



Desarrollo de herramientas para prevenir y gestionar los riesgos en la costa ligados al cambio climático

Actividad E.4.3.2: Informe técnico sobre los productos cartográficos generados

Informe del GT4: Herramientas de apoyo a los sistemas de alerta temprana para diferentes tipos de riesgo y modelos de costa

Due date of deliverable: 28/02/2022
Actual submission date: 23/02/2022

Lead contractor for this deliverable: IGME

Autores

Cristina Reyes Carmona, Roberto Sarro, Mónica Martínez Corbellá, Pedro Pinto Santos, Susana Pereira, Jorge Pedro Galve, Miquel Àngel Coll, Juan Antonio Luque, Jose Luis Zezere, Rosa María Mateos

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF)



Índice

1	INTRODUCCIÓN	3
2	METODOLOGÍA	5
2.1	Estimación de llluvias	5
2.2	Inventario de desprendimientos rocosos	5
2.3	Estimación de la vulnerabilidad social	6
2.3.1	Recopilación de información	7
2.3.2	Creación de base de datos en Excel.....	7
2.3.3	Análisis estadístico en SPSS	8
2.3.4	Representación de los datos en mapas	9
2.4	Estimación de exposición: población expuesta.....	9
2.5	Estimación de peligrosidad por desprendimientos rocosos	10
2.5.1	Estimación de probabilidad espacial o susceptibilidad	11
2.5.1	Estimación de probabilidad temporal	12
2.5.1	Recopilación de probabilidad según magnitud	12
2.5	Estimación del riesgo por desprendimientos rocosos.....	13
3	RESULTADOS.....	13
3.1	Estimación de llluvias	13
3.2	Inventario de desprendimientos rocosos	16
3.3	Vulnerabilidad social	20
3.4	Exposición: población expuesta.....	27
3.5	Peligrosidad por desprendimientos rocosos	29
3.6	Riesgo por desprendimientos rocosos.....	34
4	CONCLUSIONES	36
5	REFERENCIAS.....	37

1 INTRODUCCIÓN

La actividad 4.3.2 del este GT4 de RISKCOAST tiene como finalidad presentar un informe sobre los productos cartográficos generados, en este caso, en la zona de estudio SUDOE de la Isla de Mallorca (España). Concretamente, se presentan los resultados en la Serra de Tramuntana, situada al norte de la isla, donde se han focalizado los estudios y análisis realizados durante décadas y durante el proyecto RISKCOAST.

En el GT4 se han desarrollado herramientas informáticas, cartográficas y matemáticas para el apoyo a sistemas de alerta temprana y a la gestión de catástrofes. Estas herramientas estarán basadas en diferentes técnicas innovadoras como la monitorización DInSAR satelital y terrestre, drones, o en simulaciones matemáticas basadas en otro tipo de análisis (estadísticos, espectrales, temporales y espaciales). El resultado ha sido una serie de herramientas de apoyo a los sistemas de alerta temprana para diferentes tipos de riesgo y modelos de costa.

Este informe presenta la **descripción concisa de las metodologías de análisis estadístico, espacial y temporal**, que se han desarrollado durante el GT2 y parte del GT4. Estas metodologías se han centrado en el análisis del **riesgo por desprendimientos rocosos**, ya que es la tipología de riesgo más relevante de en la Serra de Tramuntana. Se han aplicado nuevas metodologías y se han combinado resultados obtenidos de entregables y productos RISKCOAST previos para presentar una serie de **mapas finales del proyecto**, que serán los utilizados en el simulacro participativo de emergencias del GT5 a realizar en la de la Serra de Tramuntana.

Los mapas que se presentan en este informe son los siguientes:

- Mapas de estimación de lluvia en los tres años tipo seco, medio y húmedo: Actividad 4.4.3 del GT4.
- Mapas inventario de desprendimientos rocosos: Actividad 2.1.1 del GT2 actualizada.

- Mapas de vulnerabilidad social: nuevos resultados en colaboración con los socios RISKCOAST del IGOT (Actividad 2.2.1 del GT2).
- Mapas de población expuesta censada y flotante según las temporadas turísticas: Actividad 2.2.2 del GT2 actualizada.
- Mapas de peligrosidad por desprendimientos rocosos, incluyendo los tres mapas de probabilidad previos necesarios para su obtención: nuevos resultados.
- Mapas de riesgo por desprendimientos rocosos: nuevos resultados.

Todos estos mapas se presentan a escala de sección censal en los trece municipios de la Serra de Tramuntana (Figura 1). El número total de secciones censales es de 59 y se distribuyen de la siguiente forma: 5 en Andratx, 26 en Calvià, 1 en Puigpunyent, 1 en Estellencs, 1 en Banyalbufar, 2 en Esporles, 1 en Valldemossa, 3 en Bunyola, 1 en Deià, 10 en Sóller, 1 en Fornalutx, 1 en Escorca y 9 Pollença.

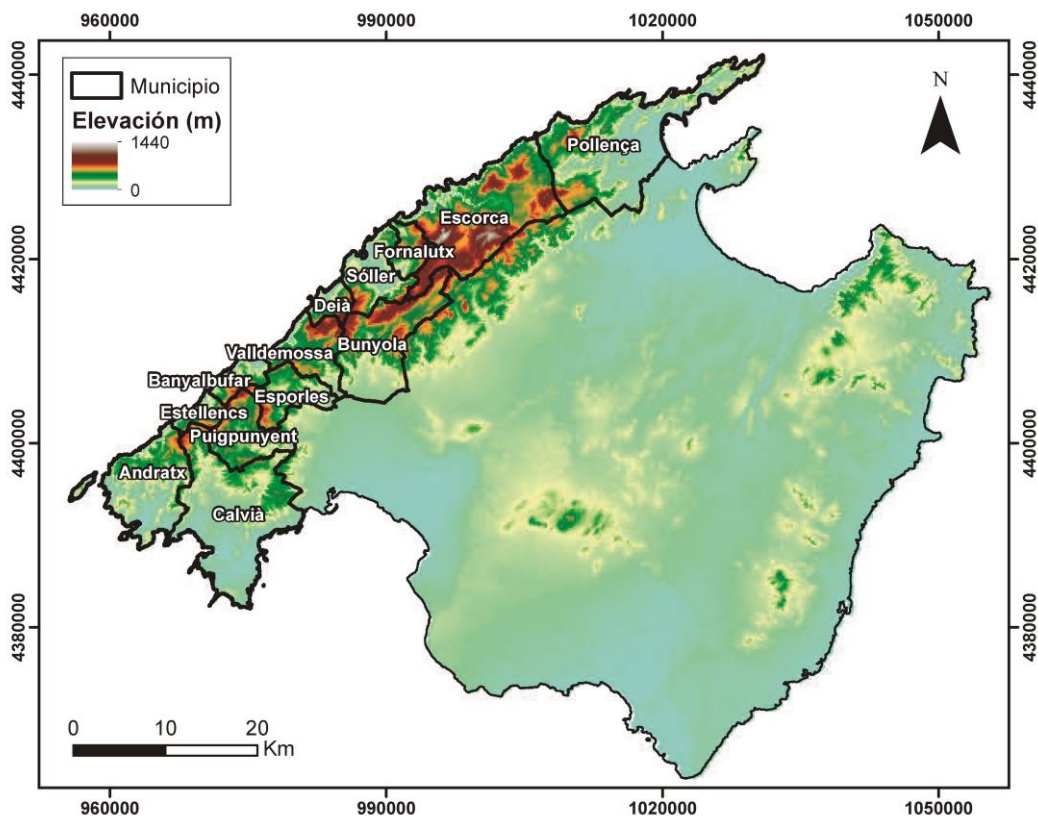


Figura 1. Municipios de la Serra de Tramuntana de la isla de Mallorca

2 METODOLOGÍA

2.1 Estimación de lluvias

Esta estimación se ha realizado mediante un análisis espectral, que es la identificación de patrones que rigen las oscilaciones (ciclos) presentes en una serie temporal. Estos resultados se han obtenido y desarrollado en la Actividad 4.4.3. Mediante técnicas estadísticas se han encontrado estos componentes cíclicos utilizando series temporales históricas (últimos 20 años) de precipitaciones, registros piezométricos, caudales de manantiales y caudales superficiales. Asimismo, se ha realizado un análisis espacio-temporal del comportamiento de las lluvias en toda la isla de Mallorca. La estimación espacial se ha realizado con tres tipos de años: años tipo medio, húmedo y seco.

En este informe, se presentan tres mapas ráster (resolución 10 m) de estos tres años tipo, que muestran la precipitación media anual en milímetros y su distribución espacial en toda la isla de Mallorca.

2.2 Inventario de desprendimientos rocosos

Este inventario registra los desprendimientos rocosos ocurridos en la Serra de Tramuntana con información referida a localización, fecha del evento, material, daños, tamaño y volumen de material movilizado. Esta recopilación se ha elaborado a partir de:

- Inventario de la tesis doctoral de Mateos (2001).
- Revisión bibliográfica realizada por Mateos (2001).
- Observación y descripción de eventos en campo desde el año 2008 hasta 2017, realizada en la tesis doctoral de García-Moreno (2017).
- Incidencias registradas en la red de carreteras de la Serra de Tramuntana, facilitada por la Dirección Insular de Carreteras del Consell, desde 2006 hasta el 2010, incluidas en la tesis doctoral de García-Moreno (2017).
- Incidencias registradas en la Serra de Tramuntana, facilitada por la Dirección Insular de Carreteras del Consell, desde 2015 hasta la actualidad, inventariados por primera vez en el informe 2.1.1

- Incidencias registradas en la Serra de Tramuntana, facilitada por la Dirección General de Emergencias e Interior en 2020, inventariados por primera vez en el presente informe.

En este informe, el inventario de eventos se representa espacialmente en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de varios mapas que muestra la distribución espacial de los desprendimientos rocosos registrados. Estos mapas son los siguientes:

- Mapa de eventos totales registrados.
- Mapa de eventos datados, con registro de fecha de ocurrencia.
- Mapa eventos con registro de magnitud, en volumen (m³). En este mapa se presentan los eventos en 5 categorías de magnitud, siguiendo una clasificación de intervalos geométricos. Esta clasificación garantiza que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea coherente. Estos intervalos son, en m³: 1-3, 4-30, 30-600, 600-10000 y 10000-200000.

2.3 Estimación de la vulnerabilidad social

Para la estimación de la vulnerabilidad social, se ha utilizado la metodología desarrollada en Mendes et al. (2019). Estos autores definen la vulnerabilidad social desde una perspectiva de dos componentes: criticidad y capacidad de soporte. La criticidad agrupa el conjunto de características intrínsecas de la población de un territorio, tales como demografía, estudios, empleo y hogares, entre otras variables. La capacidad de soporte se refiere al conjunto de infraestructuras públicas y privadas, instalaciones, servicios y redes de comunicaciones que dan soporte a la población del territorio en cuestión. Esta visión integrada contribuye a respuesta más efectiva y asertiva para adoptar medidas de protección hacia grupos sociales a priori más vulnerables. Asimismo, refuerza la capacidad de resiliencia ante la ocurrencia de un proceso peligroso, ya que considera los medios disponibles de un territorio para acoger a la población de éste.

Así, ha sido posible obtener qué zonas de la Serra de Tramuntana son de mayor criticidad y a priori, grupos sociales más vulnerables a los que hay que prestar especial o mayor atención ante una situación de emergencia. Estos grupos suelen ser personas ancianas, niños, personas analfabetas o personas sin empleo. De la misma forma, ha sido posible obtener las zonas con una capacidad de soporte baja, es decir, aquellos territorios en los que hay infraestructuras y servicios escasos para atender a la población. Mediante el producto de criticidad y capacidad de soporte, se obtiene la vulnerabilidad social de la siguiente forma:

$$\text{Vulnerabilidad Social (VS)} = \text{Criticidad} * (1 - \text{Capacidad de Soporte})$$

Los pasos a seguir para el cálculo de la vulnerabilidad social han sido los siguientes:

2.3.1. Recopilación de información

El primer paso fue recopilar toda la información estadística necesaria para el análisis. La información estadística referente a la población para el cálculo de criticidad se ha obtenido del censo de 2011 del Instituto Nacional de Estadística, INE (<https://www.ine.es/>) y del Institut d'Estadística de les Illes Balears, IBESTAT (<https://ibestat.caib.es/ibestat/inici>). La información espacial para el cálculo de la capacidad de soporte se ha obtenido de la base de datos online Geofabrik (<https://download.geofabrik.de/europe/spain.html>). Toda la información se ha recopilado a escala de sección censal, siendo un total de 59 secciones en los 13 municipios de la Tramuntana.

2.3.2. Creación de base de datos Excel

A continuación, se agruparon todos los datos en distintas variables en dos Excels (Figura 1): uno para criticidad y otro para capacidad de soporte. Se recopilaron 34 variables (unidades: en % con respecto a la población total) para criticidad y 15 variables (unidades: distancia mínima, número de instalaciones en un radio de 5 km o densidad) para capacidad de soporte.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		vw_prop	vw_are	vw_pin	vw_sec	vw_vac	vw_5h	vw_1ga	vw_2ga	vw_25ga	ed_acc	ed_sot	ed_sgal	ed_gas	ed_sgal	ed_sgot	ed_gas	ed_nun	ed_mal	ed_det	ed_buen	pop_an
2	070050001	57.39	0.00	77.73	17.23	6.46	50.42	89.00	4.00	7.00	3.44	3.97	70.90	4.10	91.01	8.86	17.86	0.40	159	6.82	82.20	3.71
3	070050002	55.44	0.00	74.07	16.52	6.00	60.00	75.00	7.74	8.96	44.12	4.44	69.92	80.26	95.97	4.10	22.97	0.46	194	3.73	80.97	2.47
4	070050003	50.26	18.74	80.43	9.13	10.87	54.78	93.55	6.45	0.00	31.96	1.11	69.99	0.47	92.88	7.12	13.61	0.16	0.63	4.81	94.30	2.14
5	070050004	16.88	17.68	36.47	34.39	28.24	16.29	59.27	38.04	2.39	14.95	6.85	70.95	1.03	96.14	3.86	49.21	0.00	0.27	1.74	97.99	0.00
6	070050005	22.72	0.00	43.68	31.77	24.91	0.00	97.97	1.94	0.49	2.23	0.94	66.21	0.00	94.07	6.93	31.64	0.12	0.94	6.53	93.40	0.00
7	070070001	29.32	0.00	50.49	39.81	8.71	26.24	100.00	0.00	0.00	5.98	0.45	93.26	2.23	72.54	27.46	20.31	0.67	2.90	10.62	62.81	0.00
8	070070002	45.81	0.00	60.63	27.19	11.98	50.69	42.25	50.70	7.04	34.00	0.36	90.85	6.34	84.64	25.24	30.96	0.73	2.18	5.20	91.90	2.22
9	070070003	70.99	0.00	89.84	10.73	1.15	74.99	70.27	19.37	10.36	97.65	29.90	99.02	0.37	99.63	0.37	84.91	0.74	0.32	0.74	99.39	0.00
10	070090001	54.88	0.00	72.44	22.44	5.12	51.19	28.84	34.71	36.45	97.75	6.81	93.87	1.23	62.21	56.65	67.31	0.20	0.72	3.88	96.40	0.00
11	070100001	56.96	0.00	92.07	0.00	7.62	0.00	95.77	2.35	1.08	16.64	0.96	49.22	1.40	99.72	0.29	29.81	0.00	0.56	1.12	96.32	1.81
12	070100002	54.43	0.00	77.22	22.78	0.00	0.00	97.80	2.20	0.00	44.26	0.43	69.76	2.95	92.33	7.87	20.85	1.91	0.64	4.68	92.77	0.00
13	070100003	34.69	0.00	41.56	33.77	24.03	0.00	65.10	28.53	5.37	26.99	0.69	45.50	0.66	70.80	28.19	30.22	0.17	1.87	4.59	93.39	0.00
14	070100004	43.17	0.00	53.89	23.02	13.90	50.40	45.05	54.40	0.85	38.30	16.63	65.71	27.21	98.32	0.69	81.63	0.00	0.00	1.69	93.32	0.00
15	070100005	29.75	16.44	52.95	24.23	23.31	33.44	43.97	54.09	1.94	97.19	3.12	92.36	16.07	99.53	0.47	87.05	0.00	0.16	1.40	98.44	0.65
16	070100006	29.19	0.00	47.23	49.21	4.56	0.00	70.95	28.67	1.17	99.80	5.52	62.41	3.07	99.80	0.20	95.71	0.20	0.00	0.61	98.19	0.00
17	070100007	25.69	0.00	40.19	44.50	16.07	0.00	48.20	51.72	0.00	95.19	41.25	59.85	21.85	99.60	1.82	90.77	0.00	0.00	2.89	97.12	0.00
18	070100008	26.64	0.00	49.16	36.71	15.13	0.00	71.43	25.71	2.86	95.37	15.74	41.67	6.48	100.00	0.00	95.56	0.00	0.93	3.70	95.37	0.00
19	070100009	28.41	20.40	53.95	25.44	21.41	24.39	59.60	32.33	7.07	89.29	11.30	52.38	24.21	90.08	9.92	53.97	0.00	0.40	6.35	93.25	0.00
20	070100010	26.62	0.00	47.27	41.45	11.27	0.00	62.96	22.22	14.61	91.53	23.99	35.40	6.96	100.00	0.00	40.71	0.96	0.00	1.77	97.29	0.00
21	070100011	49.58	0.00	55.91	28.84	15.35	0.00	100.00	0.00	0.00	22.47	13.48	14.81	5.62	97.75	2.25	16.85	0.00	0.00	11.24	98.78	0.00
22	070100012	76.40	0.00	89.67	4.23	5.62	69.01	100.00	0.00	0.00	68.69	46.48	26.26	21.21	100.00	0.00	49.40	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
23	070100013	39.95	0.00	44.67	44.91	10.42	0.00	93.93	32.96	7.91	76.95	11.95	52.94	6.93	99.75	0.25	93.90	0.25	0.00	1.27	95.48	0.00
24	070100014	82.18	0.00	89.70	3.84	6.67	55.15	92.22	7.78	0.00	77.83	6.96	23.04	1.74	100.00	0.00	41.00	0.00	0.67	0.00	93.13	0.48
25	070100015	84.44	0.00	93.16	2.14	4.70	56.94	52.94	41.89	5.88	12.08	3.38	48.86	2.90	99.03	0.97	31.40	0.00	0.00	0.97	99.03	1.38
26	070100016	63.79	0.00	90.95	33.33	8.07	34.74	53.00	9.98	0.92	84.54	1.60	61.26	19.21	99.95	0.95	34.64	0.00	0.29	1.76	97.96	0.98
27	070100017	94.47	0.00	95.93	4.07	0.00	0.00	78.95	16.42	2.83	16.11	0.45	66.00	30.87	90.16	7.16	13.42	0.22	0.45	1.57	97.76	0.00
28	070100018	91.25	0.00	90.94	6.08	3.30	0.00	100.00	0.00	0.00	90.35	0.00	90.33	6.42	99.09	0.92	52.29	0.00	1.63	1.63	96.33	1.98
29	070100019	21.46	12.44	34.35	32.11	33.54	6.71	92.50	5.00	2.50	5.97	30.60	39.55	3.73	100.00	0.00	40.30	0.00	0.00	3.70	90.30	1.73
30	070100020	37.51	17.13	60.77	34.25	4.97	32.32	59.09	4.95	36.36	69.64	20.12	48.11	60.89	97.04	2.37	67.46	0.59	0.00	2.96	96.45	1.15
31	070100021	36.57	0.00	39.94	50.76	2.30	22.12	97.96	1.73	0.31	84.20	0.35	96.80	52.89	99.67	0.43	94.29	0.17	0.60	0.62	96.71	0.00
32	070100022	29.13	0.00	38.59	54.08	7.61	0.00	88.89	8.33	2.78	49.23	3.85	95.38	3.68	97.69	2.51	73.85	0.00	1.54	0.77	97.63	0.00
33	070100023	32.19	0.00	34.99	40.98	24.59	0.00	98.44	1.96	0.00	17.53	2.08	93.54	42.32	99.54	0.46	32.53	0.23	0.35	0.92	98.50	0.00
34	070100024	20.08	0.00	29.22	64.71	6.08	0.00	100.00	0.00	0.00	18.38	6.11	49.90	10.76	94.62	9.59	10.27	0.00	1.71	5.07	93.22	0.00
35	070100025	51.83	0.00	57.21	31.73	11.54	0.00	95.50	4.50	0.00	27.43	3.82	47.22	3.13	100.00	0.00	43.75	0.69	0.69	4.51	94.10	0.00
36	070100026	21.10	0.00	43.16	63.42	2.74	21.23	99.91	10.09	0.00	20.39	0.34	43.66	1.01	79.03	20.97	19.13	0.00	0.50	3.52	95.97	0.00
37	070100027	0.00	0.00	54.29	22.96	22.96	0.00	100.00	0.00	0.00	4.23	1.26	14.06	4.23	12.16	97.84	12.94	0.00	0.00	4.06	95.96	0.00

Figura 1. Base de datos creada en Excel.

2.3.3. Análisis estadístico en SPSS

Los archivos de Excel se introducen en el software de tratamiento estadístico SPSS (<https://www.ibm.com/es-es/analitics/spss-statistics-software>). En este software, se realiza un Análisis de Componentes Principales (PCA). Este análisis agrupa las variables mediante matrices de correlación en diferentes Componentes Principales (también se denominan FACs). Se deben obtener 3 o 4 FACs para poder calcular la criticidad y la capacidad de soporte.

Realizando múltiples PCAs, se van eliminando las variables con valores más bajos en las matrices de correlación (Figura 2) ya que, a valores más bajos, menos fiable o menos información aporta una variable. Así, para calcular la criticidad se redujo de 34 a 10 variables y se obtuvieron 3 FACs. Para la capacidad de soporte, se redujo de 15 a 9 variables y se obtuvieron 3 FACs. Cabe destacar que las FACs deben agrupar variables de las mismas temáticas para que sean válidas y se les atribuye una etiqueta según la temática. Mediante la suma de las 3 FACs, se obtienen tanto criticidad como capacidad de soporte y una vez calculadas estas, se obtiene la vulnerabilidad social.

Lo más destacable de este análisis es que ofrece la posibilidad de interpretar el cómo y el por qué se correlacionan unas variables con otras, siendo posible entender con gran detalle dinámicas y características, tanto de la población como de las infraestructuras de cada sección censal de la Serra de Tramuntana.

Matriz de componente rotado ^a			
	Componente		
	1	2	3
Puntuación Z(pob_sn)	,778	-,326	-,021
Puntuación Z(pob_pr)	,718	-,182	-,042
Puntuación Z(pob_65)	,622	-,253	-,301
Puntuación Z(pob_fem)	,478	,353	,408
Puntuación Z(ed_asc)	-,245	,721	,054
Puntuación Z(ed_acc)	-,060	,709	,233
Puntuación Z(pob_ex)	-,421	,630	,056
Puntuación Z(pob_emp)	,011	,139	,768
Puntuación Z(ed_def)	,083	-,242	-,724
Puntuación Z(hog_5p)	-,472	-,303	,644

Matriz de componente rotado ^a			
	Componente		
	1	2	3
Puntuación Z(dmin_ese)	,925	-,144	,010
Puntuación Z(dmin_farm)	,882	-,149	-,145
Puntuación Z(dmin_cs)	,810	,242	-,175
Puntuación Z(temp_5km)	-,010	,824	,232
Puntuación Z(nh_5km)	-,362	,740	,007
Puntuación Z(dmin_hos)	,435	,694	-,072
Puntuación Z(npol_5km)	-,108	,083	-,908
Puntuación Z(ngas_5km)	-,284	,457	,737
Puntuación Z(den_carr)	-,477	,115	,641

Figura 2. Matriz de componente rotado para criticidad (izquierda) y capacidad de soporte (derecha). Los coeficientes y los signos indican cómo es la correlación entre unas variables y otras en las distintas Componentes Principales.

2.3.4. Representación de los datos en mapas

Una vez obtenidas todas las FACs, criticidad, capacidad de soporte y vulnerabilidad social, se representan espacialmente en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de mapas. En todos los mapas que se presentan, se han establecido las categorías en intervalos según de la Desviación Estándar (SD) de los datos. Así, las categorías son: muy baja (<-1.5 SD), baja (-1.5 a -0.5 SD), moderada (-0.5 a 0.5 SD), alta (0.5 a 1.5 SD) y muy alta (>1.5 SD).

2.4 Estimación de exposición: población expuesta

El cálculo de exposición se refiere a los elementos expuestos a los desprendimientos de roca. Para el caso de estudio de la Serra de Tramuntana, se ha considerado solo la población expuesta como un número de habitantes.

La novedad que se incluye en este cálculo es que se considera, no solo la población censada (permanente), sino también la población flotante asociada al turismo. Por tanto, se han obtenido tres escenarios de población expuesta según las tres temporadas turísticas existentes: baja (noviembre, diciembre, enero y febrero), media (marzo, abril, mayo y octubre) y alta (junio, julio, agosto y septiembre). Este importante matiz ya se desarrolló y aplicó en la Actividad 2.2.2 del GT2. En este informe, se presentó la población expuesta a escala municipal, con los 13 municipios de la Serra de Tramuntana. Para cada temporada turística,

consideró la población total expuesta como la población censada (obtenida del censo de 2011 del INE) sumada a la población flotante. La población flotante se estimó del número total de alojamientos turísticos multiplicado por el grado de ocupación en cada temporada, basados en la tesis doctoral de Coll (2016).

Partiendo de esta información, en el presente informe se ha realizado una nueva estimación de la población expuesta a una escala de mayor detalle: en secciones censales. Se han tomado los datos de población flotante considerados a escala municipal para realizar posteriormente un reparto equitativo en proporción a la población censada de cada sección censal. Por último, se representan espacialmente los mapas de población expuesta mediante un SIG. Los datos se muestran normalizados de 0 a 1, siendo 0 la ocupación mínima y 1 la máxima. Las categorías de población expuesta se han establecido en los siguientes intervalos equitativos: Muy baja (0 a 0.20), baja (0.20 a 0.40), moderada (0.40 a 0.60), alta (0.60 a 0.80) y muy alta (0.80 a 1).

2.5 Estimación de peligrosidad por desprendimientos rocosos

La peligrosidad (H, de “Hazard” en inglés) viene dada por la siguiente ecuación:

$$H = P(E) * P(T) * P(M)$$

Siendo:

P(E) la Probabilidad (P) Espacial (E) de desprendimientos de roca.

P(T) la Probabilidad (P) Temporal (T) desprendimientos de roca.

P(M) la Probabilidad (P) de ocurrencia de un desprendimiento de roca de una determinada magnitud (M).

Para el caso de estudio de la Serra de Tramuntana, se describe a continuación cómo se han obtenido las tres probabilidades para el cálculo de la peligrosidad. Una vez obtenidas, se multiplican según la ecuación descrita previamente.

Finalmente, se representa el mapa de peligrosidad por desprendimientos rocosos mediante un GIS en valores normalizados de 0 (peligrosidad mínima) a 1 (peligrosidad máxima). Se han estableciendo 5 categorías de peligrosidad, siguiendo una clasificación de intervalos geométricos. Esta clasificación garantiza que cada categoría tenga aproximadamente el mismo número de

valores en cada una, y que el cambio entre categorías sea coherente. Estos intervalos son: muy baja (0), baja (0-0.007), moderada (0.007-0.20), alta (0.20-0.32) y muy alta (0.32-1).

2.5.1. Estimación de probabilidad espacial o susceptibilidad

Para el cálculo de probabilidad espacial o susceptibilidad, se ha utilizado un ráster de posibles trayectorias o de trayectorias simuladas de desprendimientos rocosos. Este ráster se ha obtenido mediante el software STONE (Guzzetti et al. 2002).

El software STONE requiere de 5 archivos de entrada (en formato .tif) para realizar la simulación de trayectorias. Para el caso de la Serra de Tramuntana, estos archivos han sido:

- Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de 10 m de resolución, obtenido del centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>).
- Áreas fuente de desprendimientos, obtenidas a partir del DEM anterior. Se han considerado como áreas fuentes aquellas zonas (i.e. píxeles del DEM) con pendiente mayor a 35°. También se han considerado todas las zonas incluidas en el Dominio Público Marino Terrestre (DPMT) y los 100 metros de la Servidumbre de Protección del Dominio Privado.
- Tres coeficientes internos de las rocas obtenidos del mapa geotécnico de la Serra de Tramuntana (Mateos et al. 2016): coeficientes de fricción, normal y tangencial. Estos coeficientes, basado en la resistencia a compresión simple de los materiales, clasifican la dureza del terreno en cinco categorías: rocas duras, rocas moderadamente duras, rocas blandas, suelos blandos, y suelos muy blandos. Para este análisis, se han tenido en cuenta solo aquellas zonas en las que hay rocas duras o moderadamente duras.

Una vez obtenido el ráster de trayectorias, se propone la siguiente ecuación para el cálculo de susceptibilidad:

*Susceptibilidad = número medio de trayectorias * área susceptible de desprendimientos*

En un entorno SIG, se calcula el número medio de trayectorias y el área susceptible de desprendimientos. Una vez obtenidos, se multiplican para obtener la susceptibilidad de desprendimientos de roca en cada sección censal.

Por último, se representa espacialmente el mapa de probabilidad espacial o susceptibilidad en valores normalizados y clasificados según la desviación estándar de los datos en las siguientes categorías: baja (<-0.5 SD), moderada (0.5 a 0.5 SD), alta (0.5 a 1.5 SD) y muy alta (>1.5 SD).

2.5.2. Estimación de probabilidad temporal

Para el cálculo de la probabilidad temporal, se ha obtenido el número de eventos (362 eventos) ocurridos entre los años 2005 y 2020 (16 años) en cada sección censal y se ha dividido por el área (en km²), obteniendo así una densidad de desprendimientos rocosos. Posteriormente, se ha dividido esta densidad entre 16, para obtener una densidad anual en ese intervalo de tiempo. Así, la ecuación propuesta sería:

$$Probabilidad\ temporal = [(número\ de\ eventos / área) / 16]$$

Finalmente, en un entorno SIG se representa espacialmente el mapa de probabilidad temporal en valores normalizados y clasificados según la desviación estándar de los datos en las siguientes categorías: baja (<-0.5 SD), moderada (0.5 a 0.5 SD), alta (0.5 a 1.5 SD) y muy alta (>1.5 SD).

2.5.3. Estimación de probabilidad según la magnitud

Para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de desprendimientos según la magnitud, se han seleccionado aquellos eventos de un volumen mayor a 600 m³, siendo 200000 m³ el volumen máximo registrado. Estos son 18 de los 162 eventos con registro de magnitud. Se ha considerado este rango para destacar los eventos de mayor magnitud del total registrado. Así, se ha obtenido el

número de eventos dentro de este rango en cada sección censal según las siguientes categorías: baja (1 evento), moderada (2 eventos) y alta (3 eventos). Finalmente, se representa el mapa en un GIS con estos valores normalizados de 0 (probabilidad mínima) a 1 (probabilidad máxima).

2.6 Estimación del riesgo por desprendimientos rocosos

El Riesgo (R) por desprendimientos de roca se calcula según la siguiente ecuación:

$$R = VS * H * E$$

Siendo:

VS la Vulnerabilidad Social (apartado 2.1)

H la Peligrosidad (apartado 2.2)

E la Exposición o Elementos Expuestos (apartado 2.3)

Ya que existen tres escenarios de población expuesta según las tres temporadas turísticas, también se han obtenido tres escenarios de riesgo según estas temporadas. Mediante un GIS, estos datos se representan espacialmente en mapas, clasificados según la desviación estándar de los datos en las siguientes categorías de riesgo: bajo (<-0.5 SD), moderado (0.5 a 0.5 SD), alto (0.5 a 1.5 SD) y muy alto (>1.5 SD).

3 RESULTADOS

3.1 Estimación de lluvias

Los mapas de la estimación de precipitación media anual en la isla de Mallorca se muestran en las Figuras 2, 3 y 4 para los años de tipo seco, medio y húmedo, respectivamente.

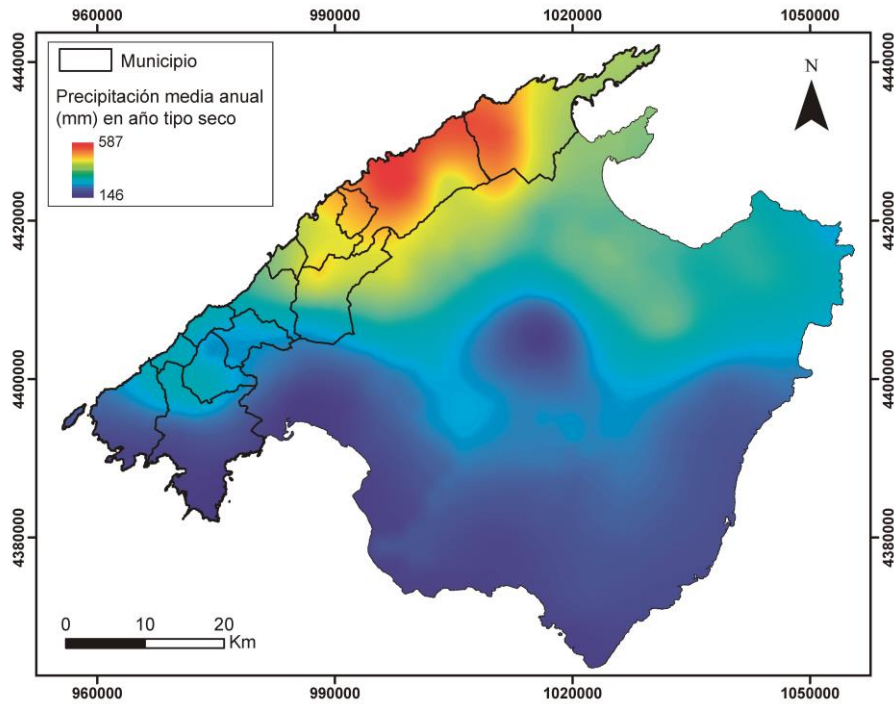


Figura 2. Mapa de la estimación de precipitación media anual (en mm) en la isla de Mallorca en año de tipo seco.

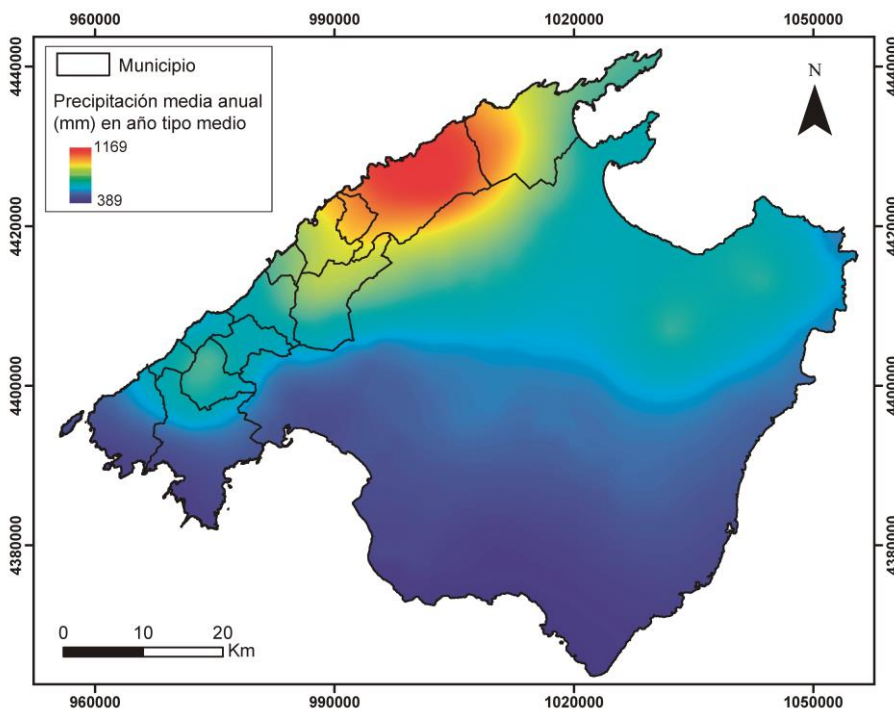


Figura 3. Mapa de la estimación de precipitación media anual (en mm) en la isla de Mallorca en año de tipo medio.

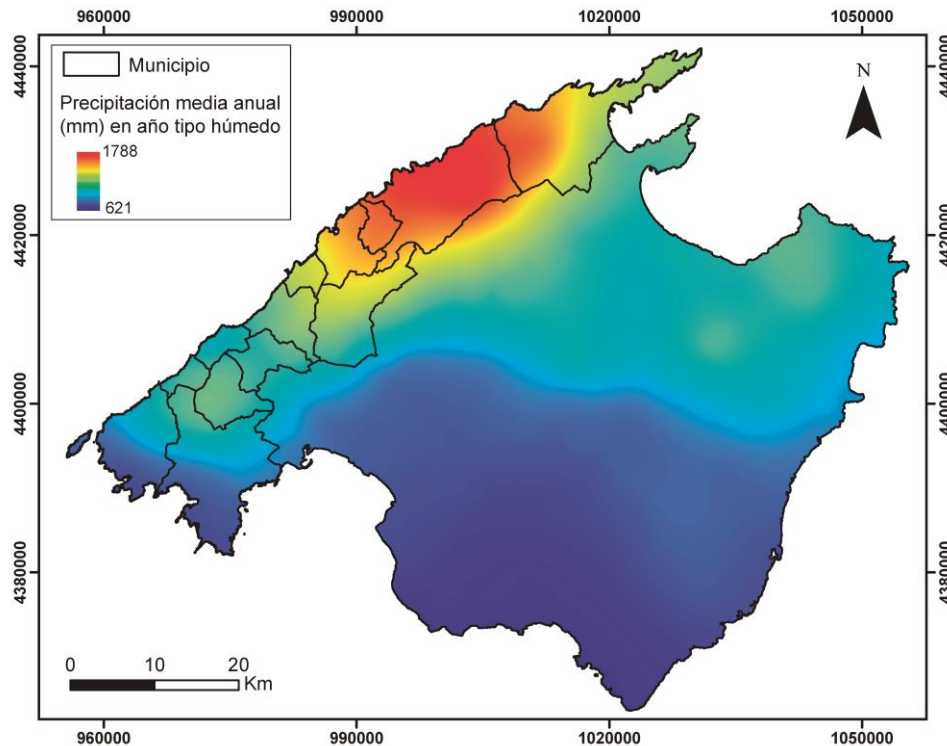


Figura 4. Mapa de la estimación de precipitación media anual (en mm) en la isla de Mallorca en año de tipo húmedo.

Los municipios de Fornalutx y Escorca, en el corazón de la Serra de Tramuntana, son los más lluviosos en los tres tipos de año. Nótese que los valores de precipitación máxima y mínima varía según el tipo de año del que se trate, aunque los gradientes de color de los mapas sean los mismos. La precipitación máxima estimada en estos municipios es de 587 mm en año seco (Figura 2), 1169 mm en año medio (Figura 3) y 1788 mm en año húmedo (Figura 4). Seguidamente, otras zonas lluviosas son el sector oriental del municipio de Sóller, el sector norte del municipio de Bunyola, el sector occidental del municipio de Pollença y el municipio de Deià.

El resto de municipios son los menos lluviosos, especialmente los municipios de Calvià y Andratx. La precipitación mínima estimada es de 146 mm en año seco (Figura 2), 389 mm en año medio (Figura 3) y 621 mm en año húmedo (Figura 4).

En la Figura 5, se presenta un gráfico de barras con la precipitación media anual (en mm) para cada municipio y para cada uno de los tres años tipo, considerando la mejor apreciación de los datos. Se observan claramente la gran variación que existe de la precipitación media dependiendo del año tipo del que se trate. En orden descendente, Escorca, Fornalutx, Sóller, Pollença, Deià y Bunyola superan los 1600 mm en año húmedo.

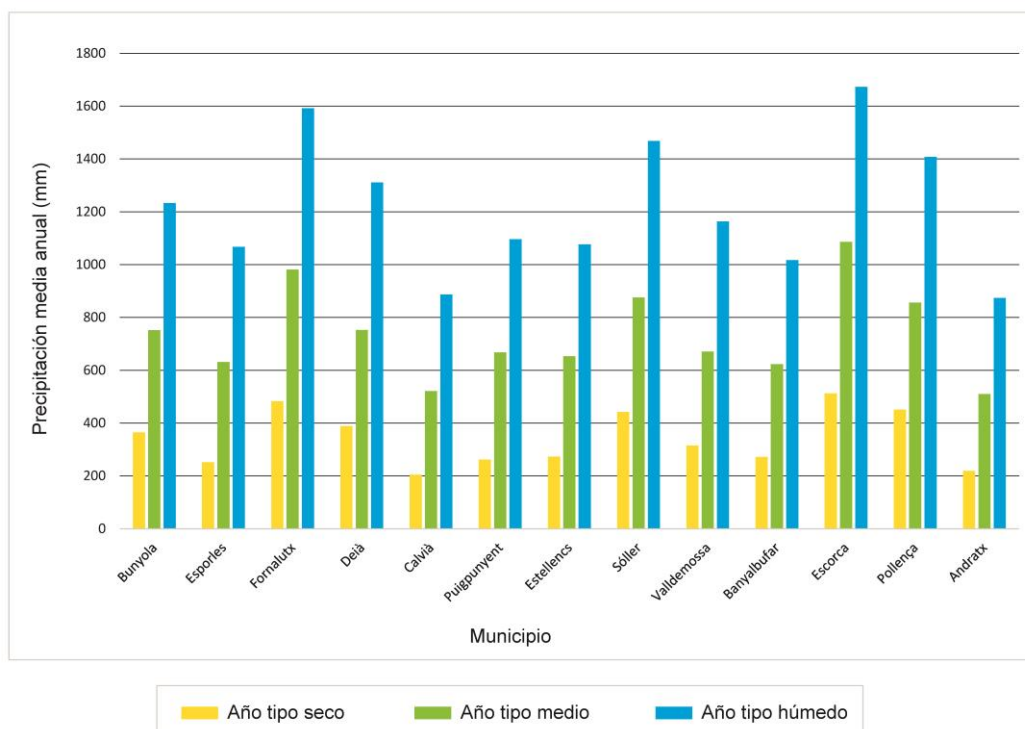


Figura 5. Gráfico de barras que muestra la precipitación media anual (en mm) de cada municipio de la Serra de Tramuntana en los tres años tipo: seco, medio y húmedo.

3.2 Inventario de desprendimientos rocosos

El inventario de desprendimientos de roca en la Serra de Tramuntana se muestra en la Figura 6. El número total de eventos registrados es de 832 y se distribuyen fundamentalmente en la franja costera. Los municipios con mayor número de eventos registrados son Calvià (184), Andratx (160) y Pollença (104), seguidos de Banyalbufar (78), Valldemossa (73) y Escorca (63).

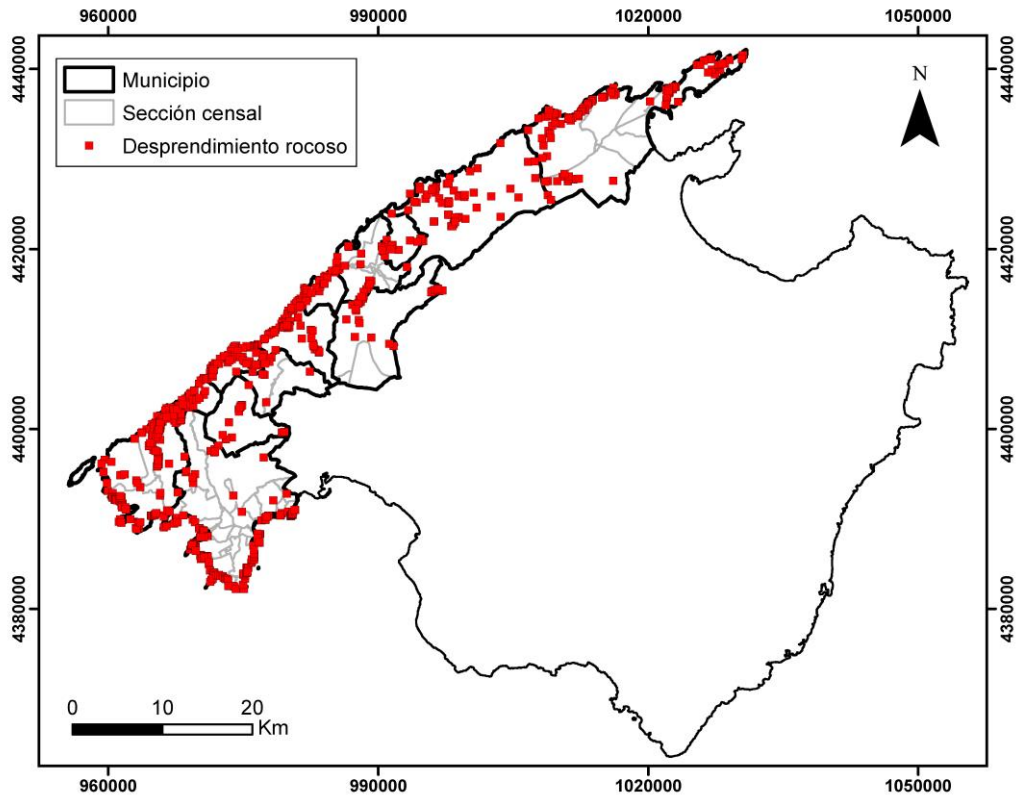


Figura 6. Inventario de desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana.

De los eventos registrados, se dispone de fecha de registro o están datados 364, lo que supone un 43.75% del total (Figura 7).

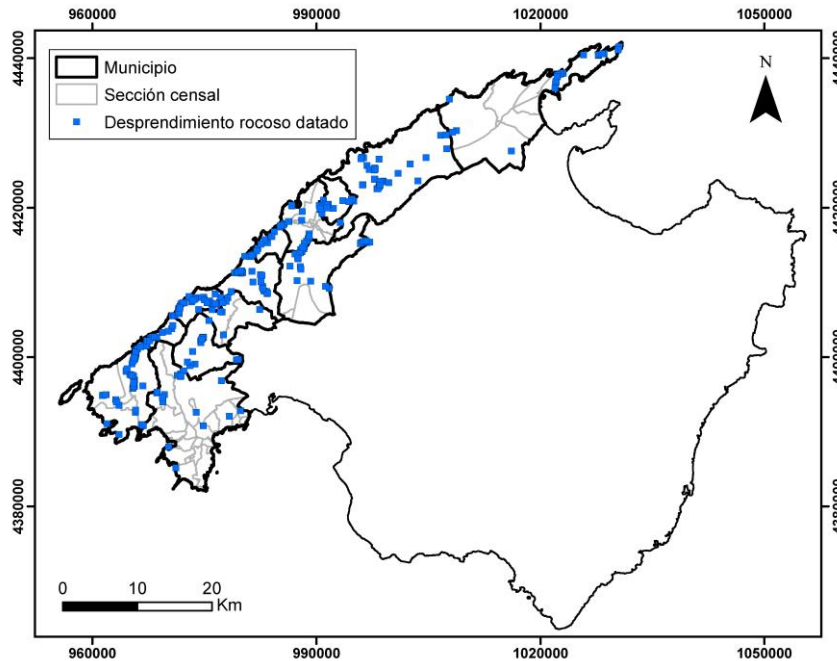


Figura 7. Inventario de desprendimientos rocosos con registro de fecha en la Serra de Tramuntana.

El primer evento registrado es de 1857 y son solo 5 eventos los registrados durante el siglo XX (Figura 8). No es hasta el siglo XXI, concretamente, a partir de 2005, cuando aumenta la cantidad de eventos registrados (Figura 8). Ello es debido a los trabajos de investigación de Mateos (2001) y García_Moreno (2017) que se inician con el siglo XXI. Es importante considerar que existe un posible sesgo de información en los primeros años del siglo XXI (Figura X). En estos casos, el menor número de eventos registrados en comparación con el número de eventos de 2014 hasta 2020 puede deberse a que, a partir de 2014 se cuenta con el inventario de la Dirección Gnal. de Carreteras del Consell, lo que incrementa el número de registros. También existen un gran número de eventos que han sido registrados mediante ortofotografía o evidencias de campo, siendo imposible conocer la fecha de ocurrencia

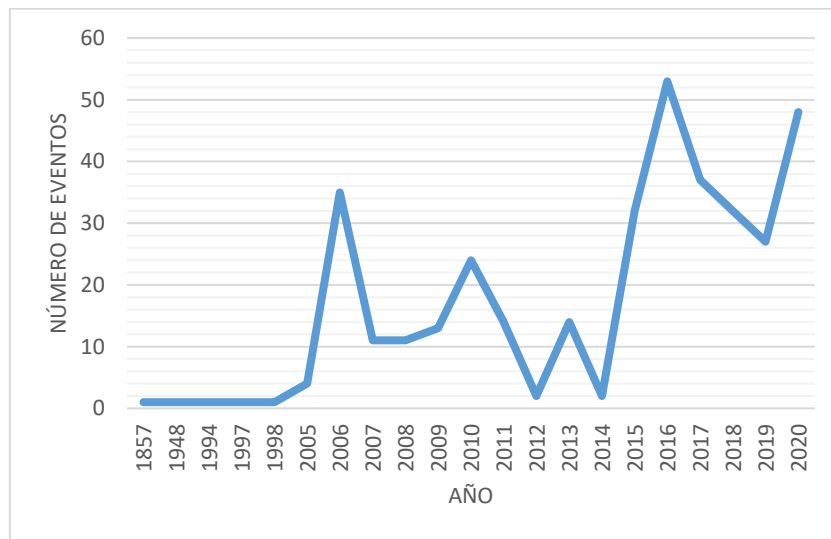


Figura 8. Gráfica que muestra el número anual de eventos de desprendimientos rocosos datados en la Serra de Tramuntana durante el periodo 1857-2020.

De la misma forma, tan solo está registrado la magnitud en volumen ($> 1 \text{ m}^3$) de 162 eventos, representando un 19.47% del total (Figura 9). En el norte del municipio de Andratx, existen un gran número de eventos registrados, aunque no de gran magnitud ($1\text{-}3 \text{ m}^3$), así como en los municipios de Estellencs y Banyalbufar. Los eventos de mayor magnitud ($> 600 \text{ m}^3$) se encuentran en los municipios de Valldemossa, Deià, Bunyola, Fornalutx y Escorca, junto con el evento registrado en el sector occidental del municipio de Pollença (en Cap Formentor).

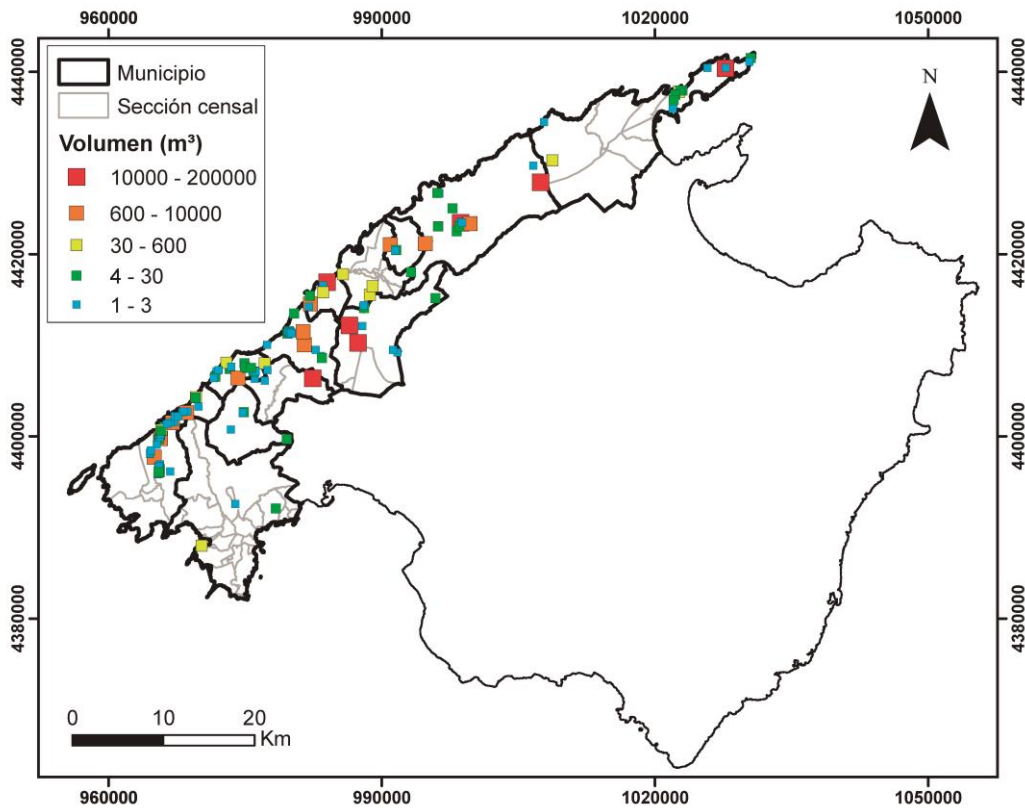


Figura 9. Inventario de desprendimientos rocosos con registro de magnitud, clasificados por volumen (m^3) en la Serra de Tramuntana.

Cabe destacar la variabilidad espacial de los eventos al considerar los de fecha o magnitud conocida ya que, por ejemplo, esta información no está registrada en la mayor parte de los eventos de los municipios de mayor incidencia de desprendimientos rocosos. Así, de los 148 eventos de Calvià, solo 18 están datados y tan solo 2 tienen magnitud conocida. Algo similar ocurre en Pollença, con 27 eventos datados y 16 de magnitud conocida. También en Andratx, de un total de 160 eventos registrados, están datados 84 y se conoce la magnitud de 50. Esto influirá claramente en la calidad de los resultados que se obtengan de peligrosidad por desprendimientos rocosos.

3.3 Vulnerabilidad social

Las 10 variables utilizadas para criticidad han sido:

- % población sin estudios
- % población con estudios de primer grado (hasta 12 años)
- % población mayor de 65 años
- % población femenina
- % población extranjera
- % población empleada
- % edificios con ascensor
- % edificios accesibles (rampas para minusválidos)
- % edificios deficientes (de calidad o en estado deficiente)
- % hogares de 5 o más personas (familias numerosas)

Las 3 FACS (Figura 10) generadas han sido:

- FAC1: Educación y edad. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - % población sin estudios
 - % población con estudios de primer grado
 - % población mayor de 65 años
 - % población femenina
 - % población extranjera
 - % hogares de 5 o más personas
- FAC2: Condiciones de alojamiento. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - % edificios con ascensor
 - % edificios accesibles
 - % población extranjera

- FAC3: Empleo y hogares. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - % población empleada
 - % edificios de calidad deficiente
 - % hogares de 5 o más personas
 - % población femenina

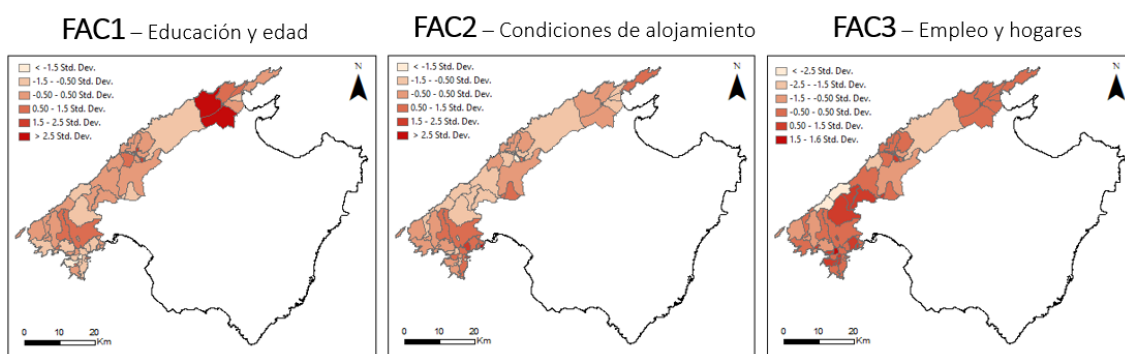


Figura 10. Mapa de las tres Componentes Principales (FACs) que componen la criticidad en la Serra de Tramuntana.

Con la suma de estas tres FACS, se ha obtenido la criticidad a escala de sección censal de la Serra de Tramuntana (Figura 11).

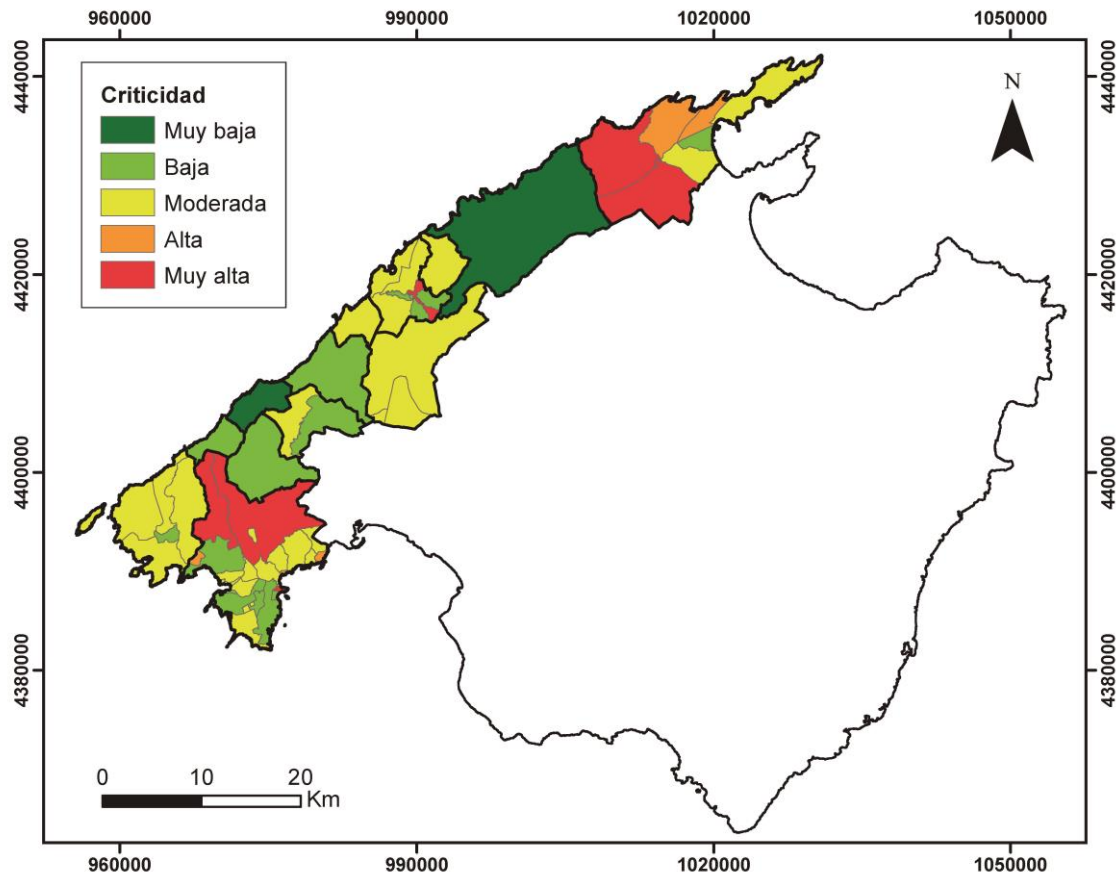


Figura 11. Mapa de Criticidad de la Serra de Tramuntana.

Valores altos de criticidad indican una situación mejor que si los valores son bajos, ya que a mayor sea la criticidad, mayor será la vulnerabilidad social. Una mayor criticidad indica que hay grupos sociales entre la población que son potencialmente más vulnerables y a los que hay que prestar más atención ante una emergencia. También habrá que prestar mayor atención a aquellas zonas en las que los edificios son de peor calidad, ya que la población que habita en ellos es más vulnerable.

La mayoría de las secciones censales muestran una criticidad moderada o baja a excepción de Banyalbufar y Escorca, que tienen criticidades muy bajas (Figura 11). Los municipios de Calvià y Pollença muestran una heterogeneidad remarcable en las secciones censales que lo componen (Figura 11). Las secciones del norte de Calvià muestran criticidad alta, mientras que en el sur es

moderada o baja. De la misma forma, las secciones más occidentales de Pollença tienen una criticidad muy alta, mientras que las orientales muestran criticidad alta o moderada.

Las 9 variables utilizadas para el cálculo de la capacidad de soporte han sido:

- Distancia mínima a establecimiento de comida
- Distancia mínima a farmacia
- Distancia mínima a centro de salud
- Distancia mínima a hospital
- Número de instalaciones para alojamiento temporal en un radio de 5 km (alojamiento temporal considera: hoteles + albergues + centros deportivos + centros educativos)
- Número de hoteles en un radio de 5 km
- Número de cuarteles de policía en un radio de 5 km
- Número de gasolineras en un radio de 5 km
- Densidad de carreteras

Las 3 FACS (Figura 12) generadas han sido:

- FAC1: Infraestructuras esenciales. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - Distancia mínima a establecimiento de comida
 - Distancia mínima a farmacia
 - Distancia mínima a centro de salud
 - Distancia mínima a hospital
 - Densidad de carreteras
- FAC2: Infraestructuras para emergencias. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - Nº de instalaciones para alojamiento temporal en un radio de 5 km
 - Nº de hoteles en un radio de 5 km

- Distancia mínima a hospital
- Nº de gasolineras en un radio de 5 km
- FAC3: Comunicación vial. Esta componente agrupa las siguientes variables:
 - Número de cuarteles de policía en un radio de 5 km
 - Número de gasolineras en un radio de 5 km
 - Densidad de carreteras

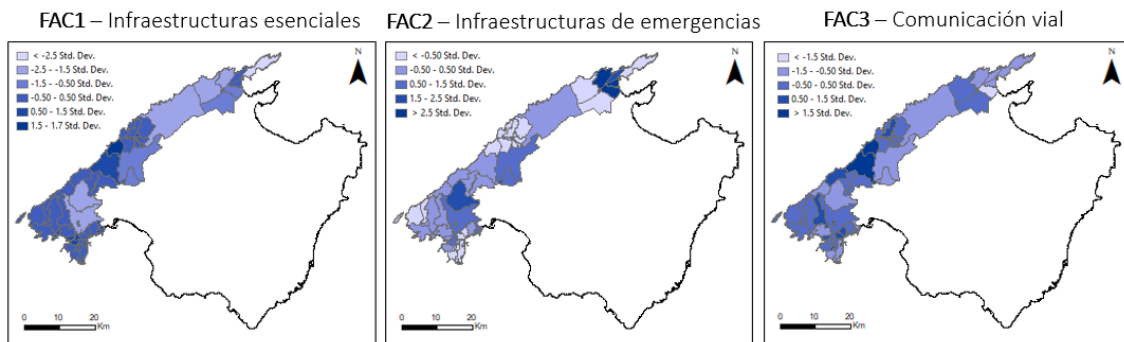


Figura 12. Mapa de las tres Componentes Principales (FACs) que componen la capacidad de soporte en la Serra de Tramuntana.

Con la suma de estas tres FACS, se ha obtenido la capacidad de soporte a escala de sección censal de la Serra de Tramuntana (Figura 13).

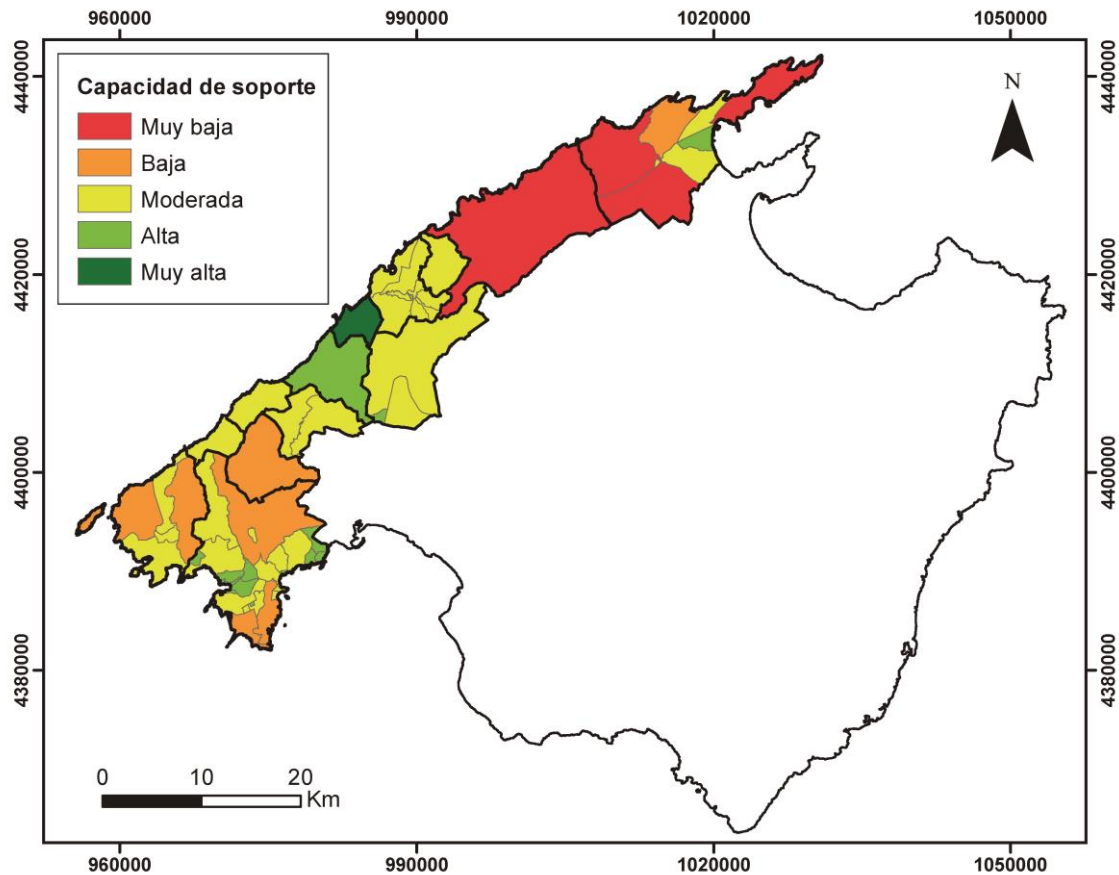


Figura 13. Mapa de las tres Componentes Principales (FACs) que componen la capacidad de soporte de la Serra de Tramuntana.

Al contrario que en la criticidad, valores altos de capacidad de soporte indican una situación mejor que si son valores bajos, ya que cuanto mayor sea la capacidad de soporte, menor será la vulnerabilidad social. Una capacidad de soporte alta indica que la sección censal está bien equipada de infraestructuras, tanto esenciales como de emergencias, y que está bien comunicada por carretera. Así, una sección censal con valores altos estaría mejor preparada ante una emergencia y habría que focalizar más la atención en atender a aquella población que se encuentre en zonas de capacidad de soporte bajas, que pueden no disponer de medios suficientes.

La mayoría de las secciones censales muestran una capacidad de soporte moderada o baja, a excepción de Valldemossa y Deià que la tienen alta y muy alta, respectivamente. Por el contrario, Escorca y las secciones censales más

occidentales y la más oriental de Pollença tienen una capacidad de soporte muy baja.

Finalmente, del producto de criticidad y de capacidad de soporte, se obtiene el mapa de vulnerabilidad social (Figura 14).

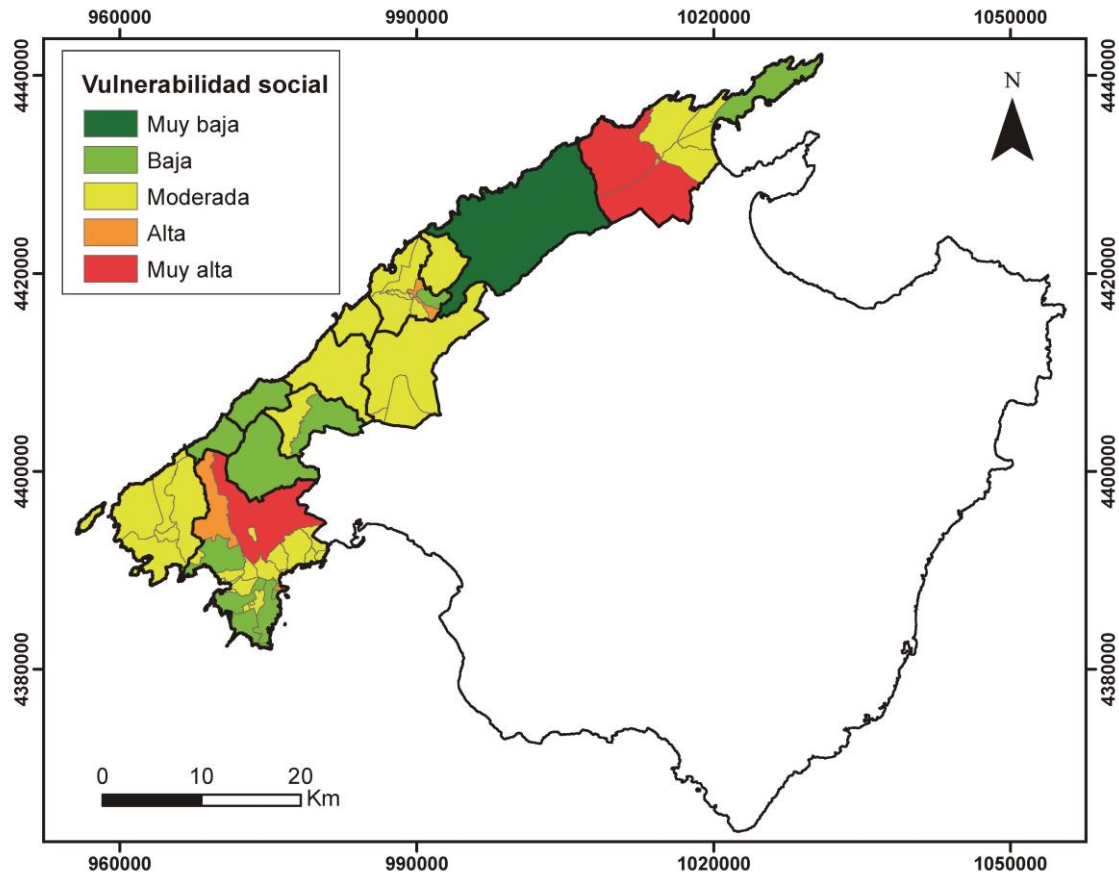


Figura 14. Mapa de vulnerabilidad social de la Serra de Tramuntana

Existe una variabilidad considerable en los distintos municipios y dentro de los mismos. Tan solo el municipio de Escorca tiene una vulnerabilidad social extremadamente baja, lo cual es el escenario más óptimo en caso de emergencia. Seguidamente, los municipios de Estellencs, Puigpunyent y Banyalbufar tienen vulnerabilidad social baja, junto con una sección censal de Esporles, las secciones meridionales de Calvià y la sección más oriental de Pollença. Todas las secciones censales de Andratx y Bunyola, junto con varias de Calvià, Sóller, Pollença y los municipios de Valldemossa y Deià, tienen

vulnerabilidad social moderada. Esta categoría es la mayoritaria de toda la región. Por último, una sección censal del norte de Calvià y una de Sóller tienen vulnerabilidad social alta, mientras que otra sección censal del norte de Calvià tiene vulnerabilidad muy alta junto con las dos secciones censales más occidentales de Pollençà. A estos territorios con categorías de vulnerabilidad alta y muy alta se les deberá prestar especial atención en caso de emergencia.

3.4 Exposición: población expuesta

Los tres escenarios de población expuesta según las tres temporadas turísticas, baja, media y alta se muestran en las Figuras 15, 16 y 17, respectivamente.

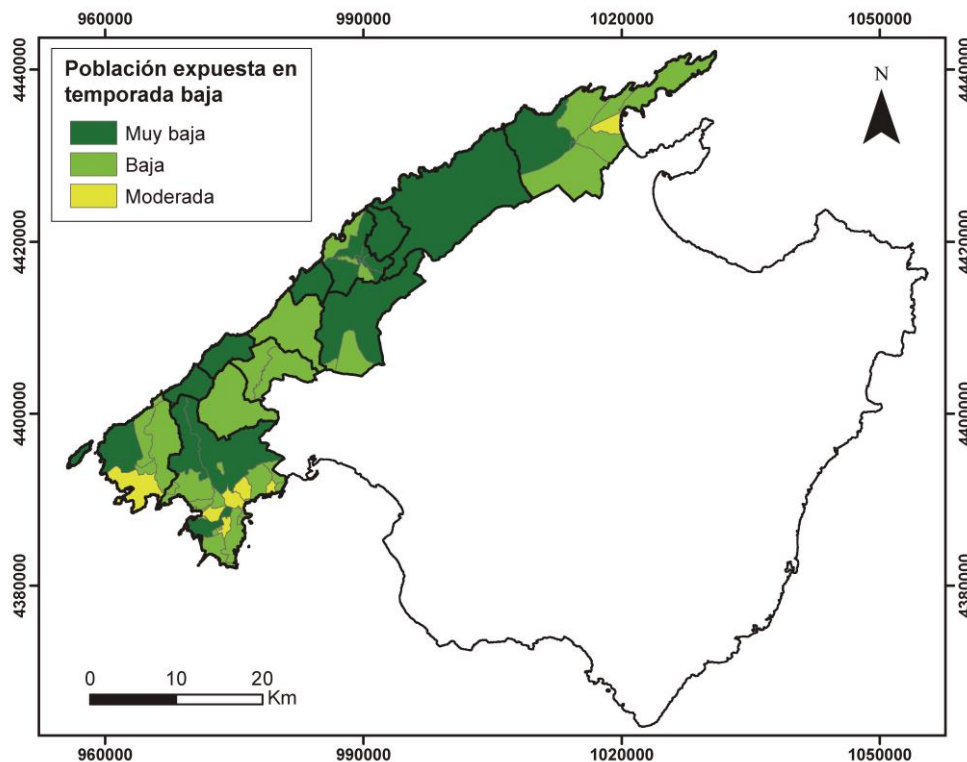


Figura 15. Población expuesta de la Serra de Tramuntana en temporada turística baja.

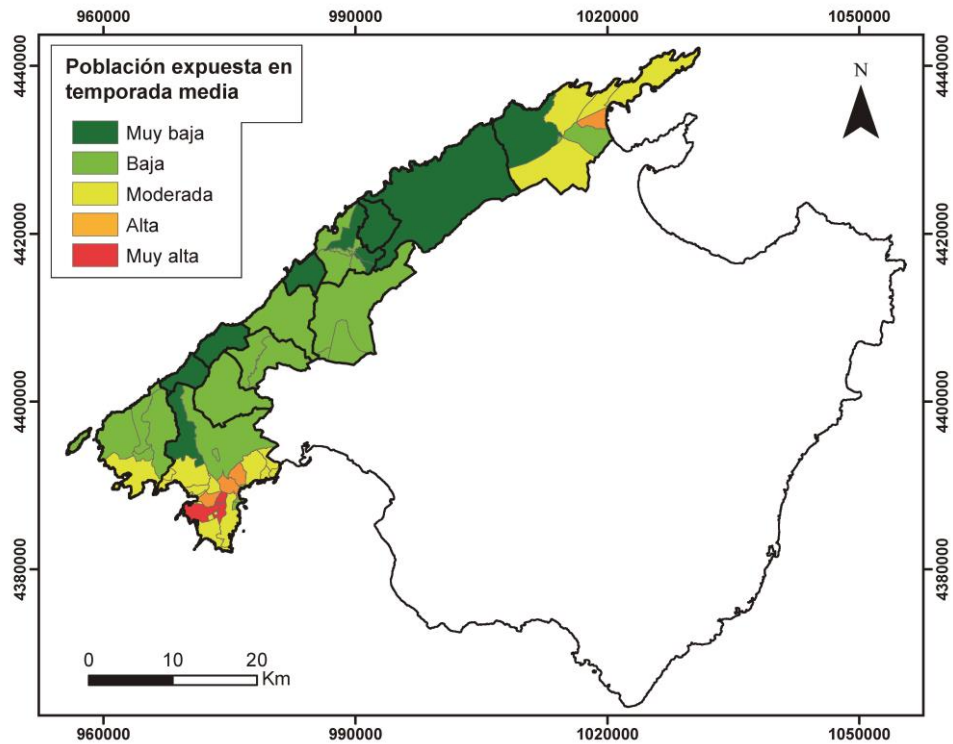


Figura 16. Población expuesta de la Serra de Tramuntana en temporada turística media.

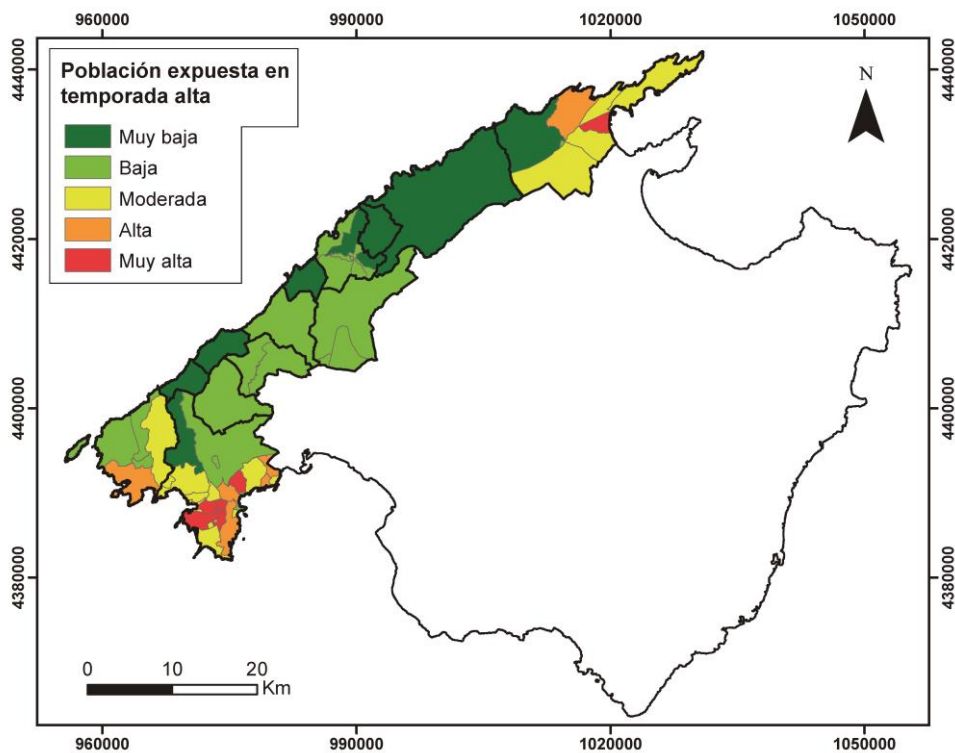


Figura 17. Población expuesta de la Serra de Tramuntana en temporada turística alta.

Las mayores variaciones de población entre temporadas se observan en los municipios de Andratx, Calvià y Pollença, siendo la población mayor en temporada turística alta. También existen cambios sutiles en algunas secciones censales de Bunyola y Sóller.

3.5 Peligrosidad por desprendimientos rocosos

El mapa de trayectorias simuladas de desprendimientos rocosos, obtenido mediante el software STONE, se muestra en la Figura 18. El número máximo de trayectorias simuladas es 1130. En la Figura 18, también se muestra una ampliación de los municipios de Escorca y Fornalutx, los municipios donde hay más trayectorias simuladas. A partir de este mapa, se ha derivado el mapa de probabilidad espacial de ocurrencia de desprendimientos rocosos o susceptibilidad a los desprendimientos rocosos.

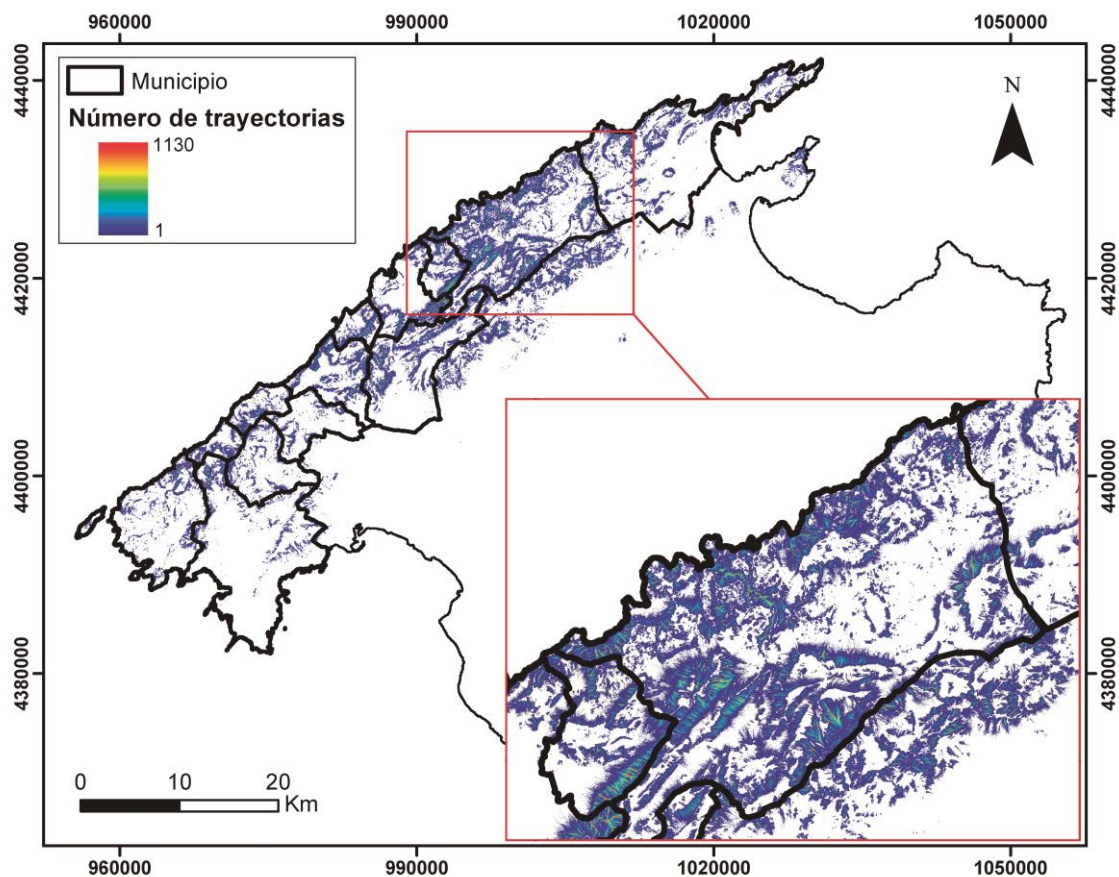


Figura 18. Mapa de trayectorias simuladas de desprendimientos rocosos, generado mediante el software STONE, en la Serra de Tramuntana.

El mapa de probabilidad espacial de ocurrencia de desprendimientos rocosos o de susceptibilidad a desprendimientos rocosos se muestra en la Figura 19.

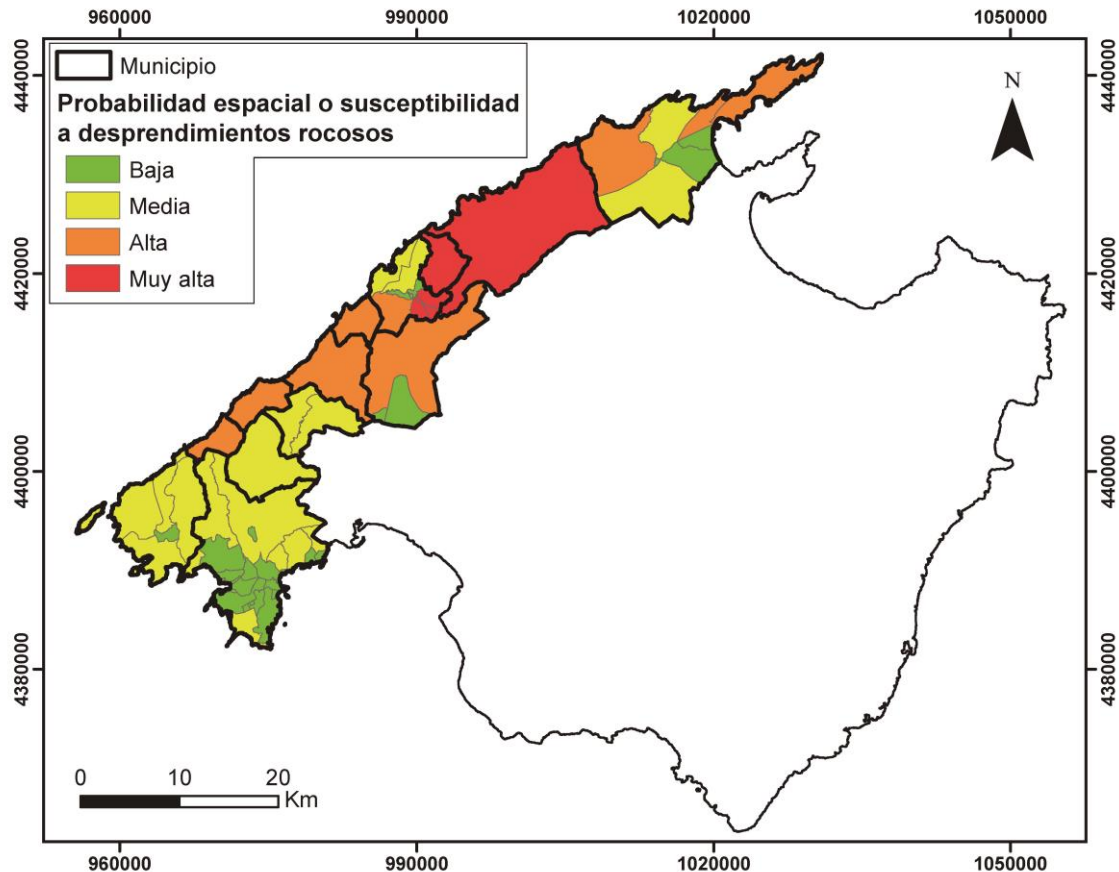


Figura 19. Mapa de probabilidad espacial de ocurrencia o susceptibilidad a desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana.

Los municipios de mayor susceptibilidad (muy alta) a desprendimientos rocosos son Fornalutx, Escorca, así como las secciones censales del sureste de Sóller. Seguidamente con susceptibilidad alta, se encuentran la sección censal de mayor tamaño de Bunyola, la sección censal suroeste de Sóller, tres secciones censales de Pollençà y los municipios de Estellencs, Banyalbufar, Valldemossa y Deià. El resto de secciones censales tienen una susceptibilidad media, a excepción de dos secciones censales de Pollençà, las secciones centrales de Sóller, las dos secciones meridionales de Bunyola, la sección censal central de Andratx y casi todas las secciones meridionales de Calvià, que tienen

susceptibilidad baja. Cabe destacar la variabilidad de la susceptibilidad de algunos municipios como Calvià, Banyola, Sóller y Pollença.

El mapa de probabilidad temporal de ocurrencia de desprendimientos rocosos se muestra en la Figura 20.

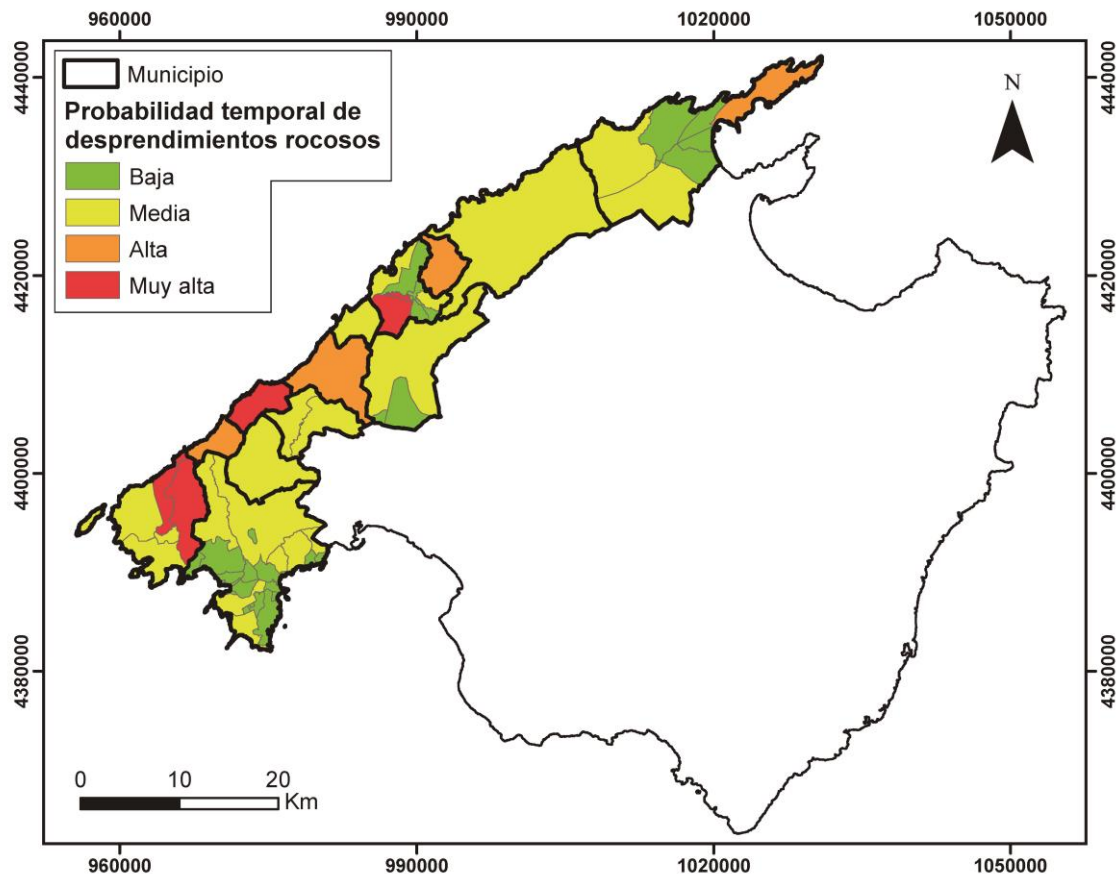


Figura 20. Mapa de probabilidad temporal de ocurrencia de desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana.

Se ha obtenido una probabilidad temporal media en la mayor parte de secciones censales y/o municipios de la Serra de Tramuntana. Las excepciones son las secciones censales orientales de Andratx, las secciones suroeste de Sóller y el municipio de Banyalbufar, con probabilidad muy alta. Seguidamente, se encuentran los municipios de Estellencs, Valldemossa y Fornalutx, con peligrosidad alta junto con la sección censal más oriental de Pollença. Las secciones censales de probabilidad temporal baja son la mayoría de las

meridionales de Calvià, las meridionales de Bunyola y las centrales de Sóller y Pollença.

El mapa de probabilidad de ocurrencia de desprendimientos rocosos según su magnitud (desprendimientos de volúmenes superiores a 600 m³) se muestra en la Figura 21.

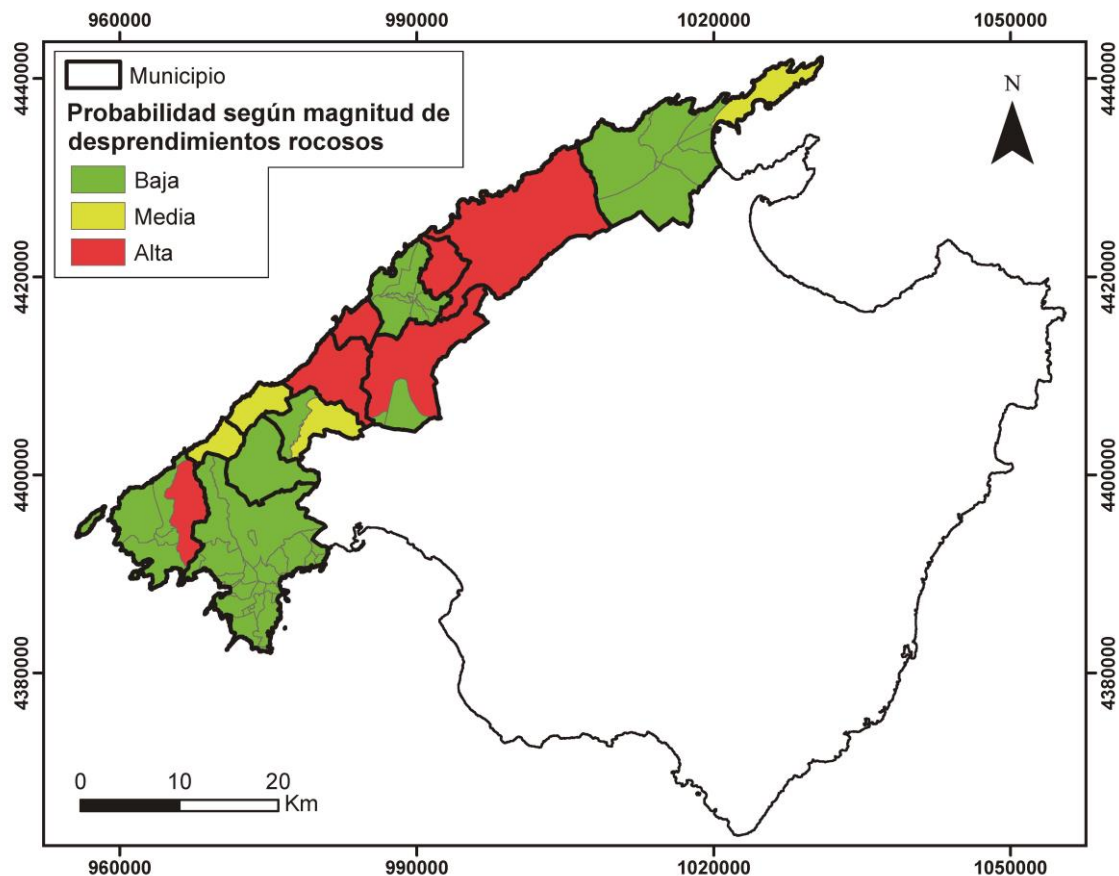


Figura 21. Mapa de probabilidad de ocurrencia de desprendimientos rocosos según su magnitud (volúmenes superiores a 600 m³) en la Serra de Tramuntana.

La probabilidad obtenida según la magnitud es alta en los municipios de Valldemossa, Deià, Fornalutx y Escorca, junto con la sección censal de mayor tamaño de Bunyola y la sección más occidental de Andratx. El resto de secciones censales y/o municipios muestran una probabilidad baja, a excepción de los municipios de Estellencs y Banyalbufar y la sección censal oriental de Estellencs y la oriental de Pollença, que tienen una probabilidad media.

Del producto de la probabilidad espacial, temporal y según magnitud (Figuras 19, 20 y 21), se obtiene el mapa de peligrosidad por desprendimientos rocosos (Figura 22).

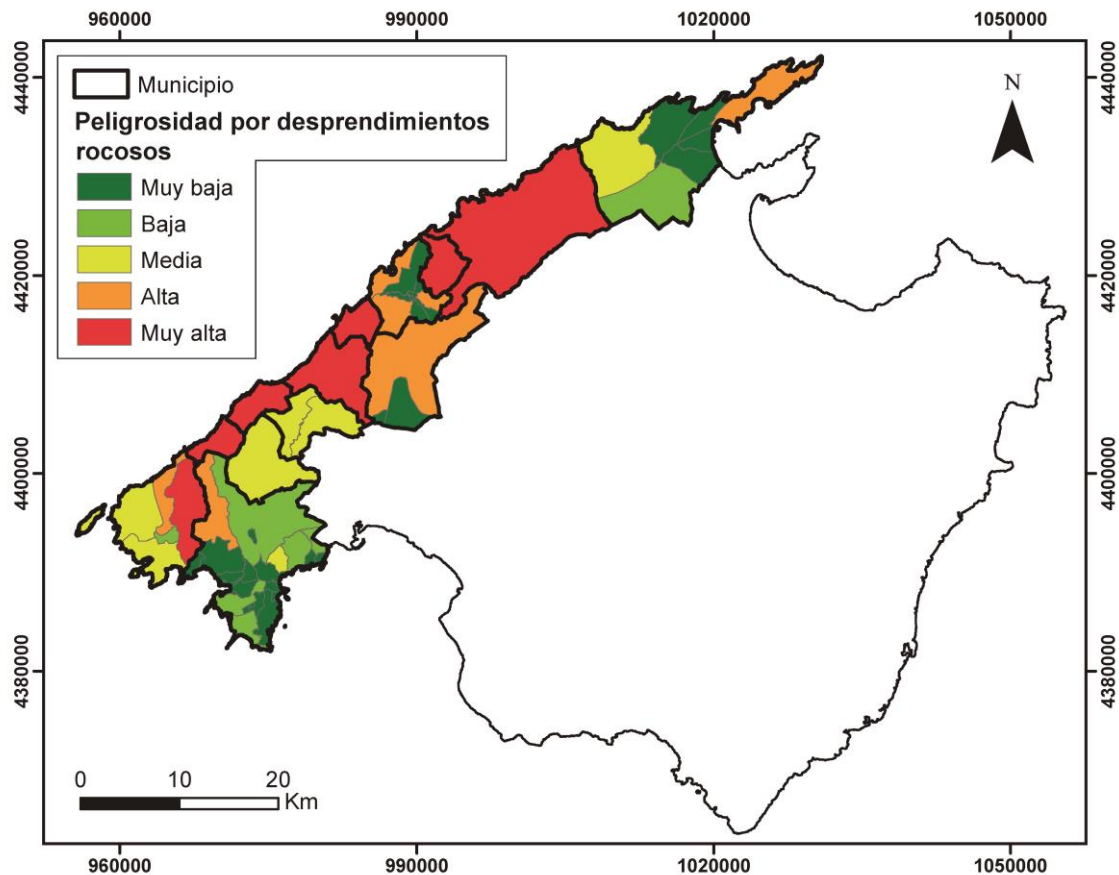


Figura 22. Mapa de peligrosidad por desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana.

La peligrosidad por desprendimientos rocosos obtenida es muy alta en los municipios de Estellencs, Banyalbufar, Valdemossa, Deià, Fornalutx y Escorca, junto con la sección censal más oriental de Andratx. La peligrosidad obtenida es alta en una sección censal central de Andratx, en la sección censal noroccidental de Calvià, en la sección de mayor tamaño de Bunyola, en las secciones perimetrales de Sóller y en la sección más oriental de Pollença. La peligrosidad es media en las secciones censales occidentales de Andratx y en los municipios de Puigpunyent y Esporles. La peligrosidad es baja en la mayoría de las secciones censales de Calvià y muy baja en algunas de las secciones más meridionales de Calvià y la sección censal central de Andratx, junto con las

meridionales de Bunyola y las centrales de Sóller. Cabe destacar la notable variabilidad de peligrosidad dentro de algunos municipios, como son Andratx, Bunyola, Sóller y Pollença.

3.6 Riesgo por desprendimientos rocosos

Del producto de vulnerabilidad social (Figura 14), peligrosidad (Figura 22) y exposición en las tres temporadas turísticas (Figuras 15, 16 y 17), se han obtenido tres escenarios finales de riesgo por desprendimientos rocosos para cada temporada turística: baja (Figura 23), media (Figura 24) y alta (Figura 25).

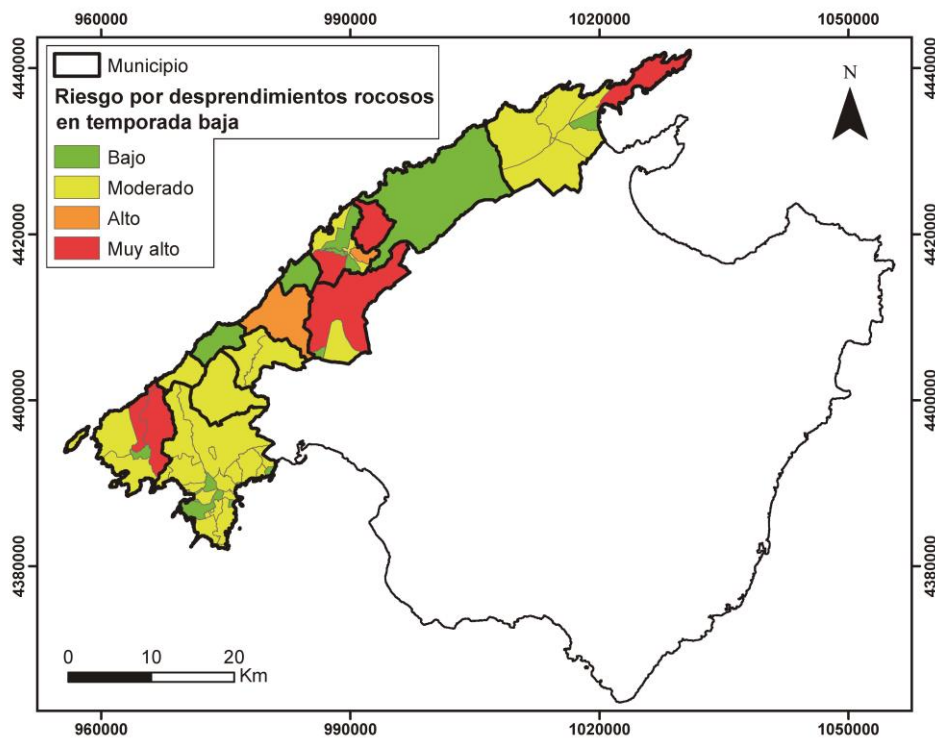


Figura 23. Mapa de riesgo por desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana en temporada turística baja.

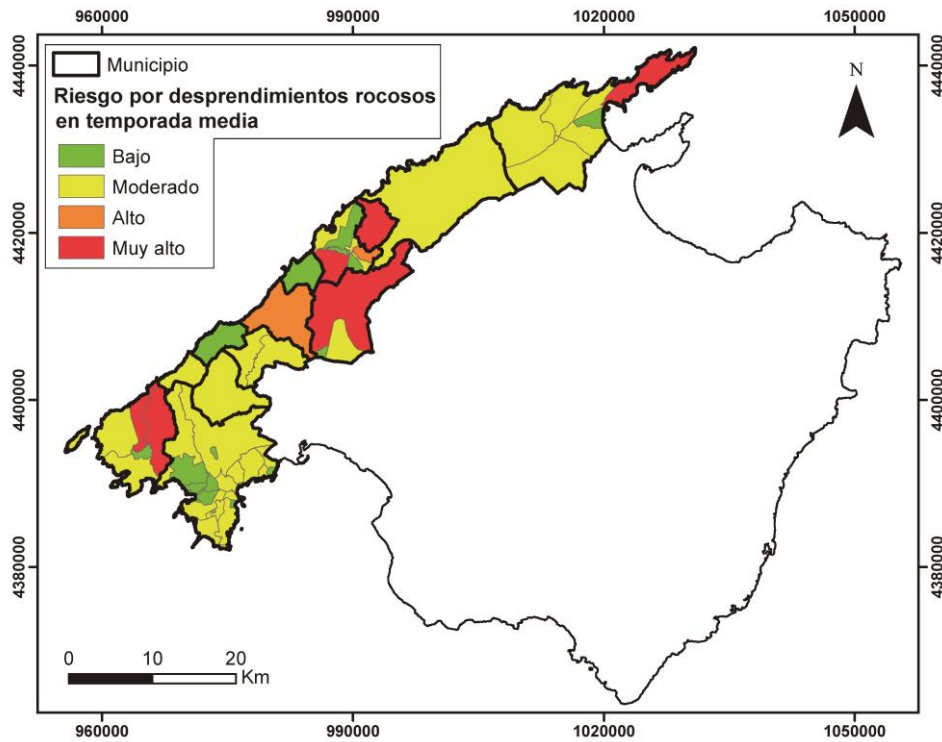


Figura 24. Mapa de riesgo por desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana en temporada turística media.

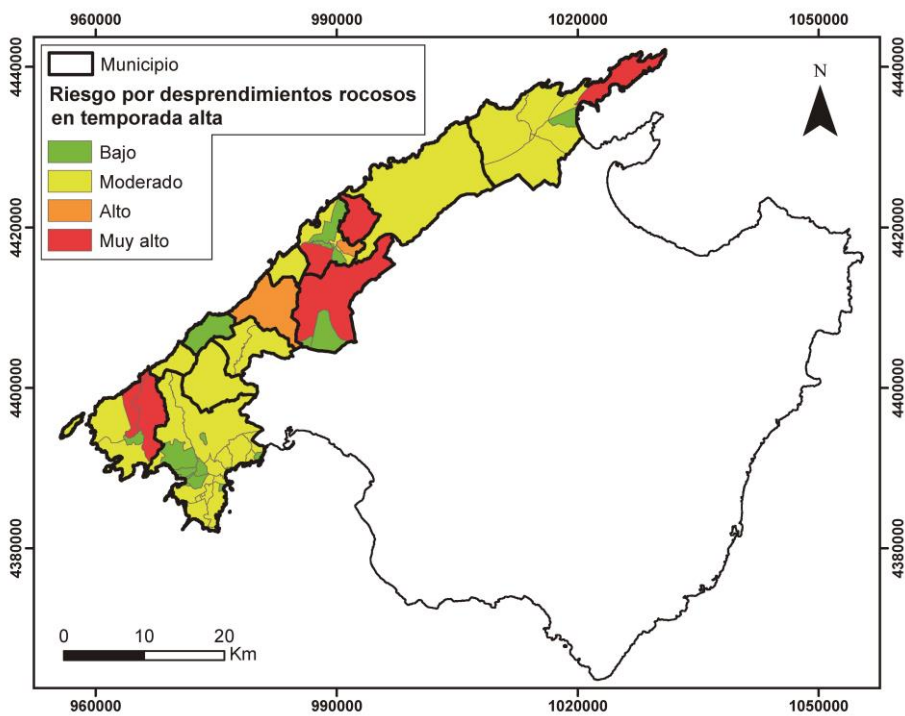


Figura 25. Mapa de riesgo por desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana en temporada turística alta.

Prácticamente no existen cambios en el riesgo por desprendimientos rocosos según las temporadas turísticas. Los únicos cambios se dan en algunas secciones censales de Calvià, que cambian de riesgo bajo a moderado de temporada baja a media, junto con el municipio de Escorca, que también cambia de riesgo bajo a moderado de temporada baja a media (Figuras 23 y 24). No se han obtenido cambios entre temporada media y alta (Figuras 24 y 25).

Tomando el escenario de mayor riesgo, en temporada turística alta (Figura 25), el riesgo obtenido es moderado en la mayoría de secciones censales y/o municipios. Se ha obtenido riesgo muy alto en el municipio de Fornalutx junto con las secciones censales occidentales de Andratx, en una sección censal de Sóller, en la sección de mayor tamaño de Bunyola y en la sección más oriental de Pollença. El riesgo obtenido es alto en el municipio de Valldemossa y una sección censal de Sóller. Por último, el riesgo obtenido es bajo en la sección censal central de Andratx, algunas secciones occidentales de Calvià, las secciones meridionales de Bunyola, las secciones censales centrales de Sóller, una sección de Pollença y el municipio de Banyalbufar. Cabe destacar la variabilidad que existe dentro de algunos municipios, como son Andratx, Bunyola, Sóller y Pollença.

4 CONCLUSIONES

Las conclusiones generales y aspectos importantes a tener en cuenta sobre los resultados presentados en este informe son los siguientes:

- Existe una variabilidad importante de precipitación máxima y mínima esperable dependiendo del año tipo en que nos encontremos: seco, medio o húmedo.
- La información disponible sobre el inventario de desprendimientos rocosos es muy valiosa, aunque se debe tener en cuenta que existe falta de información en muchos eventos sobre la fecha de ocurrencia y la magnitud de los eventos. Esto se debe tener en cuenta a la hora utilizar el inventario para cálculos de peligrosidad, concretamente, de

probabilidad temporal y según magnitud, ya que existe este sesgo de información.

- Como novedad de este tipo de estudios, se considera la población expuesta según las tres temporadas turísticas, teniendo en cuenta la población flotante de cada una de ellas.
- Se pone en valor la importancia de considerar las distintas secciones censales dentro de los municipios, ya que se ha obtenido una gran variabilidad de los resultados dentro de éstos. Algunos ejemplos de esta variabilidad interna son apreciables en Andratx, Bunyola, Sóller o Pollença, en la mayoría de los resultados obtenidos.
- Los resultados finales sobre riesgo obtenidos evidencian ciertos aspectos interesantes derivados de la combinación de vulnerabilidad social, peligrosidad y exposición. Un ejemplo es el caso de Calvià, donde a pesar de existir la mayor cantidad de población expuesta, la peligrosidad es baja, por lo que finalmente el riesgo es moderado. También es llamativo la variabilidad de la vulnerabilidad social entre las secciones norte y sur del municipio. Otro ejemplo llamativo es el del municipio de Escorca, donde la peligrosidad es muy alta pero la vulnerabilidad social y población expuesta es en ambos casos muy baja, siendo finalmente, el riesgo moderado.

5 REFERENCIAS

- Coll, M. A. (2016). Análisis socio-espacial de la estacionalidad turística en Mallorca. *Memoria de tesis doctoral*. Universidad de las Islas Baleares.
- García-Moreno, I. (2017). Actividad de los movimientos de ladera de la Serra de Tramuntana (Mallorca). Aplicación de técnicas remotas (DInSAR) y simulación de desprendimientos rocosos. *Memoria de tesis doctoral*. Universidad de las Islas Baleares.
- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R. y Agliardi, F. (2002). STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. *Computers & Geosciences*, 28(9), 1079-1093.

- Mateos, R.M. (2001). Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca), caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad. *Memoria de tesis doctoral*. Universidad Complutense de Madrid.
- Mateos, R. M., García-Moreno, I., Reichenbach, P., Herrera, G., Sarro, R., Rius, J., Aguiló, R y Fiorucci, F. (2016). Calibration and validation of rockfall modelling at regional scale: application along a roadway in Mallorca (Spain) and organization of its management. *Landslides*, 13(4), 751-763.
- Mendes, J. M., Tavares, A. O. y Santos, P. P. (2019). Social vulnerability and local level assessments: a new approach for planning. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 11(1), 15-43.