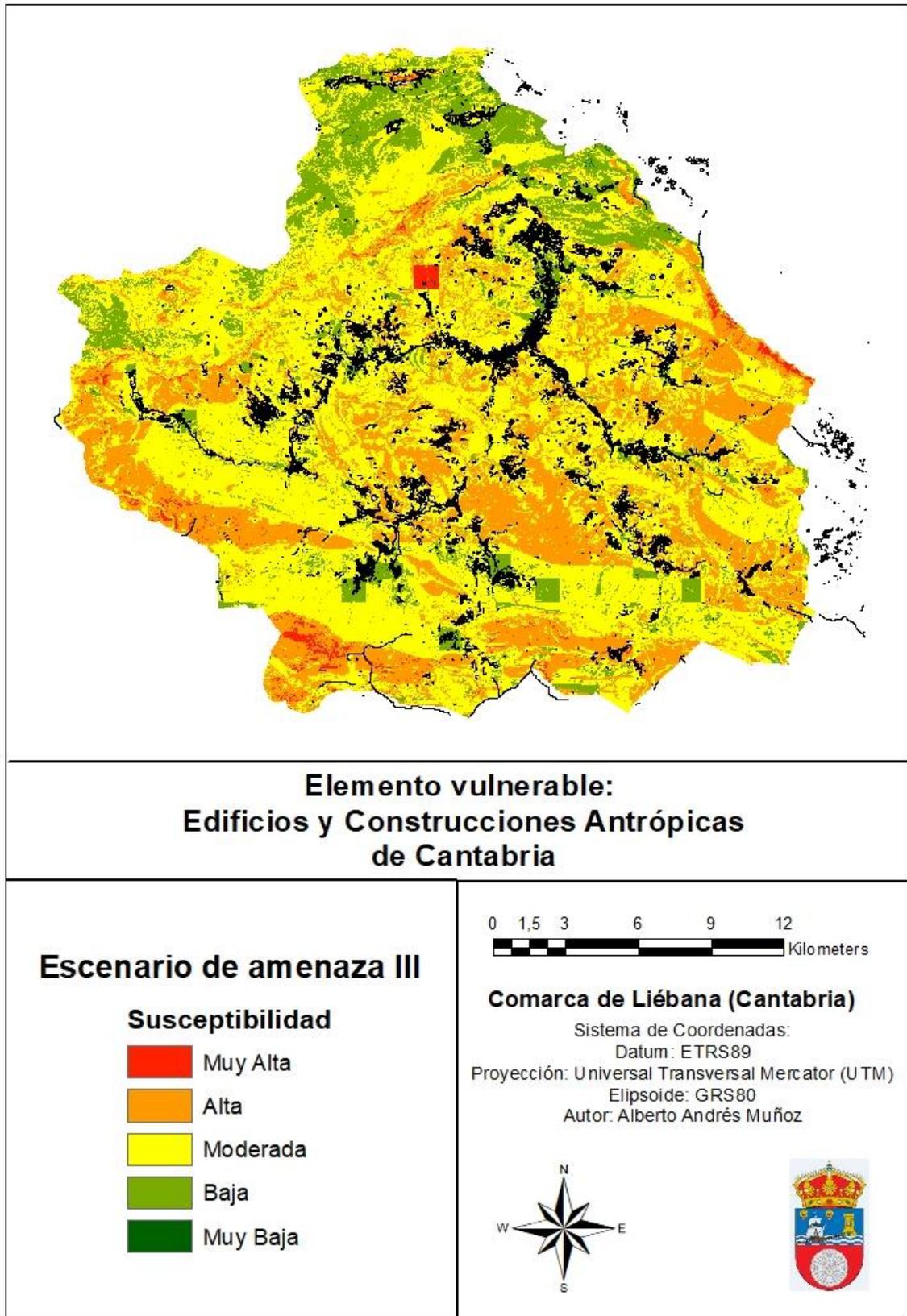


FIGURA 54. MAPA DE ELEMENTOS VULNERABLES (EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES) EN SUPERPOSICIÓN CON EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DEL “ESCENARIO DE AMENAZA III” DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

## **8. Validación de resultados. Procesos Activos en la actualidad en la comarca de Liébana**

Una vez obtenidos los modelos de susceptibilidad anteriores, el paso siguiente es comprobar su capacidad de predicción; esto es, evaluar la fiabilidad (o validación) de las predicciones realizadas a partir de los mismos.

Para ello, se procederá a comparar cada uno de los mapas de susceptibilidad obtenidos en el capítulo anterior, con bases cartográficas existentes sobre movimientos de ladera en el área de estudio.

Dichas bases han sido obtenidas de la Serie de Mapas de Procesos Activos 1:25.000 del Gobierno de Cantabria, del mismo modo que los mapas geológicos utilizados para el análisis de la litología de Liébana.

Se realizará una validación de tipo **visual**, a través de la comparativa con los mapas de procesos activos existentes. Debido al gran número de capas que presentan estos datos cartográficos a la hora de usar Sistemas de Información Geográfica, se ha decidido establecer tres tipos de comparativa diferentes, en función del formato de dato del mapa de procesos activos. Estos formatos son, por tanto, tres: **puntual, lineal y poligonal**. Se realizará esta comparativa para cada uno de los tres escenarios de amenaza diseñados en este estudio, por tanto, se obtendrán hasta nueve validaciones diferentes.

### **8.1 Validación mediante elementos puntuales**

Este primer tipo de validación utiliza elementos localizados en los Sistemas de Información Geográfica mediante la representación de puntos sobre el terreno, siendo muy efectivo para cartografiar elementos aislados.

La cartografía de la Serie de Mapas de Procesos Activos (Mapas de Cantabria, 2014) no cuenta con capas puntuales para todas las hojas que abarca la comarca de Liébana, siendo esto causa de que las hojas situadas al norte de la comarca no vayan a recibir validación de tipo puntual. Sin embargo, el resto de hojas, es decir, la mayoría, si cuentan con este tipo de capas, por tanto, la comparativa es posible. Se ha de precisar que tanto para esta validación puntual, como para las de otro tipo, se ha simbolizado los procesos activos mediante una escala cromática, donde la diferencia se basa en la hoja en la que nos encontramos, y no en el tipo de proceso activo. Es decir, en una misma hoja, se representan del mismo color todos los procesos activos existentes, mientras que el resto de las hojas presentan colores distintos, aunque contenga procesos activos idénticos a los de la hoja anterior.

En primer lugar, se centra la comparativa en la hoja más occidental de la comarca. A priori, existe una gran cantidad de puntos que se corresponde con zonas representadas en verde o amarillo, es decir, de baja susceptibilidad o media, lo cual puede indicarnos que la correspondencia del mapa de susceptibilidad con el mapa de procesos activos no es la más adecuada. Sin embargo, si estudiamos las propiedades de cada punto entidad, se revela que la Serie de Procesos Activos también representa los movimientos de baja amenaza, los cuales están correctamente correspondidos con nuestras zonas de tonos verdes y amarillo. Fenómenos de este nivel son las depresiones por disolución y/o subsidencia, o las afecciones a materiales por derrubios o el material afectado rocoso. Estos últimos sucesos se dan también en las zonas asociadas a mayor susceptibilidad, representada en tonos naranjas o rojos, respectivamente, pero con una clasificación de nivel **notable** por parte de la cartografía de la Serie de Procesos Activos.

En la hoja correspondiente a la zona central de la comarca los sucesos puntuales se corresponden bastante bien con las zonas con susceptibilidades medio-altas. Estos sucesos son los mismos que en la hoja anterior, pero destaca la aparición de un nuevo tipo de afección, la de materiales de tipo suelo, debido a que esta zona es mucho menos montañosa, y existe una mayor proliferación de este tipo de materiales, en detrimento de los rocosos.

La zona sur de la comarca es la que cuenta con una menor colección de datos puntuales, sin embargo, están correspondidos de manera adecuada, ubicándose las afecciones por derrubios como sucesos más notables en las zonas de tonos naranjas y rojos. Por otro lado, las afecciones a materiales rocosos se establecen como el paradigma de suceso de carácter moderado, bien asociado en la mayoría de los casos a zonas amarillas. Por último las afecciones a suelos, de carácter de amenaza bajo, se encuentran en zonas de tonalidad verde, pero también amarilla.

Se puede concluir así que esta comparativa puntual nos da una buena primera impresión sobre el grado de satisfacción que puede alcanzar el modelo desarrollado en este estudio, pero no es lo suficientemente completo, y por tanto no nos da los resultados suficientemente objetivos, como validar el modelo en este momento.

Es por ello que se necesita una cartografía alternativa para la validación, más completa y que abarque mucho más terreno. Así pues, la validación continúa con la comparativa con procesos activos representados con elementos lineales.

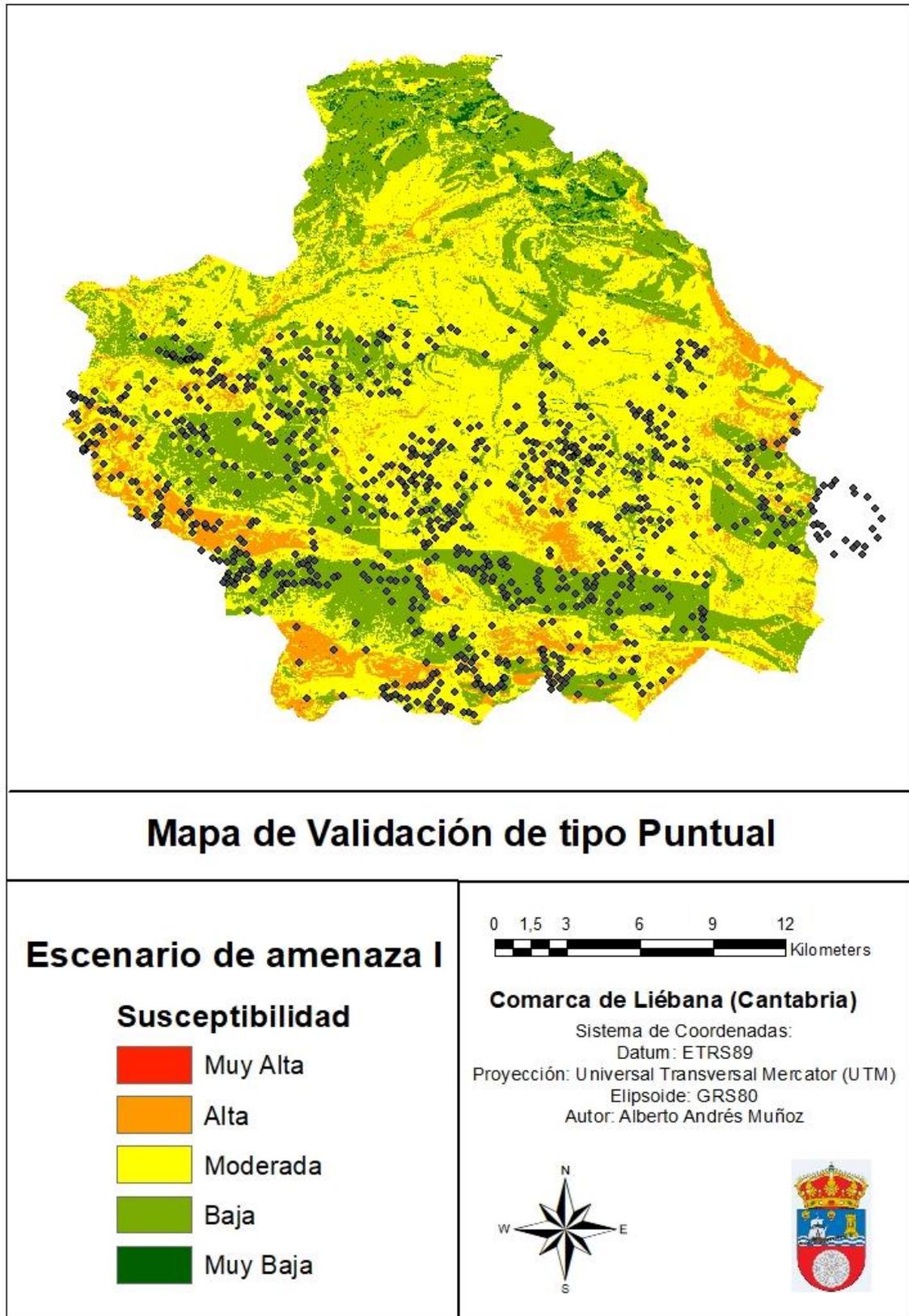


FIGURA 55. MAPA DE VALIDACIÓN PUNTUAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA I”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

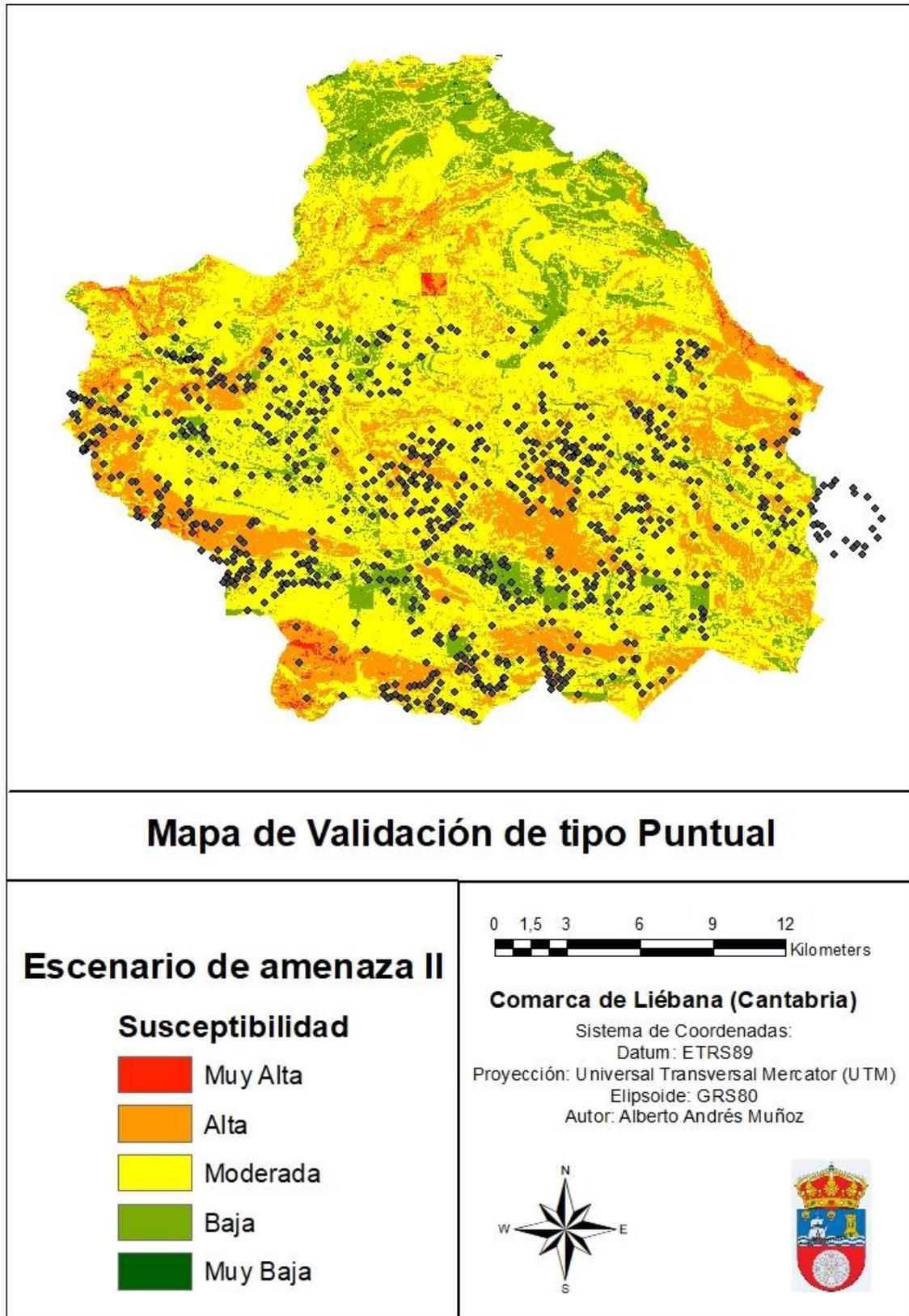


FIGURA 56. MAPA DE VALIDACIÓN PUNTUAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA II”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

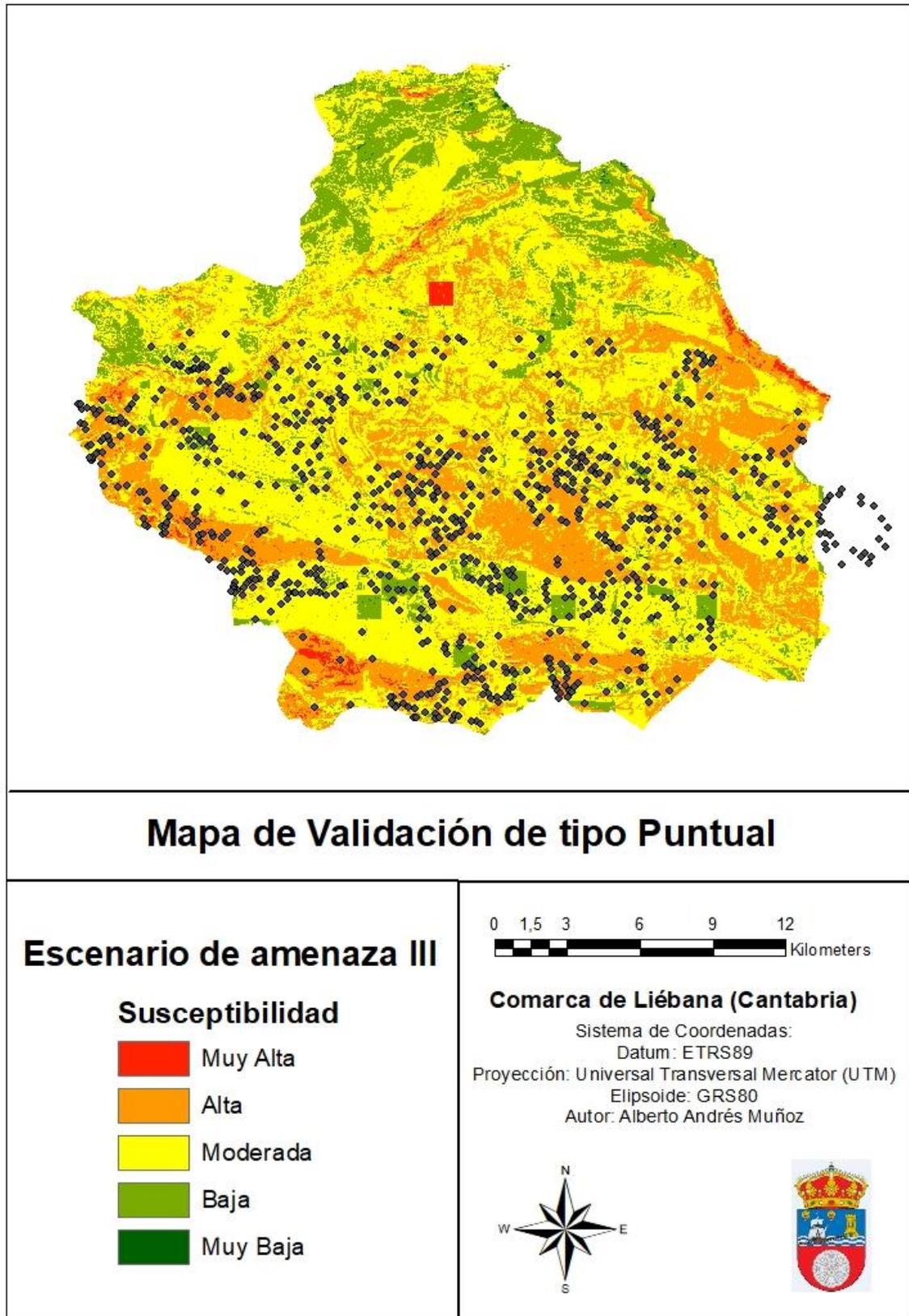


FIGURA 57. MAPA DE VALIDACIÓN PUNTUAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA III”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

## 8.2 Validación mediante elementos lineales

Con el fin de obtener una comparativa más completa que la puntual, se procede a validar nuestros modelos de susceptibilidad a través de la superposición de elementos de tipo lineal asociados a procesos activos en la comarca de Liébana.

A través de las capas de la cartografía referidas a Procesos Activos Lineales y Procesos Activos Límites, se puede cotejar de manera bastante objetiva si nuestros modelos son lo suficientemente objetivos. Se analizará la calidad de la correspondencia de la cartografía existente en Cantabria sobre el tema con nuestros mapas, evaluándola hoja por hoja, ya que en este formato se encuentra dividida la cartografía de base.

En primer lugar, la hoja situada en la parte noroeste de la comarca. Si nos centramos en un plano general de la hoja, es fácil apreciar como las líneas de la serie confinan las zonas de nuestros mapas con grados de susceptibilidad medios y altos, y analizando dichas entidades lineales se descubre que hacen referencia a zonas de erosión vertical de lechos, y sabiendo que este tipo de erosión es un factor desencadenante de movimientos de ladera, es correcto afirmar que nuestras zonas susceptibles se encuentran bien delimitadas. Si nos situamos en el interior de dichas zonas limitadas, comprobamos que las entidades presentes dentro de dichos límites responden a cicatrices de despegue, coladas y flujos, y los afloramientos de algunas fallas, dando a entender que son zonas con un grado de amenaza apreciable. Por el contrario, en las zonas de tonalidad verde de nuestros modelos, el tipo de entidades que encontramos es, por ejemplo, de depresiones por disolución, representando estas un tipo de amenaza mucho más leve.

En la segunda hoja, situada inmediatamente al este de la primera, la correspondencia en las zonas de mayor susceptibilidad aumenta. En la destacada zona de Argüebanes y Lon, encontramos fenómenos notables como deslizamientos rotacionales múltiples, coladas y flujos cartografiados. Además, aparece un nuevo tipo de entidad de gran escala: el **cabalgamiento**. Un cabalgamiento o falla de cabalgamiento es un tipo de falla inversa, o sea una rotura en la corteza de la Tierra a través de la cual se ha producido un desplazamiento relativo, en el que las rocas de posición estratigráfica inferior son empujadas hacia arriba, por encima de los estratos más recientes. Las fallas de cabalgamiento son el resultado de fuerzas de compresión. Este tipo de entidad geológica, la cual se extiende a lo largo de la hoja en líneas de longitud considerable, delimitando zonas de amenaza media y alta, junto a la gran presencia de fallas, y de deslizamientos rotacionales nos hace entender que esta parte de la comarca está sometida a fuertes y continuos cambios en la estructura y la morfología del terreno, favoreciéndose enormemente la inestabilidad del sistema.

En la hoja más occidental, la zona de amenaza "Alta" correspondiente a los Picos de Europa se encuentra bien delimitada por un tipo de línea que sirve de contorno para zonas afectadas por algún proceso de carácter deposicional. Esto se confirma analizando las entidades presentes en el interior de dichos contornos: deslizamientos traslacionales sencillos y múltiples. En las zonas de carácter moderado y bajo se producen fenómenos de erosión de tipo fluvial y de escorrentía superficial. Esto se entiende como un resultado de las elevadas precipitaciones que se dan en esta parte de la comarca, y del elevado índice de vegetación forestal aquí presente, siendo el uso del suelo el de bosques de frondosas, los cuales poseen un elevado umbral de escorrentía.

La siguiente hoja, correspondiente a la zona central de la comarca, y donde se ubica Potes, es altamente interesante a la hora de solapar ambos modelos. Esto se debe a que aparecen una gran cantidad de pequeños contornos de zonas afectadas por procesos deposicionales, que limitan con una gran exactitud zonas de nuestro modelo que poseen una susceptibilidad de carácter medio. Por otro lado, es comprensible que esta hoja contenga tal cantidad de entidades ya que justo se corresponde con la litología lutítica de la comarca, la cual, como se ha establecido en el apartado "Valores asignados a cada categoría" del Capítulo 7, es la que posee un peso ponderado de 1, siendo este el máximo alcanzable. Es por ello por lo que es una zona en la que

la susceptibilidad se ve aumentada, en grado y en número de elementos que supongan una amenaza. Por otro lado, si salimos a las zonas exteriores a dichos contornos, nos encontramos una gran extensión de áreas con susceptibilidad alta, donde encontramos entidades asociadas a movimientos como deslizamientos traslacionales sencillos o múltiples.

Las zonas más orientales de la comarca no resultan muy favorables a nuestra validación, ya que se trata de la ubicación de una zona a priori susceptible como la Sierra de Peña Sagra, pero donde, sin embargo, encontramos pocas entidades y únicamente referidas a contornos de zonas afectadas por procesos deposicionales. Además, dichas zonas se corresponden en nuestro modelo con las zonas de menor susceptibilidad del mismo en dicha hoja. Por tanto, la validación de nuestros mapas en esta parte de la comarca no resulta muy satisfactoria para un formato lineal de aquella.

Por último, las zonas que se encuentran al sur, ubicadas en los Picos de Europa leoneses y la Cordillera Cantábrica se corresponden con un alto grado de detalle a las zonas de susceptibilidad “Alta” y “Muy Alta” de nuestro modelo. En zonas con un relieve más suave predominan dos tipos de movimientos de ladera, según el grado de susceptibilidad del área de nuestro modelo al que correspondan dichas entidades; si se encuentran superpuestas sobre un área de grado moderado, predominan las cicatrices de despegue, mientras que si se encuentran sobre zonas de amenaza alta, la erosión es de tipo fluvial y de escorrentía superficial, siendo catalogado este fenómeno por la Serie de Procesos Activos como “notable”.

La evaluación de esta última hoja sirve de síntesis para la conclusión que se obtiene de todo el apartado referido a la validación de tipo lineal. Este tipo de validación resulta mucho más completo que el puntual, y se han obtenido resultados muy satisfactorios en lo que a validación del modelo con respecto a las áreas de mayor susceptibilidad. Sin embargo, es altamente apreciable las carencias de la base cartográfica lineal a la hora de corresponderse con las zonas de susceptibilidad moderada o baja, donde muchas de ellas solo contienen contornos pero ninguna referencia a los movimientos y fenómenos que se presuponen en su interior. Además, dichos contornos muchas veces no forman una superficie cerrada, siendo difícil determinar su alcance.

Por tanto, se concluye que es necesario un análisis de tipo poligonal, donde se traten entidades cerradas, las cuales tienen una extensión clara, facilitando la correspondencia con nuestro modelo de susceptibilidad, con el objetivo de comprobar su objetividad y fortaleza frente a las condiciones que se dan en el entorno real.

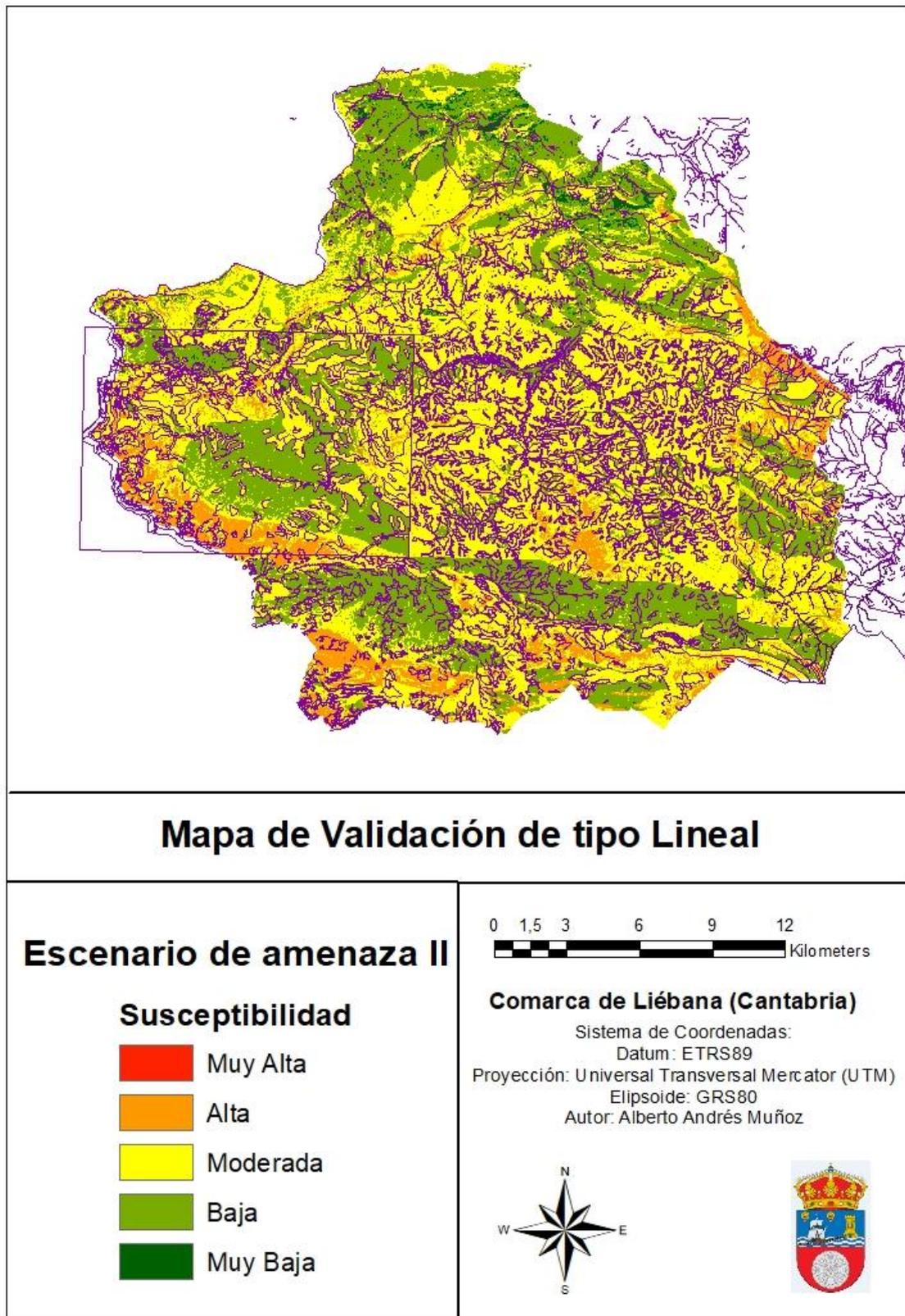


FIGURA 58. MAPA DE VALIDACIÓN LINEAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA I”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

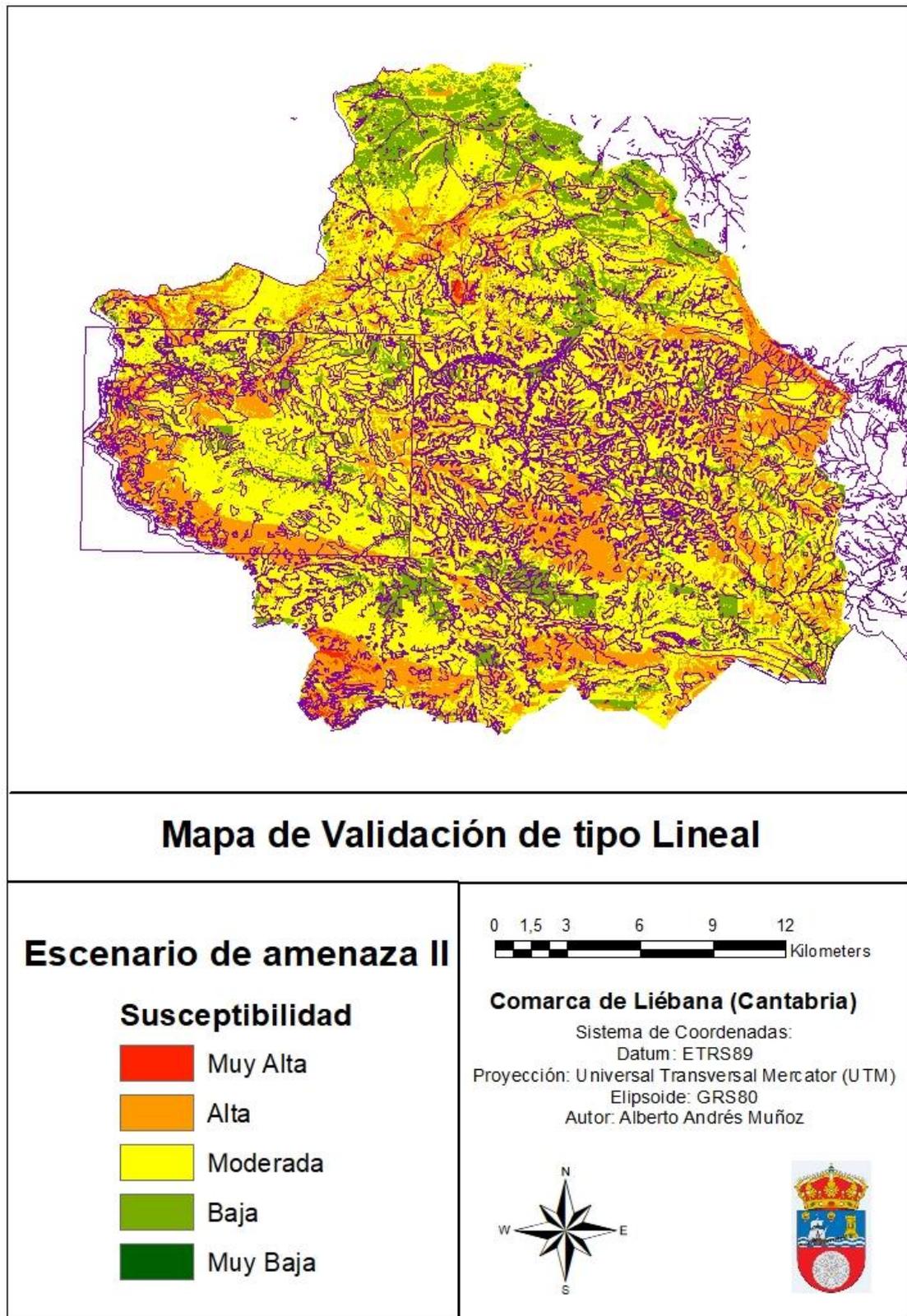


FIGURA 59. MAPA DE VALIDACIÓN LINEAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA II”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

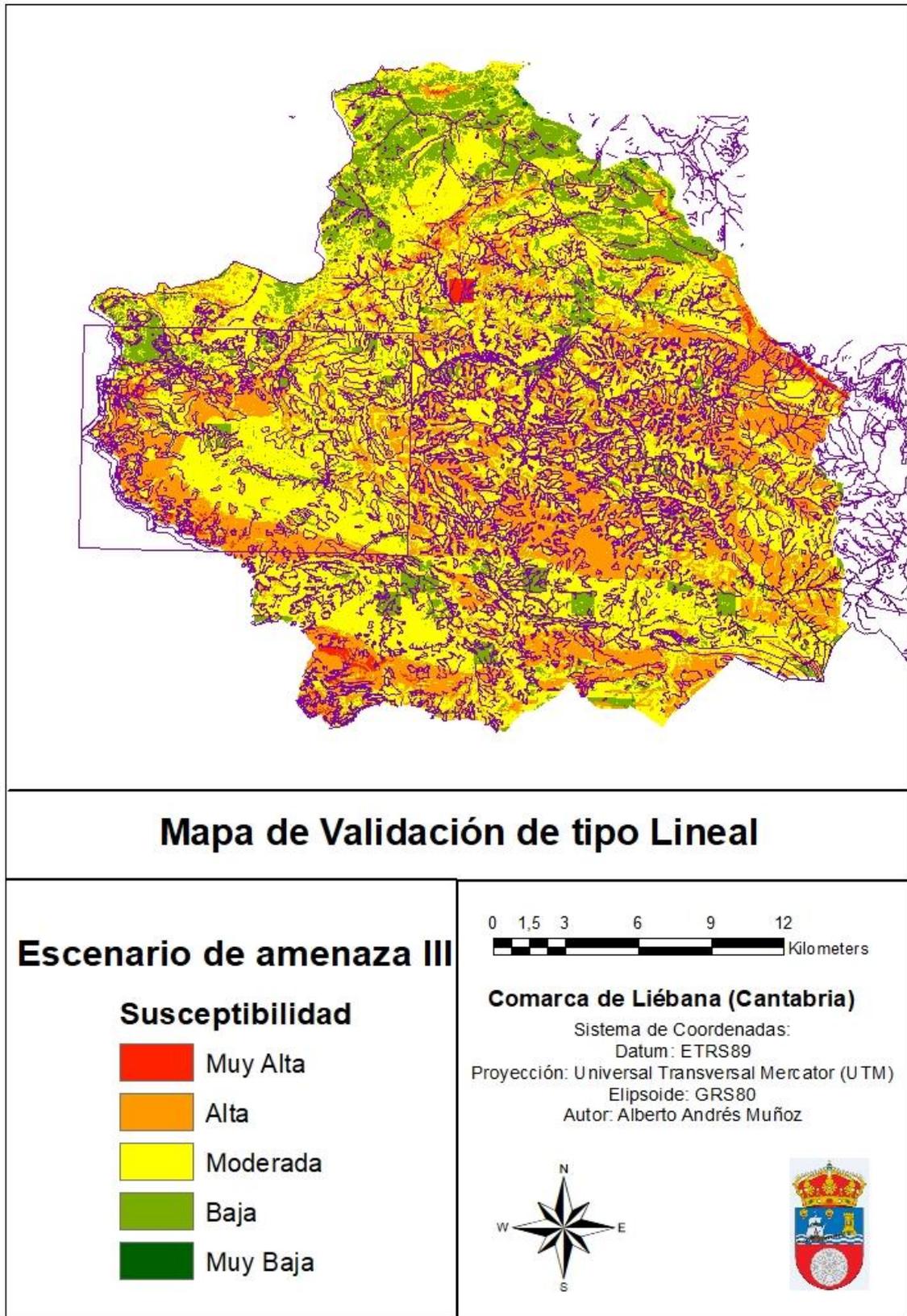


FIGURA 60. MAPA DE VALIDACIÓN LINEAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA III”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

### **8.3 Validación mediante elementos poligonales**

Esta validación está basada en la comparación de los mapas de susceptibilidad obtenidos con los capas de tipo poligonal que proporciona la Serie de Mapas de Procesos Activos, de las cuales se han utilizado las correspondientes a los procesos activos de ladera y asociados a la litología. Esta es la validación que se puede considerar más completa ya que es la que más y mejores áreas de inestabilidad abarca, y la que mejor explica cómo se extienden cada uno de los procesos.

Empezamos analizando la hoja cartográfica que se encuentra al noroeste de la comarca. En esta zona encontramos fenómenos de tipo **lapiaz desnudo**, con nivel de alerta moderado, lo que se ajusta bastante bien a nuestros mapas, ya que la mayoría de esa hoja adquiere un color amarillo, propio de la susceptibilidad media. Además, la representación de esta zona no abarca las áreas rojas o verdes de nuestros mapas, es decir, los valores extremos, por tanto el umbral de procesos del mapa de procesos activos y el de nuestros mapas son altamente coincidentes en esta zona.

Un lapiaz desnudo se produce cuando la roca aflora en toda la extensión de la unidad; se produce en zonas en las que aflora la roca calcárea desprovista de suelo y con una superficie irregular. Se deben a la disolución en superficie de las rocas calizas que deja como residuos materiales arcillosos (arcillas de descalcificación).

Continuamos en la hoja que se encuentra más inmediatamente al este que la anterior. En esta encontramos una gran superficie, de la capa de laderas envolventes, que nos indica que es un área con características similares condicionantes de procesos, es decir, una zona susceptible, en cierto grado, de sufrir inestabilidad. Vemos cómo encaja bastante bien con la zona amarilla de nuestros mapas, ya que la única gran zona en la que se divide es la correspondiente al cauce del río Deva, es decir, una zona verde de nuestros mapas. Por otro lado, en la zona norte de la hoja se representan otros procesos asociados a litologías; una vez más, se trata de lapiaces desnudos, de grado medio.

La tercera hoja sobre la que vamos a comparar se encuentra en el centro del mapa, en la zona más occidental, es decir, donde se ubican los Picos de Europa. En primer lugar, localizamos otro grupo de lapiaces desnudos, moderados, en los límites de la comarca. Sin embargo, es interesante descubrir cómo aquí aparecen movimientos de ladera de mayor envergadura y especificidad. En la zona amarilla de nuestros mapas podemos encontrar movimientos como deslizamientos traslacionales múltiples (centroide), coluviones (centroide), coladas y flujos cartografiados (centroide). Pero lo que realmente llama la atención es comprobar cómo en nuestras zonas de susceptibilidad “Alta” y “Muy Alta” aparecen inestabilidades caracterizadas por la serie cartográfica como **notables**. Esto quiere decir que la correspondencia de nuestros mapas con los procesos activos existentes en esta área es alta, lo que dota de bastante robustez al modelo por el momento. Movimientos de este alto grado de amenaza son: avalancha (areal, centroide), cono o talud de derrubios (centroide) o coluviones de grado notable.

La hoja siguiente, correspondiente al área central de la comarca, es decir, donde se ubica Potes, la capital, hemos utilizado dos capas de la Serie de Procesos Activos para la comparación. La primera de ellas, asociada a la ladera envolvente, nos indica que en prácticamente toda la zona existen características similares condicionantes de procesos de ladera, dejando visibles, como en la segunda hoja, únicamente zonas verdes de nuestros mapas, lo que quiere decir que las zonas con susceptibilidad media o mayor de nuestros mapas coinciden con la cartografía de procesos de ladera envolvente de la que disponemos. Por otro lado, encontramos localizados procesos de ladera específicos como puedan ser deslizamientos rotacionales múltiples (centroide), coluviones (centroide), o conos o taludes de derrubios (centroide), todos ellos de carácter moderado.

En la siguiente hoja, la más oriental de la comarca, encontramos correspondencia entre zonas de los mapas de grado alto o muy alto, y procesos del tipo: vertientes de bloques (centroide),

deslizamientos rotacionales sencillos (centroide), o canchales, pedrizas o pedreras (centroide), todos ellos de carácter notable.

Por último, nos centraremos en las hojas cartográficas correspondientes a la zona sur de la comarca, es decir, la correspondiente con la Cordillera Cantábrica, y poseedora de altos niveles de susceptibilidad. Destacan los deslizamientos rotacionales múltiples como movimientos de grado medio, los conos o taludes de derrubios como los de carácter bajo, y finalmente, los canchales, pedriza o pedreras como los de carácter notable, siendo estos últimos los que mejor se corresponden con los modelos de susceptibilidad que hemos construido.

No se ha de olvidar que la Serie de Mapas de Procesos Activos tiene una clasificación de 3 categorías: Bajo, Moderado y Notable.

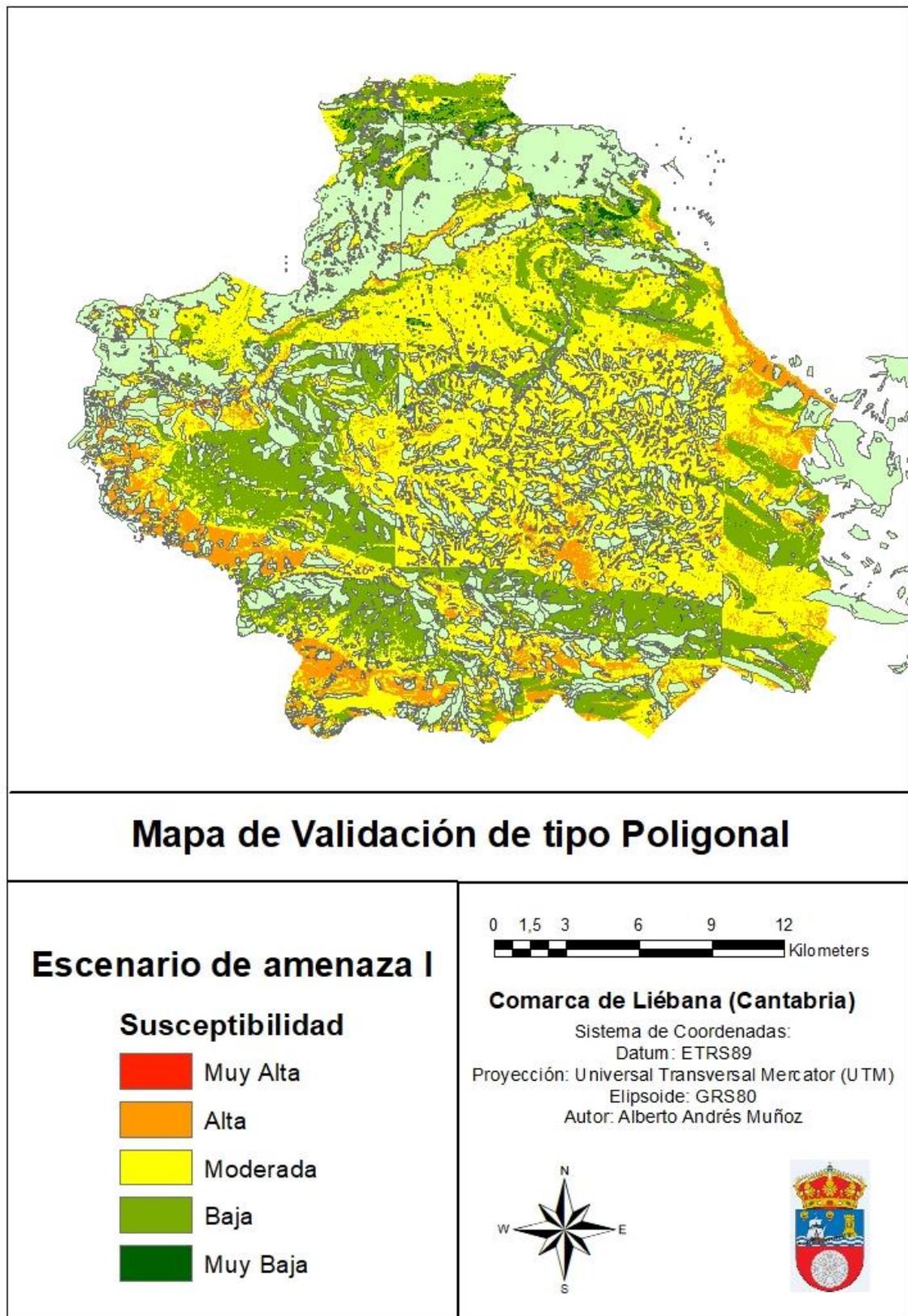


FIGURA 61. MAPA DE VALIDACIÓN POLIGONAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA I”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

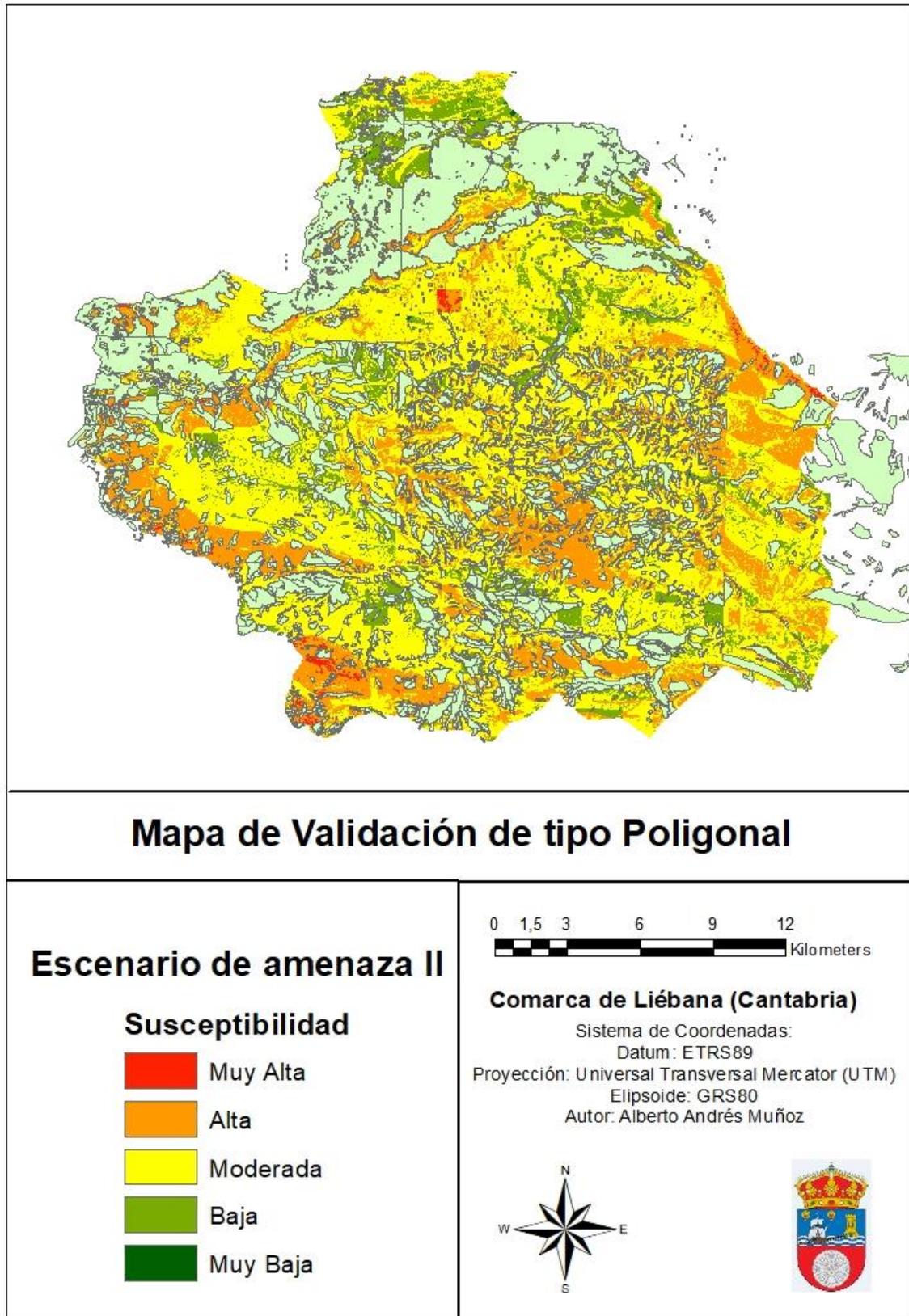


FIGURA 62. MAPA DE VALIDACIÓN POLIGONAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA II”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

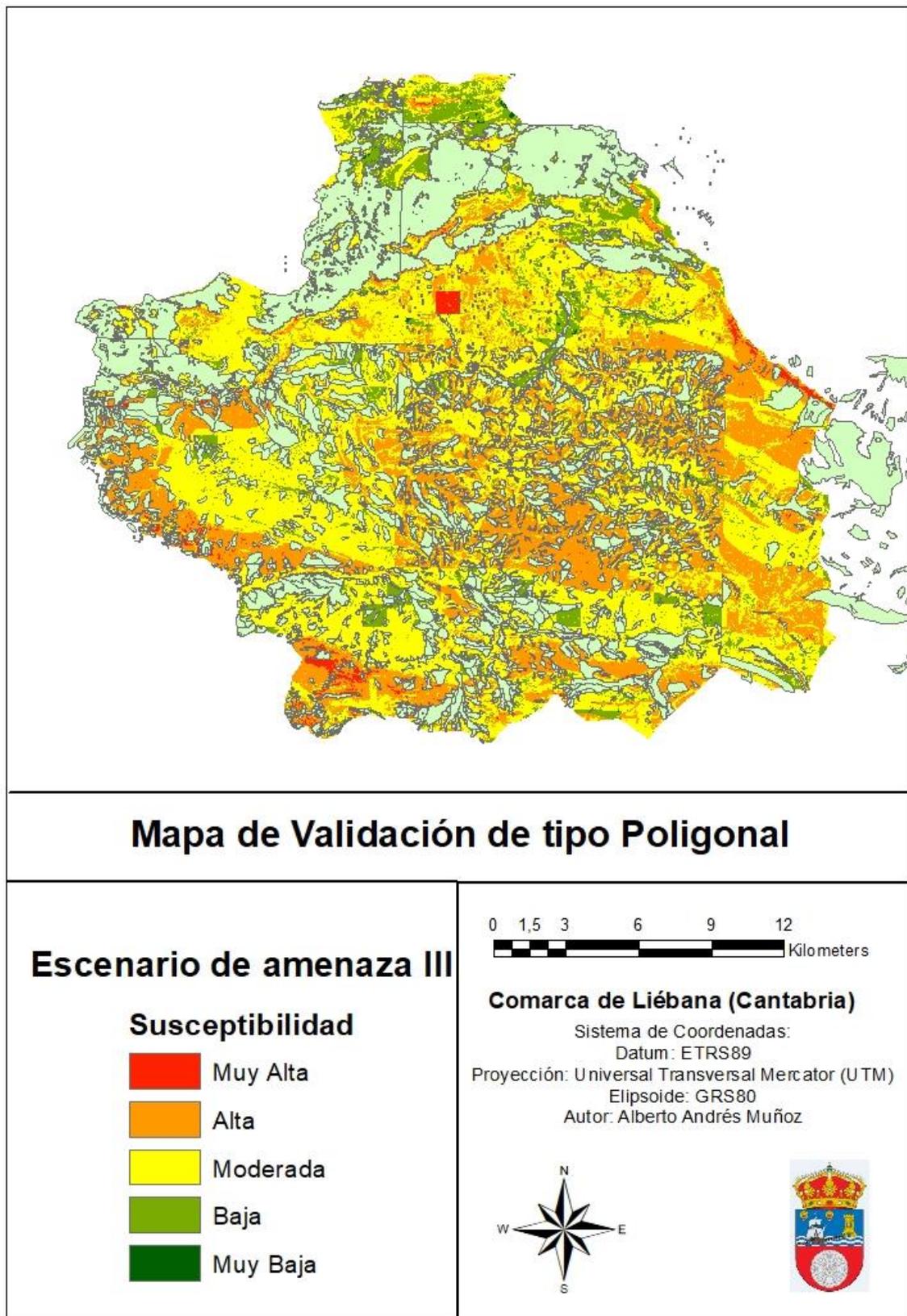


FIGURA 63. MAPA DE VALIDACIÓN POLIGONAL PARA EL “ESCENARIO DE AMENAZA III”, DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA COMARCA DE LIÉBANA (CANTABRIA)

Después de analizar todo lo expuesto en este capítulo, y de haber tenido en cuenta el diferente número de categorías en el que se clasifica la susceptibilidad según el modelo de este estudio, y el del Gobierno de Cantabria (5 frente a 3), se puede concluir que **el modelo queda validado satisfactoriamente**. Esta afirmación se fundamenta en que, tanto visual, como razonadamente, nuestros mapas se corresponden con un alto grado de precisión a las bases cartográficas existentes. Evidentemente el solape no se produce con total exactitud, ya que los modelos de este estudio están basados en criterios razonados con **cierta subjetividad**.

Sin embargo el gran número de correspondencias entre ellos consigue dotar a nuestro modelo de una gran robustez y objetividad de cara a evaluar la susceptibilidad de que se produzcan inestabilidades de ladera, y a predecir dónde pueden producirse movimientos de ladera en un futuro.

## **9. Conclusiones y recomendaciones finales: propuesta de medidas de prevención y corrección**

En el presente capítulo se exponen las principales conclusiones deducidas del trabajo, referidas a la metodología propuesta y a su aplicación en la escala de la comarca de Liébana. Posteriormente se llevará a cabo, en base a la valoración de los distintos riesgos de inestabilidad, la propuesta de una serie de medidas preventivas, y, según el caso, correctoras, con el fin de aplicarse en cada zona, dependiendo de la prioridad con que la que el análisis de susceptibilidad las haya ponderado.

### **9.1 Conclusiones finales**

Las conclusiones que se recogen en este apartado se han avanzado en los capítulos precedentes, pero se presentan aquí agrupadas en relación de los problemas y cuestiones que se han abordado a lo largo del desarrollo este trabajo: recopilación del histórico de movimientos de ladera en Liébana, selección de los factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidad, diseño de los escenarios de amenaza, asignación de pesos ponderados a las variables, análisis de la susceptibilidad y la validación de los modelos obtenidos.

En primer lugar, resulta fundamental afirmar que la susceptibilidad a los movimientos de ladera debe ser estudiada en cada espacio geográfico de manera particular con los medios y datos disponibles. Es muy importante conocer el historial de procesos e inestabilidades de ladera que han acontecido a lo largo de la historia en el área de estudio, ya que, esencialmente, una zona donde se ha producido una inestabilidad de magnitud recalable, es más susceptible de padecer más movimientos de ladera en el futuro que otra zona que se encuentre estable y sin procesos notables registrados. Conocer la historia de la estabilidad del terreno de un área determinada no solo es importante de cara a analizar su susceptibilidad, también es una referencia de gran importancia a la hora de conocer los efectos sobre el medio particular que han tenido los distintos procesos acontecidos, y, a su vez, la manera en la que se respondió a dichas catástrofes, por ejemplo, en materia de evacuación o de implantación de medidas correctoras.

Es por estos motivos por los que se ha intentado hacer el mayor hincapié posible en la historia de procesos geológicos y geomorfológicos de la comarca de Liébana, intentando recoger los más relevantes, clasificarlos y exponer las consecuencias que tuvieron en su momento y cómo se respondió ante ellos. Esto nos sirve como marco de referencia a la hora de dar respuesta a otros posibles deslizamientos que se produzcan en el futuro en la comarca, ya que, debido a su pequeña extensión, la aplicación de dichas medidas de respuesta pueda ser, con una alta probabilidad, extrapolable a la aparición de aquellos nuevos movimientos de ladera.

Además, la localización de procesos de ladera pasados o con cierto grado de actualidad nos proporciona una herramienta de validación muy fiable para nuestros mapas de susceptibilidad, objetivo de este estudio, ya que se puede comprobar la objetividad de los cuales a través de la correspondencia de las zonas de elevada amenaza con zonas donde se hayan producido ya fenómenos de inestabilidad.

En segundo lugar, no se debe restar importancia a la selección de los factores implicados en favorecer la inestabilidad de los suelos y laderas del área de estudio, ya que pese a que existan multitud de clasificaciones y recomendaciones bibliográficas sobre cuál debe ser la selección más adecuada de los mismos, debe tenerse muy en cuenta las particularidades de la zona de estudio.

No se pueden seleccionar factores de inestabilidad a la ligera, ni basarse en referencias y trabajos de otras zonas, ya que cada entorno es diferente y se ve afectado en distinto grado por los mismos factores en comparación a otros escenarios.

Por ejemplo, la actividad sísmica es un factor detonante de inestabilidades fundamental, y extendidísimo en estudios de susceptibilidad en todo el mundo. Sin embargo, en nuestra área de estudio no se ha considerado, debido a la pequeña extensión de la misma y a la bajísima sismicidad que presenta, convirtiendo el grado de amenaza de esta variable en despreciable.

Por otro lado, el otro factor desencadenante de mayor importancia reconocida en la aparición de movimientos de ladera, las precipitaciones, juegan un papel fundamental en una región como Liébana, donde, como se ha estudiado, se dan condiciones climáticas de carácter atlántico y alpino, ambas con alta intensidad de precipitación.

Es por ello por lo que se ha querido acentuar la implicación de dichas precipitaciones en nuestro estudio, a través de la consideración de otras variables cuya implicación es función directa de la intensidad de precipitación, como los cambios en el nivel freático, y la ponderación de los usos del suelo a través de su umbral de escorrentía.

La selección de los factores condicionantes corresponde a la selección clásica de los mismos en las diferentes bibliografías y referencias, ya que estos factores se pueden considerar casi como de base para prácticamente cualquier análisis de susceptibilidad de procesos de ladera.

Por otro lado, se ha de tener en cuenta también la calidad, resolución y escala de la información de partida disponible sobre los factores que intervienen en la estabilidad, porque la calidad de dicha información puede erigirse en un criterio de selección diferencial, ya que si los datos disponibles sobre un cierto factor no son suficientes o no se ajustan de manera objetiva a la realidad, esto puede traducirse en el descarte directo de dicha variable de cara al análisis de la susceptibilidad.

En este caso, las bases de datos correspondientes a la climatología y al nivel freático han presentado problemas que se han debido solucionar para su aplicación en este trabajo, en el sentido de que su nivel de resolución era bajo. En el caso de la climatología, la base de datos *WorldClim* (*WorldClim - Global Climate Data, 2006*) posee una escala global, lo que provoca que su reducción a la escala de Liébana nos dé una resolución, medida a través del tamaño de celda del modelo ráster, muy baja. Sin embargo, para variables como la temperatura o la precipitación, este inconveniente puede resultar despreciable ya que la variación entre dichas variables a una escala local es mínima. El caso de la información sobre el nivel freático es diferente, ya que la cartografía de referencia está basada en una malla de puntos. El problema de dicha malla es su escaso volumen de puntos, debiéndose seleccionar un tamaño de celda muy grande (en nuestro caso 1000 x 1000 metros) para conseguir abarcar al menos un punto por celda, obteniéndose un modelo para el nivel freático de muy baja resolución.

Como recomendación para el futuro, sería interesante el desarrollo por parte de los entes pertinentes de una base de datos para Sistemas de Información Geográfica referida a la posición del nivel freático, con un volumen de puntos, o incluso en formato lineal, poligonal o ráster, mucho más completo y objetivo.

En lo que respecta a la ponderación de pesos a asignar a cada variable, es necesario recalcar que la búsqueda de la mayor cantidad de información bibliográfica y de opiniones de expertos en las distintas disciplinas a las que corresponden las variables de cálculo (Meteorología, Geología, Ordenación del Territorio...) es vital para una correcta ponderación. Se ha de tener en cuenta que la ponderación posee un fuerte carácter subjetivo, por lo que cuánto mayor volumen de información se tenga a disposición, dicha ponderación subjetiva podrá volverse lo más objetiva posible.

Es muy importante un acertado diseño de los escenarios de amenaza, ya que a pesar de que, a priori, solo interese el análisis más completo, es decir, el que más variables considere, la propuesta de otros escenarios también se vuelve interesante.

Es el caso del escenario que en nuestro trabajo se ha denominado como “Escenario de amenaza I”, el cual solo recoge los factores condicionantes, lo que le da un carácter bastante extremo, pero que nos da a entender qué zonas, sin ningún tipo de afección por parte de agentes externos, son susceptibles de sufrir deslizamientos. Por tanto, dichas zonas serán las primeras en ser señaladas como peligrosas, y las primeras sobre las que se debe centrar la atención a la hora de proponer medidas de prevención y corrección.

Finalmente, obtenidos los mapas de susceptibilidad de la comarca de Liébana, y validados satisfactoriamente como se ha visto en el Capítulo 8 “Validación de resultados. Procesos Activos en la actualidad en la comarca de Liébana”, podemos resumir en las siguientes conclusiones la amenaza que suponen los deslizamientos y procesos de ladera en la comarca de Liébana, a través de la evaluación de su susceptibilidad.

Es fácilmente apreciable cómo todas las zonas donde se han producido deslizamientos y procesos de ladera en el pasado aparecen como zonas de susceptibilidad alta en nuestros mapas, lo que nos hace indicar que la zona sufre continuos procesos de inestabilidad del terreno. Antes de intentar predecir o prevenir cualquier inestabilidad o proceso futuro, es necesario localizar, asegurar y gestionar con eficacia estas zonas donde ya existe inestabilidad, ya que el problema de los sucesos de ladera nunca se puede dar por concluido y allá donde se han producido alguna vez dichos sucesos, siempre será susceptible de que se vuelvan a producir.

Por otro lado, resulta tranquilizador el haber obtenido como resultado de los elementos antrópicos vulnerables un número tan escaso de núcleos de población afectados, ya que las zonas más susceptibles de producirse inestabilidades se encuentran en áreas de montaña como los Picos de Europa o la Sierra de Peña Sagra, en zonas elevadas y abruptas donde el asentamiento de personas se vuelve inviable.

Sin embargo, este estudio ha revelado un hallazgo preocupante que es la elevada susceptibilidad localizada en la zona entre los pueblos de Lon y Argüebanes, ya que esta zona, a pesar de encontrarse próxima al deslizamiento de Sebrango, no había destacado nunca por tener un grado de amenaza tan alto.

Este estudio, como labor científica que es, puede estar sujeto a error y no se deben considerar los resultados del mismo como arbitrarios. A pesar de ello, puede servir como recomendación el que en un futuro se deban realizar prospecciones y ensayos en dicha zona, de cara a corroborar si la susceptibilidad, tal y como afirma este estudio, es tan elevada, ya que de ser sí, dichos dos pueblos, y la Carretera Autonómica CA-185 podrían verse seriamente amenazados.

Concluyendo, se considera preciso afirmar que este tipo de estudios son muy necesarios ya que, como se ha dicho anteriormente, muchas veces los movimientos de ladera más analizados y predecibles son aquellos de gran escala, los cuales poseen un grado de ocurrencia muy bajo. Sin embargo, los sucesos de ladera de pequeña escala son mucho más difícil de predecir debido al poco nivel de información que se posee sobre ellos, pero no por ello dejan de ser igual de devastadores, ya que como se ha visto, no se necesita una gran magnitud para producir desviaciones de cauces de ríos o la caída de grandes bloques rocosos.

Por tanto, este tipo de estudios nos pueden dar información sobre el grado de amenaza en un área completa, y no solo sobre un movimiento aislado sobre el que estudiar. La necesidad de este tipo de estudios se vuelve aun mayor sabiendo que hoy en día en España no existe una normativa oficial de actuación ante riesgos geológicos. Por ello, se hace hincapié una vez más en que cuanto más exhaustivos sean los estudios técnicos y científicos realizados sobre el medio físico de un territorio, mejores herramientas de trabajo tendrán las administraciones para tomar decisiones y, por lo tanto, mayor grado de seguridad y de desarrollo presentarán los habitantes que lo pueblan, haciéndose esto efectivo al estudio científico que nos ha ocupado: el análisis de la susceptibilidad de sufrir fenómenos de inestabilidad de taludes.

## 9.2 Propuesta de medidas de prevención y corrección

La prevención de los riesgos geológicos (González de Vallejo, 2002) consiste en prever o conocer con anticipación la ocurrencia de un fenómeno, en tiempo y lugar (o al menos en lugar), con el fin de:

- Evitar el proceso.
- Controlar o “frenar” dicho proceso.
- Avisar, prepararse o protegerse de él.

El tipo de actuación dependerá de las características del proceso, de su velocidad y magnitud. La prevención se basa en el conocimiento de las características y leyes de los procesos, en el análisis de datos pasados, observaciones científicas y en la monitorización y detección de anomalías y cambios en parámetros físicos y fenómenos precursores.

Los deslizamientos constituyen un tipo de proceso que a veces no se puede prevenir con la suficiente antelación, y sólo se puede actuar protegiéndose de él y mitigando sus efectos.

La **mitigación** consiste en moderar o disminuir las pérdidas y daños mediante el control del proceso (en casos en que sea posible) y/o la protección de los elementos expuestos, reduciendo su vulnerabilidad.

Las **medidas preventivas** se conocen como el conjunto de actuaciones de mitigación de los riesgos y los procedimientos posibles en cada caso, que dependen de las características del proceso (velocidad, magnitud, extensión...) y de la posibilidad de prevenirlo. Bajo este concepto se incluyen también las acciones encaminadas a evitar los procesos geológicos y sus efectos (no únicamente las medidas de mitigación cuando el riesgo no puede evitarse).

Las medidas más efectivas, y generalmente las de menor coste son las **medidas no estructurales**, que se basan en la ordenación del territorio. Estas actuaciones son especialmente efectivas en zonas de nuevo o reciente desarrollo, donde no existen condicionantes previos al uso del terreno. Sin embargo, como esto es un caso bastante poco usual, y, al menos, en nuestro entorno de estudio, la comarca de Liébana, no se da. Por tanto se ha de mencionar otro tipo de medidas no estructurales que son de utilidad a la hora de la prevención de riesgos geológicos:

- Prohibición o restricciones de ocupación de zonas de elevada peligrosidad.
- Normativas y recomendaciones.
- Divulgación y educación ciudadana.
- Sistemas de alarma y aviso. Planes de emergencia. Los sistemas de alerta permiten llevar a cabo la evacuación de la población ante un desastre. La vigilancia y seguimiento de zonas peligrosas se considera fundamental para poder determinar cambios evidentes en las condiciones de una ladera. Otros sistemas incluyen medidores de inclinación, sistemas eléctricos y geófonos que recogen vibraciones de rocas en movimiento (Keller, 2007).

A pesar de que la creación de planes de alerta-actuación es uno de los mecanismos más efectivos y viables para reducir el riesgo, en España no existen planes específicos para los riesgos de origen geomorfológico.

Por último, es necesario tener en cuenta que las posibilidades de actuación una vez desencadenado el fenómeno son muy limitadas cuando se trata de movimientos rápidos o de pequeñas dimensiones, ya que tienden a ser inesperados por su falta de estudio o conocimiento, mientras que en movimientos lentos y de grandes dimensiones, existen más posibilidades de actuación. Este hecho ha quedado demostrado durante el episodio vivido en Sebrango – Los Llanos en 2013.

Sin embargo, las medidas de carácter no estructural no siempre representan la mejor solución, ya que presentan inconvenientes como la difícil aplicación en áreas ya desarrolladas, el amplio conocimiento que se precisa del área a intervenir o intereses económicos o políticos opuestos o reacios a la adopción de medidas restrictivas.

Por eso también se encuentra contemplada la estimación de **medidas estructurales o constructivas** para protección de personas y bienes, y para mitigación de los daños, necesarias en caso de ocupación o uso de zonas peligrosas con probabilidad de que ocurran movimientos de ladera. Entre estas medidas se encuentran las obras o actuaciones para controlar los procesos (drenajes o muros de estabilización, obras hidráulicas para evitar inundaciones) y el diseño adecuado de obras de ingeniería para evitar los daños (edificios y estructura sismorresistentes, presas, puentes y obras de drenaje adecuadas a los caudales máximos previsibles...).

Debido al tamaño, nivel de desarrollo y demografía de Liébana, se considerarán las primeras de dichas medidas, ya que las segundas suponen una inversión económica y técnica excesiva para las condiciones del área de estudio. Es decir, la propuesta se centrará en medidas para protección de bienes y personas, y para la mitigación de daños.

Las **medidas de corrección o estabilización de laderas** están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños. Su aplicación depende principalmente de la tipología, magnitud y velocidad de los movimientos, y pueden realizarse antes (en casos de laderas potencialmente inestables) o durante el movimiento, siempre que su velocidad lo permita.

#### **9.2.1. Estabilización de taludes en suelo**

Cuando un talud resulta potencialmente inestable (Ortuño Abad, 2004) se pueden adoptar medidas que tiendan, bien a aumentar el efecto de las variables o elementos favorables para la estabilidad, bien a reducir el efecto de aquéllas que resultan desfavorables. Sobre todas ellas se puede actuar aisladamente o en conjunto, dando lugar a un amplio abanico de posibilidades.

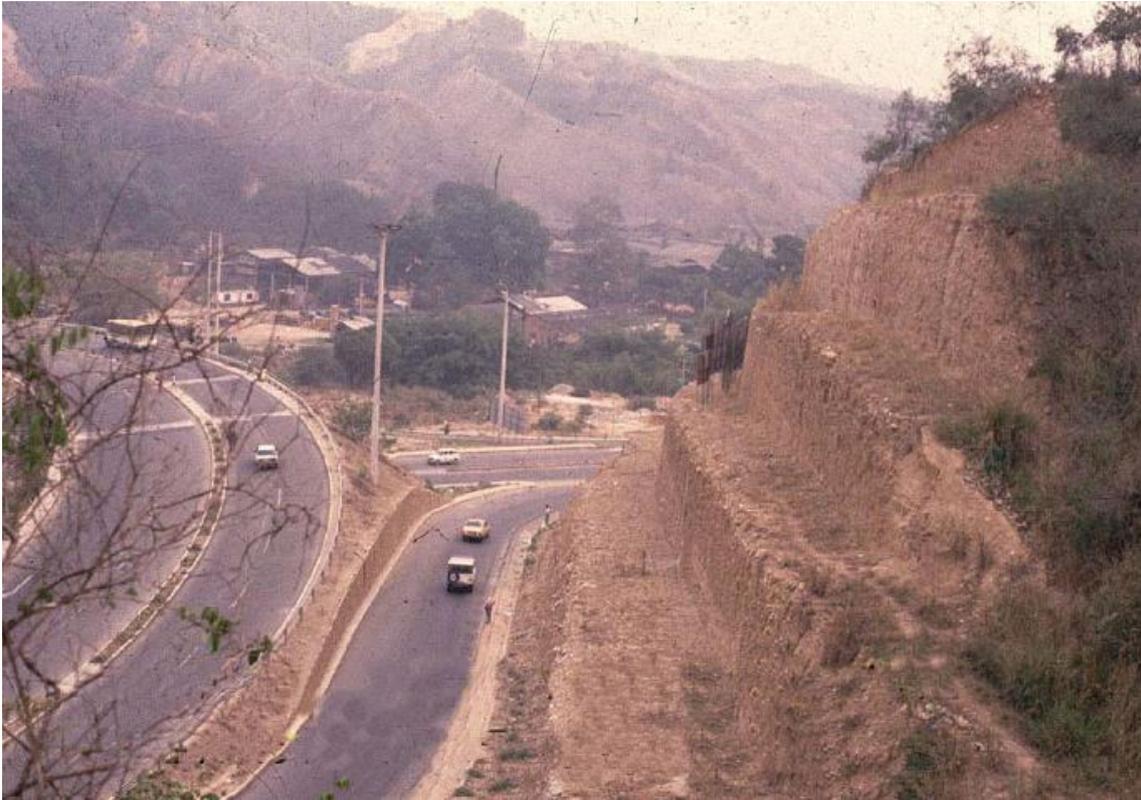
A efectos descriptivos resulta interesante dividir las medidas de estabilización en dos grandes grupos. Las primeras, denominadas “flexibles”, son aquéllas que manejan nada o muy poco “hormigón armado” y se caracterizan por, una vez implantadas, admitir considerables movimientos de reajuste, refuerzos adicionales, etc. Estas son probablemente, además, las que menos medios especiales requieren y por ende, las más económicas, y por ello suelen tener una aplicación muy generalizada.

Las segundas, que en contraste con las anteriores se denominan “rígidas”, son aquéllas en las que se incluyen o instalan elementos de refuerzo de rigidez considerable (pilotes, anclajes, etc) y que no admiten movimientos adicionales significativos. Obviamente, cuando se aplican este tipo de soluciones se tiende a ser más contundente en el diseño, dado el riesgo de rotura que conlleva un dimensionamiento insuficiente.

Habida cuenta del enorme abanico de posibilidades de estabilización disponible hoy en día, se ha optado por centrar la descripción que sigue en las soluciones “flexibles”. El motivo radica en que, como se ha apuntado, en términos generales éstas son las habitualmente más económicas en deslizamientos en suelos.

Un primer tipo de estas modificaciones flexibles es el basado en las **modificaciones en la geometría del talud**, mediante remoción y/o conformación del perfil del terreno o talud. El fin último es el de incrementar la estabilidad del talud, bien disminuyendo la masa inestable en la corona o aumentando la masa en la base del movimiento.

Una buena solución correspondiente a esta categoría es el corte del terreno en terrazas. La creación de terrazas disminuye la verticalidad del área, y por lo tanto, el riesgo de deslizamientos.



**FIGURA 64. CORTE DEL TERRENO EN TERRAZAS.**

Otra opción es combinar una de estas modificaciones de terreno (otro ejemplo es la suavización de la ladera mediante perfilado) con la introducción de un elemento de contención. Este tipo de actuaciones es uno de los más frecuentes.



**FIGURA 65. MURO DE ESCOLLERA Y RELLENO DE TRASDÓS EN DESMONTE.**

La filosofía de esta medida puede ser doble. Por una parte, siguiendo el esquema del equilibrio de masas estabilizadoras y desestabilizadoras para deslizamientos rotacionales, la introducción de un peso adicional al pie de un deslizamiento introduce un momento estabilizador, lo que automáticamente aumenta el factor de seguridad. Por otra parte, si el relleno se efectúa con un material de suficiente calidad, lo que es muy frecuente, también puede hacerse uso de su mayor resistencia al corte, haciéndolo penetrar bajo el pie del talud para que intercepte las superficies de deslizamiento más desfavorables.

Los materiales empleados en general para estas actuaciones suelen ser granulares, de tamaño grande, muy permeables. Con ello se consigue, además de peso, una elevada resistencia al corte. El primer ejemplo típico es el de las escolleras, con las que pueden obtenerse fácilmente ángulos de rozamiento interno del orden de los  $50^\circ$ . Además, cuando se colocan con habilidad, el acabado de la superficie puede ser sorprendentemente bueno, lo que en alguna medida reduce su impacto visual.

El inconveniente fundamental que suelen presentar estas actuaciones en carreteras es la falta de espacio para instalar el relleno, lo que a menudo obliga a excavar ligeramente el talud natural existente con pendientes elevadas, algo que debe realizarse con precaución y por bataches si el talud se encuentra ya deslizado.

Los gaviones son una alternativa a los muros de escollera. Permiten emplear materiales granulares de menor tamaño (gravas), obteniendo resultados resistentes similares y quizás un menor impacto visual. El "secreto" de estos elementos radica en el confinamiento que producen las "cajas" de tela de gallinero en donde se introduce la grava, que sirven para aumentar sustancialmente la resistencia al corte disponible. Por otro lado, constituyen una solución de elevada flexibilidad, admitiendo deformaciones de reajuste importantes sin detrimento de su resistencia.



**FIGURA 66. CONTENCIÓN DE GAVIONES.**

Además de los muros de escollera o gaviones anteriores, en principio se puede emplear cualquier otro elemento que proporcione peso estabilizador al pie del talud, aumente la resistencia al corte media o funcione como una auténtico muro de contención frente a los empujes del terreno. Manteniendo la idea de flexibilidad, siempre deseable, en los últimos años se han comenzado a emplear macizos de suelo reforzado (con geomallas, tierra armada, etc).

Las dimensiones generosas del macizo reforzado hacen que en realidad cumpla tres funciones beneficiosas: que pueda suponerse como un gran muro de gravedad dispuesto para soportar los empujes del deslizamiento, que mediante la profundización necesaria actúe como elemento de aumento de la resistencia al corte en el plano de deslizamiento y que por su propio peso de lugar a un momento estabilizador importante.

La ventaja fundamental de este tipo de actuación radica en la posibilidad de emplear materiales tipo suelo que, aunque han de mantener una cierta calidad, eliminan la necesidad de acudir a escolleras o gravas, a veces muy costosas por las distancias de transporte desde las canteras o yacimientos. La filosofía general de diseño en un suelo reforzado de esta manera es muy similar a la de una tierra armada, en donde en lugar de los flejes metálicos se emplean geomallas. Ambas soluciones resultan considerablemente flexibles y permiten obtener paramentos muy verticalizados, que pueden rematarse de una forma estéticamente atractiva mediante plantaciones.



FIGURA 67. CONTENCIÓN DE TIERRA ARMADA.

El siguiente tipo de actuación de cara a la estabilidad de taludes tipo suelo está basado en **el drenaje, superficial y subterráneo.**

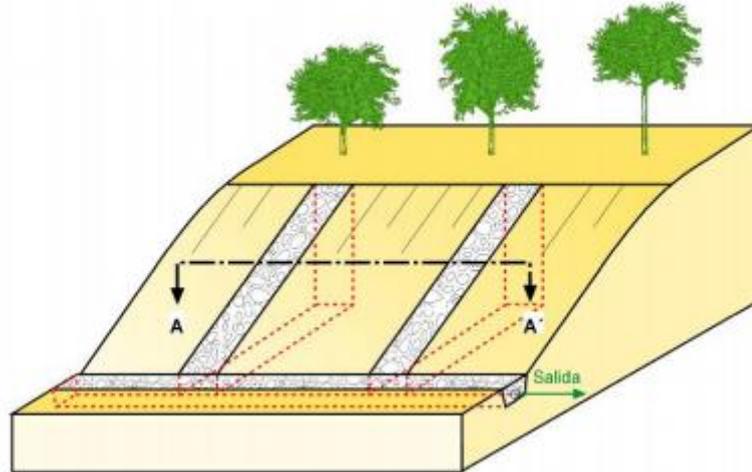
Como se ha apuntado, la resistencia al corte del terreno depende muy directamente de su contenido de agua y de la presión intersticial. De hecho, el agua constituye un elemento desestabilizador de primera magnitud, quizás el de mayor importancia, y estamos bien acostumbrados a que muchos deslizamientos se produzcan en los períodos especialmente lluviosos. Por ello, si se introducen medidas de drenaje que permitan disminuir la concentración de humedad y las presiones intersticiales existentes, se aumenta significativamente el coeficiente de seguridad.

En primer lugar se ha de considerar la profundidad del drenaje a realizar, si el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, la solución más efectiva y económica puede ser la de construir zanjas de captación que sirven para rebajar dicho nivel, y por lo tanto reduzcan las presiones intersticiales.

Un primer tipo de zanjas bastante empleadas en la estabilización de laderas de pequeña inclinación son aquellas que se construyen siguiendo líneas de máxima pendiente de la ladera. Se ejecutan con retroexcavadora y se rellenan con un material granular permeable. Si es necesario se coloca un geotextil para evitar la migración de finos, pudiendo instalarse también un dren colector en su fondo. Obviamente, un detalle fundamental es dotar de una salida adecuada a las aguas captadas. Habida cuenta que lo que se persigue es el rebajamiento del nivel freático, para que sean efectivas es necesario que las zanjas penetren suficientemente bajo él con el fin de crear una diferencia de potencial suficiente como para que el agua fluya y termine por producir una nueva línea de saturación significativamente más baja. También es necesario limitar la distancia entre zanjas contiguas por el mismo motivo.

Si el terreno a estabilizar es arcilloso, hay que tener en cuenta que su reducida permeabilidad hará que transcurra un tiempo, posiblemente considerable, hasta que se produzca el rebajamiento definitivo.

Sin embargo, este primer tipo de zanjas no es de gran interés en un área como Liébana, ya que esta presenta relieves muy abruptos y pendientes muy pronunciadas. En estas circunstancias puede ser interesante acudir a la ejecución de las zanjas siguiendo las líneas de nivel del desmonte o la ladera. Como medida se propone la combinación de drenaje y refuerzo, por ejemplo, de escollera, en lo que se conoce como “zanjas contrafuerte”.



**FIGURA 68. COMBINACIÓN DE DRENAJE Y REFUERZO. ZANJAS CONTRAFUERTE.**

Con este tratamiento se persigue la intercepción del agua freática dentro de la ladera antes de que pueda aflorar a la superficie del talud y provocar su erosión. Complementariamente servirían para reducir el nivel de presiones intersticiales desde el punto de vista de la estabilidad general.

Si, por otro lado, las necesidades de drenaje recomiendan efectuar la intercepción de aguas o producir el rebajamiento de la línea del nivel freático por debajo de lo que la maquinaria convencional puede alcanzar de forma económica y sin grandes excavaciones complementarias, es necesario acudir a sistemas más complejos. Aquí se propone uno de los más sencillos y económicos.

Los “Drenes californianos” resultan interesantes cuando el objetivo es reducir presiones intersticiales en zonas de difícil acceso en las que no es posible acometer zanjas o pantallas. Este tipo de drenaje puede resultar muy útil en Liébana debido a la enorme cantidad de zonas abruptas, barrancos y depresiones que podemos encontrar.

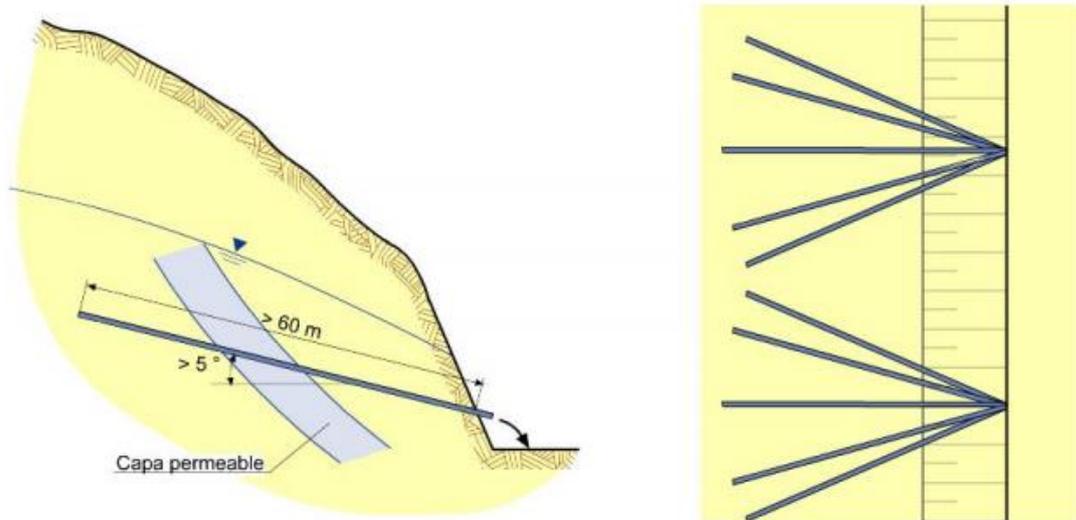


FIGURA 69. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN Y FUNDAMENTO DE LOS DRENES CALIFORNIANOS.

Se realizan con maquinaria similar a la de sondeos, lo que permite atravesar cualquier tipo de material en casi todas las direcciones, y se revisten con un tubo de PVC ranurado, en ocasiones rodeado de un geotextil para evitar una colmatación prematura por migración de finos. Los taladros de instalación no deben ser excesivamente largos, dado el riesgo de que la perforación se desvíe hacia abajo y se invalide efecto buscado.

Estos elementos son especialmente eficaces cuando su objetivo es “pinchar” capas permeables cargadas de agua, como muestra la figura anterior. Así, hay numerosos deslizamientos en terrenos eminentemente arcillosos que se desencadenan o se ven favorecidos por la existencia de niveles de elevada permeabilidad intercalados, a través de las cuáles penetra el agua y se acumulan las presiones intersticiales (casos típicos serían los niveles de areniscas o calizas que aparecen embutidos en masas arcillosas en algunas formaciones geológicas frecuentes).

Su eficacia es más que dudosa cuando se trata de drenar suelos arcillosos homogéneos, que resultan considerablemente impermeables. En estas circunstancias es habitual que sólo una pequeña porción de los drenes instalados aporten realmente algún caudal de agua. En cualquier caso, cuando lo hacen su efecto resulta beneficioso.

### 9.2.2. Estabilización de taludes en roca

Las estructuras de contención para rocas se utilizan para estabilizar masas rocosas fracturadas y evitar el colapso del talud. Su uso es de carácter preventivo. Dentro de este tipo de obras se encuentran: anclajes en roca, revestimiento flexible con malla, muros de contención o gunitado de hormigón.

En cuanto a la metodología de **anclajes en roca** existe una gran variedad de tipos, de acuerdo a:

- La finalidad a la que van destinados (cosido de macizos rocosos fisurados, sujeción de bloques individuales, evitar el deslizamiento de taludes de roca...).
- Al tipo de armadura de que se componen.
- A la forma de construir la zona de anclaje.
- A la disposición de la cabeza y en el sistema de protección contra la corrosión utilizado.

Los anclajes se pueden clasificar de varias maneras. Si los clasificamos en función del mecanismo de trabajo que realizan, pueden ser de 3 tipos. Los anclajes **pasivos** son rígidos, su armadura no sufre pretensado después de su instalación. Los anclajes **activos** son aquellos que una vez instalados se pretensan hasta alcanzar su carga admisible. Los anclajes **mixtos** son la solución intermedia a los dos casos anteriores. Se pretensa la armadura con una carga inferior a la admisible.

Si los clasificamos de acuerdo al tiempo que van a actuar, nos encontramos anclajes **temporales**, cuya vida útil es menor de dos años. Dan las condiciones de estabilidad durante el tiempo necesario para colocar otros elementos. Los anclajes **permanentes** se dimensionan con mayores coeficientes de seguridad porque su tiempo de servicio es mayor a dos años. Su protección es mayor que el de los temporales.

Clasificados de acuerdo al empleo de bulones o cables; los anclajes de **barras** son barras de acero corrugado entre 16 y 50 mm, con longitudes entre 1 y 12 m. Los anclajes de **cables** constan de varios cables que a su vez se componen de 7 alambres individuales de 4 a 5 mm de diámetro. No tiene límite de longitud, y son flexibles.

Anclajes de acuerdo a la longitud libre de la barra (**de juego libre**), en estos los tendones de acero se pueden desplazar dentro de la vaina en la zona de longitud libre en tensión de la barra. Por otro lado, los anclajes **bloqueados** se mantienen móviles en longitud libre de la barra hasta después del tensado. Posteriormente se fija al terreno con mortero de cemento.

Si los clasificamos en base a su adherencia, los anclajes a base de **resinas (barras)** o a base de **cemento (barras o cables)**, siendo este último más usual por su tiempo de vida. Se utiliza en suelos y en rocas, y es más seguro que el de resinas.

Por último encontramos la clasificación por fricción, en la que tenemos anclajes de **alta carga de contacto**, son mecánicos, y se instalan en una previa perforación, y se expanden contra las paredes del taladro con el fin de lograr el anclaje. Por el contrario, se encuentran los anclajes de **baja carga de contacto**, los cuales solucionan problemas a profundidades que no solucionan los anteriores.



FIGURA 70. MURO DE ANCLAJES EN ROCA.

En cuanto al uso de **mallas metálicas** como revestimiento flexible nos centraremos exclusivamente en el uso de **Mallas de Triple Torsión**, ya que estas son las más utilizadas en Liébana cada vez que se produce un deslizamiento en pared rocosa.

La malla de alambre de triple torsión está constituida por una serie de alambres que, después de tejidos en torsiones, forman un hexágono alargado en el sentido de una de sus diagonales y permiten una gran resistencia a la rotura. Se utilizan principalmente para dos propósitos:

- Como sistema de protección en taludes rocosos, para la protección de las vías de comunicación contra caídas de piedras, desprendimientos, deslizamientos de suelo, etc., evitando el desprendimiento de rocas sobre las vías de comunicación.
- Como sistema de estabilización de taludes.

En cualquier caso la función principal de este tipo de materiales es evitar que las rocas que se desprenden de lo alto de un talud alcancen la velocidad suficiente para producir arrastres que caigan sobre la calzada.

A continuación se expone a modo de ejemplo el proceso de instalación de una malla de este tipo en un talud. El anclado de la malla se realizará mediante bulones de 1m y 1,5m en la cabecera del talud a estabilizar. Se recomienda la instalación de un cable de acero, fijado a las piquetas sobre el que se anclara la malla. Los rollos de malla se desplegarán hasta la parte baja del talud y serán cosidos entre sí por los bordes de cada rollo con alambre de similares características. Para fijar la malla al talud se utilizarán bulones, que se repartirán de forma homogénea por todo el talud. Para anclar la malla a la parte inferior del talud se insertarán piquetas entre las mallas a cada metro de distancia aproximadamente o bien con el extremo inferior de la malla cosido a un tubo o barra metálica galvanizada.

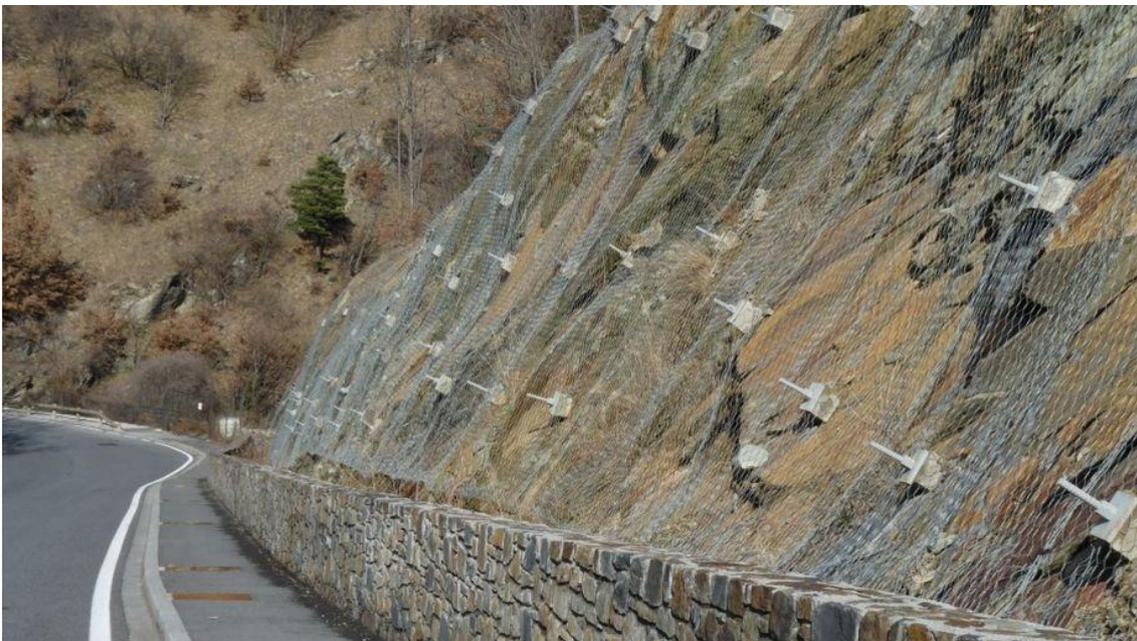


FIGURA 71. MALLA DE TRIPLE TORSIÓN COMBINADA CON ANCLAJES EN ROCA.

Los **muros de contención** están fabricados con hormigón, pudiendo ser in situ o prefabricados, o bien estar fabricados mediante la técnica de gaviones. A la hora de diseñar un muro de contención se deben tener las siguientes consideraciones:

- Garantizar estabilidad al vuelco y al deslizamiento.

- Evitar hundimientos.
- Tener en cuenta la geometría de la inestabilidad a subsanar.
- Posible armado del muro.
- Colocación de elementos de drenaje.
- Construcción de zanjas a pie de talud.



FIGURA 72. MURO DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN.

La técnica del **gunitado** es un sistema constructivo consistente en proyectar con un "cañón" (en inglés *gun*) o manguera a alta presión hormigón, pudiendo construir sobre cualquier tipo de superficie, inclusive la tierra, con el objetivo de conseguir un muro continuo, con mayor resistencia y menor espesor, para soportar y contener la presión ejercida por el terreno, con cualquier tipo de pendiente, ofreciendo una impermeabilización óptima gracias a la baja porosidad.

En algunos países esta técnica es conocida también como proyectado, el cual puede consistir también en la proyección de mortero (sin el árido grueso). En inglés recibe la denominación de *build-up*: gunitado por capas (o proyección por capas), aplicación de hormigón proyectado en capas sucesivas para formar una masa de mayor espesor (*build-up* también es la acumulación residual de hormigón endurecido dentro de una mezcladora u hormigonera).

Una de las ventajas de esta técnica es la mayor resistencia por metro cuadrado, es decir, con menos material se consigue mayor resistencia y durabilidad. También revierte en la firmeza de la estructura que está gunitada al obtener una capa compacta y sólida.

Esta técnica puede ser utilizada para revestir barrancos e impedir riesgos de posibles desprendimientos, con un grado de durabilidad que hace que su mantenimiento sea pequeño.



FIGURA 73. ESTABILIZACIÓN DE TALUD MEDIANTE GLUTINADO DE HORMIGÓN.

### 9.2.3. Protección contra los desprendimientos

Las llamadas medidas **activas o de estabilización frente a desprendimientos potenciales de bloques rocosos** consisten en (González de Vallejo, 2002):

- Instalación de bulones y anclajes para fijación de bloques, de la misma manera que en los suelos de tipo rocoso.
- Instalación de sistemas de cables y mallas metálicas fijados o anclados a las laderas para estabilización de zonas muy fracturadas; consiste en la colocación de una malla metálica, de doble o triple torsión, sobre la que se superponen una serie de cables formando una retícula, anclados a la roca en sus extremos y tensionados.

Existe otro tipo de actuaciones, las denominadas **medidas pasivas**, cuya finalidad es evitar los daños que los desprendimientos puedan causar a edificaciones, estructuras y vías de comunicación. Estas consisten en:

- Mallas metálicas para guiado de pequeños bloques desprendidos.
- Cunetones o zanjas para recogida de los bloques caídos.
- Muros y “caballones” de tierra.
- Barreras estáticas para frenado y contención de los bloques.
- Barreras dinámicas con la misma finalidad anterior.
- Túneles artificiales en carreteras y ferrocarriles.

Las **mallas de guiado**, formadas por alambre de acero, se tienden desde la cabecera de la ladera, cubriendo toda su superficie hasta el pie. Sirven para guiar a los bloques rocosos en su caída, evitando que reboten y salten hacia fuera, y acumularlos en la base, donde pueden ser retirados. Son efectivas para bloques menores de 0,5 m<sup>3</sup> aproximadamente. Las mallas más resistentes son hexagonales de triple torsión de acero galvanizado.

Las **zanjas o cunetones** se excavan al pie de las laderas, siendo su finalidad retener los bloques desprendidos. La profundidad y anchura de las mismas depende del volumen de los bloques. No son efectivas en los casos en que las rocas rebotan durante la caída y se alejan de la superficie de la ladera, lo que ocurre en zonas de pendiente irregular y materiales duros. Para favorecer el frenado de los bloques se coloca en el fondo una capa de gravas o tierra. Se puede complementar la medida con una valla o barrera de malla para evitar la posibilidad de que los bloques salten fuera de la zanja.

Los **muros**, de hormigón o de gaviones, constituyen impedimentos para el avance de los bloques desprendidos, construyéndose generalmente al pie de las laderas. La desventaja de los muros rígidos es que pueden romperse más fácilmente por los impactos. También pueden colocarse «caballones» de tierra de forma trapezoidal.

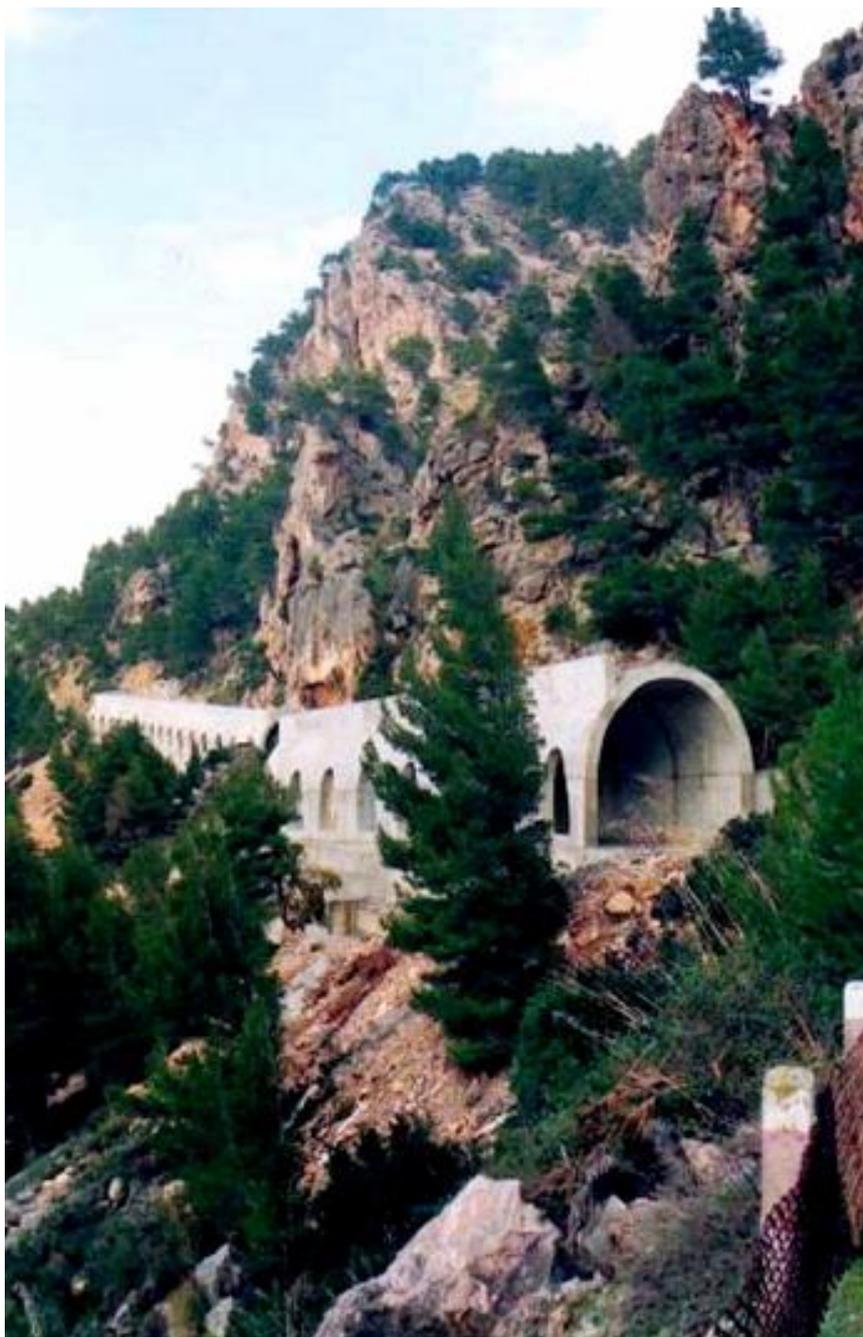
Las **barreras estáticas** se colocan en la base o sobre la superficie de la ladera, con el fin de interceptar y frenar los bloques. Suelen estar formadas por postes metálicos hincados o empotrados a los que se fijan mallas metálicas resistentes. También se pueden formar solo con postes o vigas metálicas, con una separación tal que impidan el paso de bloques entre dichos postes. Al igual que los muros rígidos, pueden sufrir desperfectos por impactos de bloques de peso mayor que para los que han sido diseñadas. Un buen ejemplo es el que encontramos en el Desfiladero de La Hermida, en Liébana (**Figura 33**).

Las **barreras dinámicas** o flexibles son capaces de absorber la energía de impacto de los bloques mediante deformaciones elásticas y plásticas de las mallas metálicas y elementos que las componen. Consisten en mallas de cable de acero entrelazado, soportadas por postes de acero cimentados y anclados a la ladera, y unidos entre sí mediante cables. El sistema se basa en la capacidad de deformación de los cables y en los sistemas de frenado que estos incorporan, que entran en funcionamiento ante el impacto de los bloques. Se pueden construir para frenar bloques con una energía cinética de hasta 2.500 kJ. Normalmente se instalan con una inclinación contraria a la ladera y altura de unos 3 m, aunque pueden ser más altas. El cálculo de estas barreras se realiza en función de las energías de impacto de los bloques, su tamaño, velocidad y trayectoria. Estas barreras pueden instalarse también a modo de pórtico sobre vías de comunicación, para detener la caída libre de bloques con una energía cinética de hasta 1.000 kJ.

Los **túneles artificiales** protegen igualmente de los desprendimientos rocosos en carreteras y ferrocarriles. Se construyen de hormigón, y sobre su techo se coloca una capa de material granular para amortiguar el impacto de los bloques y evitar que reboten. Si los desprendimientos no son de gran volumen, el túnel artificial puede sustituirse por estructuras más ligeras o por galerías dinámicas.

El diseño de estas medidas se realiza en función de la cantidad, volumen y peso de los bloques, pendiente de la ladera, trayectoria de los bloques, energía de impacto, distancias de alcance, grado de riesgo potencial de los desprendimientos, accesibilidad a la ladera y disponibilidad de espacio para su instalación.

Las observaciones y medidas de campo proporcionan los datos más fiables para la elección y diseño de la medida más adecuada, siendo frecuente combinar varias de ellas. La estimación de los parámetros citados es importante, sobre todo en el caso de instalación de barreras y muros, debiéndose asegurar que no sufran desperfectos importantes y que los bloques no pasen por encima de ellos al rebotar en la ladera o en la zona entre el pie de la ladera y la barrera.



**FIGURA 74. TÚNEL ARTIFICIAL CONTRA LA CAÍDA DE BLOQUES ROCOSOS.**

## 10. Referencias bibliográficas

- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). *Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- Alonso, E. (1987). *Riesgos geológicos asociados a las avenidas y su previsión*. Madrid: Colegio de ICCPS de Madrid.
- Arroyo, L. N. (1992). *Influencia Antrópica y Deslizamientos en Ciudad Colón y Puriscal*. Ciudad Colón: Revista Geográfica de América Central.
- Brabb, E. (1972). *Preliminary map of landslide deposits in San Mateo County, California*. San Mateo County: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-344, map scale 1:62.500 .
- Chacón, C., Fernández, R., & Hamdouni. (2006). *Engineering geology maps: landslides and geographical information systems*. Bull Engineering Geological Environ.
- Comarca de Liébana. (s.f.). Obtenido de <http://www.liebana.net/>
- Coraminas, J. y. (1997). *Terminología de los movimientos de ladera*. Granada: IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- Corominas, J. (1989). *Estabilidad de taludes y laderas naturales*. Zaragoza: Monografía n.º 3. Soc. Esp. de Geomorfología.
- Dikau, R. B. (1996). *Landslide recognition. Identification, movement and causes*. John Wiley & Sons.
- El Diario Montañés, P. (s.f.). Hemeroteca Digital.
- El Norte de Castilla, D. (s.f.). Hemeroteca Digital.
- Ferrer, M. y. (1996). *Landslides climatic susceptibility map of Spain*. 8ª Internacional Conference and Field trip on Landslides.
- Ferrer, M. y. (1997). *Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos de España*. Granada: IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas.
- García Rodríguez, M. (2008). *Metodologías para la evaluación de peligrosidad a deslizamientos inducidos por terremotos*. Madrid: Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá, Universidad Politécnica de Madrid.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON Educación.
- Hernando Sandoval, J. (2012). *Guía metodológica para la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- Hervás de Diego, J., & Barredo Cano, J. (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)*. Madrid: V Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables.
- Instituto Geográfico Nacional. (2012). *Cartografía para Sistemas de Información Geográfica - CORINE Land Cover*. Obtenido de Centro de Descargas: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Keller, E. (2007). *Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Madrid: PEARSON Education.

La Vanguardia, P. (s.f.). Hemeroteca Digital.

*Liébana - Picos de Europa.* (s.f.). Obtenido de <http://liebanaypicosdeeuropa.com/>

Llorente, L., & Palacios, E. (2010). *Diseño y desarrollo de un SIG para analizar el riesgo de deslizamientos de laderas en Tenerife ante dos factores detonantes: sísmico y pluvial.* Madrid: Proyecto Fin de Carrera. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía. UPM.

Mapas de Cantabria. (2014). *Visualizador Web de Información Geográfica.* Obtenido de Consejería de Universidades e Investigación, Medio Ambiente y Política Social del Gobierno de Cantabria: <http://mapas.cantabria.es/>

Marcano, A., Cartaya, S., Pacheco, H., & Méndez, W. (2006). *Estimación de pesos ponderados de variables para la generación de mapas de susceptibilidad a través de la Evaluación Espacial Multicriterio (EEM).* Caracas (Venezuela): Departamento de Ciencias de la Tierra. Centro de Investigaciones del Medio Físico Venezolano.

Mateos, R. (2000). *Los movimientos de ladera de la Serra de Tramuntana (Mallorca).* Madrid: Tesis doctoral. Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid.

Montgomery, D. R. (2000). *Forest clearing and regional landsliding.* *Geology* 28:311-314.

Mora, R. (2004). *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica.* Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica.

Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). *Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela.* Caracas (Venezuela): Departamento de Formación General y Ciencias Básicas, Universidad Simón Bolívar, Sede del Litoral, Venezuela.

*Naturaleza y turismo.* (s.f.). Obtenido de <https://www.asturnatura.com/>

Ortuño Abad, L. (2004). *Estabilización de Taludes en Suelo. Curso de Geotecnia para Infraestructuras.* Sevilla: Uriel y Asociados S.A.

Pietersen, K. (2006). *Multiple criteria decision analysis (MCDA): A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa".* Gezina, South Africa: Water Research Commission.

Remondo Tejerina, J. (2001). *Tesis doctoral: Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial.* Universidad de Oviedo. Departamento de Geología.

*Revista Digital del Valle de Liébana en Cantabria (España).* (s.f.). Obtenido de <http://www.valledeliebana.info/>

Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). *An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS.* Roorkee, India: Geotechnical Engineering Division, Central Building Research Institute.

Schuster, R. L. (1988). *Landslides. Analysis and control. 5th printing. Special Rep.* Trans. Research Board. Nat. Academy of Sciences U.S.A.

Schuster, R. L. (1996). *The most 25 catastrophic landslides of the 20th century.* 8ª Int. Conf. and Field trip on Landslides.

Sopeña, L. M. (2000). *Dimensionamiento de las pantallas de contención del deslizamiento de Benamejí (Córdoba).* Barcelona: Procc. Simp. Geotecnia e Infraestr. del Transporte.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico Volumen 1.* Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

- Turner, A. K. (1996). *Landslides. Investigation and mitigation*. Trans. Research Board. Nat. Academy Press. U.S.A.
- Varnes, D. J. (s.f.). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Natural Hazard, 3. UNESCO.
- Van Westen, C., & Soeters R. (1996). *Slope instability recognition, analysis and zonation*. Washington D.C.: Landslides Investigation and Mitigation - Transportation Research Board, National Academy Press.
- Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington D.C.: Transportation and Road Research Board, National Academy of Science.
- WorldClim - Global Climate Data. (1 de June de 2006). *Geospatial and Farming Systems Consortium*. Obtenido de Sustainable Intensification Innovation Lab: <http://worldclim.org/version2>