



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN LA COMARCA ALTO GÁLLEGO (HUESCA)

Autora

Paula Ferrández Castillo

Director

Marcos Rodrigues Mimbrero

Universidad de Zaragoza
Facultad de Filosofía y Letras

2021-2022

RESUMEN

En el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado se ha caracterizado el territorio de la comarca Alto Gállego desde el punto de vista de los condicionantes del comportamiento del fuego: topografía, combustible y meteorología. A partir de diversas informaciones relativas a estos tres dominios se han realizado diversas simulaciones bajo las condiciones más frecuentemente asociadas a la ocurrencia de incendios forestales (vientos de componente sur con velocidades medias entorno a 15m/s). Las simulaciones resultantes permiten evaluar el grado de exposición (probabilidad de que una determinada localización se vea afectada por el fuego) y la peligrosidad del mismo (velocidad con la que el frente de llamas recorrería una ubicación potencialmente afectada). Los resultados revelan un patrón espacial contrastado con la mayor parte de la comarca en situaciones de baja exposición o peligrosidad, si bien se han identificado zonas potencialmente en riesgo donde no solo la probabilidad de quema es mayor, sino que además se encuentran expuestas infraestructuras diversas: vías de comunicación, tendidos eléctricos o incluso asentamientos de población, como lo son el de Sallent de Gállego o Yebra de Basa.

Este, se apoyará en técnicas de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), y algoritmos específicos para la simulación de la propagación a la escala del paisaje característico del territorio.

Palabras clave: incendio forestal, simulación, comportamiento del fuego, probabilidad de quema, exposición.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	EL FENÓMENO INCENDIOS	6
1.2	FORMAS DE PROPAGACIÓN Y TIPOS DE INCENDIOS	7
1.3	FORMAS DE PROPAGACIÓN Y TIPOS DE INCENDIOS	8
1.4	LOS INCENDIOS FORESTALES EN ARAGÓN.....	9
2.	OBJETIVO.....	10
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1	OBTENCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA NECESARIA	11
3.1.1	Obtención y organización de la información geográfica necesaria.....	11
3.1.2	Cartografía de modelos de combustible	11
3.1.3	Topografía.....	12
3.1.4	Estructura de la vegetación y del dosel arbóreo	12
3.2	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO	13
3.2.1	Escenarios de simulación	13
3.2.2	Simulaciones.....	13
4.	ÁREA DE ESTUDIO.....	15
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
4.2	ZONIFICACIÓN DE PELIGRO DE INCENDIO	24
5.	RESULTADOS	29
6.	DISCUSIÓN.....	37
7.	CONCLUSIÓN.....	39
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	40
9.	ANEXO.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comarca Alto Gállego, Aragón.....	16
Figura 2. Elevación en la Comarca Alto Gállego, Aragón.....	17
Figura 3. Pendiente en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	18
Figura 4. Orientación en la comarca Alto Gállego, Aragón	18
Figura 5. Densidad de la copa de los árboles (kg/m3) en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	19
Figura 6. Altura de la copa de los árboles en la comarca Alto Gállego, Aragón	20
Figura 7. Altura del arbolado. Comarca Alto Gállego. Aragón	20
Figura 8. Porcentaje de recubrimiento de la vegetación en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	21
Figura 9. Ocupación del suelo en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	23
Figura 10. Modelos de combustible en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	23
Figura 11. Probabilidad de quema en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	30
Figura 12. Probabilidad de quema con afección a infraestructuras en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	31
Figura 13. Tasa de propagación del fuego en la Comarca del Alto Gállego, Aragón ...	32
Figura 14. Nivel de exposición al fuego en municipios en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	33
Figura 15. Nivel de exposición al fuego en carreteras convencionales y autovías en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	34
Figura 16. Nivel de exposición al fuego en líneas eléctricas en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	35
Figura 17. Nivel de exposición al fuego en cortafuegos en la comarca Alto Gállego, Aragón.....	36

ÍNCIDE DE TABLAS

Tabla 1. Reclasificación de los usos del suelo y modelos de combustible	12
Tabla 2. CBH as a function of BA and SH for pure ponderosa pine stands	13
Tabla 3. Parámetros de simulación	13
Tabla 4. Parámetros de humedad	13

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Usos del suelo en el municipio de Biescas. Elaboración propia	22
Ilustración 2. Paisaje de la zona alpina desde el Pico Anayet (2.579 m). Elaboración propia.....	25
Ilustración 3. Infraestructuras del municipio Hoz de Jaca.....	32

1. INTRODUCCIÓN

La relación del hombre con el fuego se remonta a tiempos pasados, cuando éste aprendió a dominar el proveniente de fuentes naturales como volcanes y rayos, facilitando muchos aspectos de su vida cotidiana. El fuego ha sido empleado por el ser humano como herramienta para modelar los diferentes ecosistemas en función de sus intereses (Bowman, D. M. J. S et *al.*). Quemar el monte, le ha permitido obtener espacio para cultivos y pastos para el ganado. Estas prácticas ancestrales han llegado hasta la actualidad, siendo utilizadas en para la transformación de los paisajes, especialmente en ambientes mediterráneos. Por ello, se puede decir que la distribución actual de la vegetación es fruto, en gran medida, del uso del fuego por el hombre a lo largo los siglos (Wagtendonk, J., 2009).

Es a partir de mediados del siglo XX, cuando empieza a vislumbrarse el fuego como una problemática en algunos países mediterráneos, cómo España. Hasta entonces, la población vivía muy relacionada con el monte, lugar del que obtenía recursos naturales como madera o frutos. Esta relación simbiótica, mantenía los montes con menor cantidad de carga combustible. Pero, desde la década los 1950, con la consolidación de la industrialización en España, la forma de vida de las personas cambió (González-Leonardo, M. et *al.*, 2021). Las poblaciones rurales se fueron trasladando poco a poco a la ciudad, en busca de trabajo, por lo que las actividades tradicionales se abandonaron paulatinamente. Consecuencia de ello fue el aumento de la vegetación en los bosques, es decir, de combustible. Además, aparecieron nuevas actividades susceptibles de provocar incendios, algunas de ellas como vehículos, maquinaria y herramientas, ferrocarriles, ... (San-Miguel-Ayanz, J. et *al.*, 2012)

Esta despoblación rural, junto a la aparición de nuevas causas de incendios, ha provocado que los incendios extremos sean hoy en día cada vez más numerosos, frecuentes e intensos, no dejando el tiempo suficiente para que la naturaleza se regenere por si sola. Según los datos aportados por el Gobierno de Aragón, se observa sufrido un incremento en estas últimas dos décadas, tanto en número como en la superficie total recorrida por los mismos, creando la necesidad de establecer medidas de prevención, protección y, control (Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón).

1.1 EL FENÓMENO INCENDIOS

Para entender el objeto de estudio del presente Trabajo Fin de Grado, es necesario comprender algunos aspectos fundamentales relativos a los incendios forestales. En esencia, éstos se originan por una fuente de ignición (natural o antrópica) que, cuando

se escapa del control se propaga a través de la vegetación (combustible). Desde un punto de vista físico para que la combustión ocurra, es imprescindible que se den tres elementos al mismo tiempo, en el mismo lugar y, en las proporciones definidas. Los elementos son: calor, oxígeno y combustible; y juntos forman el llamado 'triángulo del fuego'. Cuando la reacción ocurre a gran velocidad, la combustión se lleva a cabo, y en ella el combustible comienza a desecarse y arde, provocando llamas.

El oxígeno es uno de los elementos más abundantes en la atmósfera, en una proporción alrededor de un 21%. Al disminuir esta proporción, la combustión se va atrasando hasta llegar a desaparecer. El calor, es una forma de energía y, la energía son moléculas en movimiento. Esta actividad es medida por la temperatura, que será expresada en grados centígrados. En este sentido, la temperatura de ignición de un combustible es la temperatura a la cual los gases arderán en llamas y provocarán que continúe la combustión, incluido después de que el foco de calor sea retirado (Rothermel, R. C., 1983). Por último, el combustible. Un fuego no existe si no hay material que quemar. El potencial de quema o "flamabilidad" depende de las características que presenten los combustibles existentes en la zona. Estas incluyen, entre otras, el tipo, forma y disposición (tipo o modelo de combustible), el contenido de la humedad o la superficie ocupada (Scott, J. H., & Burgan, R. E., 2005).

1.2 FORMAS DE PROPAGACIÓN Y TIPOS DE INCENDIOS

El fuego tiene tres formas de propagación, siendo estas la conducción, radiación o, convección (Rothermel, R. C., 1983). Se habla de conducción, cuando existe un contacto entre las llamas y el combustible, es decir, cuando el fuego se propaga a través el propio combustible. La propagación por radiación se dará cuando el calor sea muy intenso, que puede pasar a través del aire sin que exista movimiento del mismo, provocando la combustión de la vegetación más cercana, antes de que lleguen las llamas. Este caso solo se da cuando existen distancias cortas, dañando solamente a la vegetación más próxima. En el momento en el que, en un incendio forestal, el calor desprendido por la combustión calienta el aire, provocando corrientes ascendentes que des sequen el combustible que encuentran en su paso, favoreciendo de esa manera la propagación del fuego y proyección de partículas en combustión o incandescencia (pavesas), se hablará de convección. Esta forma puede dar lugar a nuevos focos en lugares alejados (Costa, P., et al., 2011)

El comportamiento del fuego será diferente en función de tres factores: combustible, los diferentes tipos de la vegetación existente; topografía, hace referencia a la forma del

terreno; y meteorología, temperatura, humedad del ambiente, viento, precipitaciones, etc.

En función del lecho de combustible a través del que se propague el fuego, se distinguirán tres tipos de incendios. (i) Los incendios de superficie, aquellos en los que se quemarán los combustibles que estén sobre el suelo, como pastos, matorrales, etc. En este tipo de incendios normalmente se ve afectado el arbolado. (ii) Los incendios de copas hacen referencia a aquellos en los que el fuego se propaga a través de las copas de los árboles. En ellos se pueden dar dos avances, primero quemándose las copas por el viento; y después, por detrás (es decir, a menor velocidad), quemándose los combustibles superficiales, como matorrales y pastos. Estos son incendios de muy alta intensidad, que presentan serias dificultades de control. (iii) Los incendios de subsuelo son el último tipo. Son fuegos que progresan por debajo del suelo, quemando raíces, tallos subterráneos, etc. Serán muy lentos, ya que habrá muy poco oxígeno y, aunque no son muy frecuentes, su control es incómodo y complejo al estar bajo tierra.

1.3 FORMAS DE PROPAGACIÓN Y TIPOS DE INCENDIOS

La estimación cuantitativa del comportamiento potencial del fuego y de la probabilidad de quema, demuestra ser muy útil tanto para los gestores del territorio como para los propios expertos en incendios forestales. En el caso concreto de los algoritmos de simulación, éstos permiten tener en cuenta los puntos de inicio de ignición posibles para pronosticar la posterior propagación y probabilidad de que el fuego llegue a un lugar de interés específico, es decir, la exposición. Las simulaciones no solo dan estimaciones sólidas de la probabilidad de que se del incendio, sino también, sobre la variabilidad espacio-temporal de este tipo de eventos.

El uso más fundamental de estos modelos ha sido calcular los modelos de probabilidad de quema (BP), y mapas de comportamiento del fuego para obtener medidas de probabilidad o peligro para la gran cantidad de recursos y activos de gran valor, incluidas las comunidades humanas, oportunidades recreativas, infraestructuras industriales, madera, hábitat de vida silvestre, o servicios ecosistémicos, entre otros; a través de combinaciones e interpretaciones predefinidas (Scott et al., 2013). Esto se puede hacer para un escenario de referencia de insumos o, alternativamente, en combinación con múltiples escenarios que pueden ser de interés para el análisis. Mientras que los diversos escenarios de referencia ofrecen información sobre el comportamiento potencial del fuego en el paisaje, para un determinado periodo de tiempo, permiten a los administradores, también, evaluar los posibles efectos de decisiones de manejo alternativas, evaluar las pasadas o las posibles futuras.

1.4 LOS INCENDIOS FORESTALES EN ARAGÓN

La distribución de las causas de incendios forestales varía a lo largo del año, debido principalmente a los usos del hombre sobre el medio. En invierno, principios de primavera y otoño, los incendios que se producen fundamentalmente se dan por conductas imprudentes o negligentes, vinculadas principalmente al ámbito rural, el ámbito de este estudio. En verano, son muchos los incendios desarrollados por otras negligencias como por cosechadoras u otras herramientas eléctricas, que pueden desprender pequeñas chispas e iniciar el incendio. Además, debido a las numerosas tormentas, también se dan muchos incendios forestales a causa de rayos.

Las consecuencias que tienen los incendios forestales sobre la vegetación y fauna, suelo, agua, atmósfera y clima, o sobre la económica y seres humanos, son cambiantes, ya que en cada aspecto afectará de una manera u otra. En cuanto a datos recogidos, la mayor parte de los ocurridos en la Comunidad de Aragón, son consecuencia de la mano del hombre, es decir de la acción humana. Esto queda reflejado en el documento de estadísticas anuales del Gobierno de Aragón del año 2021, en el que se indica que el 53,5% de los incendios comienza por accidentes y negligencias, un 20,7% es causa natural, un 15,5% intencionado, el 9,7% de causa desconocida, y un 90,6% reproducido.

La estadística del periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año 2021, muestra como el número total de siniestros ha descendido este último año respecto al 2020, además de descender el número de conatos. En cuanto a las superficies afectadas, se ha producido, también, una disminución.

2. OBJETIVO

El principal objetivo del presente Trabajo de Fin de Grado es evaluar la exposición potencial a los incendios forestales. La exposición es uno de los componentes fundamentales para la evaluación del riesgo de incendio, incluyendo los elementos y bienes que pueden verse afectados por el fuego, a partir de los cuales, y en función de la intensidad de la quema, estimarían las posibles pérdidas.

Para ello se ha llevado a cabo la evaluación del comportamiento potencial del fuego, eligiendo como zona de estudio la comarca Alto Gállego. Dicha evaluación se apoya en técnicas de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y algoritmos específicos para la simulación de la propagación a escala de paisaje.

Las etapas y subobjetivos intermedios incluyen:

- Caracterización de los elementos que condicionan la propagación del fuego (combustible, topografía y vegetación)
- Diseño de un inventario de recursos e infraestructuras potencialmente expuestas a partir de cartografía digital.
- Caracterización de escenarios de simulación en función de la ocurrencia histórica de incendios (velocidad y dirección del viento, contenido de humedad de los combustibles).
- Simulación de escenarios de propagación y agregación de la probabilidad de quema.
- Identificación y cartografía de elementos expuestos (vías de comunicación, poblaciones...)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología seguida para elaborar este estudio podría agruparse en cuatro etapas diferentes.

3.1 OBTENCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA NECESARIA

La primera de ellas fue dedicada a la recopilación de información pertinente para cumplir los objetivos marcados, es decir, a la revisión bibliográfica de trabajos similares que ayudasen a seleccionar y generar la información de partida.

La simulación de la propagación potencial del fuego se llevó a cabo utilizando el software FlamMap 6.0, que implementa el algoritmo MTT (Minimum Travel Time) para determinar el flujo y dirección de la propagación a partir de la interacción entre tipo de combustible y humedad, velocidad y dirección del viento, estructura de la vegetación (recubrimiento, altura, densidad del dosel y altura de la base de la copa del arbolado) y topografía (pendiente y orientación).

La generación de mapas finales se realizó empleando el software ArcMap 10.7.1. Se trata de una de las principales aplicaciones que se emplean en ArcGIS Desktop. Es el lugar donde se han visualizado y explorado datos SIG (Sistemas de Información Geográfica) pertinentes del área de estudio, a los que se les ha asignado símbolos y con el que se ha creado el diseño de final. También ha sido de ayuda para la creación y edición de archivos en formato ráster y vectorial (lineal, puntual y superficial).

3.1.1 Obtención y organización de la información geográfica necesaria

Para la elaboración de la cartografía de exposición, se descargaron diversos archivos en formato .shp de las plataformas del Instituto Geográfico de Aragón (IDEAragón), y del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Una vez almacenada y ordenada la información, se procedió al ajuste de los archivos .shp, también conocidos como capas, al área de estudio. Con ello, daría comienzo la segunda etapa del proyecto. Mediante diferentes procedimientos desarrollados con el sistema de información geográfica Arcmap 10.7.1, se fueron generando las bases necesarias para las simulaciones, ejes principales de este estudio.

3.1.2 Cartografía de modelos de combustible

Los modelos de combustibles son un factor fundamental para la simulación del comportamiento del fuego. En este trabajo se han utilizado como referencia los modelos estándar de Scott y Burgan (2005). La caracterización de los modelos se ha realizado a partir de la cartografía de ocupación del suelo del Sistema de Información de Ocupación

del Suelo en España (SIOSE). A partir del mismo se hizo una reclasificación de la capa vectorial correspondiente a las cubiertas de vegetación de la comarca, a la que se le añadieron los modelos de combustible establecidos por Scott y Burgan en el año 2005. La reclasificación resultante fue la siguiente:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MODELO DE COMBUSTIBLE	CÓDIGO 1
111	Casco	NB1	91
150	Asentamiento agrícola y huerta	NB3	93
240	Prado	GS3	123
311	Bosque de frondosas	TU2	162
312	Bosque de coníferas	TL3	183
320	Pastizal o herbazal	GR8	108
330	Matorral	GR3	103
411	Zona húmeda y pantanosa	NB8	98

Tabla 1. Reclasificación de los usos del suelo y modelos de combustible

3.1.3 Topografía

La información relativa al relieve de la zona se extrajo a partir de información del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Concretamente se dispuso de información generada específicamente procesando las teselas del 1er vuelo LiDAR (correspondiente al año 2008) del Proyecto LiDAR-PNOA. Se utilizó el paquete *lidR* en entorno R para extraer el Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona, seleccionando una resolución espacial de 50x50 metros. La información relativa a la pendiente y la orientación se derivó del MDE en ArcGIS.

3.1.4 Estructura de la vegetación y del dosel arbóreo

La información relativa a la estructura de la vegetación se derivó también de la información LiDAR. Se calculó el porcentaje de recubrimiento como la ratio de primeros retornos dividido por el número total de retornos por píxel, y la altura de la vegetación como el percentil 95 de la altura normalizada por el DEM y el Modelo Digital de Superficie (MDS). Los parámetros del dosel fueron generados mediante reclasificación de la altura de la vegetación según la siguiente tabla. Estos se reconvirtieron de pies (ft) a metros (m).

BA (ft ² /ac)	SH (ft)											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
20	51	71	90	110	130	149	169	189	208	228	248	267
40	58	78	98	117	137	157	176	196	216	235	255	275
60	66	85	105	125	144	164	184	203	223	243	262	282
80	73	93	113	132	152	171	191	211	230	250	270	289
100	81	100	120	140	159	179	199	218	238	257	277	297
120	88	108	127	147	167	186	206	226	245	265	284	304
140	95	115	135	154	174	194	213	233	253	272	292	312
160	103	122	142	162	181	201	221	240	260	280	299	319
180	110	130	149	169	189	208	228	248	267	287	307	326
200	118	137	157	176	196	216	235	255	275	294	314	334
220	125	145	164	184	203	223	243	262	282	302	321	341
240	132	152	172	191	211	231	250	270	289	309	329	348

Tabla 2. CBH as a function of BA and SH for pure ponderosa pine stands

3.2 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO

3.2.1 Escenarios de simulación

Generadas las informaciones necesarias relativas a las características del paisaje, se dio paso a la tercera etapa del trabajo, que consistió en el desarrollo de los escenarios de simulación del comportamiento del fuego, en base a la velocidad y dirección del viento, contenido de humedad de los combustibles, en función de la ocurrencia histórica de incendios en la zona según el informe “Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de Aragón” redactado por la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón.

Los parámetros utilizados se exponen en la tabla que viene a continuación:

	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO (km/h)	HUMEDAD	NÚMERO DE INCENDIOS
SIMULACIÓN	210	12,5	MUY BAJA	4
SIMULACIÓN	190	17,5	BAJA	6
SIMULACIÓN	270	17,5	MODERADA	17

Tabla 3. Parámetros de simulación

	PARÁMETROS DE HUMEDAD				
	Humedad del combustible muerto			Humedad del combustible vivo herbáceo	Humedad del combustible vivo leñoso
	h1	h10	h100		
Humedad muy baja	3	4	5	30	60
Humedad baja	6	7	8	60	90
Humedad moderada	9	10	11	90	120

Tabla 4. Parámetros de humedad

3.2.2 Simulaciones

Finalmente se empleó el programa FlamMap 6, programa libre de mapeo y análisis del comportamiento del fuego que ayudó a calcular las características potenciales del

comportamiento del fuego. Además de la información relativa al paisaje y las condiciones de viento y humedad del combustible, el algoritmo requiere de la ubicación de los puntos de ignición “semilla” que identifican el origen del incendio. En este caso, se ha simulado una disposición regular de incendios, organizados en una retícula regular de 200x200 metros. Este enfoque considera que la probabilidad de que ocurra un incendio forestal es homogénea en toda la zona de estudio. En cualquier caso, los resultados podrían ponderarse a posteriori en caso de querer considerar algún patrón espacial específico relativo a la probabilidad de ocurrencia de incendios. El tiempo de simulación por incendio se estableció en 480 minutos. El producto principal de las simulaciones es la probabilidad de quema (número de veces que se quema un píxel dividido por el número total de incendios simulados) y tasa de propagación (velocidad del frente de llamas, m min^{-1}) para las tres situaciones descritas anteriormente.

Como resultado de las simulaciones, se obtuvieron seis archivos en formato ráster. Tres de ellos corresponden a la probabilidad de quema en los tres escenarios seleccionados, y los restantes, a la tasa de propagación del incendio en las mismas situaciones. Estos, posteriormente, se llevaron a ArcMap para su maquetación como mapas resultado. Ahí, finalizaría la tercera etapa y empezaría la cuarta y última etapa del trabajo.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El Alto Gállego, área de estudio, es una comarca localizada al norte de la Comunidad Autónoma de Aragón, y que ocupa prácticamente la totalidad del curso alto del río Gállego. Se trata de territorio situado en la cordillera de los Pirineos en un espacio de alta y media montaña, que coincide a grandes rasgos, con la cuenca hidrográfica drenada por el río Gállego. Así pues, el curso del Gállego articula y vertebra unos paisajes de montaña. Discurre desde los pastizales alpinos del valle de Tena, en el norte, pasando por la Tierra de Biescas y el Serrablo, hasta las inmediaciones del Parque Natural de Sierra y Cañones de Guara. La región está ubicada en el Pirineo central, al norte de la provincia Oscense. Al norte limita con Francia, al sur con la Hoya de Huesca, al sureste con el Somontano de Barbastro, al este con el Sobrarbe y, al oeste con La Jacetania.

La comarca Alto Gállego fue creada por la *Ley 13/2001 de 2 de Julio, publicada en el Boletín Oficial de Aragón* con fecha 20 de julio de 2001. Se compone por los municipios de Biescas, Caldearenas, Hoz de Jaca, Panticosa, Sabiñánigo, Sallent de Gállego, Yebra de Basa y Yésero, que incluyen 92 entidades de población. Tiene su capitalidad en Sabiñánigo, donde se encuentra la sede oficial de sus órganos de gobierno y oficinas. En el año 2021, según cifras de IAEST, la comarca tuvo 13.772 habitantes.

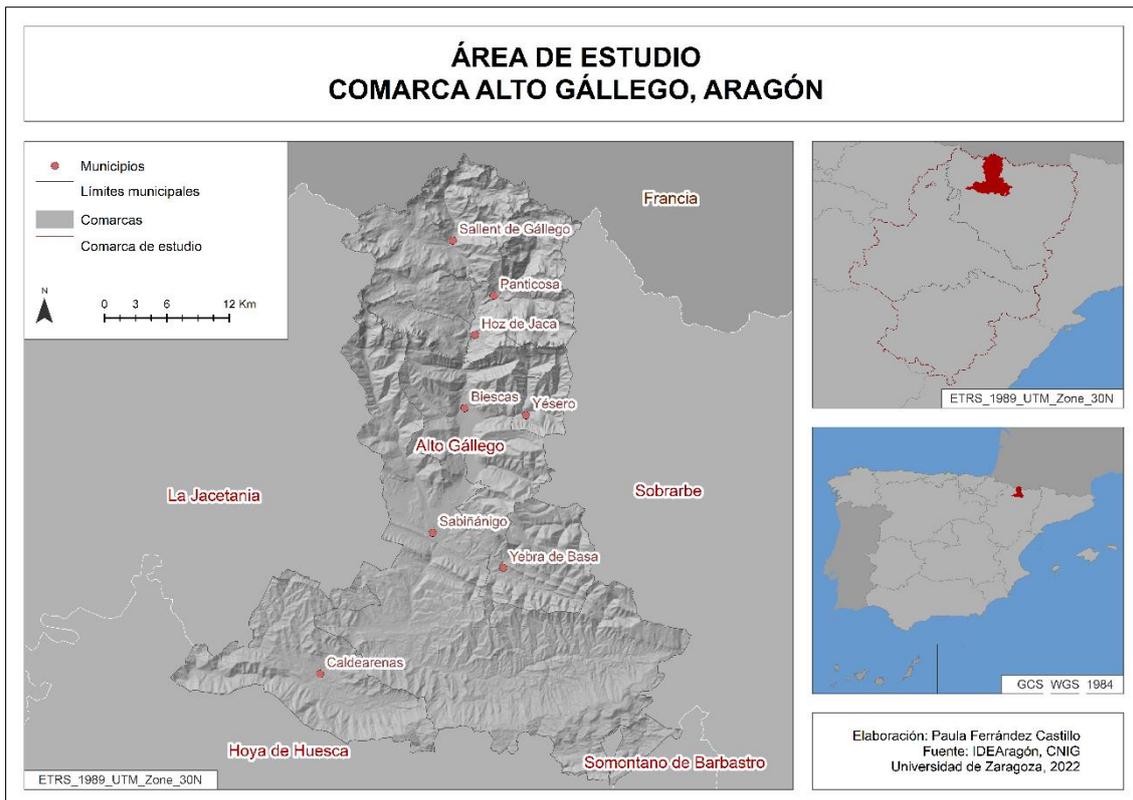


Figura 1. Comarca Alto Gállego, Aragón

Esta comarca, con 1359,80 km² de superficie, presenta una variación climática relacionada con su elevada altitud y la exposición a vientos húmedos atlánticos. Por ello, se enmarca en los climas atlántico y mediterráneo. En cuanto a la naturaleza existente en la comarca. Se puede encontrar parte del Paisaje Protegido de San Juan de la Peña y Monte Oroel, así como el Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos. Además, dentro de la Red Natura 2000 (espacios protegidos por la Unión Europea), se ubican 3 ZEPA's (Zonas de Especial Interés para Aves) y 16 LIC's (Lugar de Interés Comunitario). También es necesario destacar dos zonas con un especial valor, como lo son el Monte de Santa Orosia, en Yebra de Basa y el pico y Turberas de Anayet, en Sallent de Gállego.

En cuanto a lo que respecta a población y economía, la principal dedicación durante años en este territorio ha sido la agricultura y ganadería. Sin embargo, la llegada del ferrocarril provocó la instalación de numerosas empresas, creando una industria fuertemente arraigada. No hay que olvidarse del sector servicios, que en los últimos años ha registrado un enorme incremento gracias al auge del turismo rural.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para conocer más esta comarca oscense, se ha llevado a cabo una representación de los elementos del territorio necesarios para las simulaciones, recopilados en la siguiente serie cartográfica.

En la *Figura 2* se muestra la elevación de la zona. Como puede observarse, las áreas más elevadas se encuentran en el sector norte de la comarca, correspondiendo a los grandes macizos del Pirineo aragonés. Conforme se avanza hacia el sur, la elevación de esta descende paulatinamente, encontrando lugares prácticamente llanos. El sector central y norte de la zona de estudio presenta pendientes (*Figura 3*) más marcadas que el sector sur, aunque cabe mencionar que no es homogéneo en todo el territorio, ya que se dan lugares colindantes con pendientes contrarias. La orientación del relieve (*Figura 4*) sigue la dirección principal del valle del alto Gállego con barrancos y cursos secundarios dispuestos de forma perpendicular en dirección este-oeste.

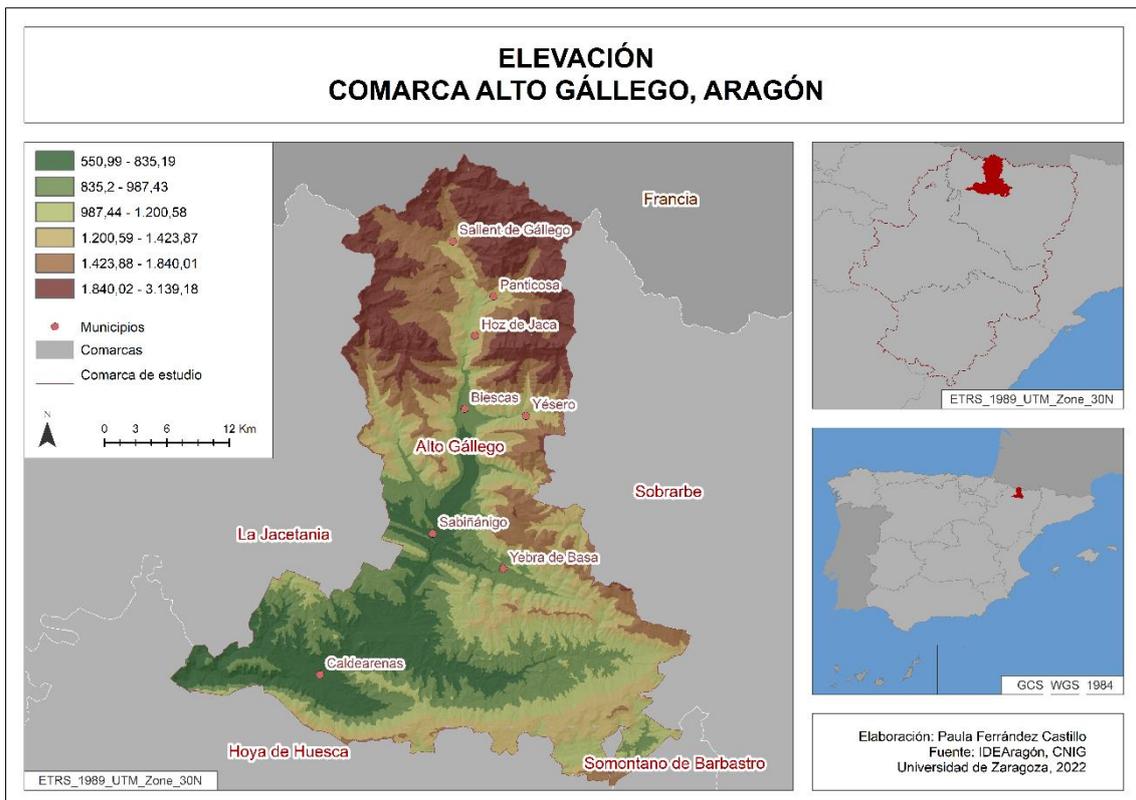


Figura 2. Elevación en la Comarca Alto Gállego, Aragón

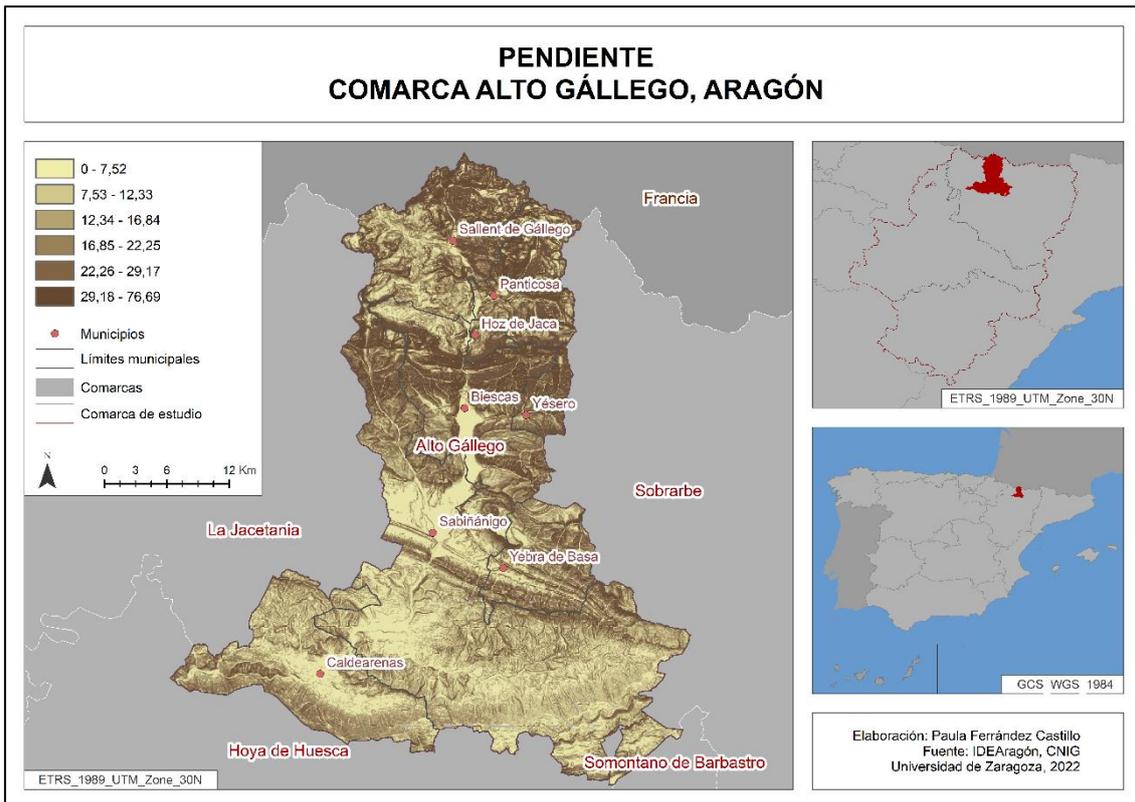


Figura 3. Pendiente en la comarca Alto Gállego, Aragón

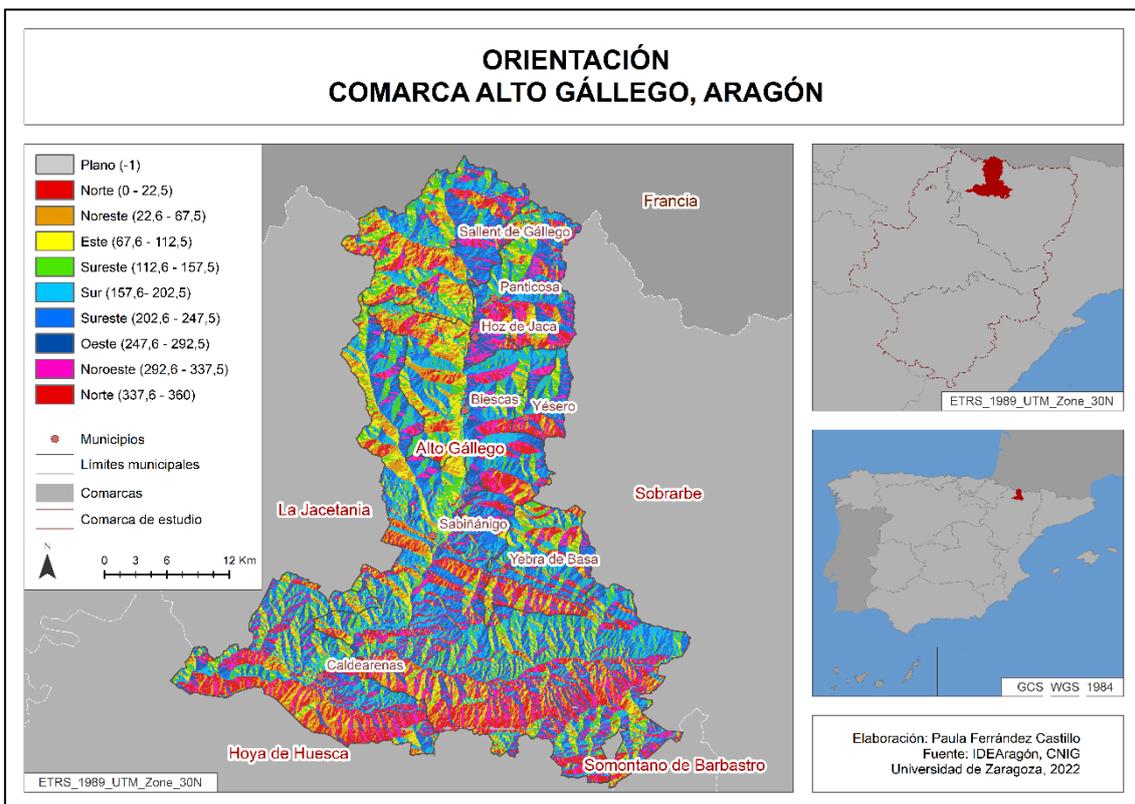


Figura 4. Orientación en la comarca Alto Gállego, Aragón

En cuanto a las características de la vegetación y el combustible del lugar de estudio, los mapas realizados son los siguientes. Como se ve, únicamente en el sector central de la comarca se localiza la vegetación con mayor densidad de copas, en el resto del territorio, es mínima. Además, en el área norte, la correspondiente a los grandes macizos pirenaicos, no hay presencia de vegetación debido a la imposibilidad de supervivencia de las especies vegetales a alturas tan elevadas. La misma distribución se da con la altura de la copa de los árboles. Esta comienza a medirse desde la rama más baja del arbolado, es decir, la más próxima a la base del mismo. Ambas cuestiones están relacionadas, ya que la vegetación con mayor porte presenta alturas y densidades más elevadas que las especies con menor porte, pudiendo ser de estas de tipo matorral o herbazal. La altura del arbolado, representada en la *Figura 6*, también se enlaza con las características anteriores. Es decir, es una característica que tiene relación con la altura y densidad de la copa de los árboles. En la *Figura 7* se deja ver el porcentaje de recubrimiento de la vegetación de la zona. En este caso, los porcentajes más elevados mostrados en tonalidades verdes oscuro se dan, principalmente, en el centro y sur comarcal. No es una distribución equilibrada puesto que existen sectores que no presentan apenas vegetación o es inexistente. Es el escenario más claro que se da, por ejemplo, en la superficie norte.

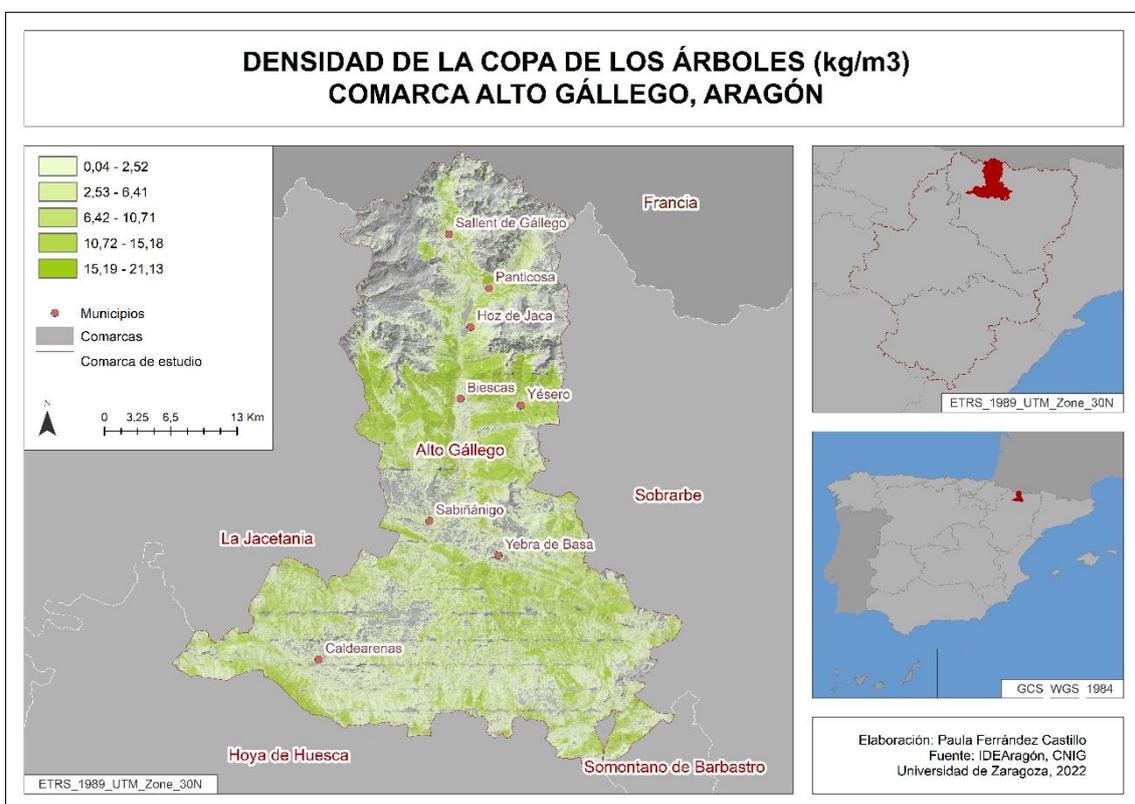


Figura 5. Densidad de la copa de los árboles (kg/m³) en la comarca Alto Gállego, Aragón

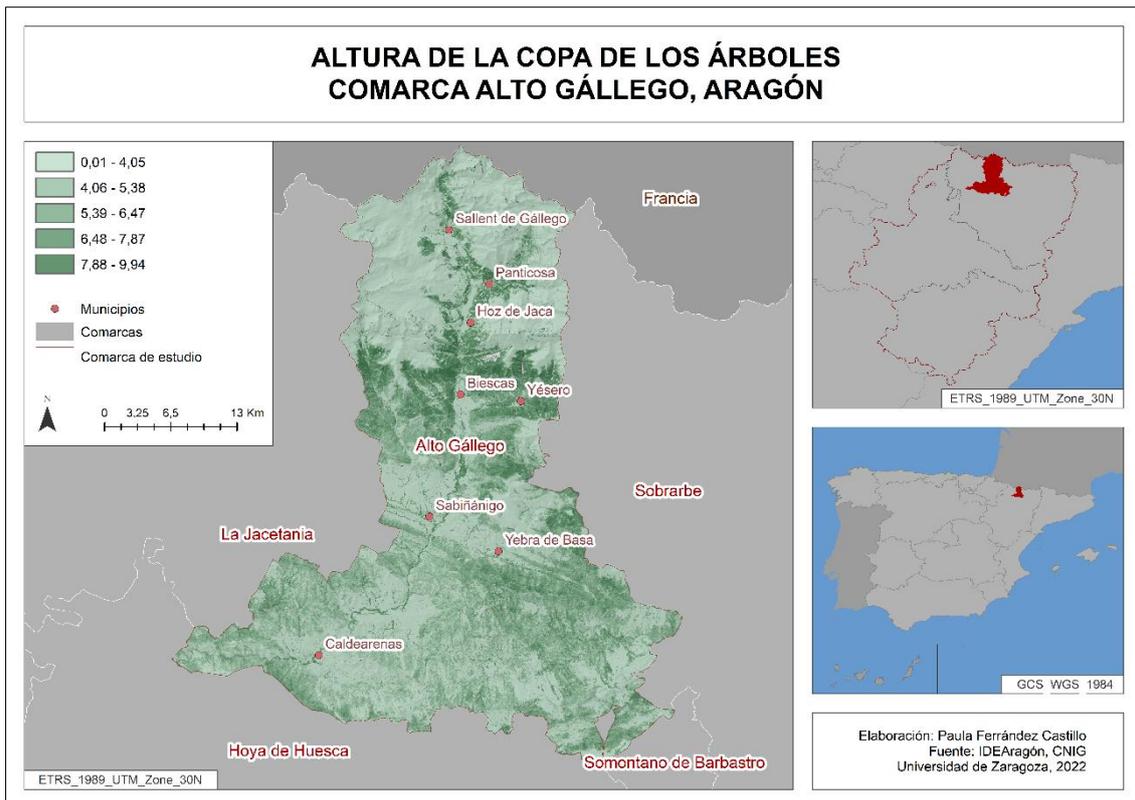


Figura 6. Altura de la copa de los árboles en la comarca Alto Gállego, Aragón

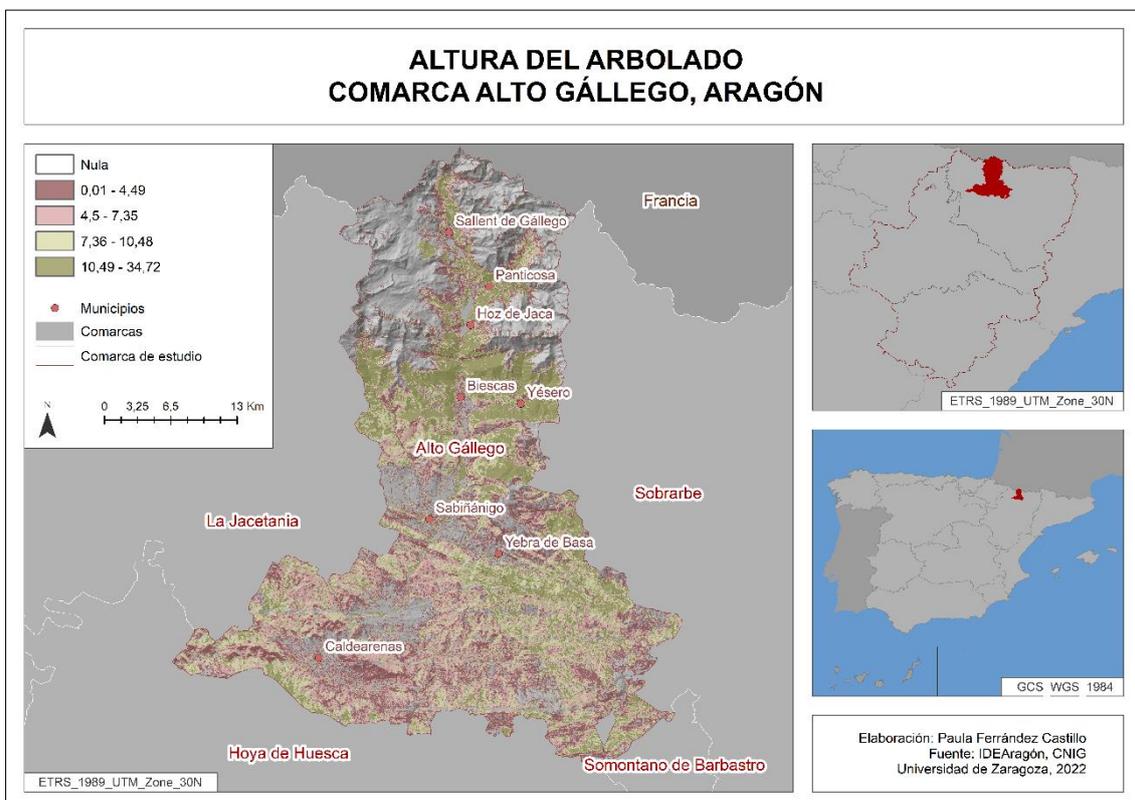


Figura 7. Altura del arbolado. Comarca Alto Gállego. Aragón

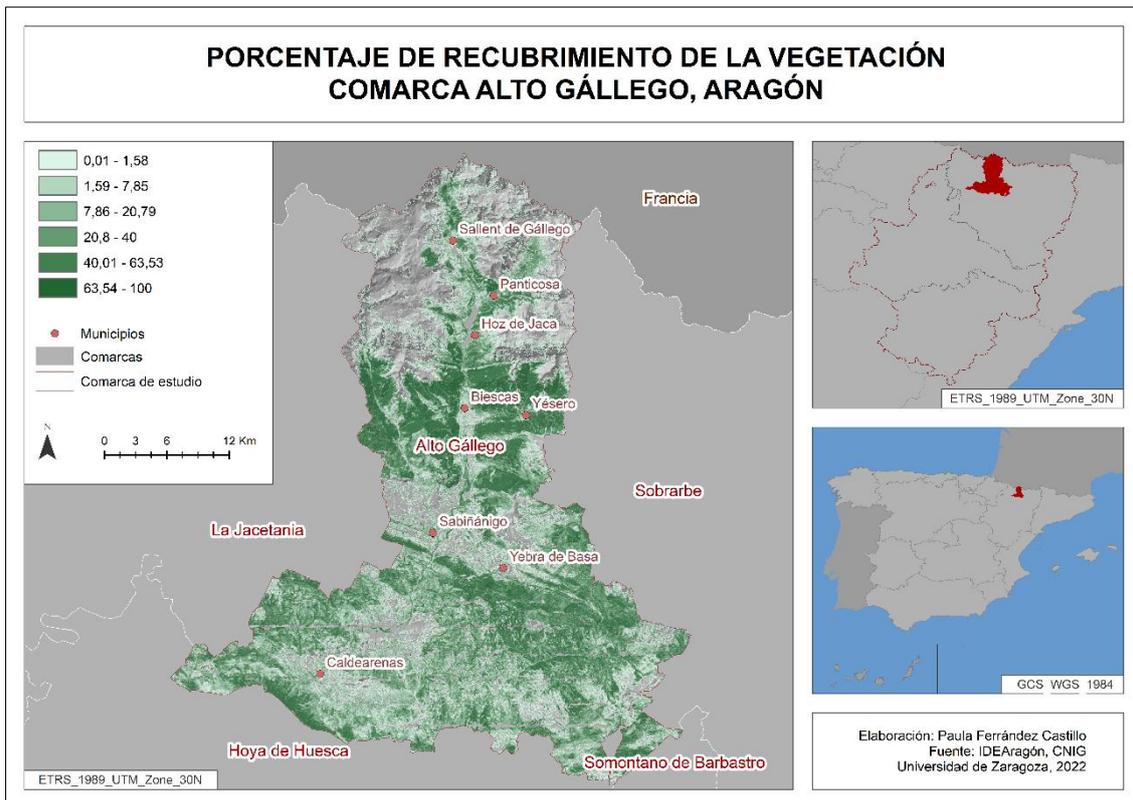


Figura 8. Porcentaje de recubrimiento de la vegetación en la comarca Alto Gállego, Aragón

En cuanto a la ocupación y los modelos de combustible de la comarca, han sido expuestos en las Figuras 8 y 9. De todos los usos del suelo existentes en el territorio nacional solo se dan ocho tipos en el área de estudio, siendo los más comunes los bosques de coníferas y frondosas, y casco. Este último se da en los alrededores de los municipios ya que queda relacionado el sistema de asentamientos. A continuación, se describen los principales modelos de combustible extraídos del mapa de ocupación:

- GR3: el principal portador del fuego es continuo, grueso y de clima húmedo. La carga de combustible de pasto y hierbas es relativamente ligera, y la profundidad de su lecho es de 0,6 m. Los arbustos no se encuentran en cantidades significativas para afectar el comportamiento del fuego (Scott et al., 2005).
- GR8: en este caso, el principal portador del fuego es la hierba continua y muy gruesa de los climas húmedos. La carga y su profundidad son mayores que en GR3. La tasa de propagación y longitud de llama pueden llegar a ser extremos si el césped está totalmente seco (Scott et al., 2005).
- GS3: la combinación de hierba y arbustos son los principales portadores. Su carga moderada y su profundidad menor a 0,6 m, presenta una tasa de propagación alta con una longitud de llama moderada. La humedad para la extinción es alta (Scott et al., 2005).

- NB1: este modelo consta de suelo cubierto por asentamientos urbanos y suburbanos. Para ser denominado como NB1, es necesario que el área no soporte la propagación de incendios forestales. En algunos casos, estas pueden experimentar pérdidas por incendios estructurales durante un incendio forestal; sin embargo, su estructura de ignición en esos casos suele ser de casa en casa, en ninguno de ellos modelados por el comportamiento del fuego (Scott et al., 2005).
- NB3: este modelo corresponde a superficie agrícola mantenida. Los ejemplos incluyen cultivos de regadío, huertos segados y labrados. Sin embargo, hay muchas áreas agrícolas que no se mantienen las condiciones del combustible. (Scott et al., 2005).
- NB8: terreno cubierto por cuerpos de agua abiertos como lagos, ibones, ríos u océanos (Scott et al., 2005).
- TL3: el principal portador del fuego es la hojarasca de coníferas de carga moderada y ligera, de combustibles gruesos. Su tasa de propagación es muy baja, con longitud de llama baja (Scott et al., 2005).
- TU2: la hojarasca con componente arbustivo es el principal portador. Alta humedad de extinción, con una tasa de propagación moderada y longitud de fuego baja (Scott et al., 2005).



Ilustración 1. Usos del suelo en el municipio de Biescas. Elaboración propia

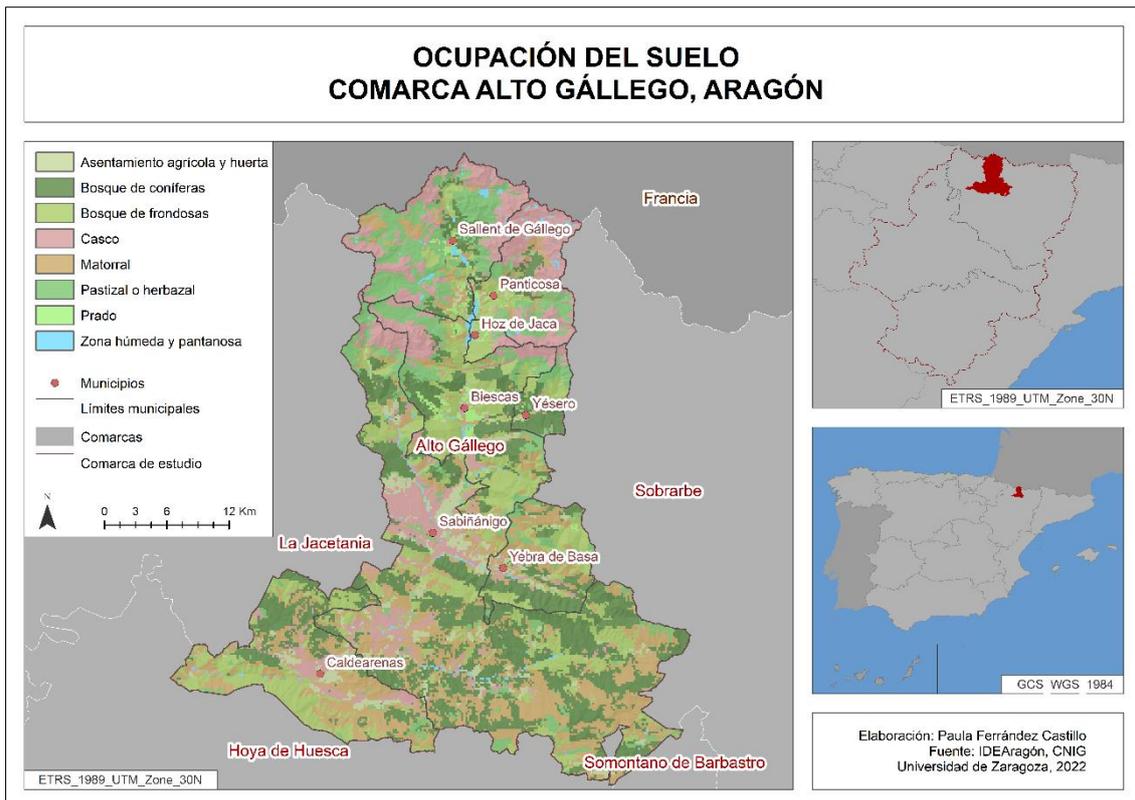


Figura 9. Ocupación del suelo en la comarca Alto Gállego, Aragón

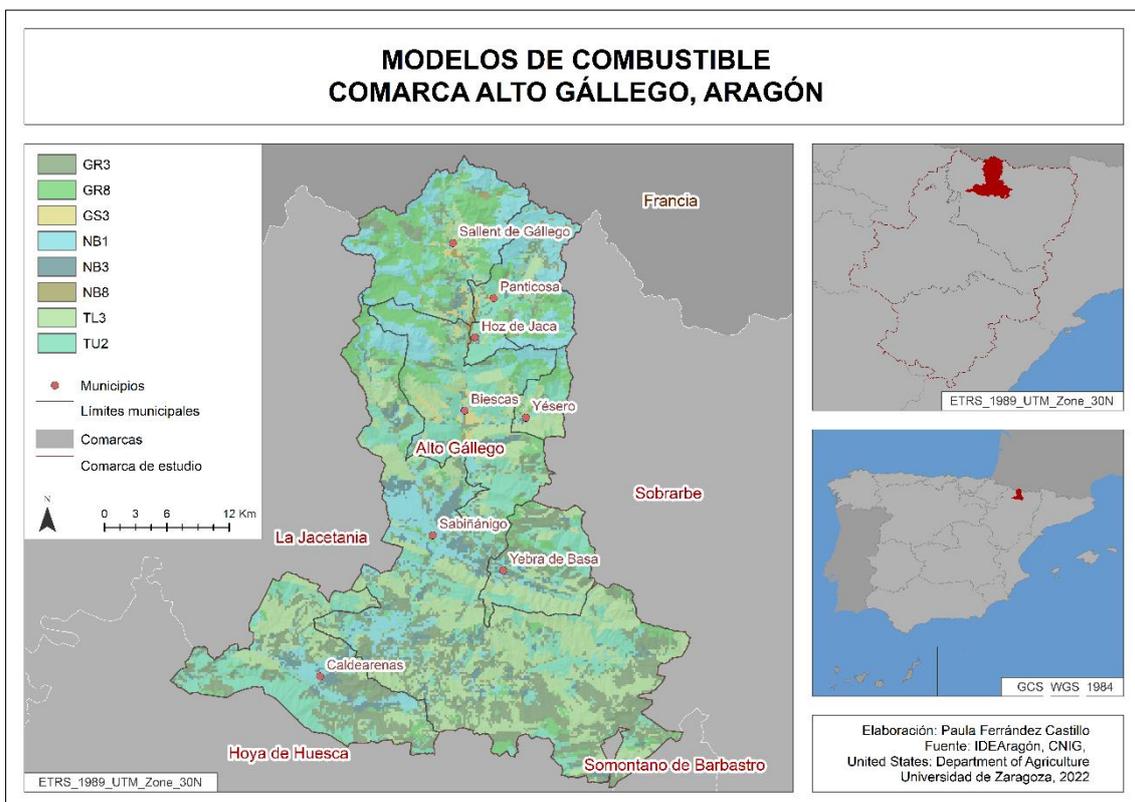


Figura 10. Modelos de combustible en la comarca Alto Gállego, Aragón

4.2 ZONIFICACIÓN DE PELIGRO DE INCENDIO

Las zonificaciones de las principales situaciones meteorológicas vinculadas a la ocurrencia histórica de incendios en el área de estudio y su entorno se ha extraído de las Zonas de Meteoalerta (*Anexo 1. Zonas de meteoalerta*), que hacen referencia a aquellas áreas que presentan una alerta por peligro meteorológico relacionado principalmente por el calor o viento. Estas son delimitadas por las unidades de Protección Civil del Gobierno de Aragón.

Alto Gállego, pertenece a las siguientes zonas de meteoalerta: PAX – Pirineo Axial (Sallent de Gállego, Panticosa y Hoz de Jaca), POC – Pirineo Occidental (Biescas, Yésero y norte de Sabiñanigo), POR - Pirineo Oriental (norte de Yebra de Basa), PPOC – Prepirineo Occidental (suroeste de Sabiñanigo y Caldearenas), y PPCN – Prepirineo Central (sur de Yebra de Basa y sureste de Sabiñanigo).

Las primeras zonas semejantes son la del Pirineo Axial (PAX), y Occidental (POC). El área norte está compuesta por las cumbres aragonesas, con altitudes superiores a los 2.000 m, y solo descienden en altitud en los valles pirenaicos. Por el contrario, la zona más suroccidental, presenta menores altitudes que van decreciendo de norte a sur desde los 1.900 m hasta alrededor de 800 m. En toda esta área domina una red hidrográfica cuyos valles se encuentran en alineaciones de N-S o similares. Pertenece a la Región Eurosiberiana y dentro de esta, a los pisos bioclimáticos alpino-subalpino, en el caso de PAX, y montano, en el caso de POC.

La zona alpina responde a zonas que están por encima de los 2.200 m de altitud y cubiertas por los pastizales típicos de alta montaña, o que carecen de vegetación superior. Sin embargo, el área subalpina se representa, principalmente, por abetares y pinares de pino negro, ubicados en las zonas más elevadas de los valles.



Ilustración 2. Paisaje de la zona alpina desde el Pico Anayet (2.579 m). Elaboración propia

El área suroccidental (PPOC) está dominada por el piso montano, con existencia en las zonas más húmedas de hayedos-abetares higrófilos, y en las de menor altitud, hayedos con boj, pinares de umbría, de solana y bosques mesoxerófilos de roble pubescente o pino albar. De forma común, en estas áreas menos húmedas, aparece de forma habitual el quejigo.

Dada la elevada altitud presente en esta zona homóloga, los vientos en superficie se consideran muy parecidos a los vientos en altura. Esto se produce en todas las situaciones sinópticas, excepto para las masas de aire donde la topografía toma un papel de importancia mayor. Precisamente por ello, es en estas situaciones y en las de sur donde se ven las principales diferencias entre ambas zonas homologas de meteoaleta en relación con su régimen de vientos.

Por ello, la propagación de incendios llegará normalmente de S-SO en situaciones de vientos de suroeste con y sin divisoria de aguas, de O-SO en situaciones de vientos de oeste, y de N-NO bajo ondas largas del NO. Con las situaciones de masas de aire, se advierte:

- Algo más de flujo de NO en PAX que en POC.
- Bajo situaciones de sur, se espera en PAX una propagación de sur, mientras que en POC podría ser más de SE (podrían derivarse estas diferencias de una mayor influencia topográfica en POC).

La propagación del fuego en estas zonas tiene como factor principal el viento, y estará también muy condicionada por la marcada topografía de la misma en situaciones de calma.

En el PAX, la superficie total forestal, según los datos aportados en el documento de *Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de octubre 2015 versión 3 análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de Aragón*, ocupa 180.264 ha, un 96% de la superficie total. De ellas, el 27% de la superficie total es arbolado. La especie dominante en este lugar es el *Pinus uncinata*, seguida de *Pinus sylvestris*.

Tal y como pone en el documento mencionado anteriormente, *Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de octubre 2015 versión 3 análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de Aragón*, en POC, la superficie forestal ocupa un 90.949 ha, lo que viene a ser el 94% de la superficie total. De ellas, 78.558 ha son arboladas, un 81% de la superficie total. La especie arbórea dominante de forma muy notable, en esta zona, es el *Pinus sylvestris* (pino silvestre), que ocupa casi 55.000 ha como especie principal.

La segunda de las zonas homólogas sería la del Prepirineo Occidental (PPOC) y Prepirineo Central (PPCN). Se forma por la Depresión Intrapirenaica y las sierras Exteriores. El área oriental (PPCN) posee mayores altitudes, sobrepasando los 1000 m en la mayoría de los casos. El resto de la zona homóloga (PPOC) cuenta con menores altitudes que van disminuyendo de los 1.000 m en extensas zonas de la depresión central. Casi toda la zona presenta una topografía muy abrupta, con los cauces principales, en muchas ocasiones, presentando alineaciones E-O.

Se representan estos territorios prepirenaicos por el piso supramediterráneo. Existe un predominio de los quejigares y pinares silvestres y, en menor medida, de pino laricio. En cuanto al estrato arbustivo, dominan especies como el boj o majuelo. En localizaciones de carácter más xérico, es decir, más seco, como la parte suroriental del PPCN, encontramos formaciones de encinas. Para ambas zonas, el régimen de vientos resulta bastante similar, con pequeños matices.

- Bajo situaciones de sur, dominan los vientos de SE.
- Con suroeste con y sin divisoria de aguas, hacen lo suyo los de S-SE, así como los de NO, en ondas largas del NO.
- En situaciones del oeste, el dominio lo ejercen los vientos del O, aunque en el área occidental tienden a ser NO.

- Bajo influjo de las masas de aire existe una mayor variabilidad de direcciones de viento, con un mayor dominio de aires SO-S-SE en PPCN y muy variables en PPOC, normalmente O-NO-SE.

De esta manera, los incendios más peligrosos llegarán de componentes SE-S, en situaciones de sur o suroeste. En estas ocasiones, los incendios se guiarán por el viento, pudiendo alcanzar un carácter convectivo con el combustible disponible. La topografía marcada de la zona puede tener un papel importante en la propagación, haciendo de mecanismo de disparo para la generación de un incendio convectivo, es decir, en el momento en el que el calor desprendido por la combustión calienta el aire, provocando corrientes ascendentes que desecan el combustible que encuentran en su paso, favoreciendo de esa manera la propagación del fuego y proyección de partículas en combustión. Además, se puede producir incendios relativamente importantes bajo situaciones de oeste u ondas largas de noroeste, guiados principalmente por el viento.

Guiados por el documento empleado anteriormente, en la zona PPOC, la superficie forestal ocupa el 76% de la total, lo que vienen a ser 172.236 ha. De ellas, 134.406 ha son arboladas, 60% de la superficie total). Las especies arbóreas dominantes son el *Quercus ilex*, *Pinus nigra* y *Quercus faginea*. A estos les sigue el *Pinus sylvestris*. Por el contrario, en el PPCN, la superficie forestal ocupa un 97% de la extensión total, lo que son 63.491 ha. De ellas, 41.838 ha son arboladas. La especie arbórea dominante, de forma llamativa, es el *Pinus Sylvestris*. Seguido, le siguen el *Quercus ilex* y *faginea*.

El sector nororiental es la tercera de las zonas homólogas posibles. Esta se conforma por las zonas de meteoalerta del Pirineo Oriental (POR), Prepirineo Oriental (PPOR) y Somontano Oriental (SMOR). Para este estudio, solo será necesaria la descripción del Pirineo Oriental, ya que las otras están fuera del área de estudio. Esta zona comprende es muy heterogénea, en cuanto a pisos climáticos, pero muy parecida en lo referente a régimen de vientos. Posee también una red hidrográfica con bastantes similitudes ya que, en muchas ocasiones, los cauces principales siguen un sentido N-S. En ella, la variabilidad florística es muy elevada, puesto que se pasa del piso montano en (POR) con bosques de hayas, pino silvestre, pino negro e incluso algún abetar, hasta el piso mesomediterráneo. Entre estas especies, se pueden encontrar una gran variedad de formaciones como los quejigales. Generalmente, el sector oriental se caracteriza por presentar regímenes de vientos algo más bajos que en otras áreas de la región, y dominar los vientos de S-O en las situaciones de masas de aire, suroeste con divisoria de aguas, oeste y ondas largas de NO.

- Bajo situaciones de sur, predominan los vientos de S-E en toda la zona.

- Con menor frecuencia soplan de S-SO.
- Con situación suroeste sin divisoria de aguas existe mayor probabilidad de vientos del sur.

De manera más común, los incendios que se den en esta zona seguirán una propagación guiada por el viento y, que podría ayudarse de la topografía. Con el combustible que haya disponible, podrían llegar a observarse comportamientos convectivos, principalmente en la zona más seca y cálida. En cuanto a superficie forestal en POR, ocupa 154.963 ha, un 91% de la superficie total. De estas, 123.754 ha son arboladas. En este caso, la especie dominante de forma notable es el *Pinus sylvestris*.

5. RESULTADOS

En este estudio, los resultados obtenidos que se mostrarán a continuación pueden ayudar a hacerse una idea relativa a la ocurrencia y afección de incendios forestales en el entorno de la comarca oscense del Alto Gállego, así como un posible plan de gestión, adaptación o minimización de los mismos. Estos se han generado en tres escenarios diferentes, dependientes de la humedad, velocidad y dirección del viento, e incendios históricos en la zona.

Como se puede observar en la *Figura 10*, la zona oeste del municipio de Sallent de Gállego junto con una mínima superficie del norte de Yebra de Basa, presentan los valores máximos de probabilidad de quema en la comarca. Seguidos, se dan en color naranja y amarillo valores inferiores de probabilidad de quema, apareciendo en pequeños sectores del sur de Sabiñánigo, Caldearenas y Hoz de Jaca, norte de Yebra de Basa y Yésero, noroeste de Biescas o centro de Panticosa. El municipio que presenta mayor superficie en ambos colores es Sallent de Gállego, siendo mucho mayor que en el resto de los municipios. Por último, la distribución de los valores más bajos de probabilidad de quema se reparte a lo largo del Alto Gállego con tonos verdes. Además, cabe mencionar la existencia de amplias áreas con una probabilidad de quema nula o mínima, tanto que no queda representada en el mapa. La distribución, como se deja ver, no presenta una homogeneidad en el espacio, debido a las diferentes características y situaciones que existen en este entorno.

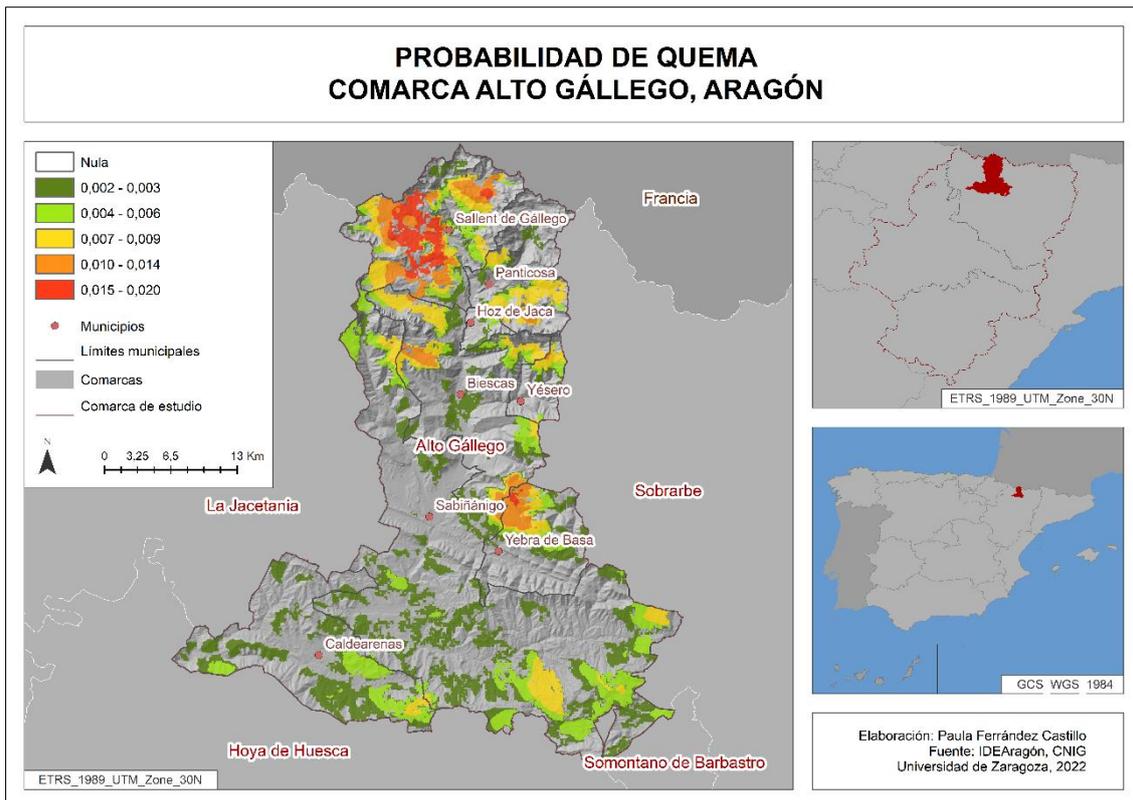


Figura 11. Probabilidad de quema en la comarca Alto Gállego, Aragón

Adjuntando elementos de interés a la figura anterior, como la red de carreteras convencionales y autovías, las líneas eléctricas que aportan luz a todo el territorio de estudio y sus áreas colindantes, y el sistema de cortafuegos, se generó el mapa siguiente: *Probabilidad de quema con afección a infraestructuras. Comarca Alto Gállego, Aragón.*

Con él, se puede hacer un análisis de las infraestructuras que quedarían afectadas si se diese un incendio forestal. La situación más problemática ocurriría en el municipio de Sallent de Gállego ya que quedaría totalmente incomunicada con el resto de las poblaciones. Además, la línea eléctrica quedaría también muy dañada, por lo que se produciría un apagón en la zona.

Es necesario mencionar la localización de los cortafuegos. Como se ve, presentan una distribución muy puntual en toda la superficie de estudio, sin ubicarse en puntos críticos de probabilidad de quema máximo.

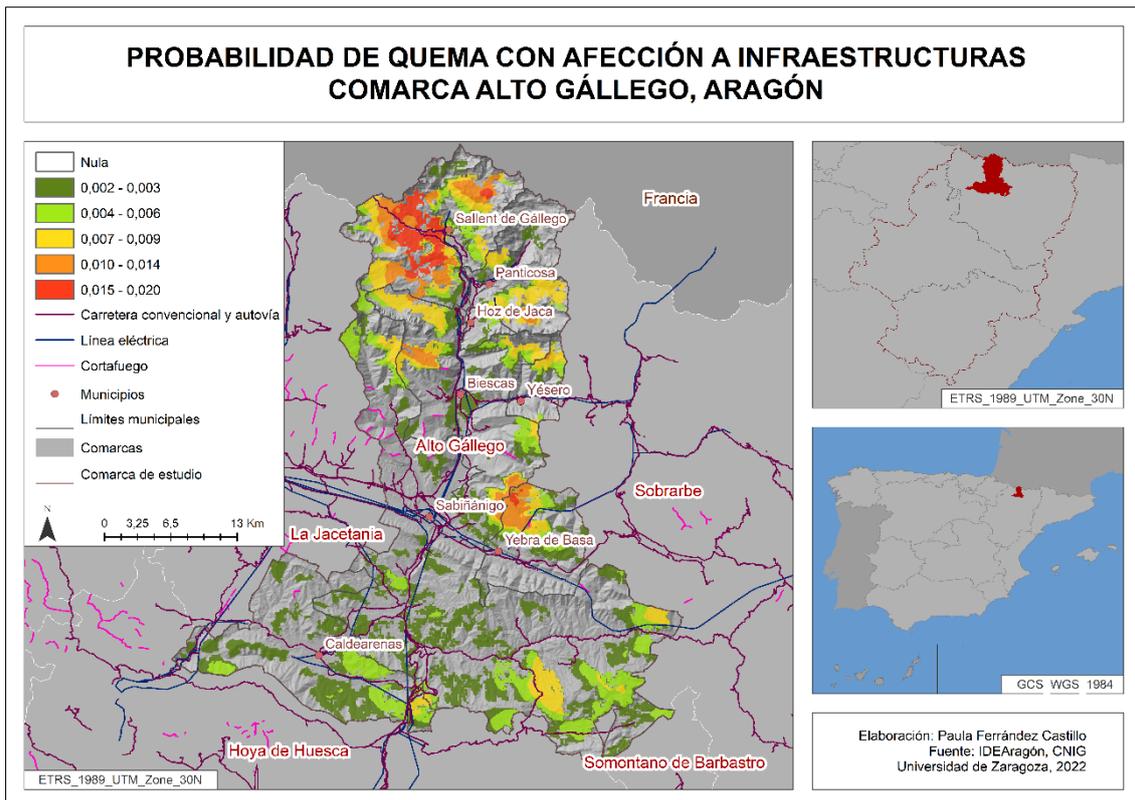


Figura 12. Probabilidad de quema con afección a infraestructuras en la comarca Alto Gállego, Aragón

La propagación del fuego (*Figura 12*) depende principalmente del equilibrio entre el calor derivado por la llama y la energía necesaria para la ignición del combustible (Thomas et al. 1964).

Además, está estrechamente relacionada con la probabilidad de quema, ya que en aquellos lugares en los que la probabilidad de quema sea elevada, su tasa de propagación también será elevada. Así mismo, las menores tasas se darán en las zonas con valores de probabilidad mínimos. Sin embargo, en las explanadas donde no hay probabilidad de quema puede haber propagación de incendio forestal originado en otro punto.



Ilustración 3. Infraestructuras del municipio Hoz de Jaca

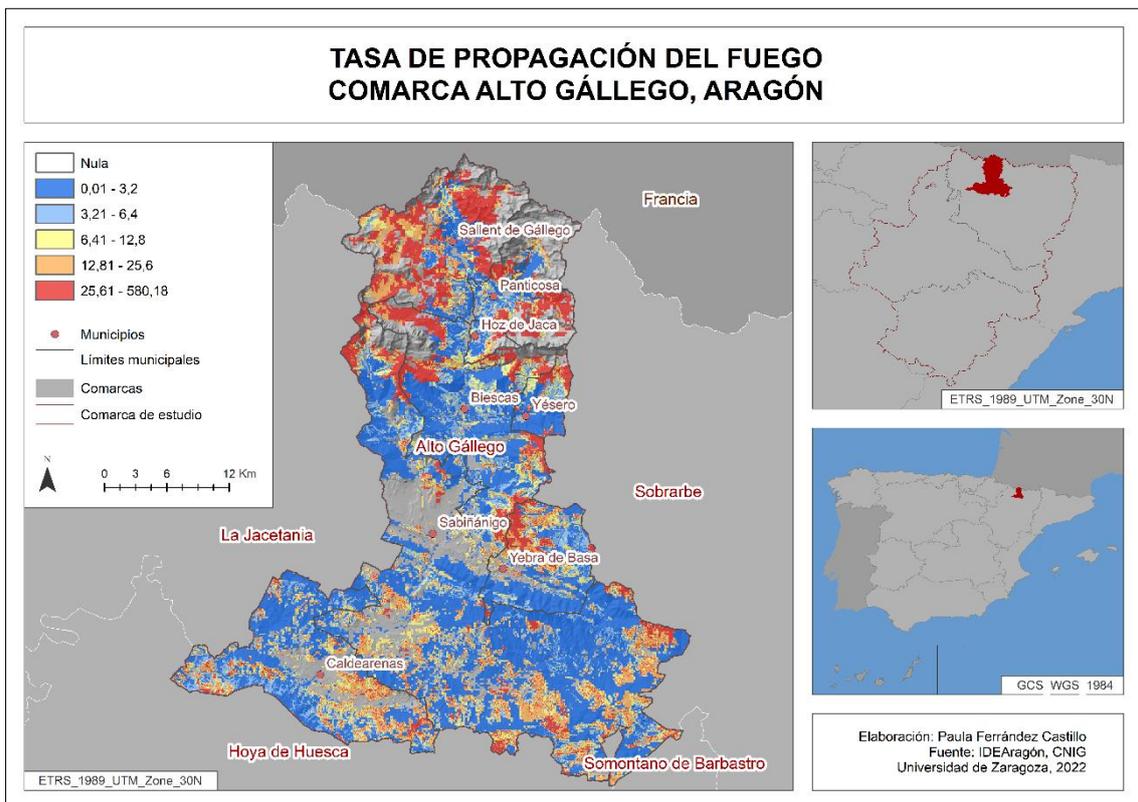


Figura 13. Tasa de propagación del fuego en la Comarca del Alto Gállego, Aragón

Lo expuesto en las Figuras 11 y 12 queda estrechamente ligado a la ocupación del suelo que se da en cada localización espacial y características de los modelos de

combustible explicados en los párrafos anteriores de este documento (4.1 Características de la zona de estudio). Si se analizan los mapas detenidamente, en el segundo, aparecen bastantes áreas con tasas de propagación baja, mientras que en el primero, estas zonas son inexistentes. Por ello, esta situación indica que, en esas zonas, la posibilidad de que el incendio forestal avance es muy baja, por lo que podrían actuar como “barreras” de extinción, hasta cierto punto.

La cartografía siguiente mostrará los resultados obtenidos de la exposición al fuego en diferentes elementos de interés, siendo estos los ocho municipios que componen la comarca, carreteras convencionales y autovías, líneas eléctricas y cortafuegos. El primer mapa hace referencia al nivel de exposición al fuego en los municipios oscenses del Alto Gállego. Como se puede apreciar, en caso de que se produjese un incendio forestal por cualquiera de las causas existentes, los municipios que quedarían más expuestos y en los que más impactos se producirían serían Sallent de Gállego y Yebra de Basa, seguidos de Biescas, Yésero, Hoz de Jaca, Sabiñánigo y, Caldearenas. Esto queda muy ligado con la ocupación del suelo y diferentes modelos de combustible mostrados en líneas anteriores de este documento ya que dependiendo de las características del municipio se dará una exposición mayor o menor.

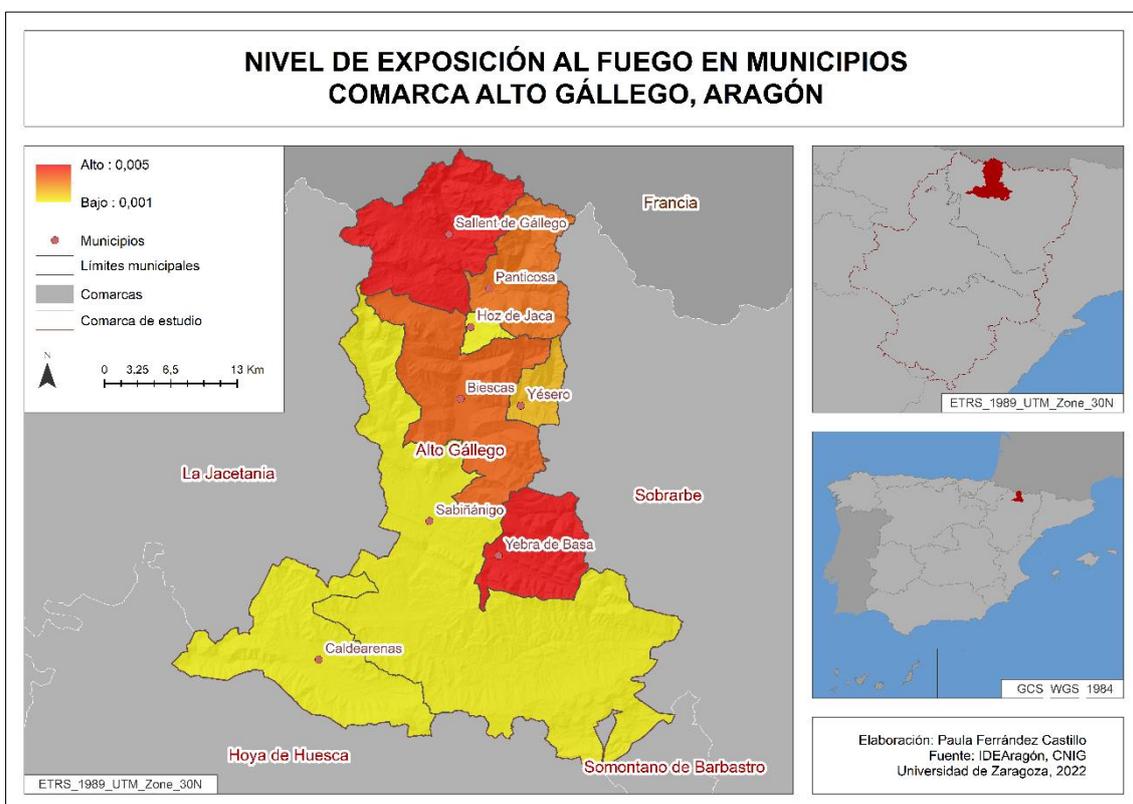


Figura 14. Nivel de exposición al fuego en municipios en la comarca Alto Gállego, Aragón

En cuanto al nivel de exposición al fuego en carreteras convencionales y autovías, la exposición más elevada se da en las vías de comunicación de Sallent de Gállego con el resto de los municipios colindantes y Francia. Las vías restantes que conectan las poblaciones de la comarca con las de comarcas vecinas, la exposición es baja, exceptuando pequeños tramos del sur o cercanos al municipio de Biescas.

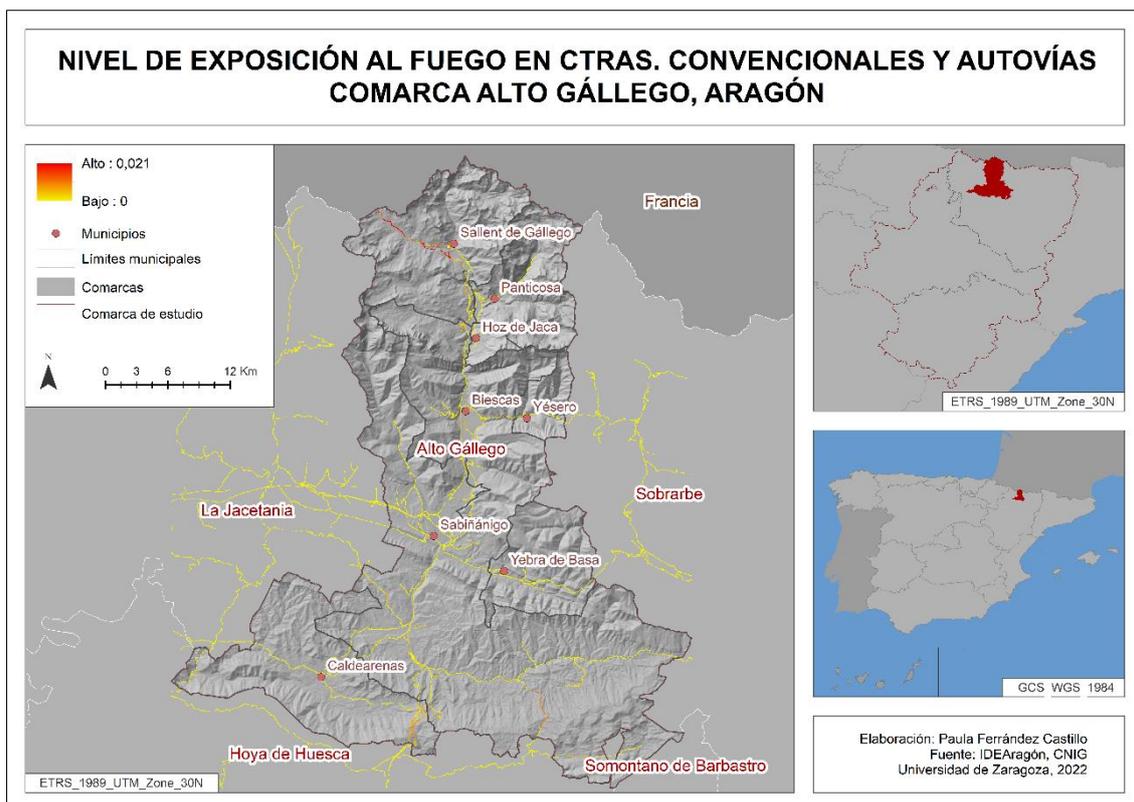


Figura 15. Nivel de exposición al fuego en carreteras convencionales y autovías en la comarca Alto Gállego, Aragón

Las líneas eléctricas, en caso de incendio forestal, solo se verían con un nivel de exposición máximo en cuatro puntos concretos siendo estos en Sallent de Gállego, Hoz de Jaca, Yebra de Basa y, Caldearenas. En Sabiñánigo y Biescas también se verían expuestas las líneas de electricidad, pero con un nivel inferior que en los municipios mencionados en líneas anteriores. Si el incendio forestal llegase a alcanzar las líneas, se produciría un corte de electricidad en aquellos lugares que lo que se recibiese electricidad de las líneas dañadas.

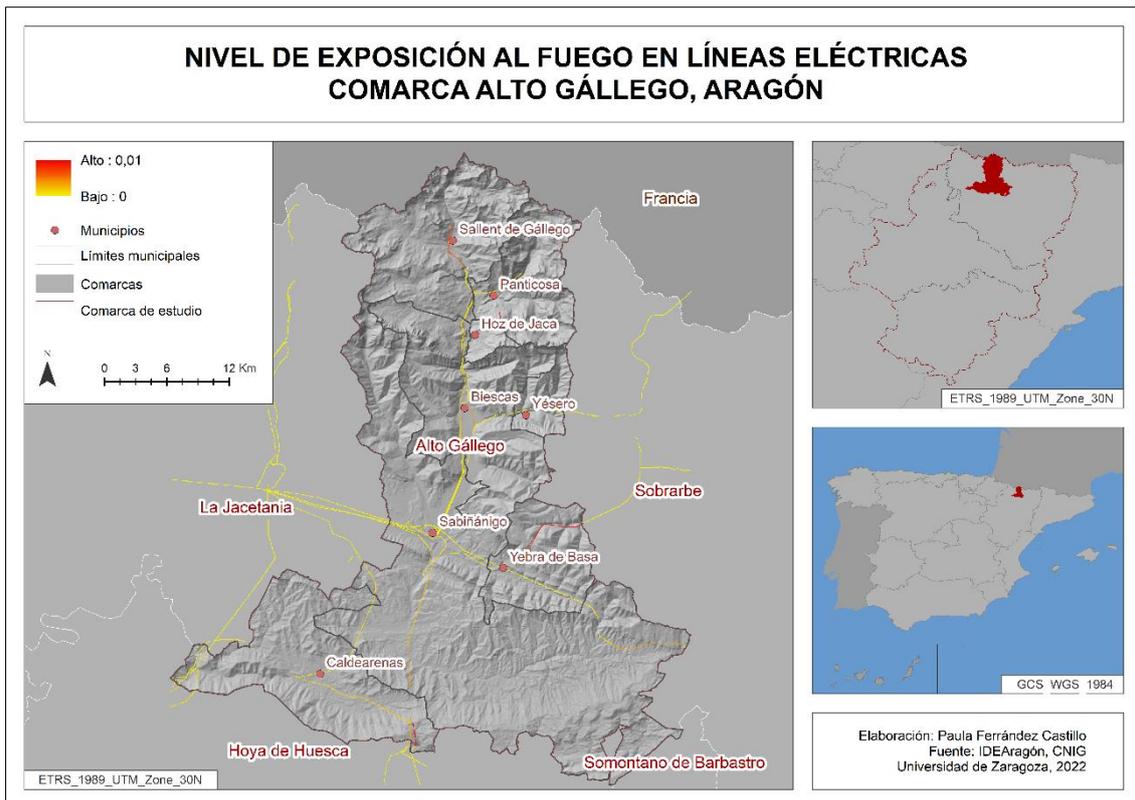


Figura 16. Nivel de exposición al fuego en líneas eléctricas en la comarca Alto Gállego, Aragón

El último mapa de resultados obtenido es el que representa el nivel de exposición al fuego en cortafuegos. Muestra la eficacia que tendrían en caso de que diese un escenario de incendio forestal. Los cortafuegos son infraestructuras líneas dispuestas sobre antiguos caminos, o cerca de las líneas de cumbres, donde se elimina toda la vegetación. Su función principal no es la de extinguir un incendio, sino la de aportar puntos de anclaje para las operaciones de extinción. Además, sirven como rutas de evacuación o desplazamientos. Como se observa en el mapa, la existencia de estas infraestructuras en la comarca es mínima, además de que presenta una distribución espacial bastante desequilibrada. Los lugares que presentan una elevada tasa de propagación y probabilidad de quema carecen de cortafuegos. Sin embargo, en áreas donde estos valores son mínimos, existen estas infraestructuras. Esto es un claro problema de gestión, ya que se trata de un elemento clave para las operaciones de extinción.

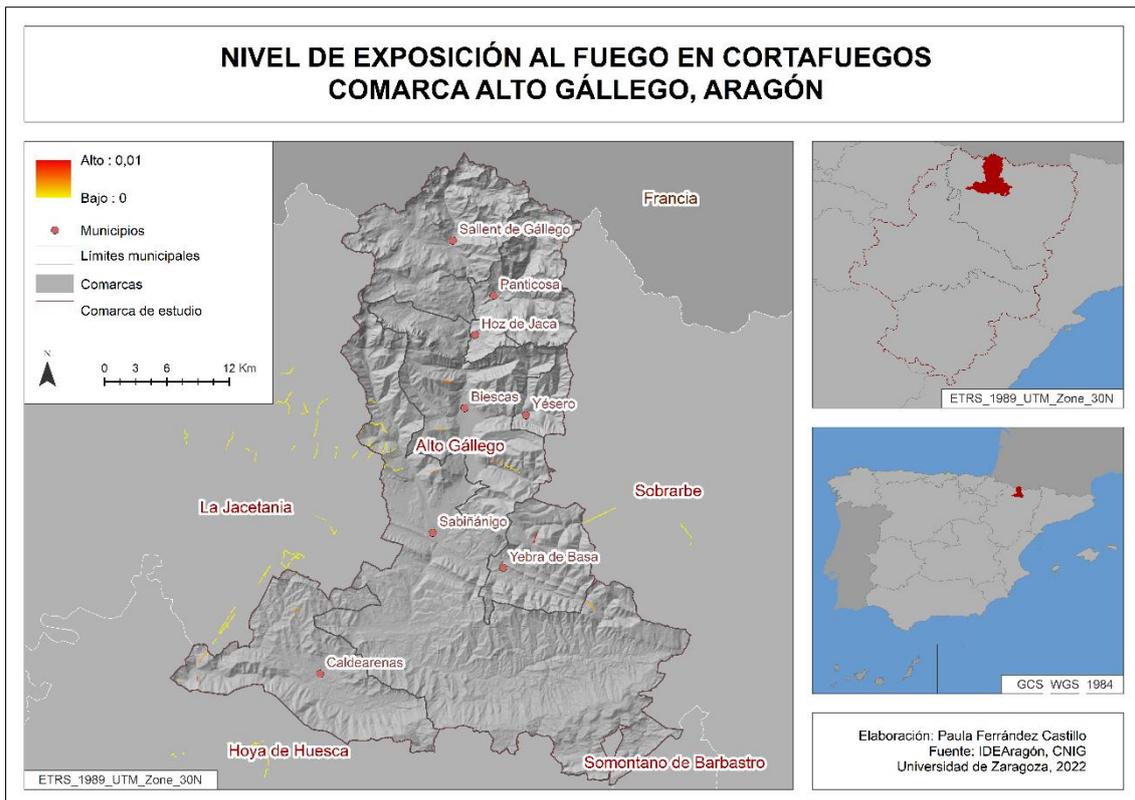


Figura 17. Nivel de exposición al fuego en cortafuegos en la comarca Alto Gállego, Aragón

6. DISCUSIÓN

El progresivo abandono de las áreas rurales y de las actividades tradicionales, como lo fueron la ganadería o agricultura, que venían realizándose en ellas, ha posibilitado un incremento muy notable de la biomasa y combustible forestal en los montes. Este hecho, unido al continuo avance del calentamiento global o cambio climático, genera un escenario peligroso para el desarrollo de grandes y catastróficos incendios forestales. Además, deja amplias extensiones continuas de masas forestales en el monte.

El clima controla los regímenes de incendios al actuar sobre la humedad del combustible, de forma directa, y sobre la estructura del combustible. Mientras que la humedad determina la inflamabilidad de la planta, la estructura del combustible hace referencia a la cantidad y conectividad de los recursos combustibles.

La inflamabilidad y el riesgo de incendio aumentan en años secos y cálidos, al igual que la actividad del fuego en condiciones de acumulación de combustible (Founda & Giannakopoulos, 2009).

La inviabilidad económica de realizar tratamientos selvícolas en gran grandes superficies de bosque, que mitigaría el riesgo de incendios de forma importante, obliga a llevar a cabo los tratamientos discontinuos, conocidas como cortafuegos, en aquellos puntos críticos o zonas en los que una actuación de esta magnitud tenga la mayor eficiencia posible de cara a la extinción del fuego. Esta eficiencia preventiva debe ir de la mano de las actuaciones de extinción que se pretendan desarrollar en cada lugar y, por lo tanto, puedan maximizar la eficiencia y seguridad en esas actuaciones al disminuir la propagación en áreas claves para el ataque de incendios. Algunos de los objetivos conseguidos en infraestructuras bien planteadas pueden ser las que se mencionan en el documento proporcionado por la Dirección General de Gestión Forestal, del Gobierno de Aragón, cuyo nombre es *Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de octubre 2015 versión 3 análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la comunidad autónoma de Aragón*: (i) punto de anclaje de la línea de control para las actuaciones de defensa de la masa; (ii) Como acceso seguro, tanto a nivel objetivo y subjetivo, de los medios de extinción. En cuanto al aspecto subjetivo, hace referencia a que los medios de extinción trabajan mejor accediendo por una discontinuidad que aporta sensación de seguridad; (iii) Puntos de toma para los medios aéreos en zonas con gran continuidad. Se les denomina helisuperficies; (iv) Zona segura en caso de necesidad de refugio; (v) Un referente visual y cartográfico para los medios en masas continuadas de cara a la estructuración de tácticas de extinción y para la selvicultura general.

Además, La gestión del riesgo de incendio forestal a escala de paisaje es compleja, ya que los grandes incendios pueden llegar a afectar a una gran cantidad de recursos e infraestructuras considerados de gran valor. Estos, en los que se incluyen las propias masas forestales que soportan el fuego, entidades de población y edificios, vías de comunicación o líneas eléctricas, entre muchos otros, tienen diferentes respuestas al fuego, beneficiándose algunos de los aspectos naturales y restauradores de los incendios forestales, mientras que otros pueden llegar a sufrir daños inaceptables e irreversibles.

La variabilidad de los incendios forestales, tanto espacial como temporal, propia complica todavía más las cosas, retando la capacidad de las administraciones para prepararse ante eventos de este tipo. Conocer de antemano la probabilidad de quema en cada punto del paisaje y el posible comportamiento del fuego, así como los impactos que puede generar, aporta información necesaria para mejorar la mitigación, adaptación y planificación en paisajes (Miller et *al.*, 2013).

Para realizar una determinada actuación, es necesario identificar y priorizar los puntos críticos para actuar preferentemente en ellos, ya que el presupuesto, seguramente, no permitirá actuar de forma preventiva en todas las localizaciones. Como es obvio, habría que actuar con máxima prioridad en las superficies que presenten mayor riesgo de exposición. Por ello, es necesaria la eficacia en la ubicación y correcta realización de las infraestructuras, además de la optimización, en la medida de lo posible, de los recursos económicos disponibles.

7. CONCLUSIÓN

En el presente Trabajo Fin de Grado se ha llevado a cabo una estimación del potencial de quema vinculado a la posible incidencia de incendios forestales en la Comarca del Alto Gállego, una zona de alta montaña con elevada presión antrópica. Como se ha visto a lo largo del presente documento, el potencial de afección de los incendios forestales en la comarca bañada por las aguas del río Gállego, presenta situaciones diferentes en cada municipio. Se encuentran dos puntos críticos en ella, siendo estos los focos de alta probabilidad de quema en el oeste de Sallent de Gállego y el noroeste de Yebra de Basa.

Estos focos parecen estar relacionados principalmente con su la ocupación del suelo, de la que se han derivado los modelos de combustible. Ambas localizaciones presenten vegetación de tipo matorral y pastizal, y con modelos de combustible de tipo NB3 y GR8. El modelo de combustible predominante (NB3) corresponde a superficie agrícola mantenida, lo que incluye a superficies en los que el empleo de maquinaria es continuo. En el caso de GR8, el principal portador del fuego es la hierba continua y muy gruesa de los climas húmedos, la carga y su profundidad son mayores, por lo que la tasa de propagación y longitud de llama pueden llegar a ser extremos si el césped está totalmente seco. Por el contrario, en el resto de la zona de estudio los valores de probabilidad de quema son mucho menores, por lo que se puede decir que no es una comarca muy problemática en cuanto a eventos de este tipo.

Además, cambio climático toma un papel importante ya que transforma los regímenes de incendios de múltiples maneras (Fargeon et al., 2020; Liu et al., 2010), lo que da como resultado temporadas de incendios más prolongadas y nuevos ecosistemas vulnerables. También afecta más ampliamente a los patrones climáticos, lo que intensifica las anomalías meteorológicas (olas de calor, vientos, sequías, etc.), y lo que hace que sea más difícil hacer frente a los comportamientos y efectos del fuego (Alcasena et al., 2019).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Briones, Felipe (s.f.). *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*. 2nd ed. [PDF] Zaragoza, pp.17-62. Available at: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRILAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98 [Consultado en abril, 2022]
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. a, D'Antonio, C. M., Defries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. a, Kull, C. a, Marston, J. B., Moritz, M. a, Prentice, I. C., Roos, C. I., Scott, A. C., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth system. *Science (New York, N.Y.)*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886> [Consultado en mayo, 2022]
- Costa, P., Castelnou, M., Larrañaga, A., Miralles, M.; Kraus, D. (2011). *Prevention of large fires using the fire type concept*. <https://doi.org/978-84-694-1457-6> [Consultado en mayo, 2022]
- Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón, 2016. *¡Aprendemos sobre los incendios forestales en Aragón!* 1st ed. [PDF] Zaragoza, pp.5-22. Available at: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_PROFESOR.pdf/23efc688-1120-d1b6-87d5-af45a060b0a8 [consultado en abril, 2022]
- Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón, 2022. *Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de meteoalerta de la Comunidad Autónoma de Aragón*. 3rd ed. [PDF] Zaragoza, pp.4-48. Available at: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/2015_ANALISIS_REGIMEN_INCENDIOS.pdf/8919acc0-c7f5-cda8-07a4-9bafdfbd26bf [Consultado en mayo, 2022]
- Gobierno de Aragón, D., 2022. *Avance estadístico de incendios forestales (31 de diciembre de 2021)*. [PDF] Zaragoza, pp.1-2. Available at: <https://www.aragon.es/documents/20127/3647218/Estad%C3%ADstica+de+incendios+forestales.+A%C3%B1o+2021.pdf/f394900d-268f-81a4-b122-5765fe79a24a?t=1643873323711> [Consultado en junio, 2022]
- González-Leonardo, M. and López-Gay, A., 2021. *Del éxodo rural al éxodo interurbano de titulados universitarios: la segunda oleada de despoblación*. [PDF] Barcelona, pp.7-42. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTREV/8087591> [Consultado en abril, 2022]

“lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data.” Remote Sensing of Environment, 251, 112061. ISSN 0034-4257, doi:10.1016/j.rse.2020.112061, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720304314> [Consultado en mayo, 2022]

Martin E. Alexander, Miguel G. Cruz, Tables for Estimating Canopy Fuel Characteristics from Stand Variables in Four Interior West Conifer Forest Types, *Forest Science*, Volume 60, Issue 4, August 2014, Pages 784–794, <https://doi.org/10.5849/forsci.13-506> [Consultado en abril, 2022]

MITECO, Área de Defensa contra Incendios Forestales, 2021. *Los Incendios Forestales en España. 1 enero – 31 diciembre 2020 Avance Informativo*. [PDF] Madrid, pp.5-14. Available at: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/avance_1_enero_31_diciembre_2020_tcm30-530816.pdf [Consultado en junio, 2022]

Parisien, M., Dawe, D., Miller, C., Stockdale, C. and Armitage, O., 2019. *Applications of simulation-based burn probability modelling: a review*. 28th ed. [PDF] Canada: International Journal of Wildland Fire, pp.913-926. Available at: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_journals/2019/rmrs_2019_parisien_m001.pdf [Consultado en junio, 2022]

Pausas, J. G., & Paula, S. (2012). Fuel shapes the fire-climate relationship: evidence from Mediterranean ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 21(11), 1074–1082. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00769.x> [Consultado en junio, 2022]

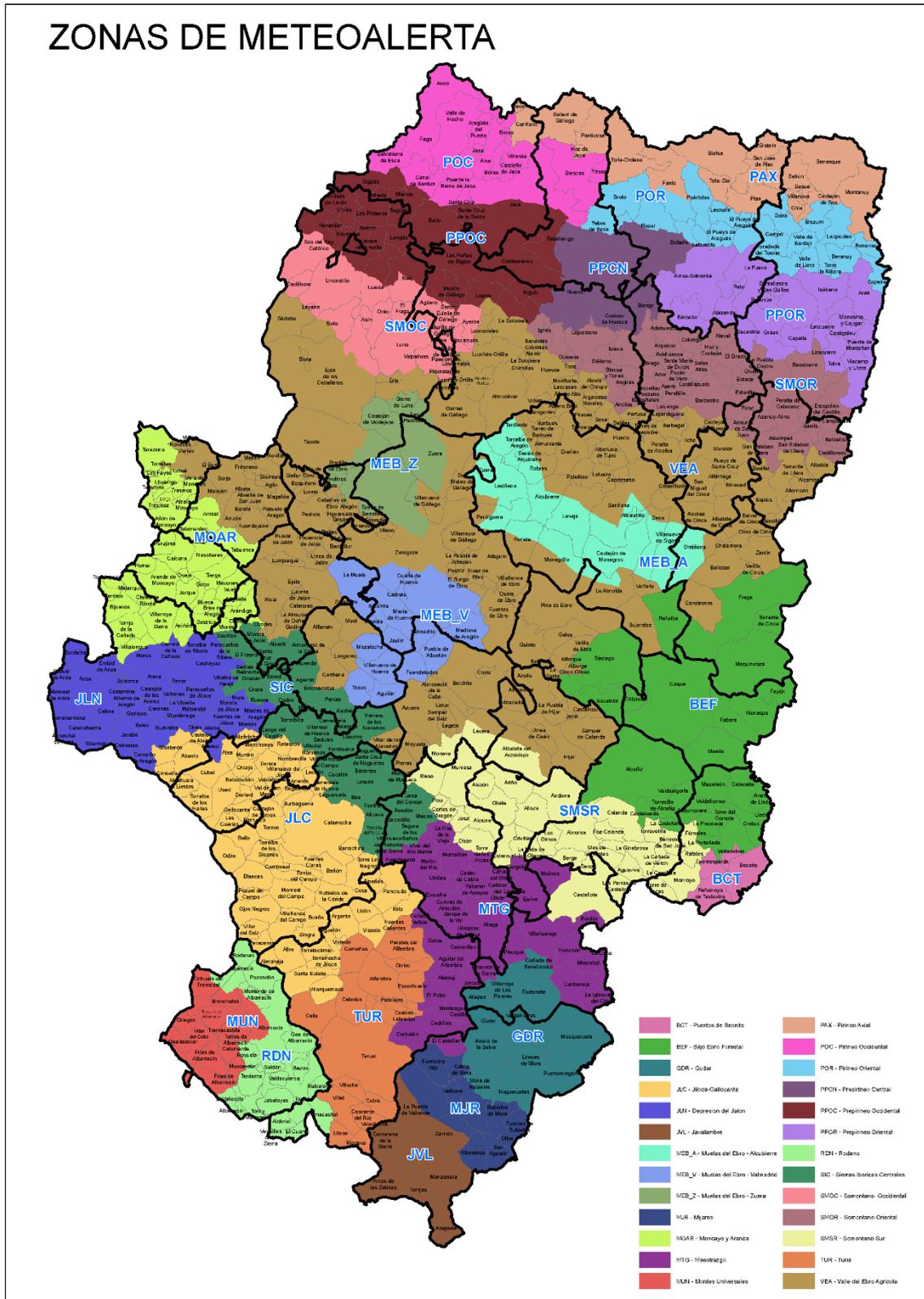
Pirineosaltogallego.com. 2022. *Naturaleza - Turismo Pirineos Alto Gállego*. [en línea] Disponible en: <https://www.pirineosaltogallego.com/naturaleza/> [Consultado en abril, 2022]

Rothermel, R. C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range*, 4–13. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/24635> [Consultado en mayo, 2022]

- San-Miguel-Ayanz, J., Rodrigues, M., Oliveira, S., Pacheco, C., Moreira, F., Duguy, B.; Camia, A. (2012). Land Cover Change and Fire Regime in the European Mediterranean Region. In F. Moreira, M. Arianoutsou, P. Corona; J. de las Heras (Eds.), *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests* (Vol. 24, pp. 21–43). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_2 [Consultado en mayo, 2022]
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). Standard Fire Behavior Fuel Surface Fire Spread Model Set for Use with Rothermel's Models: A Comprehensive. In *Department of Agriculture, Forest Service* (Vol. 76, Issue June). <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2017.11.007> [Consultado en mayo, 2022]
- Scott, J. H., Thompson, M. P.; Calkin, D. E. (2013). *A wildfire risk assessment framework for land and resource management*. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/56265>
- SL, D., 2022. *Comarca Alto Gállego - Página de voz - Gran Enciclopedia Aragonesa OnLine*. [en línea] Enciclopedia-aragonesa.com. Disponible en: http://www.encyclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=753 [Consultado en abril, 2022].
- The Conversation. 2022. *¿Sirven para algo los cortafuegos?* [online] Available at: <https://theconversation.com/sirven-para-algo-los-cortafuegos-163817> [Consultado en junio, 2022]
- Wagtendonk, J. (2009). *Fires and Landscape Conservation in Mediterranean Ecosystems*. In E. Chuvieco (Ed.), *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems* (pp. 27–39). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4_3 [Consultado en junio, 2022]
- Wunder, S., Calkin, D. E., Charlton, V., Feder, S., Martínez de Arano, I., Moore, P., Rodríguez y Silva, F., Tacconi, L., & Vega-García, C. (2021). Resilient landscapes to prevent catastrophic forest fires: Socioeconomic insights towards a new paradigm. *Forest Policy and Economics*, 128, 102458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102458> [Consultado en junio, 2022]

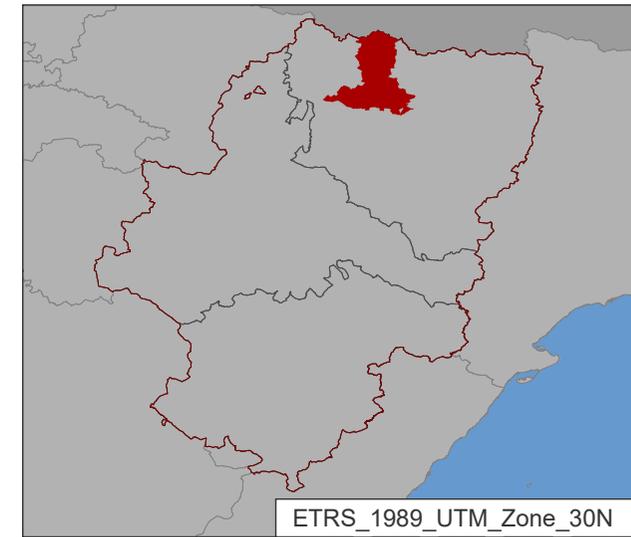
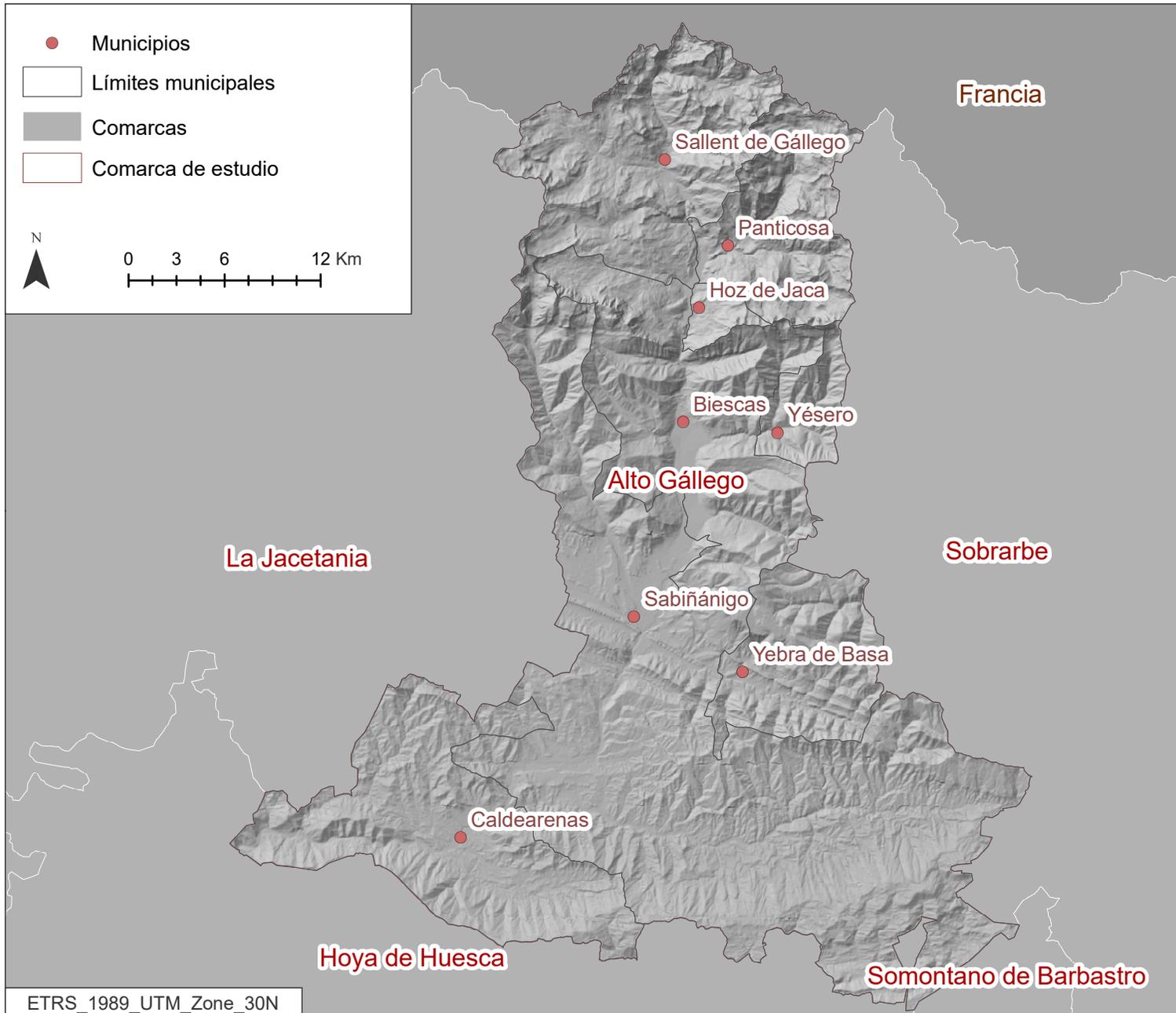
9. ANEXO

ANEXO 1. ZONAS DE METEALERTA



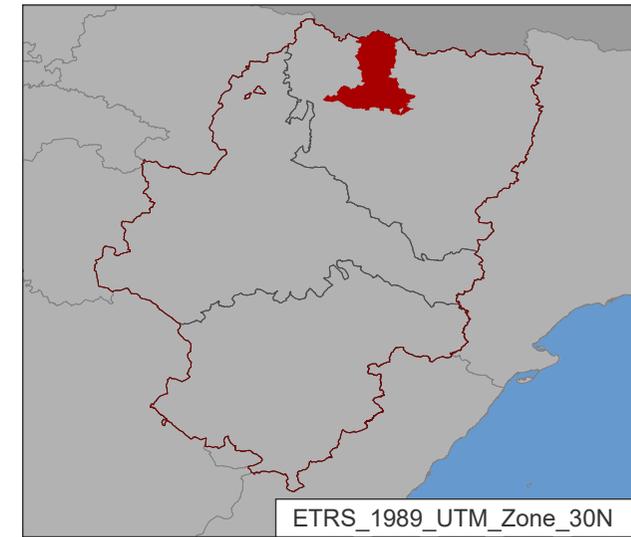
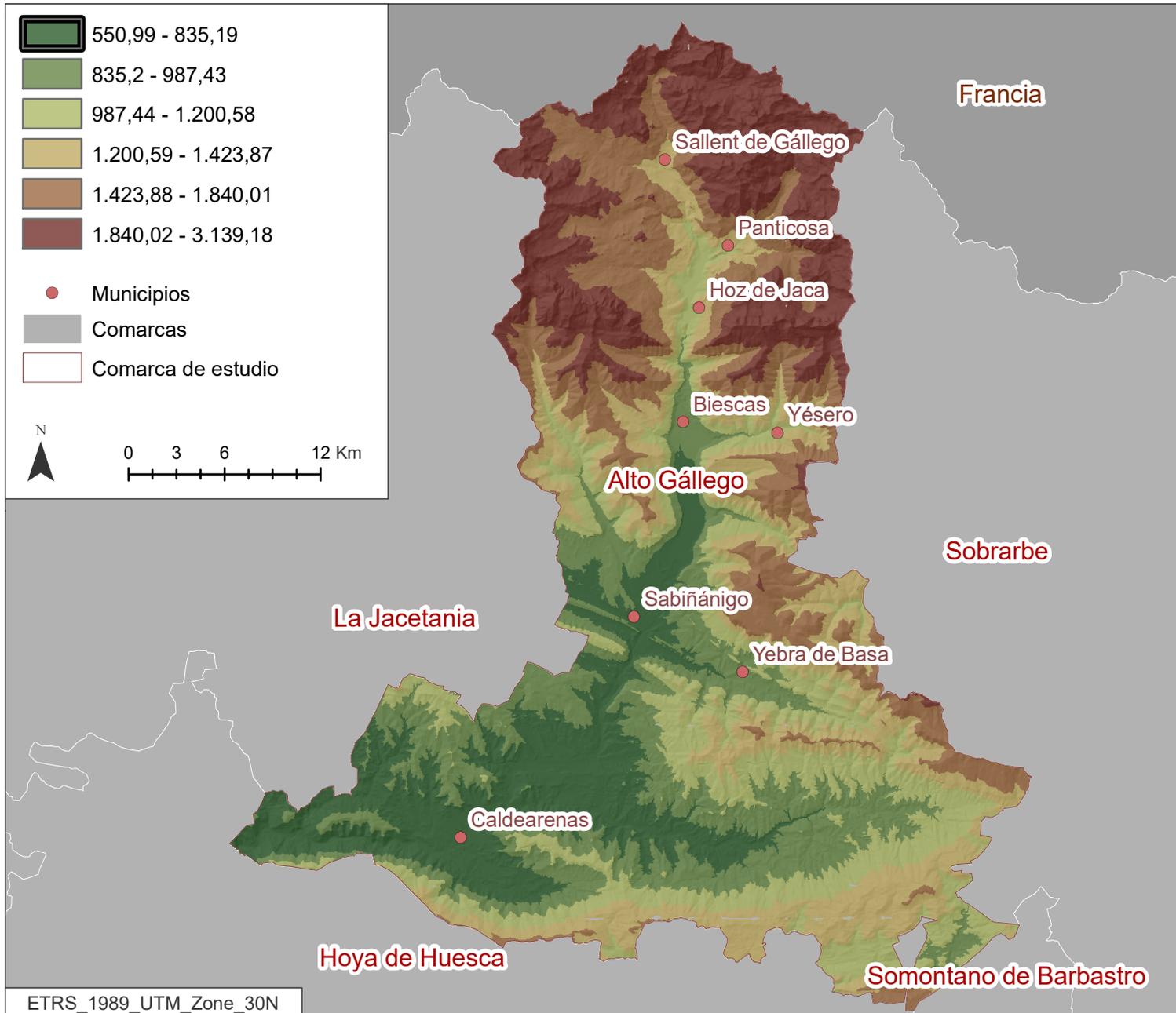
ZONAS DE METEALERTA. Fuente: Gobierno de Aragón

ÁREA DE ESTUDIO COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



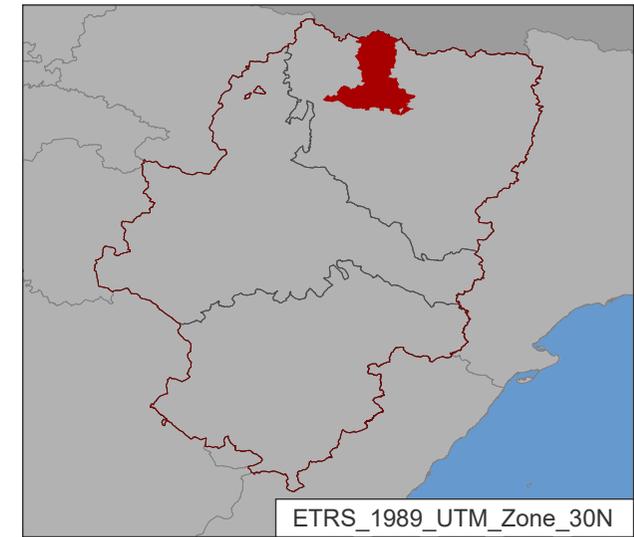
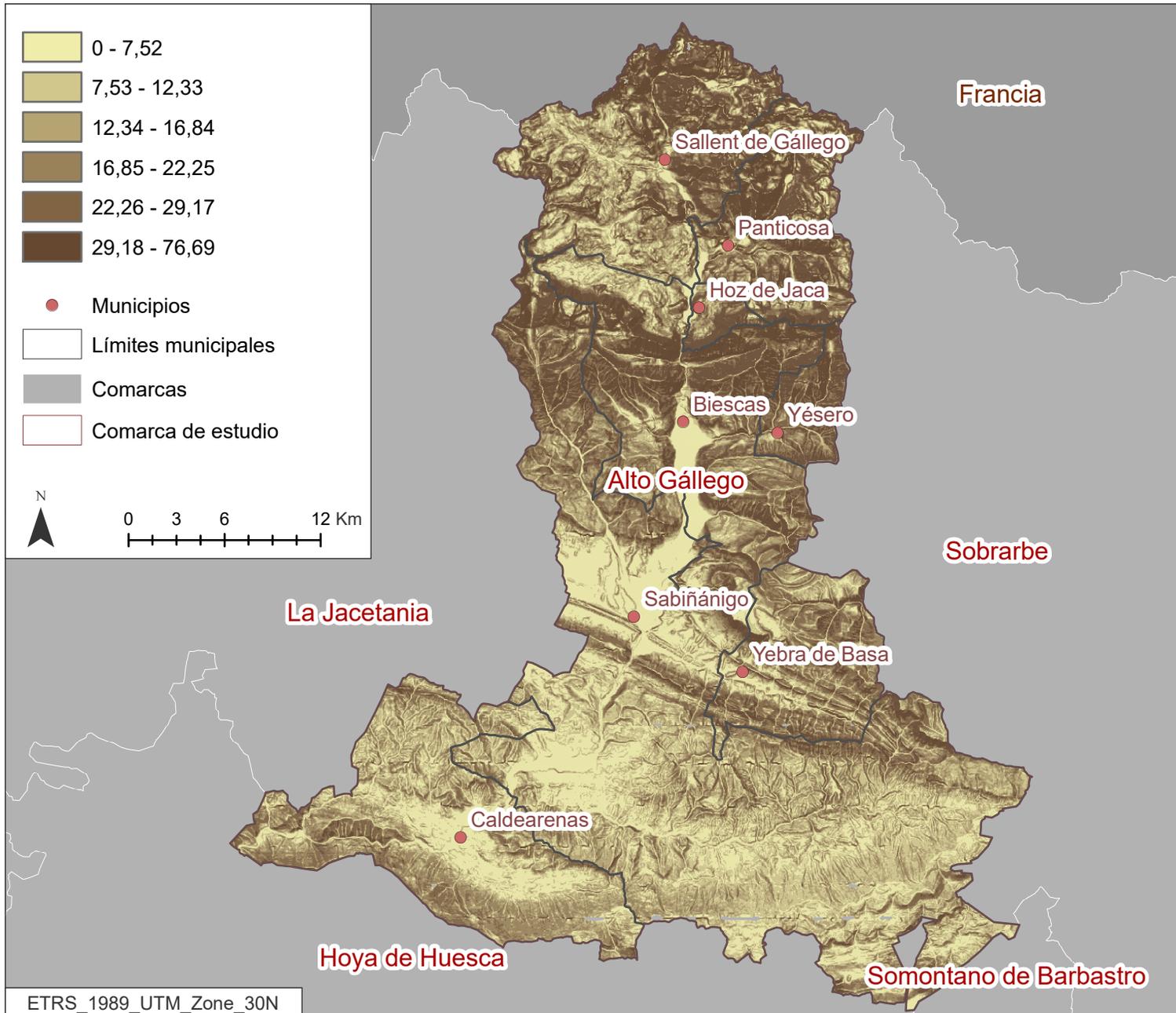
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

ELEVACIÓN COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



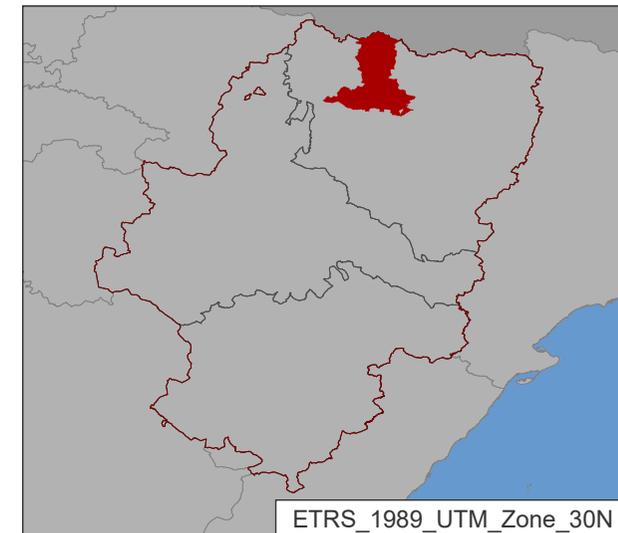
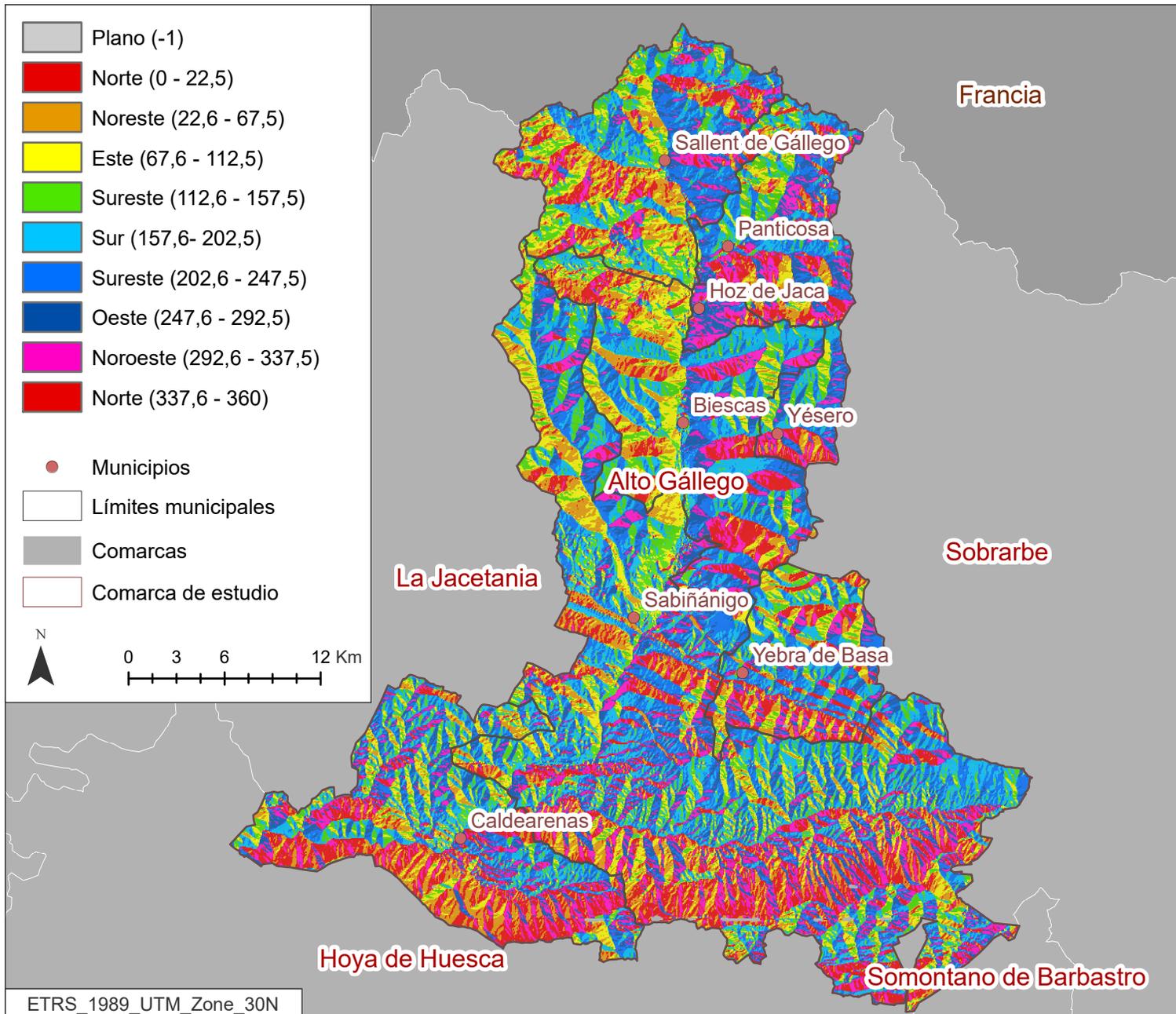
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

PENDIENTE COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



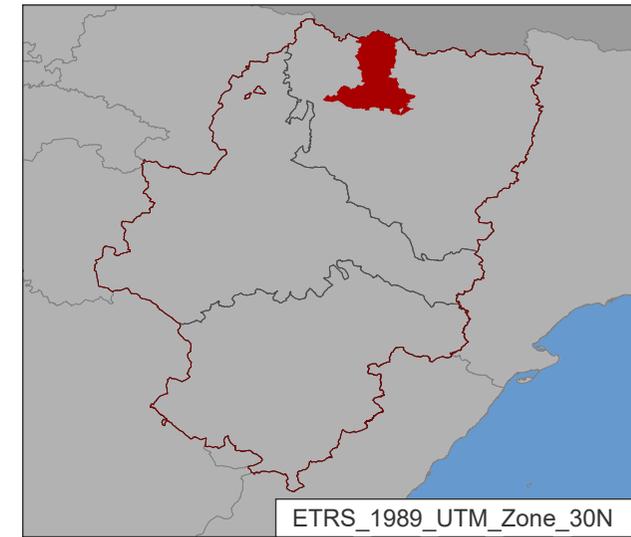
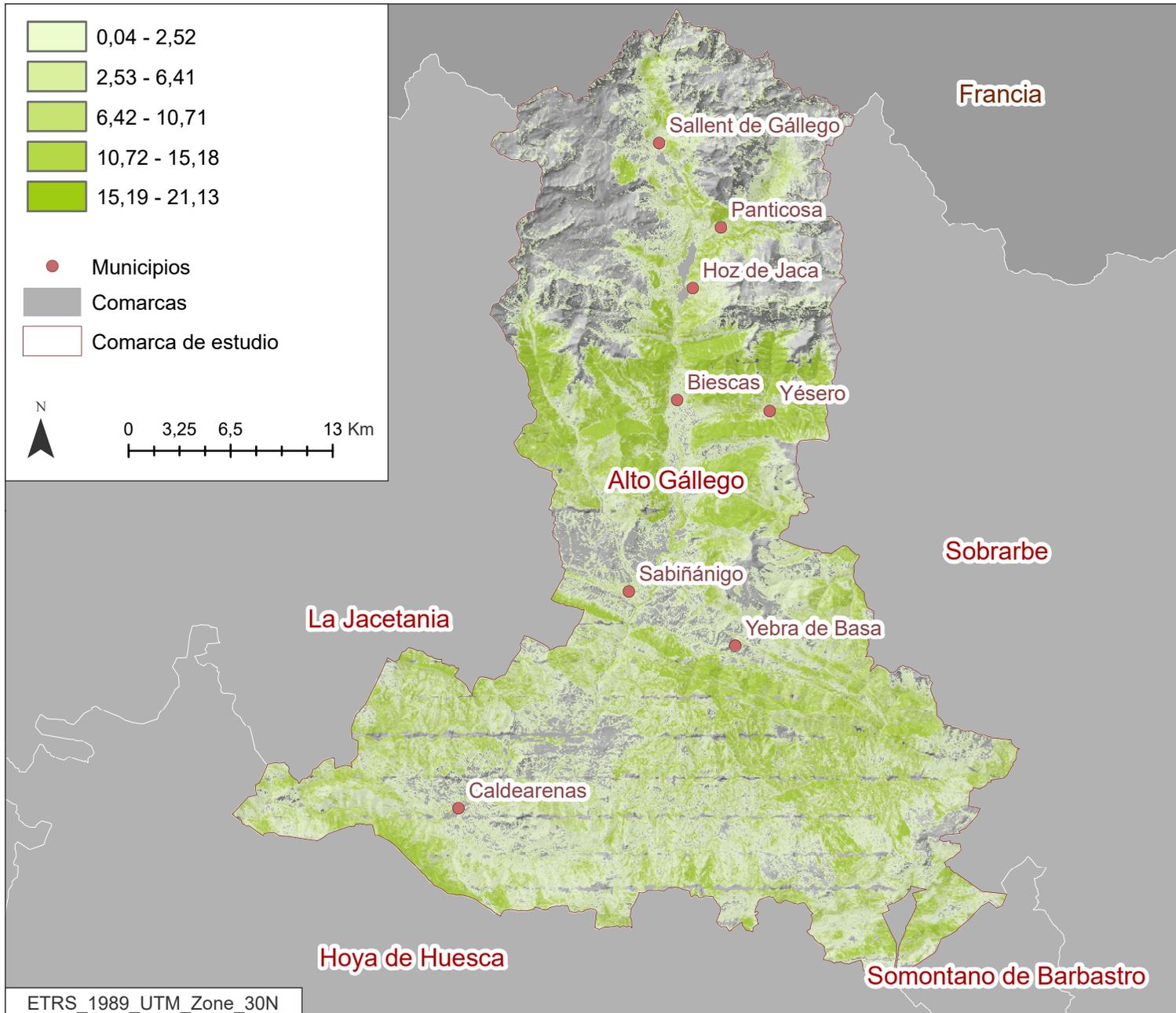
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

ORIENTACIÓN COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



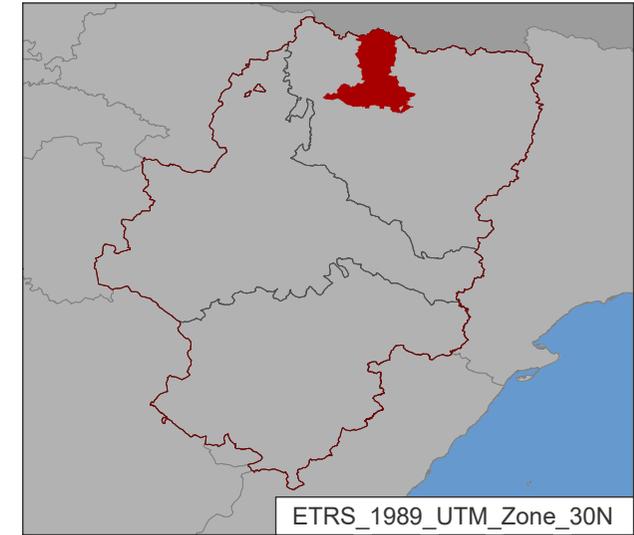
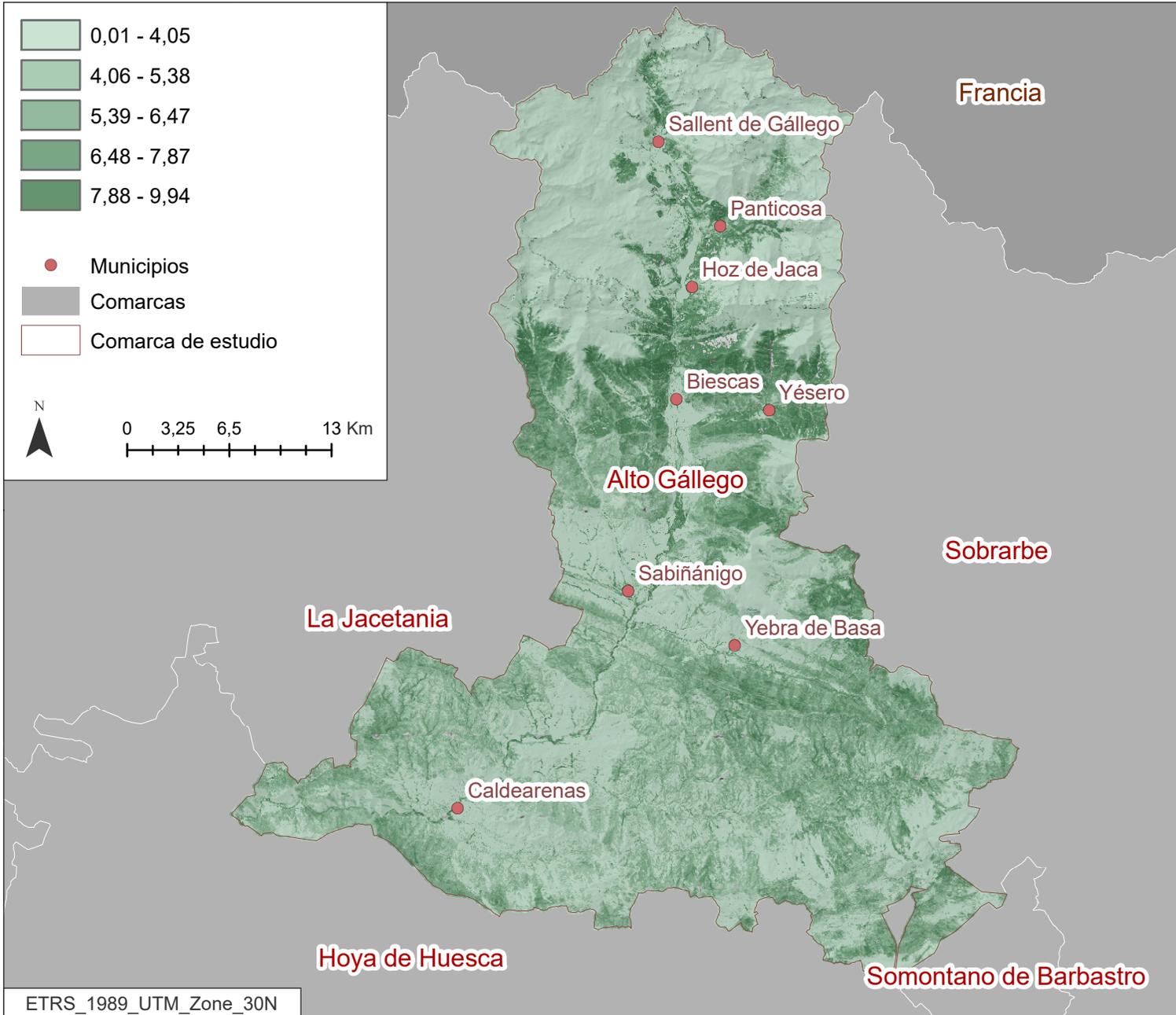
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

DENSIDAD DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES (kg/m³) COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



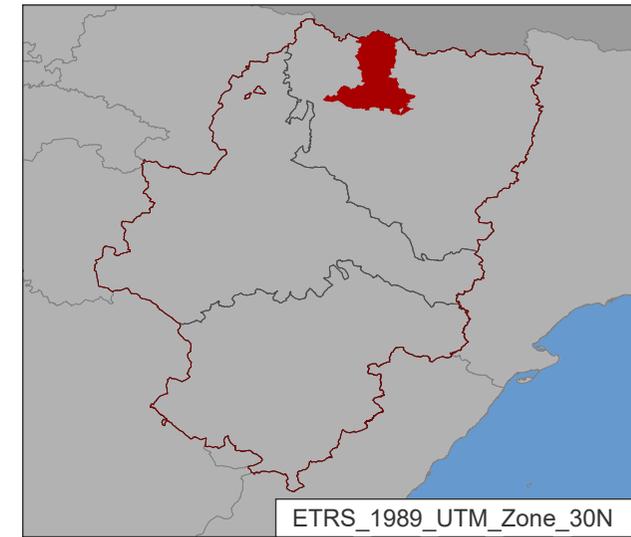
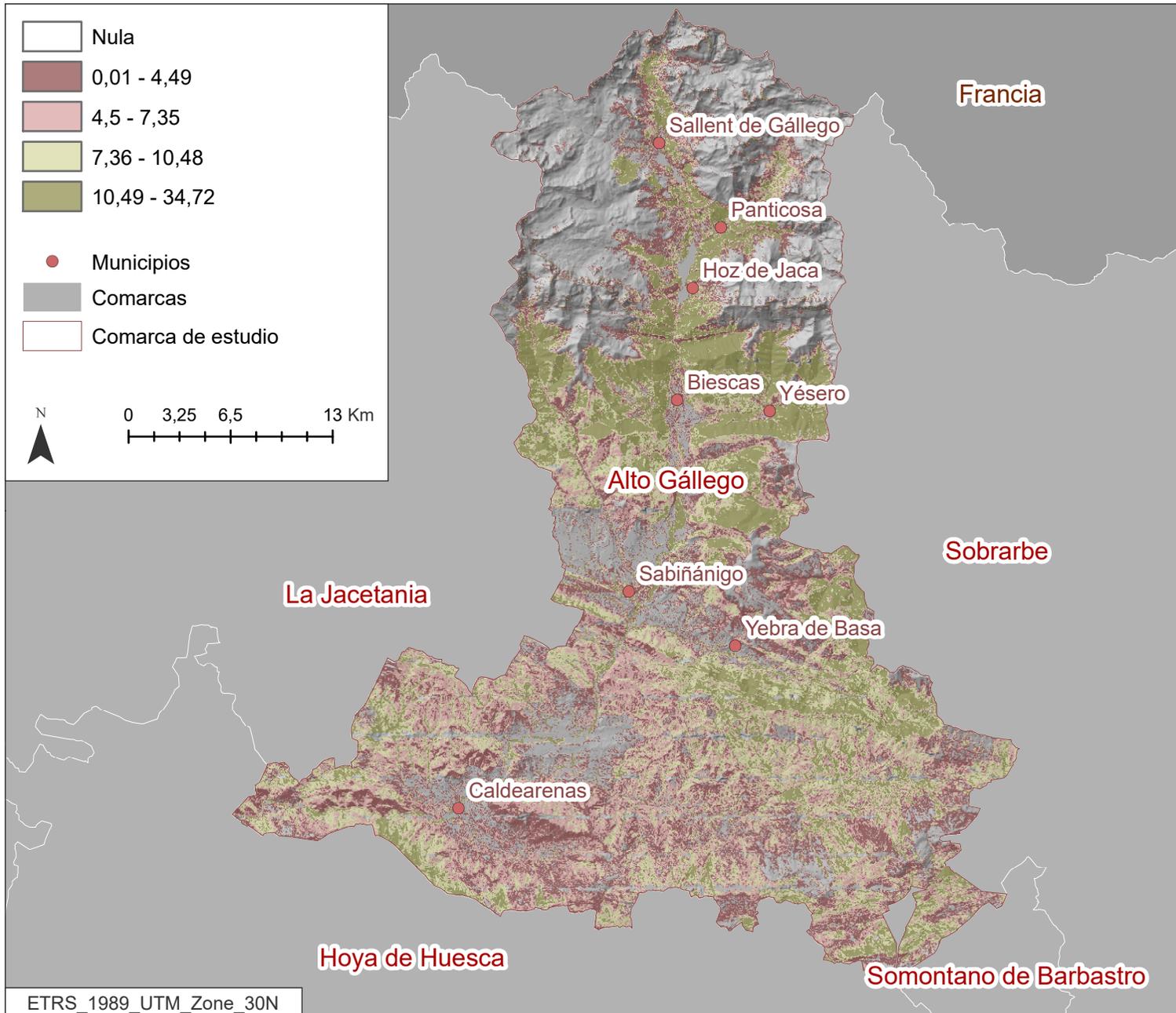
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

ALTURA DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



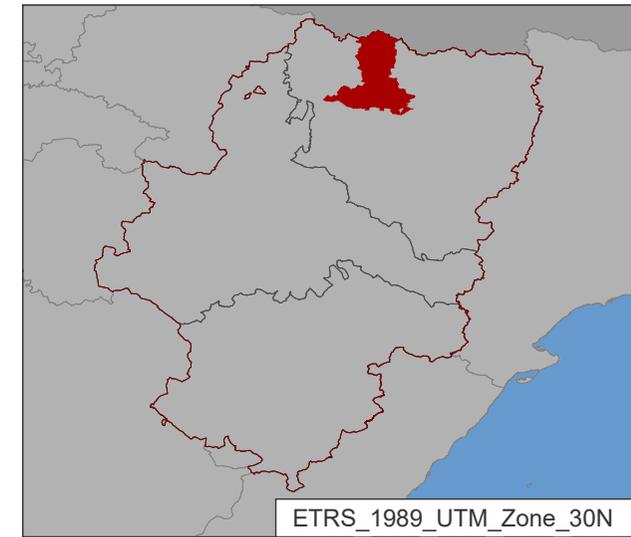
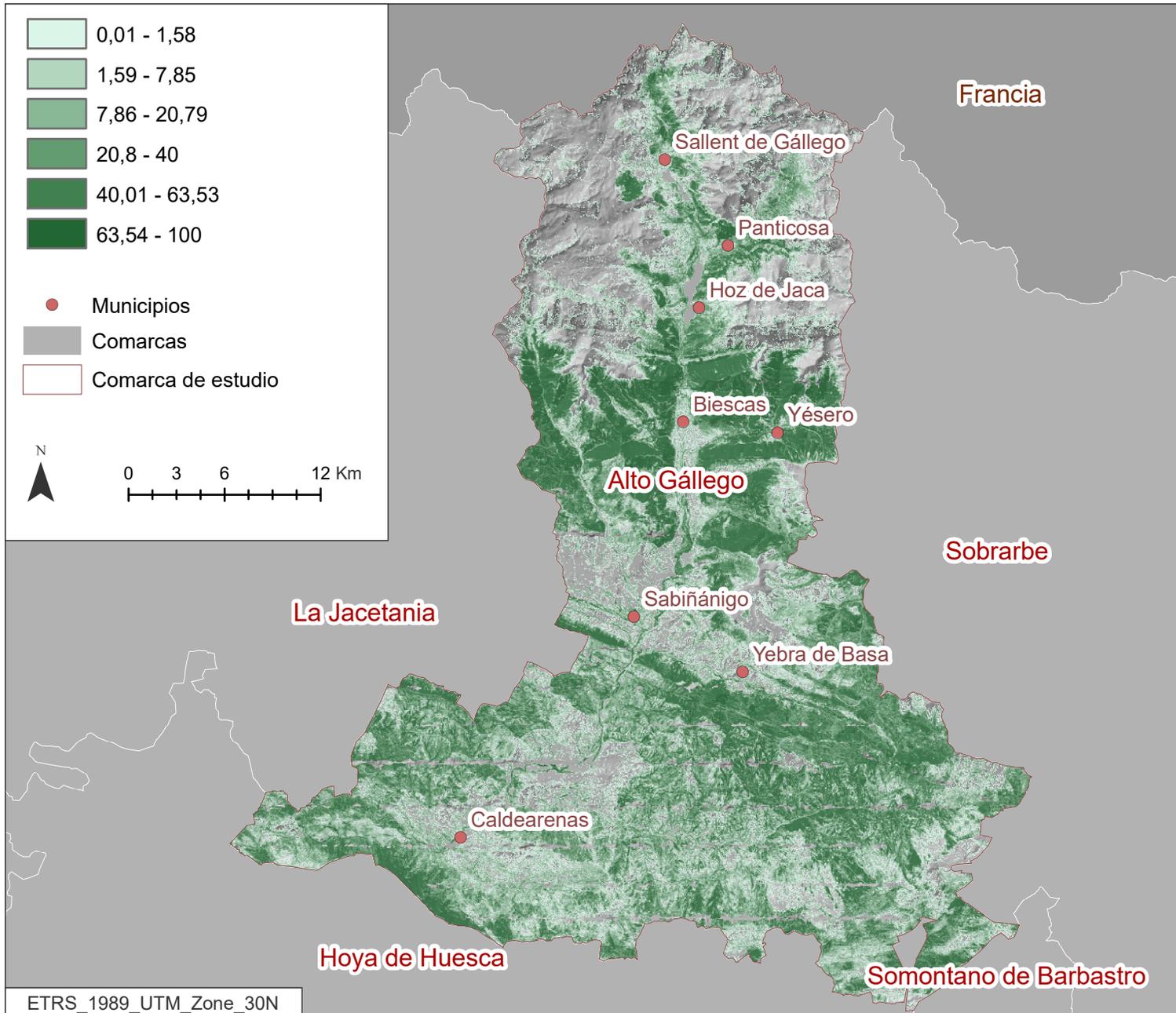
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

ALTURA DEL ARBOLADO COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



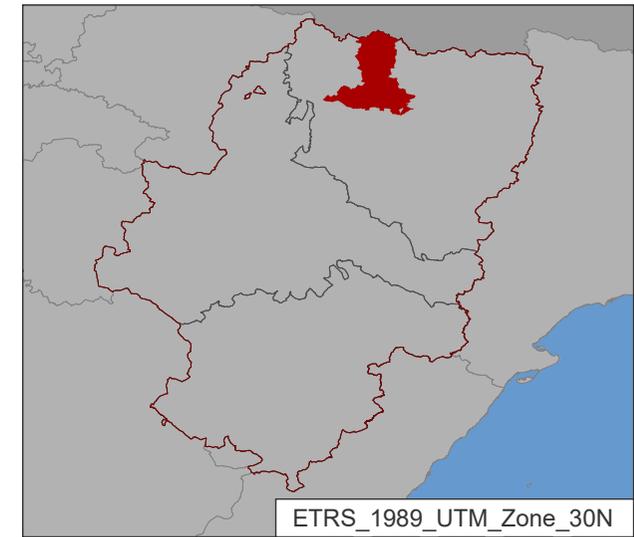
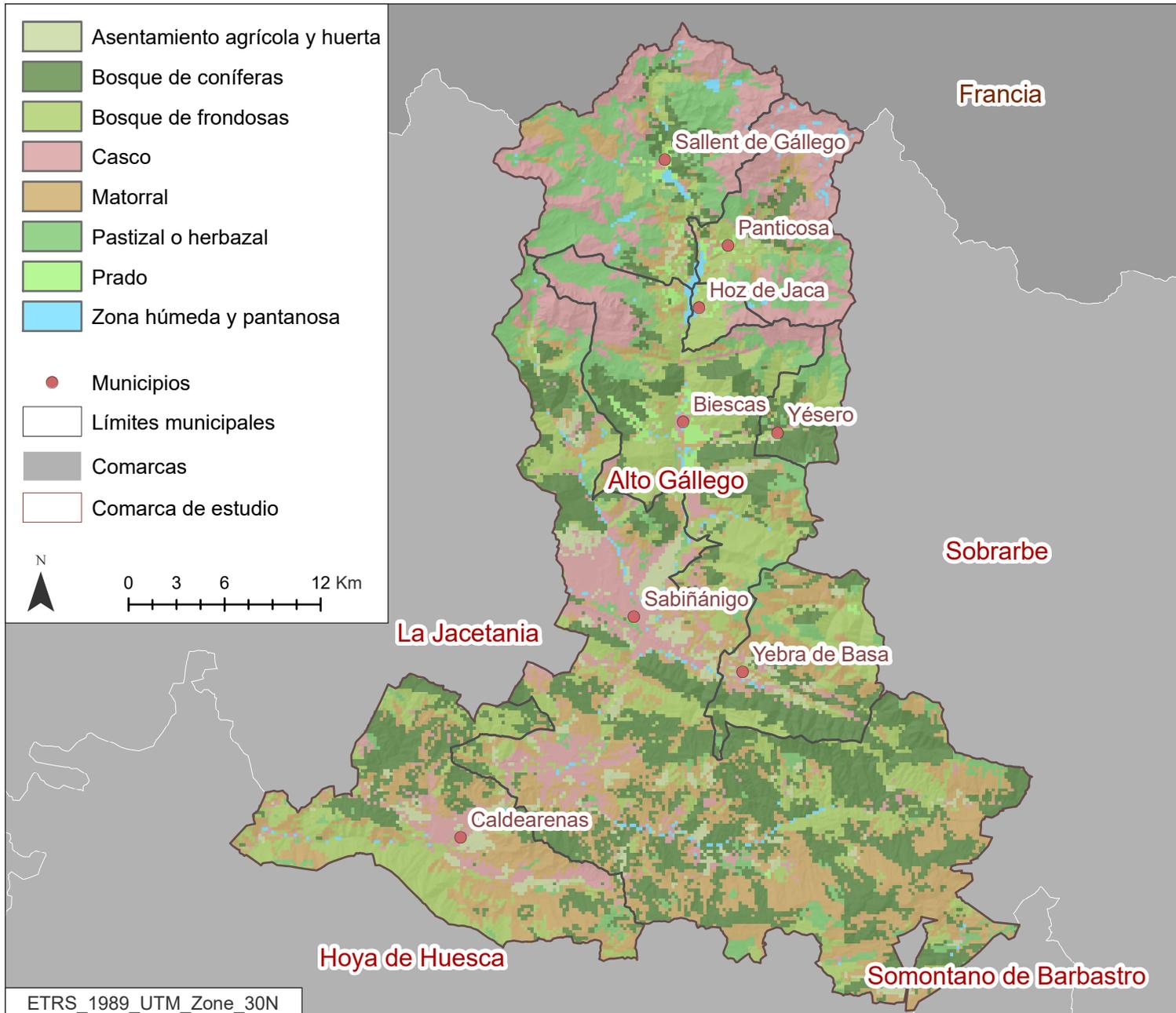
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

PORCENTAJE DE RECUBRIMIENTO DE LA VEGETACIÓN COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



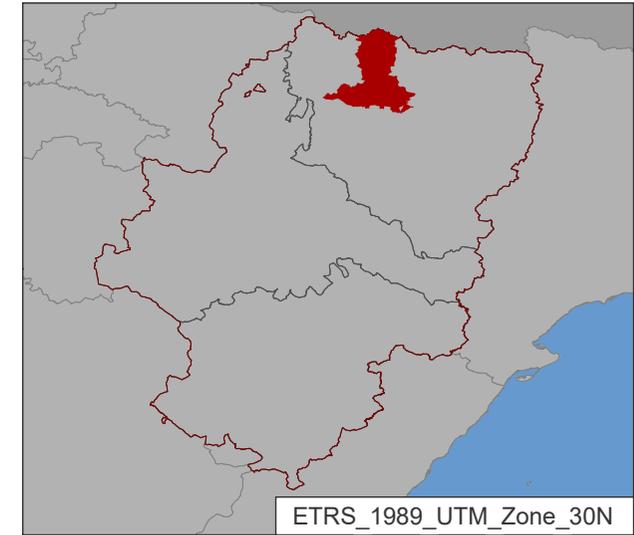
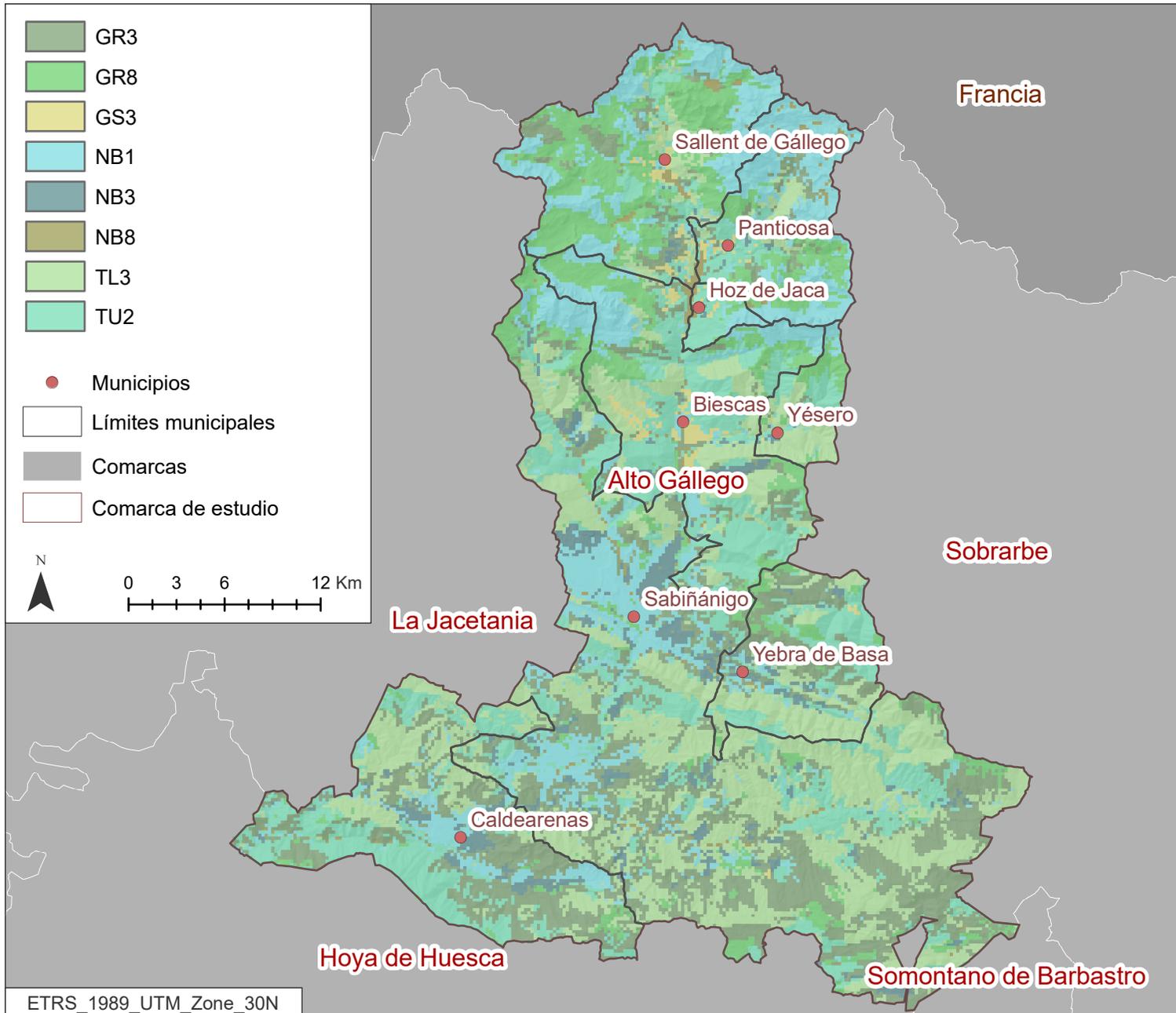
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

OCUPACIÓN DEL SUELO COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



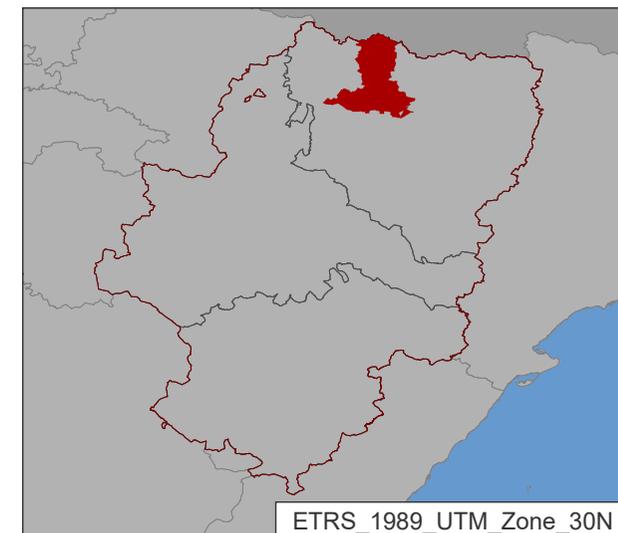
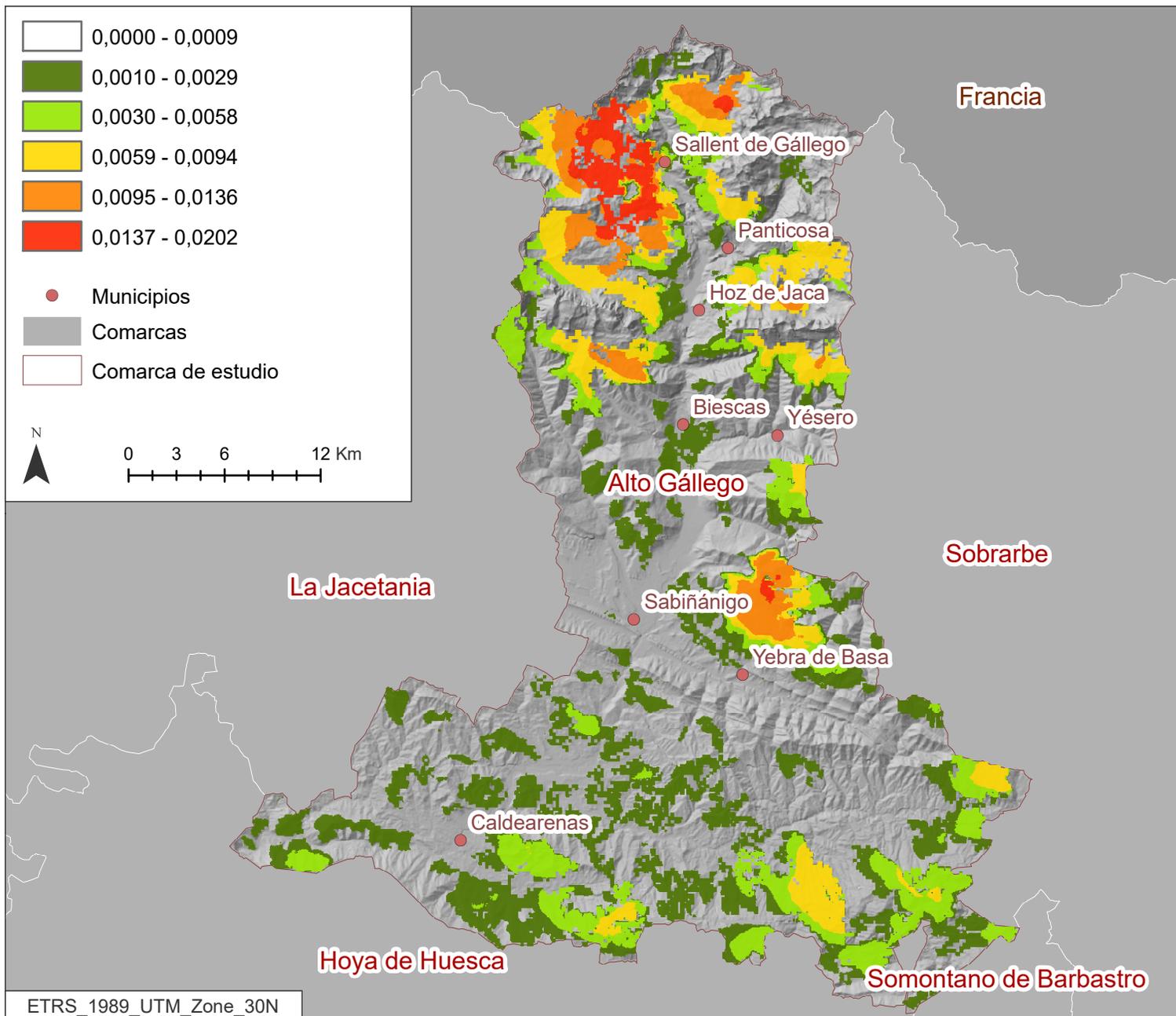
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

MODELOS DE COMBUSTIBLE COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



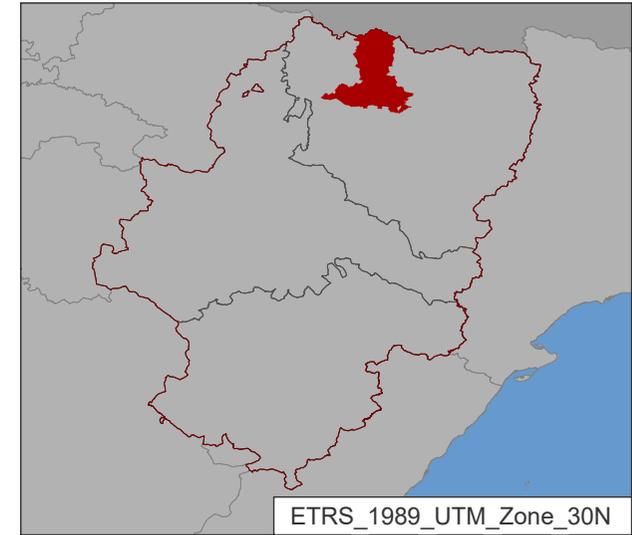
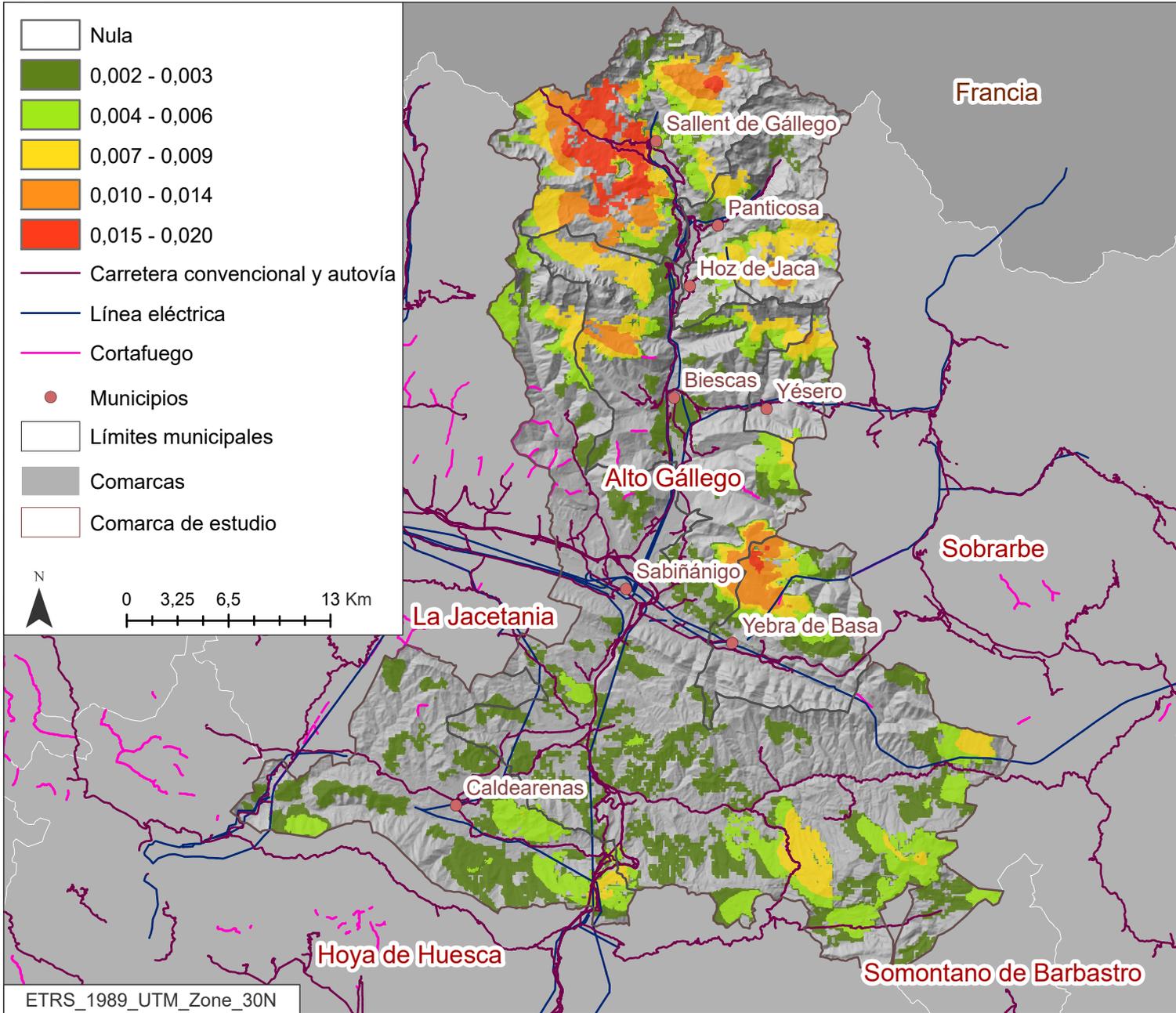
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDEARagón, CNIG,
United States: Department of Agriculture
Universidad de Zaragoza, 2022

PROBABILIDAD DE QUEMA COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



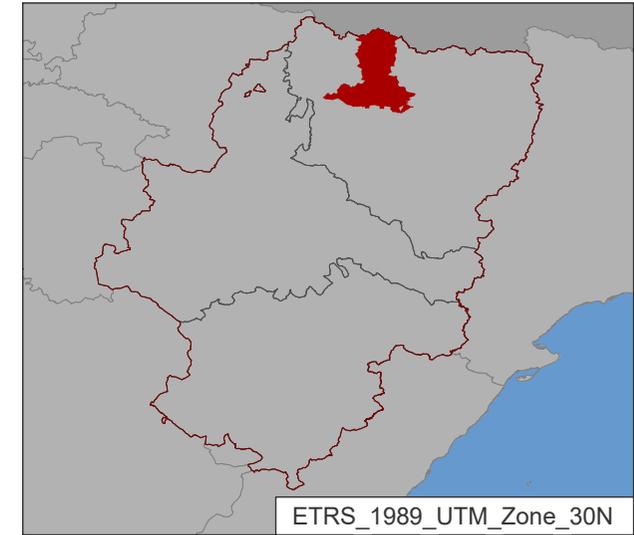
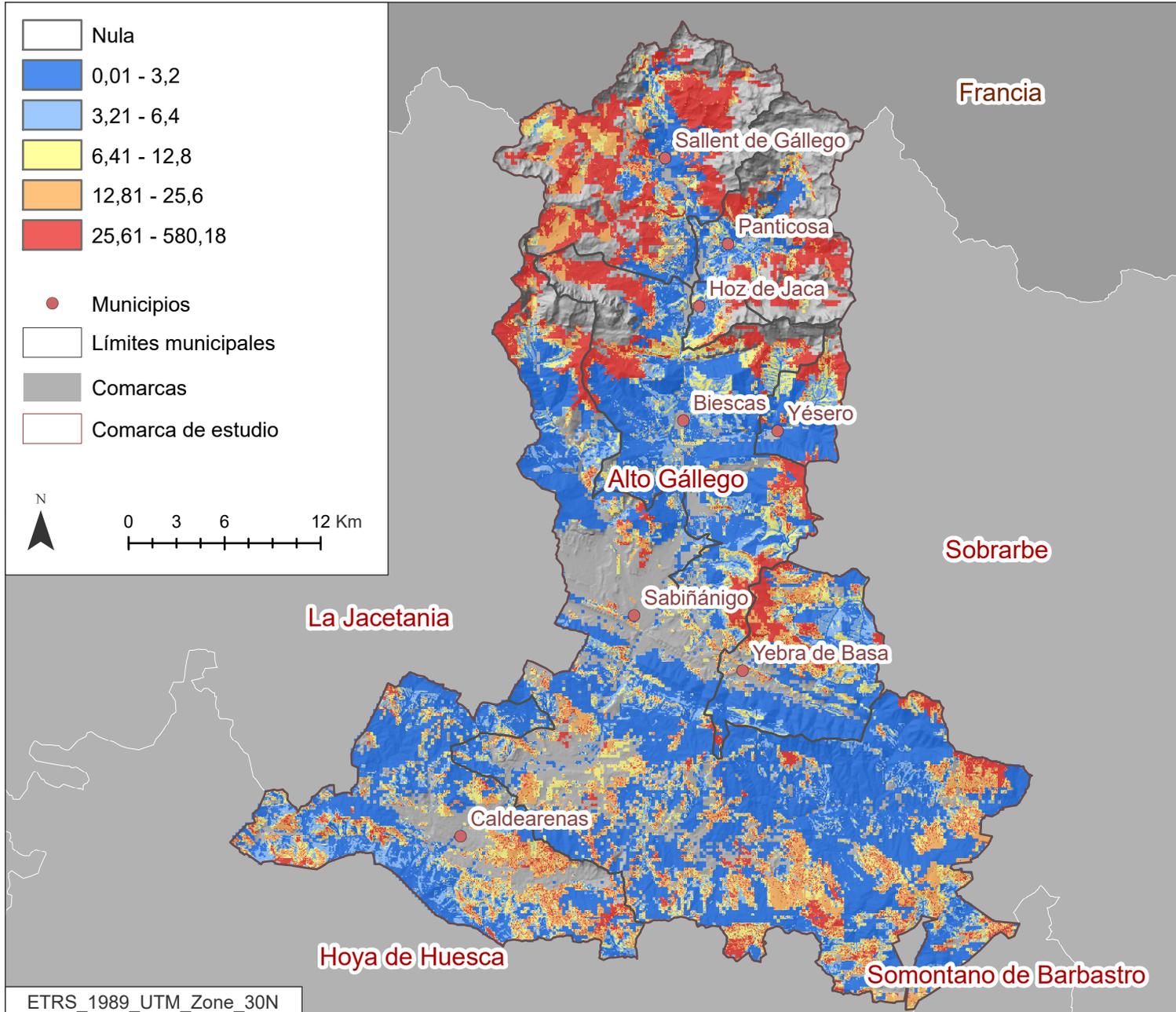
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

PROBABILIDAD DE QUEMA CON AFECCIÓN A INFRAESTRUCTURAS COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



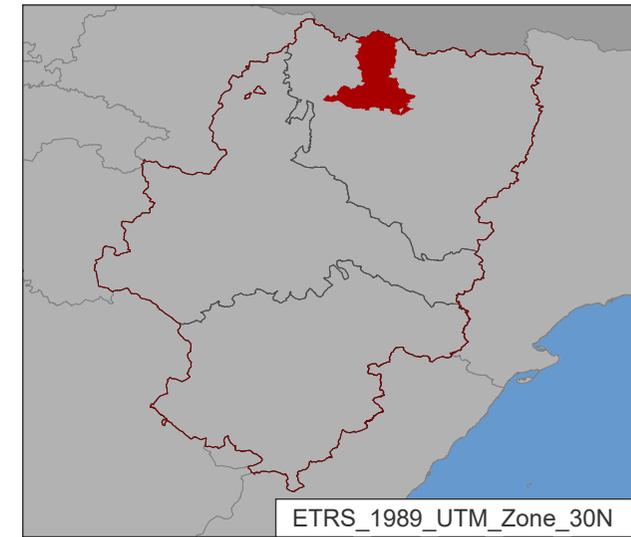
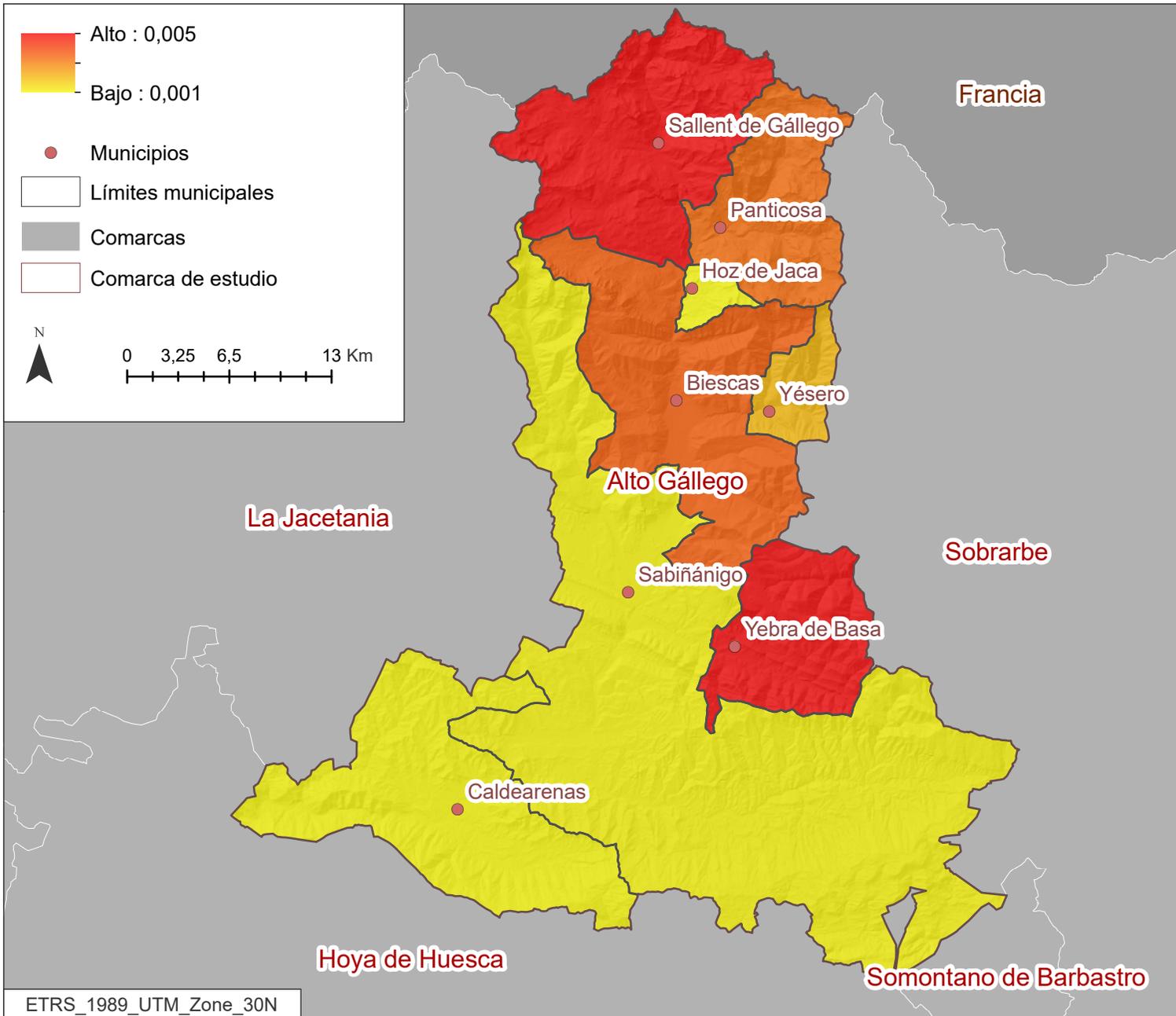
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

TASA DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



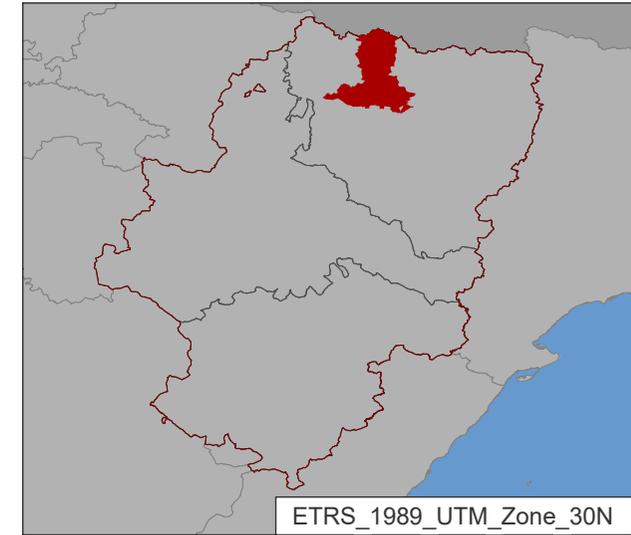
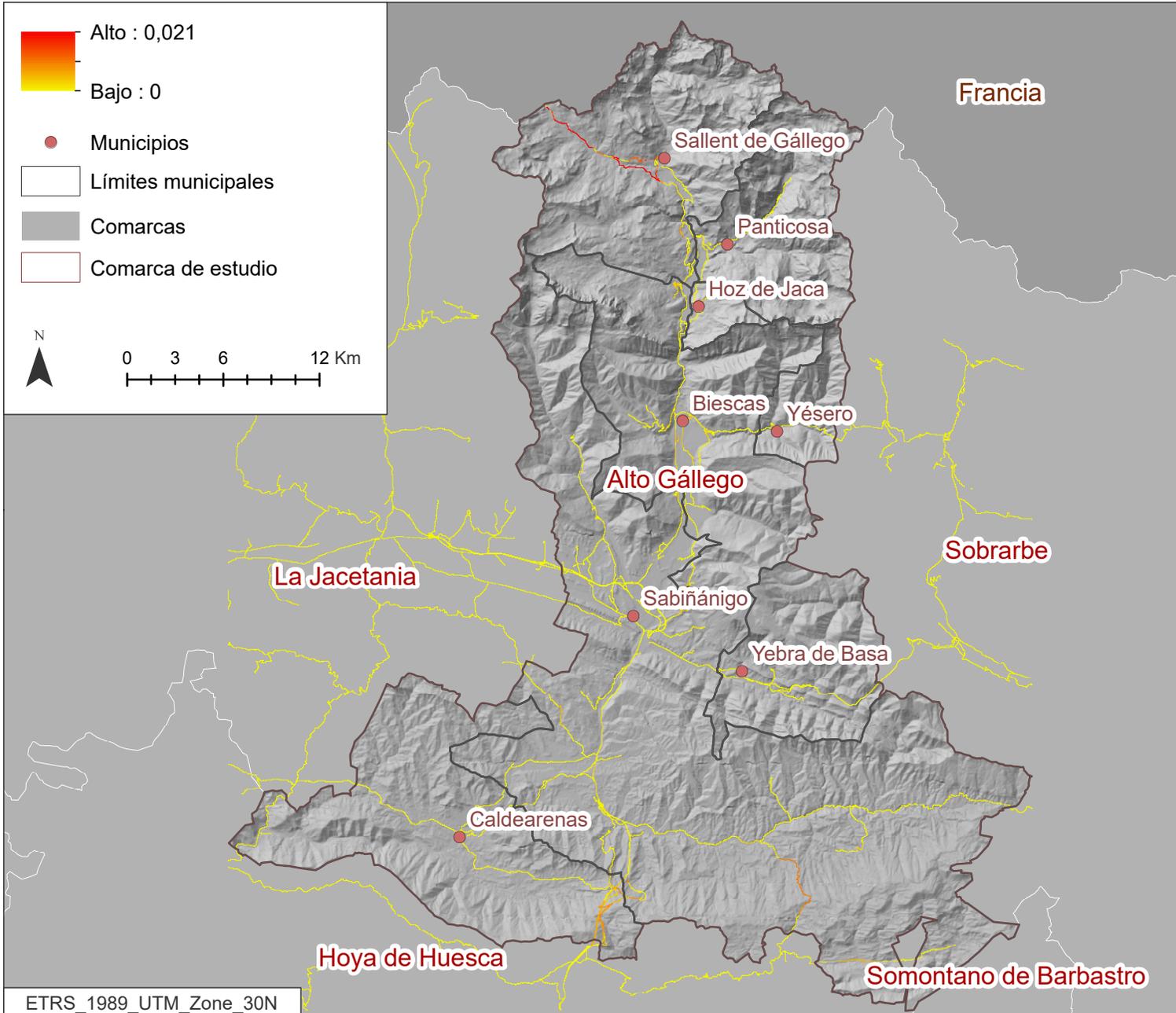
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

NIVEL DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN MUNICIPIOS COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



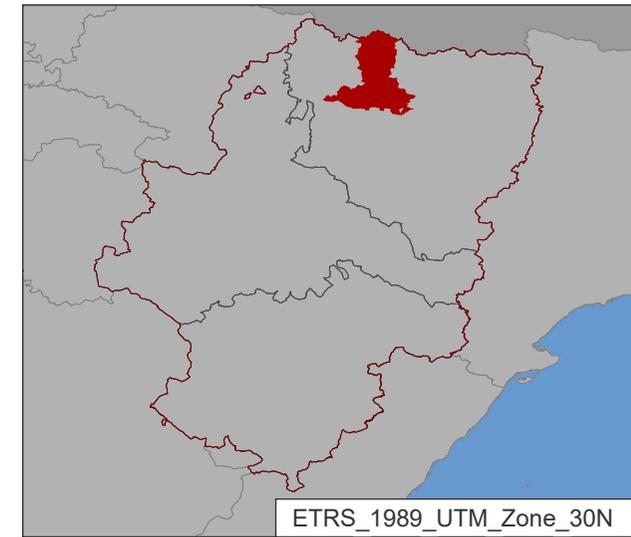
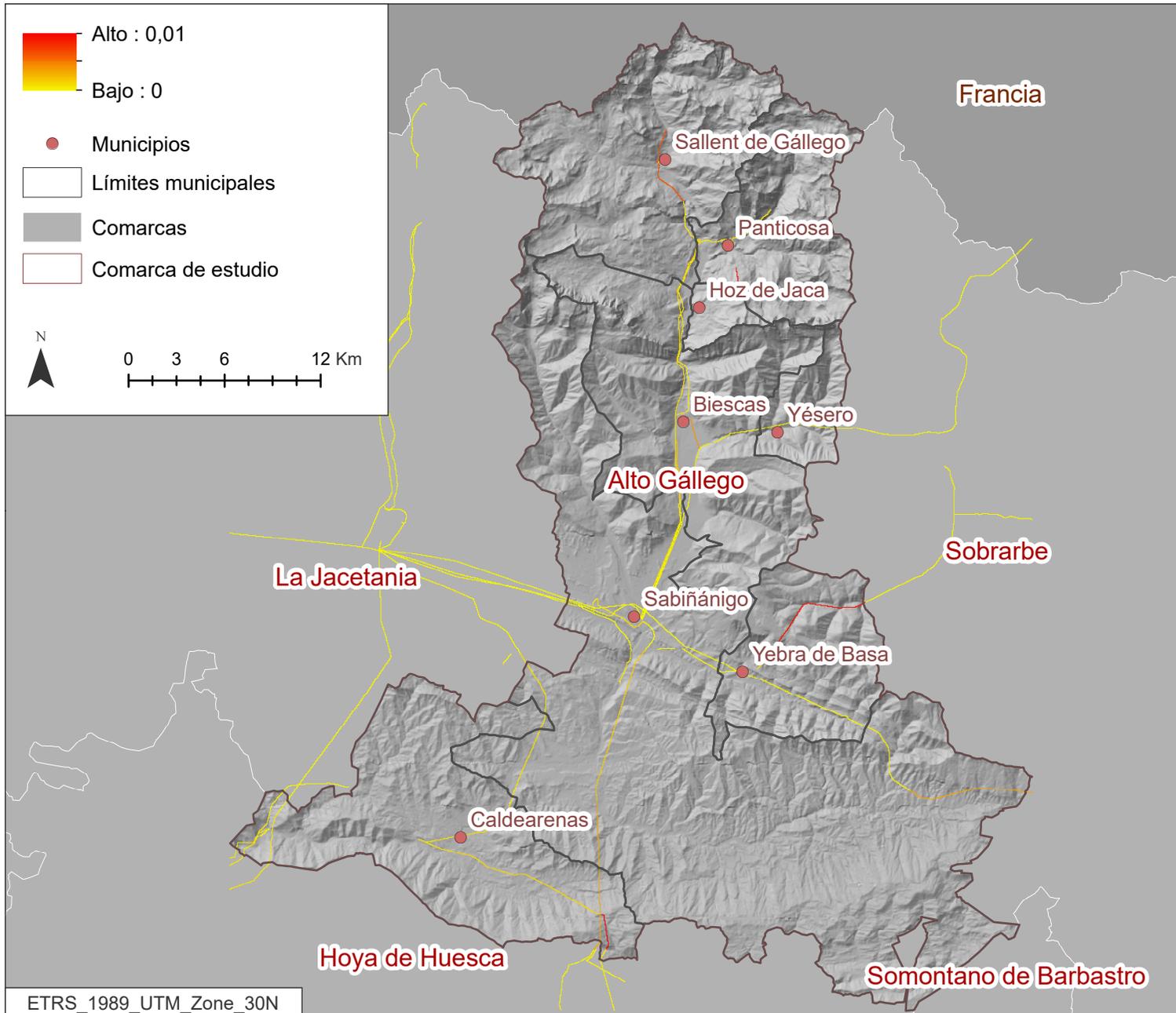
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

NIVEL DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN CTRAS. CONVENCIONALES Y AUTOVÍAS COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



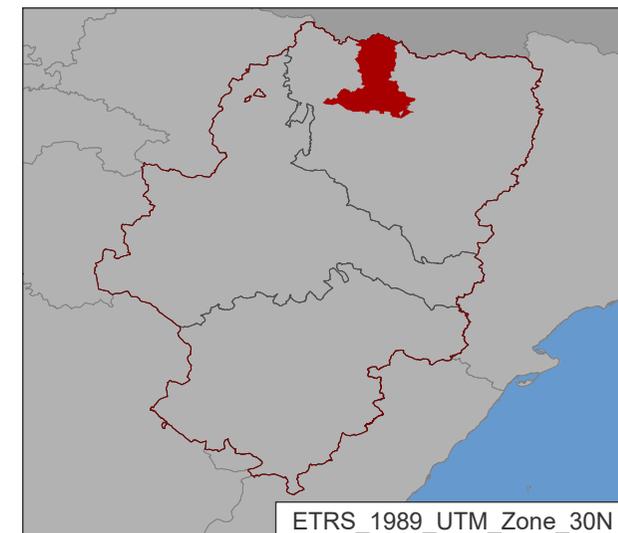
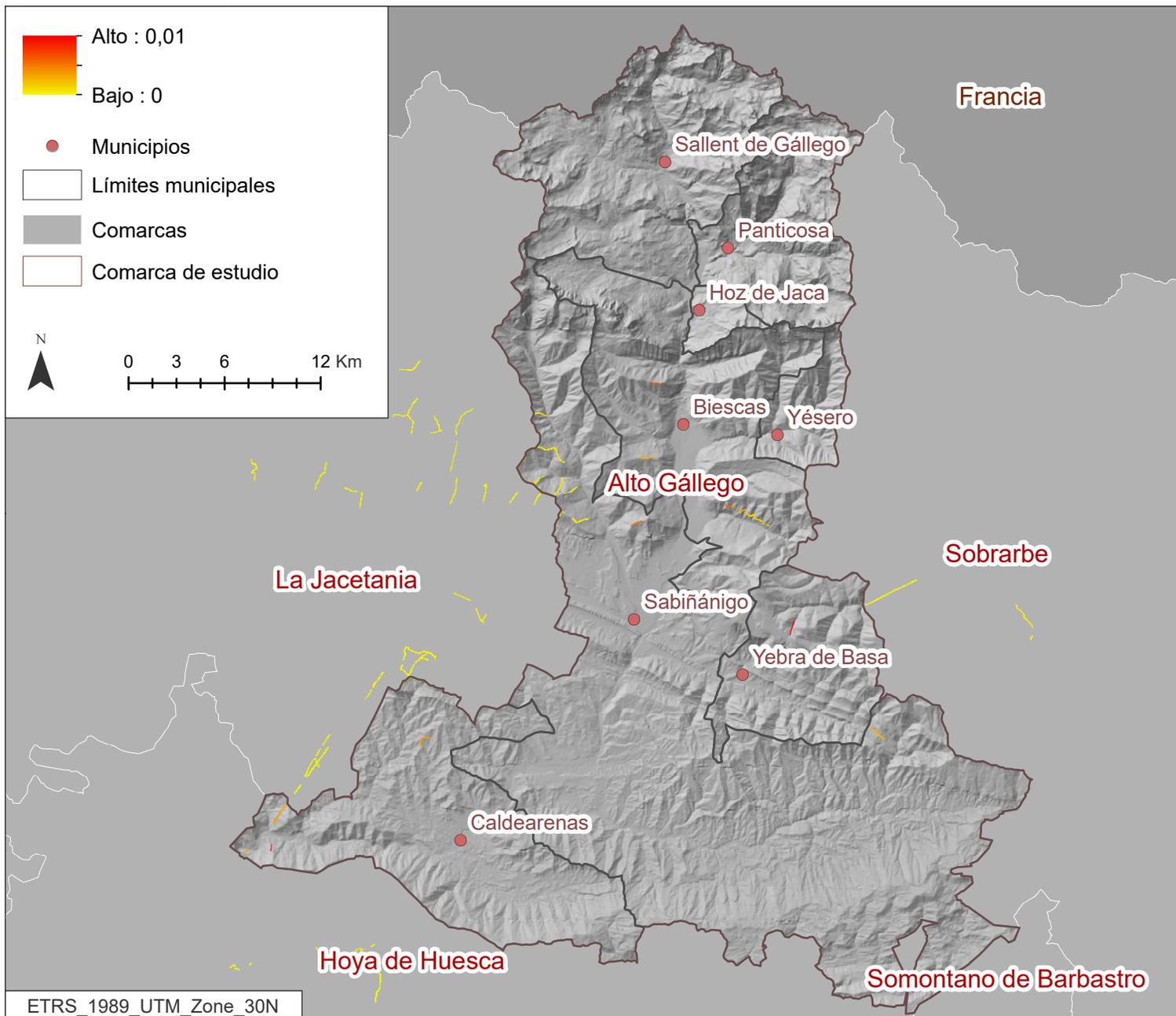
Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

NIVEL DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022

NIVEL DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN CORTAFUEGOS COMARCA ALTO GÁLLEGO, ARAGÓN



Elaboración: Paula Ferrández Castillo
Fuente: IDE Aragón, CNIG
Universidad de Zaragoza, 2022