

Trabajo Fin de Grado

Los incendios forestales en La Rioja – 1983-2015. Cartografía y determinación de su severidad mediante imágenes Landsat

Autor:

Carlos Baroja Sáenz

Director:

Juan Ramón de la Riva

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

2017/2018

Resumen

Los incendios forestales constituyen una amenaza para los ecosistemas mediterráneos y la lucha contra ellos es una de las prioridades de los gobiernos de las diferentes Comunidades Autónomas, que invierten grandes cantidades de dinero en su prevención y extinción. El presente trabajo tiene por objeto la caracterización de los incendios forestales en el período 1983-2015 a partir de la estadística oficial, así como cartografiar el perímetro de los incendios más relevantes acaecidos y la severidad del fuego mediante la aplicación de índices espectrales a imágenes de satélite del programa Landsat, aprovechando la capacidad multiespectral de sus sensores. Además de aproximarnos al conocimiento de un fenómeno de gran trascendencia ambiental y socioeconómica, tal caracterización, así como la cartografía de las áreas quemadas y la severidad de los incendios forestales puede ser de gran utilidad para los gestores de los montes, que tienen que planificar actuaciones en ellos para una adecuada regeneración tras el fuego.

Palabras clave: *Incendios forestales, área quemada, severidad, Landsat, dNBR, La Rioja.*

Abstract

Forest fires are a threat to Mediterranean ecosystems and the fight against them is one of the priorities of the governments of the different Autonomous Communities, which invest large amounts of money in their prevention and extinction. The purpose of this paper is to characterize forest fires in the 1983-2015 period based on official statistics, as well as to map the perimeter of the most important fires that have occurred and the severity of fire by applying spectral indexes to images of satellite of the Landsat program, taking advantage of the multispectral capacity of its sensors. In addition to approaching the knowledge of a phenomenon of great environmental and socioeconomic importance, such characterization, as well as the mapping of burned areas and the severity of forest fires can be very useful for forest managers, who have to plan actions in them for an adequate regeneration after the fire.

Key words: *Forest fires, burnt area, severity, Landsat, dNBR, La Rioja.*

Índice de contenidos

1. Introducción	1
2. Aplicaciones de la teledetección al estudio de los incendios forestales.....	3
3. Objetivos	4
4. Material y métodos.....	5
4.1. Área de estudio	5
4.2. Fuentes de información.....	6
4.2.1. Los partes de incendios forestales	7
4.2.2. Imágenes de satélite.....	7
4.3. Metodología	10
4.3.1. Determinación del umbral para grandes incendios forestales	10
4.3.2. Selección de las imágenes	13
4.3.3. Determinación del perímetro y de la severidad de los incendios	15
4.3.4. Corrección de los desplazamientos en las imágenes mal georreferenciadas....	23
5. Resultados	23
5.1. Contextualización de los incendios forestales en La Rioja.....	23
5.1.1. Relación número total de incendios y superficie total afectada para el periodo 1968-2015	15
5.1.2. Evolución de los conatos en la serie histórica 1968-2015.....	25
5.1.3. Evolución de los grandes incendios en la serie histórica 1968-2015	26
5.1.4. Evolución del resto de incendios por rango de tamaño en la serie histórica 1968-2015	27
5.1.5. Ocurrencia de incendios según la época del año	27
5.1.6. Según el tipo de superficie afectada	28
5.1.7. Según el tipo de causa que los origina.....	30
5.2. Distribución espacial de los incendios forestales.....	30
5.3. Fichas de los grandes incendios forestales.....	35
5.3.1. Incendio de Bergasillas Bajera 31/08/1984.....	36
5.3.2. Incendio de Tudelilla 08/09/1984.....	37
5.3.3. Incendio de Ezcaray 17/08/1985	38
5.3.4. Incendios de Ezcaray 31/08/1985 y 07/09/1985.....	39
5.3.5. Incendio de Brieva de Cameros 09/09/1985.....	40
5.3.6. Incendio de Arnedillo 10/09/1985.....	41
5.3.7. Incendio de Arnedillo 15/03/1989.....	42

5.3.8.	Incendio de Bergasa 15/07/1989	43
5.3.9.	Incendio de Ocón 03/10/2010.....	44
5.3.10.	Incendio de San Vicente de la Sonsierra 20/08/1984	45
5.3.11.	Incendio de Herce 20/09/1984.....	46
5.3.12.	Incendio de Bergasillas Bajera 15/02/1989.....	47
5.3.13.	Incendio de Galbárruli 30/08/1991.....	48
5.3.14.	Incendio de Arnedillo 08/09/2001	49
5.3.15.	Incendio de Ezcaray 05/10/2009	50
6.	Conclusiones	51
7.	Bibliografía.....	52
8.	Anexos.....	54

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-	Parte de incendio forestal. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente	8
Ilustración 2-	Composición de color 743 pre-fuego. Elaboración propia.	18
Ilustración 3-	Composición de color 743 post-fuego. Elaboración propia.....	19
Ilustración 4-	Digitalización de perímetro y extracción de isla. Elaboración propia. ...	19
Ilustración 5-	Fórmula índice NBR. Fuente: FIREMON	20
Ilustración 6-	Fórmula índice dNBR. Fuente: FIREMON	20
Ilustración 7-	NBR pre-fuego sin clasificar. Elaboración propia.	21
Ilustración 8-	NBR post-fuego sin clasificar. Elaboración propia.....	22
Ilustración 9-	dNBR sin clasificar. Elaboración propia.....	22
Ilustración 10-	dNBR clasificado por rangos de severidad. Elaboración propia.....	22
Ilustración 11-	Mapa de localización de los incendios forestales 1983-2015. Elaboración propia.	31
Ilustración 12-	Mapa de localización de los grandes incendios forestales 1983-2015. Elaboración propia.	31
Ilustración 13-	Mapa de localización de los conatos 1983-2015. Elaboración propia. .	32
Ilustración 14-	Mapa de distribución temporal de incendios 1983-1992. Elaboración propia.	33
Ilustración 15-	Mapa de distribución temporal de incendios 1993-2002. Elaboración propia.	34
Ilustración 16-	Mapa de distribución temporal de incendios 2003-2012. Elaboración propia.	34

Índice de tablas

Tabla 1-Resolución radiométrica. Elaboración propia. Extraído de Chuvieco (2010) ...	9
Tabla 2-Resolución espacial. Elaboración propia. Extraído de Chuvieco (2010)	10
Tabla 3- Estadísticas de los incendios por tamaño 1983-2015. Elaboración propia.	11
Tabla 4- Grandes incendios forestales en La Rioja, 1983-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.....	12
Tabla 5- Información contenida en el título de las imágenes Landsat. Fuente: Product Guide Landsat 4-7 (Surface Reflectance).....	14
Tabla 6- Valoración de la calidad de las imágenes en función de los días desde el incendio. Elaboración propia.	15
Tabla 7- Grandes incendios en función de la calidad de las imágenes Landsat disponibles. Elaboración propia.	16
Tabla 8- Grandes incendios forestales calidad "óptima" y "buena" de las imágenes Landsat. Elaboración propia.....	17
Tabla 9- Rangos de severidad dNBR (multiplicados por 1000). Fuente: FIREMON...	20
Tabla 10- Número y superficie afectada en hectáreas por rango de tamaños. Elaboración propia. Fuente: EGIF.	24

Índice de gráficas

Gráfica 1- Histograma de distribución de incendios por tamaño 1983-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.	11
Gráfica 2- Número total de incendios por tamaño 1968-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.....	24
Gráfica 3- Relación número de incendios y superficie total afectada por años. Elaboración propia. Fuente: EGIF.	25
Gráfica 4- Relación número y superficie afectada por años de los conatos. Elaboración propia. Fuente: EGIF.	26
Gráfica 5- Relación número y superficie afectada por años de los grandes incendios. Elaboración propia. Fuente: EGIF.....	27
Gráfica 6- Incendios según la época del año. Elaboración propia. Fuente: EGIF.....	28
Gráfica 7- Incendios por tipo de superficie afectada. Elaboración propia. Fuente: EGIF.....	29
Gráfica 8- Principales causas de los incendios. Elaboración propia. Fuente: EGIF.	29

Anexo - tablas

Tabla 1 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasillas Bajera 31/08/1984.....	54
Tabla 2 Anexo - Información de las imágenes de satélite Tudelilla 08/09/1984.....	54

Tabla 3 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 17/08/1985.....	54
Tabla 4 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 07/09/1985.....	54
Tabla 5 Anexo - Información de las imágenes de satélite Brieva de Cameros 09/09/1985	55
Tabla 6 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 10/09/1985	55
Tabla 7 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 15/03/1989.....	55
Tabla 8 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasa 15/07/1989.....	55
Tabla 9 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ocón 03/10/2010	56
Tabla 10 Anexo - Información de las imágenes de satélite San Vicente de la Sonsierra 20/08/1984.....	56
Tabla 11 Anexo - Información de las imágenes de satélite Herce 20/09/1984	56
Tabla 12 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasillas Bajera 15/02/1989	56
Tabla 13 Anexo - Información de las imágenes de satélite Galbárruli 30-08-1991	57
Tabla 14 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 08/09/2001	57
Tabla 15 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 05/10/2009	57

1. Introducción

El presente trabajo de fin de grado pretende ser útil desde el punto de vista de la gestión de los incendios forestales y, de forma más general, de la gestión ambiental. Disponer de una cartografía histórica de perímetros de incendio y su severidad permite a la comunidad científica y a la Administración conocer las tendencias temporales de la afección de los incendios forestales en un determinado territorio (Botella-Martínez y Fernández-Manso, 2017). El hecho de que no exista esta cartografía para la Comunidad Autónoma de La Rioja es lo que ha llevado a abordar este trabajo. Además, este análisis involucra el tratamiento de imágenes de satélite, tanto en la modalidad de su análisis visual como de su tratamiento digital, lo que permite al autor adentrarse en el mundo de la teledetección remota, con grandes capacidades en el análisis territorial.

En los ambientes mediterráneos, el fuego constituye uno de los factores ambientales de mayor importancia en la configuración de los paisajes forestales, ya que ha sido utilizado como una herramienta de gestión y por su frecuencia de incidencia por motivos naturales. Por lo tanto, el análisis de las consecuencias del fuego presenta un notable interés para comprender los ecosistemas actuales y responder adecuadamente con medidas correctoras de los efectos negativos (Pérez-Cabello *et al.*, 2007).

Los incendios forestales son un factor que limita el desarrollo de los espacios forestales. Además, generan efectos que se traducen en pérdidas humanas, degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad, incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, afección a la calidad de las aguas, daños en infraestructuras y propiedad privada, afección a la flora y fauna autóctona, etc. La reacción de la sociedad se debe a la preocupación que se genera por la problemática de los incendios forestales, y se traduce en la asignación por parte de la administración de importantes cantidades de recursos materiales y humanos en materia de prevención, vigilancia y extinción de los incendios. (Plan Forestal de La Rioja). Las consecuencias del fuego son muy variadas en función de la escala a la que se analice y de las fuentes de información que se empleen (Pérez-Cabello *et al.*, 2007).

El fenómeno considerado es la caracterización de los incendios forestales y la cartografía de los grandes incendios en los últimos 30 años en la Comunidad Autónoma de La Rioja. Dicha cartografía de las zonas quemadas puede ser de gran utilidad en cuestiones

que tienen que ver con la gestión del territorio, así como cuantificar la regeneración, las emisiones de CO₂, etc.

Para ello es necesario hacer una valoración de la magnitud y características del fenómeno, es decir, ver lo que se ha trabajado en el tema y que se conoce, así como la información y la cartografía ya disponible. En cuanto a la información disponible, desde la página web del Gobierno de la Rioja puede accederse al Plan Forestal de La Rioja y al Plan General de Protección contra Incendios de los Sistemas Forestales de la Comunidad Autónoma de La Rioja. También existen los mapas INFOCAR, que son una cartografía desarrollada por el Gobierno de La Rioja. Son un total de siete mapas: Riesgo Estructural de Incendios Forestales, Riesgo Meteorológico, Riesgo Espacial de Incendios Forestales, Vulnerabilidad Global frente a Incendios Forestales, Gravedad Potencial de Incendios Forestales, Prioridad de Defensa contra Incendios Forestales y Prioridad de Perímetros de Protección. Todos ellos pueden consultarse desde la infraestructura de datos espaciales de La Rioja o en <https://www.iderioja.larioja.org/cartografia/tematicos/Incendios/incendios.html>

La explicación de la metodología para la determinación de los umbrales de las leyendas aparece desarrollada para cada uno de los mapas en el documento “Plan General de Protección contra Incendios de los Sistemas Forestales de la Comunidad Autónoma de La Rioja”.

En el presente trabajo de fin de grado se tratará de caracterizar los incendios forestales de La Rioja a partir del registro de la serie histórica 1968-2015. Otros documentos también tratan la caracterización del fenómeno en la región, sin embargo, utilizan únicamente un periodo de 10 años que consideran significativo. Lo interesante de este trabajo, y lo que lo diferencia de otras caracterizaciones es que en este caso se está analizando toda la serie del registro histórico.

En lo referente a la determinación de los perímetros y los índices de severidad, se ha intentado realizar una cartografía de los grandes incendios (superficie afectada superior a 100 hectáreas) en los últimos años. Concretamente para el periodo 1984-2015, ya que es en el año 1984 cuando se puso en órbita el satélite Landsat 5, con sensor TM, que cuenta con resoluciones espacial y radiométrica adecuadas para la evaluación de las zonas afectadas por los incendios forestales. Se podrían haber escogido otros satélites, aunque finalmente se decidió utilizar las imágenes de la serie Landsat debido a que son ampliamente utilizadas

por la comunidad científica, existe abundante bibliografía sobre índices espectrales y por el carácter abierto de la información, que puede descargarse gratuitamente desde el servidor del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos).

2. Aplicaciones de la teledetección al estudio de los incendios forestales

La teledetección desde satélite cuenta con numerosas aplicaciones, en gran medida por las ventajas que ofrece frente a los otros medios de observación, como pueden ser la fotografía aérea o los trabajos de campo. No obstante, en lugar de sustituirlos los complementa adecuadamente (Chuvieco, 1996). Algunas de las ventajas de la teledetección son la cobertura global y periódica de la superficie terrestre, la visión panorámica que se ofrece, la información sobre regiones no visibles del espectro electromagnético o la disponibilidad en formato digital de la información. (Chuvieco, 1996). Se ha demostrado en una gran cantidad de estudios que las imágenes de teledetección espacial resultan muy adecuadas para valorar los efectos del fuego a escala regional (Montorio *et al.*, 2007).

Los principales elementos de cualquier sistema de teledetección son tres: el sensor (satélite), el objeto observado (superficie terrestre) y el flujo energético (radiación solar). Además, es necesario que exista una interacción entre el sensor y el objeto observado, es decir, un registro del flujo reflejado (radiación electro-magnética) que es recogido por el sensor que lo transmite a las estaciones receptoras (Chuvieco, 2000).

Las imágenes de satélite y el conjunto de los productos de teledetección espacial aportan un panorama adecuado para valorar los efectos del fuego a escala regional debido a que el enlace más importante entre la teledetección y la ecología del paisaje se establece en la significación de la vegetación en la determinación de la estructura del paisaje y la gran capacidad de la teledetección para analizar las características de las cubiertas vegetales (Pérez-Cabello *et al.*, 2007).

El espectro electro-magnético comprende desde las longitudes de onda más cortas (como pueden ser los rayos gamma o rayos X) hasta las kilométricas (telecomunicaciones). Las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda (Chuvieco, 2000).

Algunos satélites como los de la serie Landsat presentan una resolución espacial y radiométrica adecuada para el análisis de los grandes incendios forestales. Además, la utilidad de los mismos está relacionada con el comportamiento espectral de la vegetación en el espectro óptico. La vegetación sana presenta valores de reflectividad elevados en el infrarrojo próximo (NIR) y valores bajos o picos de absorción en el infrarrojo de onda corta (SWIR) que tienen que ver con el contenido de agua. Cuando una cubierta vegetal se ve afectada por un incendio, los valores en estas bandas del espectro se invierten, presentando valores bajos en el infrarrojo próximo por la destrucción de la estructura celular de las plantas y valores más elevados en el infrarrojo de onda corta por el aumento de la sequedad y la ausencia de agua.

Los datos en bruto de las imágenes de satélite de la serie Landsat contienen una amplia información de las superficies terrestres y cada banda espectral responde de una manera única en función de múltiples factores.

La utilización de métodos tradicionales para la cartografía del área afectada por incendios forestales es cara y lenta. Sin embargo, la evaluación y cartografía de dichas áreas incendiadas mediante técnicas de teledetección presenta en cambio notables ventajas, por lo que cada vez más se están utilizando estas técnicas. Son técnicas rápidas, fiables y económicamente viables (González-Alonso *et al.*, 2007).

3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el análisis –espacialmente explícito– de la incidencia de los incendios forestales en La Rioja en el período 1983-2015, a partir de datos procedentes de las estadísticas oficiales y de imágenes de satélite. La información disponible a tal efecto en la actualidad se limita a un período reducido de años y aborda el análisis sin localizar de forma precisa la superficie incendiada, por cuanto no existe para esta Comunidad Autónoma una cartografía de perímetros de incendios históricos.

Este objetivo principal se materializa en cuatro objetivos específicos:

- La caracterización temporal, en función de las fuentes estadísticas, de la ocurrencia de incendios desde que se dispone de registros fiables, 1983, si bien se utilizan todos los datos disponibles, que comienzan en 1968. Con esta

caracterización se pretende determinar cómo son los incendios forestales en la C.A., de qué tamaño medio, con qué frecuencia ocurren, en que época del año se producen, qué superficie calcinan, etc.

- La caracterización espacial a partir de las fuentes estadísticas, generando cartografía de la distribución de los incendios con base administrativa y de unidades de gestión forestal. Con ello se pretende dar respuestas a preguntas como: ¿Cómo se distribuyen los incendios forestales en La Rioja? ¿Cuáles son las zonas más y menos afectadas?
- La cartografía de “área quemada”, mediante el perimetrado de los incendios referidos en las estadísticas oficiales e identificados sobre imágenes de teledetección a partir del análisis visual de composiciones de falso color infrarrojo de los satélites del programa Landsat, sobre la base del diferente comportamiento espectral de las zonas calcinadas.
- La estimación de la severidad del fuego en los diferentes incendios, a partir del tratamiento digital de las imágenes pre- y post-fuego, mediante el uso de índices espectrales.

Resulta evidente el interés, no sólo científico sino también aplicado, del análisis planteado, pues aporta información útil para la gestión de las zonas incendiadas y, de forma más general, para la gestión ambiental y territorial de un fenómeno –los incendios forestales– de tan gran trascendencia ambiental, paisajística y socioeconómica.

4. Material y métodos

4.1. Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo es la Comunidad Autónoma de La Rioja. Se trata de un territorio con una extensión de 5041,82 km², de los cuales, casi un 60% se corresponde con superficie forestal. Su localización es peculiar, ya que se adscribe a dos unidades morfoestructurales bien diferenciadas, el valle del Ebro y la Sierra, que son el origen de una gran diversidad biológica representada por una importante riqueza florística y faunística. (Plan General de Protección contra incendios).

La Sierra, constituida por los sistemas montañosos del Sistema Ibérico tiene una distribución longitudinal a lo largo de la mitad meridional de la región, presentando un descenso progresivo conforme se aproxima al valle del Ebro. Transversalmente, son siete los valles que interrumpen el sistema montañoso y que configuran los principales valles fluviales de la región, todos ellos tributarios del río Ebro. (Plan Forestal de La Rioja).

El valle del Ebro, ocupa la mitad septentrional de La Rioja, de menor altitud que la unidad morfoestructural antes mencionada y con unas pendientes más suaves, donde vierten las aguas de los siete valles fluviales de la comunidad autónoma. (Plan Forestal de La Rioja).

4.2. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas en este proyecto han sido variadas. Por un lado, los documentos que me han permitido caracterizar los incendios forestales en el ámbito mediterráneo y sus efectos, así como las posibilidades que ofrecen los sensores de los satélites para delimitar las zonas afectadas por el fuego y determinar el grado de severidad a partir de índices espectrales. En su mayoría han sido artículos publicados en revistas científicas de reconocido prestigio entre la comunidad de teledetección y libros del profesor Emilio Chuvieco.

Previo registro, las imágenes de satélite se han obtenido desde la plataforma de descargas Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El citado portal permite la consulta y adquisición de las imágenes de satélite de la serie Landsat desde el año 1984 para los sensores TM y ETM+ hasta la actualidad y de manera totalmente gratuita.

La información referida al registro de la serie histórica de incendios forestales proviene de la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF). Según la Ley de Montes 43/2003, es el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente quien tiene las competencias para elaborar la estadística de incendios forestales en nuestro país. Por lo tanto, este Ministerio es el encargado de homogeneizar, mantener, elaborar y publicar la estadística, a partir de la información que remiten las comunidades autónomas, de cada uno de los incendios forestales que ocurren en territorio español. Dicha estadística es el resultado de un proceso informático aplicado a los partes de incendios forestales (Ministerio de Medio Ambiente).

Por otra parte, la información espacial se ha descargado en diferentes formatos desde el Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (límites administrativos, cuadrícula ICONA, etc.).

4.2.1. Los partes de incendios forestales

Como se ha comentado en el anterior apartado, los partes de incendios forestales constituyen una de las principales fuentes de información de este trabajo, ya que resultan imprescindibles para conocer información relevante, como donde se produjeron los incendios y la fecha (Ilustración 1). Para la caracterización de todos los incendios forestales en La Rioja también ha resultado imprescindible disponer de esta información. Existe registro de los incendios forestales desde el año 1968 hasta la actualidad, y la EGIF es el resultado de un tratamiento informático aplicado a los partes de incendios forestales, que son el documento que rellenan los agentes forestales o el órgano competente de las respectivas comunidades autónomas cuando se produce un incendio. En ellos se recopila una gran cantidad de variables referidas a los incendios, una información de detalle que es de gran utilidad para aquellos que se dedican a estudiar los incendios forestales en España. Los datos son homogeneizados y agrupados de acuerdo a un modelo de datos establecido (se utilizan diferentes códigos para rellenar los campos). Una vez cumplimentados se van acumulando en una base de datos en formato Access, para su envío posterior a la unidad estadística responsable del Ministerio de Medio Ambiente para su posterior tratamiento estadístico. (MAGRAMA).

En mi caso, desde el principio de la investigación tuve acceso a los datos depurados en formato *Excel* para el periodo 1968-2015. En dicha base de datos podía consultarse toda la información recopilada por los partes de incendios forestales. Para descifrar los campos con códigos me remití a la memoria de la estadística general de incendios forestales, elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y consultable desde su página web. Toda esta información ha sido muy útil para la caracterización de los incendios, y también para la cartografía de perímetros, ya que ha permitido obtener la información de la localización.

4.2.2. Imágenes de satélite

El programa Landsat fue el primero lanzado por la agencia espacial norteamericana a finales de la década de los años 60. Esta familia de satélites ha constituido sin duda uno de los proyectos de teledetección espacial más provechoso hasta el momento. Su buena

resolución espacial, el carácter global y las observaciones periódicas explican su empleo por expertos de muy variados campos de todo el mundo (Chuvieco, 1996).

PARTE DE INCENDIO FORESTAL

Nº de parte

DATOS GENERALES DEL INCENDIO

1. Localización:

Comunidad Autónoma Provincia

Comarca o isla Término Municipal (origen)

Entidad menor Paraje

Cuadrícula Mapa militar 1:250.000 Hoja Cuadrícula

U.T.M: Huso X Y

2. Tiempos:

	Día	Mes	Año	Hora	Minutos
2.1. Detección	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.2. Llegada primeros medios por tierra	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.3. Llegada primeros medios aéreos de extinción	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.4. Llegada de la primera brigada helitransportada	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.5. Incendio controlado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.6. Incendio extinguido.....	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3. Detección:

3.1. Detectado por: Vigilante fijo () Cod. V. Fijo

Agente forestal Vigilante móvil Aeronave Llamada particular 112 Otros

3.2. Iniciado junto a: Carretera Pista forestal Senda Casas

Lugares con afluencia de excursionistas Vías férreas Cultivos Urbanizaciones

Vertederos Otros lugares del monte

4. Causa del incendio Cierta Supuesta

Rayo Dias desde la tormenta

Negligencias y Causas accidentales

Quema agrícola <input type="radio"/>	Quema de matorral <input type="radio"/>
Quema para reg. pastos <input type="radio"/>	Ferrocarril <input type="radio"/>
Trabajos forestales <input type="radio"/>	Líneas eléctricas <input type="radio"/>
Hogueras <input type="radio"/>	Motores y máquinas <input type="radio"/>
Fumadores <input type="radio"/>	Maniobras militares <input type="radio"/>
Quema de basuras <input type="radio"/>	Otras <input type="radio"/>
Escapes de vertedero <input type="radio"/>	

Intencionado Motivación (sólo intencionado)

Causa desconocida **Incendio reproducido**

Causante: Identificado No identificado

Clase de día: Festivo Sábado Laborable víspera festivo Laborable

5. Condiciones de peligro en el inicio del incendio

5.1. Datos meteorológicos: Estación meteorológica Hora :

Días desde la última lluvia Temperatura máxima °C.

Humedad relativa % Viento: Velocidad Km/h. Dirección

5.2. Modelos de combustibles en la zona de incendio:

Pastizales Matorrales Bosques Restos

5.3. Prob. Ignición % Peligro: Prealerta Alerta Alarma Alarma extrema

6. Tipo de fuego: De superficie De copas De subsuelo

Codificar las casillas sombreadas según la clave

Rellenar los datos a mano

Ilustración 1- Parte de incendio forestal. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Los satélites Landsat 4 y 5 modificaron sus características orbitales con respecto a los anteriores, además de incluir el sensor Thematic Mapper (TM). La resolución temporal pasó a ser de 18 a 16 días en nuestras latitudes. El nuevo sensor, como su nombre indica está diseñado para la cartografía temática y se trata de un equipo de barrido multi-espectral que mejoró la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 metros a 30 metros, de 4 a 7 bandas y de 6 a 8 bits. Con esta configuración, permite una sensible mejora con respecto al sensor anterior MSS (Chuvieco, 1996). Años más tarde, el satélite de Landsat 7 incorporó el sensor ETM+, que mejoró las características del TM (Chuvieco, 1996).

En el presente trabajo de fin de grado interesa el satélite Landsat 5 ya que la disponibilidad de imágenes es desde el año 1984 hasta el 2013, casi todo el periodo de análisis. Para los posteriores a 2013, se puede utilizar el satélite Landsat 8. Numerosos proyectos han demostrado la idoneidad del satélite Landsat 5 para el análisis de los incendios forestales a escala regional. Las bandas que presentan un mayor interés para la cartografía de los incendios forestales son la 7 (SWIR), 4 (NIR) y 3 (RED). Con estas tres bandas puede hacerse una composición en falso color que es muy apropiada para la observación de los incendios forestales, que se ven en tonos rojizos.

Para el cálculo del NBR prefuego y postfuego, también son imprescindibles las bandas 4 y 7 de cada imagen para el cálculo del índice NBR (Normalized Burn Ratio) y posteriormente obtener la severidad por la diferencia entre ambos dNBR. Las resoluciones espacial y radiométrica para los sensores TM y ETM+ pueden consultarse en las Tablas 1 y 2.

Bandas	TM	ETM+
1	0,45-0,52 μm	0,45-0,52 μm
2	0,52-0,60 μm	0,52-0,60 μm
3	0,63-0,69 μm	0,63-0,69 μm
4	0,76-0,90 μm	0,76-0,90 μm
5	1,55-1,75 μm	1,55-1,75 μm
6	10,40-12,50 μm	10,40-12,50 μm
7	2,08-2,35 μm	2,08-2,35 μm
8	-	0,52-0,90 μm

Tabla 1-Resolución radiométrica. Elaboración propia. Extraído de Chuvieco (2010)

Bandas	TM	ETM+
1-5, 7	30 m	30 m
6	120 m	60 m
8	-	15 m

Tabla 2-Resolución espacial. Elaboración propia. Extraído de Chuvieco (2010)

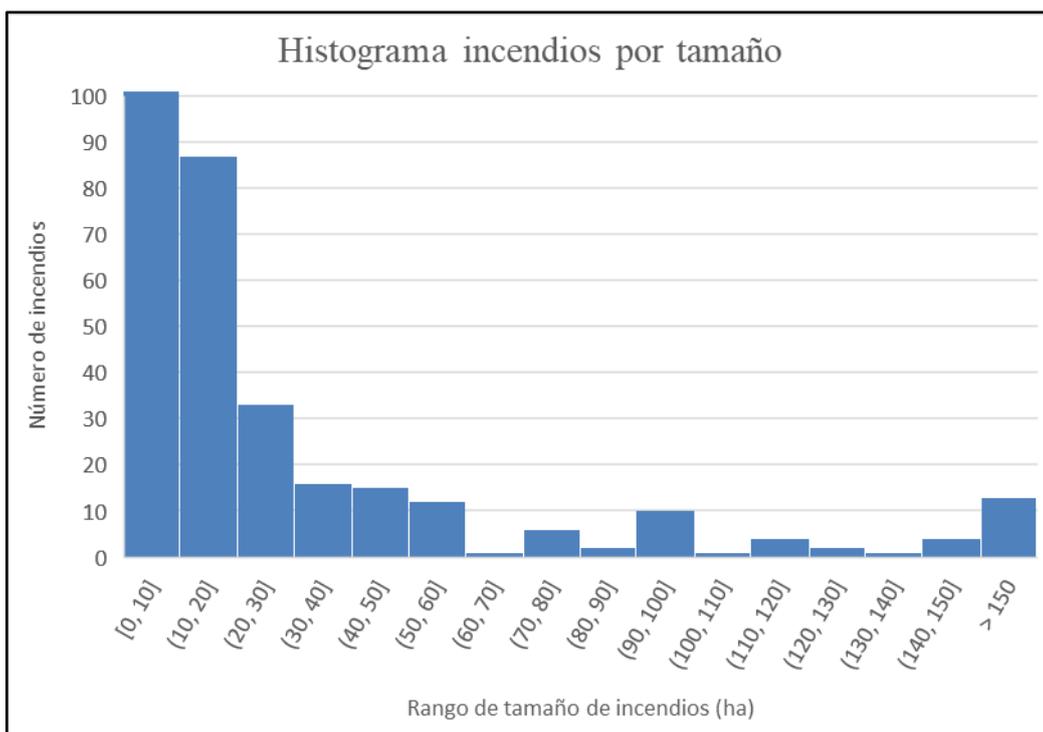
4.3. Metodología

La metodología del presente proyecto consiste en determinar un buen criterio que permita realizar la cartografía de los grandes incendios forestales en La Rioja y su severidad utilizando imágenes satelitales de la serie Landsat. El tratamiento de la información se ha llevado a cabo a partir del software Microsoft Excel y de los sistemas de información geográfica *ArcMap10.5* y *QGIS Desktop*.

4.3.1. Determinación del umbral para grandes incendios forestales

Como punto de partida para mi trabajo de fin de grado es necesario hacer un análisis de los incendios ocurridos en los últimos años. Se trata de realizar una exploración de las variables a escala regional a partir de los datos estadísticos suministrados por el Ministerio de Medio Ambiente. Concretamente, me remito a la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF), para la que existe información desde el año 1968. El número de incendios forestales registrados en La Rioja es de 3.478 para el periodo 1968-2015.

Prácticamente es en el año 1983 cuando se empieza a decir que existe una serie consistente de los incendios forestales en España, debido, sobre todo a que desde el 1968 hasta el 1983 no se registraron todos los conatos. En este punto, habrá que determinar la cantidad de superficie afectada que se considera significativa para que un incendio pueda considerarse como “gran incendio forestal” en La Rioja. La hipótesis de partida es que los incendios que afecten a una superficie superior a 100 hectáreas, se pueden considerar como grandes incendios. Para comprobar esta hipótesis de partida conviene hacer un análisis de las estadísticas paramétricas y del histograma de frecuencia por tamaño de los incendios (Gráfica 1).



Gráfica 1- Histograma de distribución de incendios por tamaño 1983-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

El histograma muestra una cola larga a la derecha, luego el sesgo es positivo (Tabla 3). La mayor acumulación se da en la primera de las clases [0,10]. Esto último tiene sentido ya que la mayor parte de los incendios registrados en la estadística son de pequeñas dimensiones.

n	2979,00
media	5,70
mediana	0,68
moda	1,00
desviación estandar	45,59
Cuartil 1	0,20
Cuartil 2	0,68
Cuartil 3	2,20

Tabla 3- Estadísticas de los incendios por tamaño 1983-2015. Elaboración propia.

Se da una pequeña acumulación en el rango de (90, 100], lo que nos permite justificar la dimensión de 100 hectáreas como el umbral para considerar que un incendio forestal es de grandes dimensiones en esta Comunidad Autónoma.

Entre el año 1983 y el 2015, último año del que se dispone la estadística definitiva, el número total de incendios forestales superiores a 100 hectáreas es de 33 incendios. Existe, además, un registro de 99 hectáreas que se ha incluido en la lista de grandes incendios. En total son 34 los grandes incendios forestales en La Rioja. En la Tabla 4 pueden consultarse los 34.

Municipio	Fecha	Superficie afectada (Ha)
Laguna de Cameros	08-mar-83	150,00
Lagunilla del Jubera	14-jun-83	225,00
Nieva de Cameros	22-abr-84	120,00
San Vicente de la Sonsierra	20-ago-84	150,00
Bergasillas Bajera	31-ago-84	100,00
Tudelilla	08-sep-84	120,00
Herce	20-sep-84	100,00
Bergasa	30-mar-85	140,00
Lumbreras	04-abr-85	261,00
Pazuengos	04-abr-85	150,00
Ezcaray	17-ago-85	200,00
Ezcaray	31-ago-85	306,00
Ezcaray	07-sep-85	1182,00
Brieva de Cameros	09-sep-85	350,00
Arnedillo	10-sep-85	120,00
Manzanares de Rioja	31-mar-86	100,00
Ezcaray	03-ago-86	120,00
Ventrosa	15-ago-86	1930,00
Foncea	30-ago-86	240,00
Mansilla de la Sierra	30-dic-88	130,00
Bergasillas Bajera	15-feb-89	100,00
Arnedillo	15-mar-89	173,00
Bergasa	15-jul-89	220,00
Foncea	19-jul-90	100,00
Galbárruli	30-ago-91	130,00
Ventrosa	21-ago-93	150,00
Tormantos	11-sep-94	100,00
Foncea	15-sep-94	100,00
Fuenmayor	16-sep-94	99,00
Ezcaray	03-sep-95	100,00
Arnedillo	08-sep-01	154,50
Ezcaray	05-oct-09	109,72
Ocón	03-oct-10	246,00
Cervera del Río Alhama	26-ago-15	222,68

Tabla 4-Grandes incendios forestales en La Rioja, 1983-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

4.3.2. Selección de las imágenes

En apartados anteriores se ha comentado la idoneidad del satélite Landsat 5 para el estudio de los incendios forestales a escala regional.

Hay que tener en cuenta que se trata de un trabajo con la información disponible, luego puede tener limitaciones. Las imágenes de satélite no se encuentran siempre disponibles con la suficiente transparencia atmosférica como para facilitar operaciones con las mismas.

El sensor Thematic Mapper (TM) de Landsat ha sido utilizado en muchos otros estudios de análisis de los incendios forestales y ha quedado demostrada su utilidad y capacidades. Este sensor proporciona imágenes digitales sobre siete bandas del espectro (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, medio y térmico), con una resolución de 30 x 30 metros, a excepción de la banda térmica. Además, presenta una resolución temporal de 16 días, que es lo que tarda el sensor a volver a pasar sobre el mismo punto de la órbita. Todo esto, lo convierte en un sensor idóneo para la cartografía de los incendios forestales (Viedma & Chuvieco, 2014).

Para poder realizar la cartografía de los perímetros y de la severidad resultaba imprescindible disponer al menos de dos imágenes satelitales, una anterior al incendio y otra posterior. Además, era importante que entre ambas imágenes hubiera transcurrido el menor tiempo posible para que las condiciones fenológicas de la vegetación fueran similares.

El proceso de selección de las imágenes se llevó a cabo desde el servidor Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Es muy importante conocer el tipo de tratamiento que se hace a las imágenes antes de comenzar a descargarlas. En este caso interesaban las imágenes de reflectividad de la superficie terrestre. Se consultó por tanto la Guía de producto para Landsat 4-7 Surface Reflectance (LEDAPS), en su última versión de marzo de 2018. Las imágenes de Landsat Collection 1 Level-2 (On-Demand) eran adecuadas para lo que se quiere conseguir el presente trabajo, ya que el resultado final de las bandas es distribuido como un producto de Surface Reflectance. Las imágenes vienen además con corrección atmosférica, que evita el efecto de la atmósfera sobre el dato de reflectividad que registra el sensor.

Para todos los grandes incendios forestales desde el año 1984 hasta el 2013 se han descargado imágenes de Landsat 5 pre-fuego y post-fuego de este satélite (31 incendios) e

imágenes de Landsat 8 (1 incendio).

Desde el buscador del propio servidor Earth Explorer se introdujo el nombre de cada municipio donde tuvieron lugar los grandes incendios forestales y se seleccionaron unas fechas próximas al incendio. Antes de proceder a la descarga, se comprobaba que no existieran nubes en la zona del incendio. En total se descargaron 64 imágenes multibanda, siendo todas las más próximas en el tiempo y sin nubosidad en la zona del incendio las que interesaban.

En el nombre del archivo de cada imagen se puede consultar gran cantidad de información relevante. En la Guía de producto de Landsat 4-7 Surface Reflectance nos indican cómo descifrar esta información contenida en el título de las imágenes (Tabla 5).

LXSS_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CX_TX_prod_band.ext (e.g., LE07_L1TP_039037_20080728_20160918_01_T1_sr_band1.tif)	
L	Landsat
X	Sensor ("E" = ETM+; "T" = TM)
SS	Satellite ("07" = Landsat 7; "05" = Landsat 5; "04" = Landsat 4)
LLLL	Processing correction level ("L1TP" = Precision Terrain; "L1GT" = Systematic Terrain; "L1GS" = Systematic)
PPP	Path
RRR	Row
YYYY	Year of acquisition
MM	Month of acquisition
DD	Day of acquisition
yyyy	Year of processing
mm	Month of processing
dd	Day of processing
CX	Collection number ("01", "02", etc.)
TX	Collection category ("RT" = Real-Time; "T1" = Tier 1; "T2" = Tier 2)
prod	Product, such as "toa" or "sr"
band	Band, such as "band<1-7>," "qa," or spectral index.
ext	File format extension, such as "tif," "tiff," "xml," "hdf," "hdr," "nc," or "img"

Tabla 5- Información contenida en el título de las imágenes Landsat. Fuente: Product Guide Landsat 4-7 (Surface Reflectance)

En principio, las imágenes vienen bien georreferenciadas, pero se comprobó que algunas de ellas presentaban un desplazamiento entre la imagen pre-fuego y la imagen post-fuego. En ocasiones el desplazamiento era muy pequeño, pero en otras era de varios kilómetros. Esto constituía un factor limitante, ya que no se podían presentar los valores de severidad como auténticos. Se procedió a una corrección de las imágenes desplazadas para conseguir el menor desplazamiento posible mediante el software *ArcMap 10.5*.

4.3.3. Determinación del perímetro y de la severidad de los incendios

Los métodos para cartografiar superficies quemadas utilizando técnicas de teledetección son variados. Uno de los más utilizados es la comparación entre dos imágenes, una de fecha previa al incendio y otra posterior a la ignición, mediante la de comparación de bandas espectrales con comportamientos contrastados (Masot, 2016).

En las zonas donde el proceso de regeneración se da, hay que valorar el tiempo que ha pasado desde la fecha del incendio hasta la toma de la imagen, ya que, con el tiempo, la huella que dejan los incendios se va debilitando hasta que los procesos de regeneración la vuelven indetectable. Por esta última razón, se ha considerado determinar unos umbrales de “calidad” de las imágenes satelitales en función del tiempo que transcurre desde la ignición hasta la captura de la imagen por parte del satélite. Cuanto más próximas en el tiempo sean las imágenes satelitales con respecto del incendio, mayor será la calidad de las imágenes y consiguientemente mayor será la fiabilidad del dato de severidad. Los umbrales de calidad son los que se presentan en la Tabla 6.

Calidad de la imagen	Días tras el incendio
ÓPTIMA	[1,16]
BUENA	(16, 45]
INTERMEDIA	(45, 90]
MALA	(90, 200]
MUY MALA	>200

Tabla 6-Valoración de la calidad de las imágenes en función de los días desde el incendio. Elaboración propia.

Lo ideal sería disponer de imágenes de satélite justo al día siguiente del incendio, pero como se está trabajando con la información disponible, se consideran los primeros 16 días tras el incendio como calidad “óptima” (recordemos que la resolución temporal de Landsat es cada 16 días). Pasado mes y medio (45 días) del incendio se sigue considerando como calidad “buena”. Hasta 3 meses del incendio (90 días), calidad “aceptable”; entre 3 meses y 200 días “mala” y calidad “muy mala” cuando la imagen de satélite haya sido tomada más de 200 días después de producirse la ignición.

MUNICIPIO	DETECCIÓN	AÑO	DÍAS POSTFUEGO	CALIDAD
Bergasillas Bajera	31/08/1984	1984	12	ÓPTIMA
Tudelilla	08/09/1984	1984	4	ÓPTIMA
Ezcaray	17/08/1985	1985	4	ÓPTIMA
Ezcaray	07/09/1985	1985	15	ÓPTIMA
Brieva de Cameros	09/09/1985	1985	13	ÓPTIMA
Arnedillo	10/09/1985	1985	12	ÓPTIMA
Arnedillo	15/03/1989	1989	10	ÓPTIMA
Bergasa	15/07/1989	1989	16	ÓPTIMA
Ocón	03/10/2010	2010	3	ÓPTIMA
San Vicente de la Sonsierra	20/08/1984	1984	23	BUENA
Herce	20/09/1984	1984	40	BUENA
Ezcaray	31/08/1985	1985	22	BUENA
Bergasillas Bajera	15/02/1989	1989	22	BUENA
Galbárruli	30/08/1991	1991	40	BUENA
Arnedillo	08/09/2001	2001	34	BUENA
Ezcaray	05/10/2009	2009	21	BUENA
Nieva de Cameros	22/04/1984	1984	54	INTERMEDIA
Foncea	19/07/1990	1990	63	INTERMEDIA
Ventrosa	21/08/1993	1993	86	INTERMEDIA
Tormantos	11/09/1994	1994	68	INTERMEDIA
Ezcaray	03/09/1995	1995	63	INTERMEDIA
Bergasa	30/03/1985	1985	112	MALA
Lumbreras	04/04/1985	1985	100	MALA
Pazuengos	04/04/1985	1985	139	MALA
Fuenmayor	16/09/1994	1994	143	MALA
Cervera del Río Alhama	26/08/2015	2015	119	MALA
Manzanares de Rioja	31/03/1986	1986	210	MUY MALA
Ezcaray	03/08/1986	1986	298	MUY MALA
Ventrosa	15/08/1986	1986	313	MUY MALA
Foncea	30/08/1986	1986	314	MUY MALA
Mansilla de la Sierra	30/12/1988	1988	207	MUY MALA
Foncea	15/09/1994	1994	208	MUY MALA

Tabla 7-Grandes incendios en función de la calidad de las imágenes Landsat disponibles. Elaboración propia.

Se considera que las condiciones de la calidad de la imagen determinan los resultados finales, de manera que se ha decidido realizar la cartografía únicamente de los que las imágenes satelitales presentan mejores condiciones. De un total de 32 grandes incendios forestales para el periodo 1984-2015, se determinó cartografiar únicamente aquellos que presentasen las mejores condiciones de calidad en la adquisición de las imágenes. Los que presentan calidad “óptima” y “buena” (16 incendios) son aquellos de los que se realizará la cartografía de los perímetros y el índice de severidad (Tabla 7). Con el resto también puede

realizarse la cartografía, pero de manera menos fiable, ya que el índice dNBR utilizado para la severidad exige unas condiciones de las imágenes lo más próximas en el tiempo posible. Además, las huellas de los incendios en la composición de color son cada vez más difíciles de observar debido a los procesos de regeneración.

Se pretende realizar la cartografía de los incendios forestales de calidad “óptima” y “buena”, pero como se ha comentado con anterioridad, algunas de las imágenes descargadas desde el servidor Earth Explorer presentan un error en la georreferenciación. En la siguiente tabla (Tabla 8) pueden consultarse los incendios que se pretende cartografiar y los marcados de amarillo son aquellos que necesitan una corrección geométrica previa para determinar sus perímetros y los índices de severidad.

MUNICIPIO	DETECCIÓN	AÑO	DÍAS POSTFUEGO	CALIDAD
Bergasillas Bajera	31/08/1984	1984	12	ÓPTIMA
Tudelilla	08/09/1984	1984	4	ÓPTIMA
Ezcaray	17/08/1985	1985	4	ÓPTIMA
Ezcaray	07/09/1985	1985	15	ÓPTIMA
Brieva de Cameros	09/09/1985	1985	13	ÓPTIMA
Arnedillo	10/09/1985	1985	12	ÓPTIMA
Arnedillo	15/03/1989	1989	10	ÓPTIMA
Bergasa	15/07/1989	1989	16	ÓPTIMA
Ocón	03/10/2010	2010	3	ÓPTIMA
San Vicente de la Sonsierra	20/08/1984	1984	23	BUENA
Herce	20/09/1984	1984	40	BUENA
Ezcaray	31/08/1985	1985	22	BUENA
Bergasillas Bajera	15/02/1989	1989	22	BUENA
Galbárruli	30/08/1991	1991	40	BUENA
Arnedillo	08/09/2001	2001	34	BUENA
Ezcaray	05/10/2009	2009	21	BUENA

Tabla 8- Grandes incendios forestales calidad "óptima" y "buena" de las imágenes Landsat. Elaboración propia.

Para la cartografía de los perímetros se hacen las composiciones en falso color 7/4/3 (SWIR/NIR/RED) que como se ha comentado con anterioridad, es una composición adecuada para la observación de las zonas afectadas por los incendios para el sensor TM de Landsat 5.

El primer paso para identificar la localización de los incendios es consultar el dato del campo “cruce de cuadrícula ICONA y limite municipal”. Esto nos permite buscar el incendio en una zona más reducida que el límite municipal y que la propia cuadrícula de 10

x 10 km. Una vez identificada la localización precisa del incendio, se pasa a la delimitación de los perímetros.

Para el proceso de la cartografía de los perímetros se llevan a cabo las siguientes actuaciones:

1. Realizar las composiciones en falso color 743 para las imágenes pre-fuego y post-fuego de cada uno de los incendios (Ilustraciones 2 y 3). Se utilizará para ello la herramienta *Composite Bands* de *ArcMap*.
2. Aplicar un realce adecuado para la identificación de las zonas afectadas por el fuego. Se ha utilizado el realce gaussiano entre 1,5 y 2,5 desviaciones estándar.
3. Comparar entre las imágenes 743 pre-fuego y 743 post-fuego y determinar qué zonas son incendio y que otras corresponden a un incendio previo.
4. Delimitar los perímetros a una escala de 1:15.000 mediante el software *ArcMap 10.5*. Crear archivo en formato *shapefile* y generar el contorno con la herramienta *Editor*.
5. Extraer las islas (zonas no quemadas dentro del incendio) en el caso de que existan y eliminarlas del perímetro del incendio (Ilustración 4).
6. Ajustar el perímetro de los incendios utilizando el NBR post-fuego, en las zonas de difícil visualización sobre la composición de color 743.

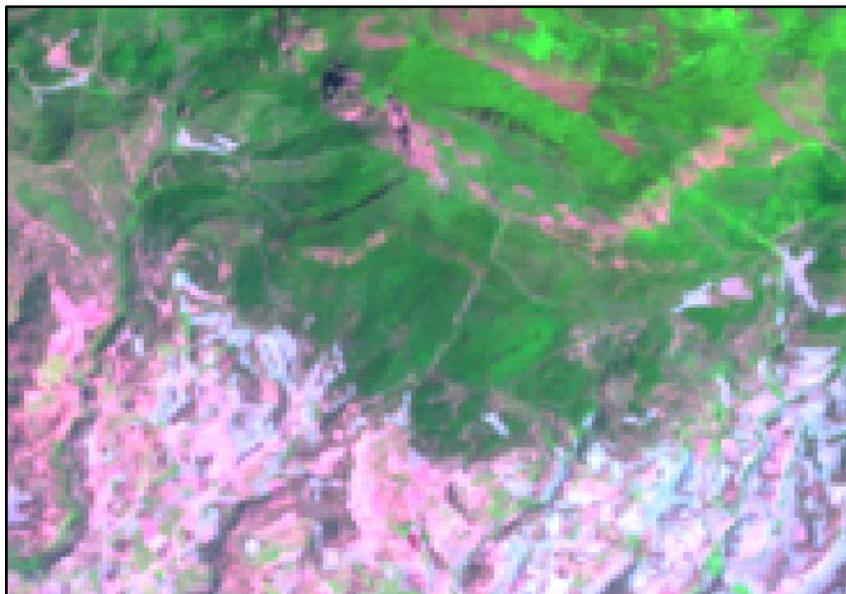


Ilustración 2- Composición de color 743 pre-fuego. Elaboración propia.

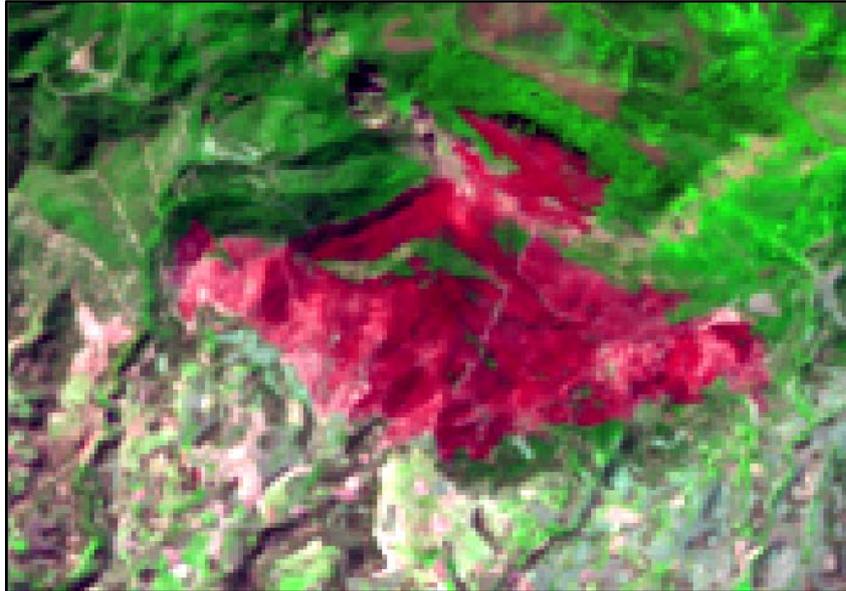


Ilustración 3- Composición de color 743 post-fuego. Elaboración propia.

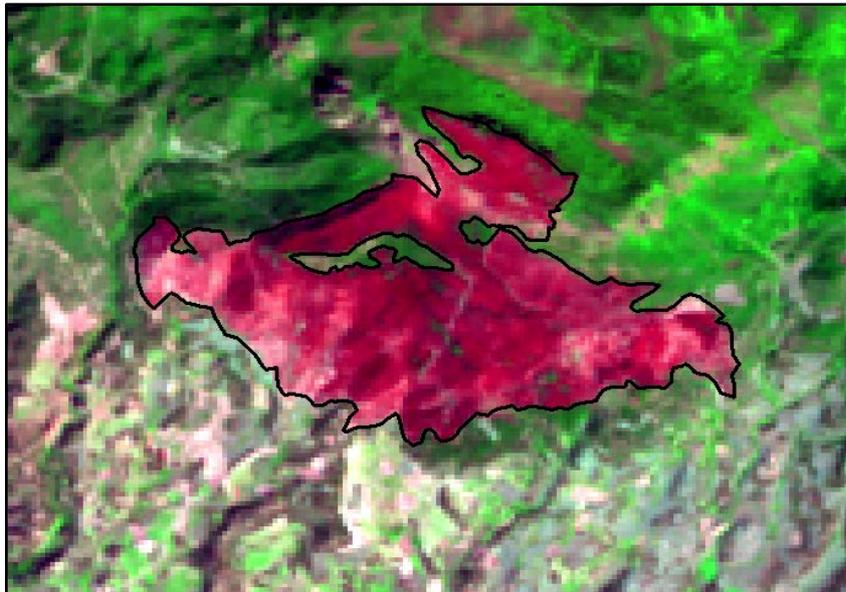


Ilustración 4- Digitalización de perímetro y extracción de isla. Elaboración propia.

En cuanto a la determinación de la severidad se ha utilizado el índice NBR y la metodología propuesta por los autores Key & Benson.

El índice NBR (Normalized Burn Ratio) es un índice espectral de construcción muy similar a otros muy utilizados como el NDVI. La principal diferencia es que NBR integra las dos bandas espectrales (para sensores TM o ETM+) que responden de manera más notable al fuego. Estas son las bandas 4 (NIR) y 7 (SWIR). Cuando una superficie vegetal es afectada por un incendio, la banda 4 desciende su valor por la destrucción de la estructura celular y la banda 7 incrementa su valor por un aumento de la sequedad. La combinación de

estas dos bandas es un método muy efectivo para la discriminación entre áreas quemadas y no quemadas (Key & Benson, 2006).

$$NBR = \frac{(R_4 - R_7)}{(R_4 + R_7)}$$

Ilustración 5- Fórmula índice NBR. Fuente: FIREMON

Donde R_4 y R_7 son las reflectividades de las bandas 4 (NIR) y 7 (SWIR) del sensor Landsat TM.

$$dNBR = NBR_{\text{pre-incendio}} - NBR_{\text{post-incendio}}$$

Ilustración 6- Fórmula índice dNBR. Fuente: FIREMON

Para la discriminación entre las zonas quemadas y las no quemadas se utilizará el índice sintético dNBR. La Tabla 9 presenta los umbrales de severidad (multiplicados por 1000) para el índice dNBR.

SEVERIDAD	RANGO dNBR
No quemado	[-100, 99]
Baja	[100, 269]
Baja-moderada	[270, 439]
Moderada-alta	[440, 659]
Alta	[660, 1300]

Tabla 9- Rangos de severidad dNBR (multiplicados por 1000). Fuente: FIREMON.

El índice dNBR basado en Landsat es considerado como uno de los indicadores más adecuados en el análisis de los incendios forestales, debido a su amplia difusión y que ha sido uno de los más utilizados para determinar la severidad de los incendios con muy diferentes tipos de combustibles y en distintos ecosistemas y áreas geográficas (Arellano *et al.*, 2017).

Para la determinación de la severidad de los grandes incendios forestales se llevan a cabo los siguientes procedimientos:

1. Obtener el índice NBR pre-fuego y NBR post-fuego. (Ilustración 7 y 8).
2. A partir de los NBR, calcular el índice dNBR. (Ilustración 9).

3. Clasificar los valores de dNBR según los umbrales de severidad de Key & Benson.
4. Aplicar una paleta de color adecuada. (Ilustración 10)
5. Comprobar el ajuste entre el dNBR y el perímetro del incendio.
6. En caso de que exista ajuste, extraer por máscara (Extract by Mask en ArcMap) el índice de severidad utilizado el perímetro del incendio.

Un ejemplo de cómo se aplicó la operación para cada una de las imágenes satelitales desde la calculadora ráster de *QGIS* es el siguiente. En la propia operación, está multiplicado por 1000 para obtener los decimales.

(("LT05_L1TP_201030_19840818_20170220_01_T1_sr_band4@1"
-
LT05_L1TP_201030_19840818_20170220_01_T1_sr_band7@1)
/
("LT05_L1TP_201030_19840818_20170220_01_T1_sr_band4@1"
+
T05_L1TP_201030_19840818_20170220_01_T1_sr_band7@1"
*
1000)

El resultado de esta operación son los NBR pre-fuego cuando se esté aplicando a las bandas 4 y 7 de la imagen previa al incendio, y el NBR post-fuego cuando se utilicen las bandas 4 y 7 de la imagen satelital posterior al incendio.

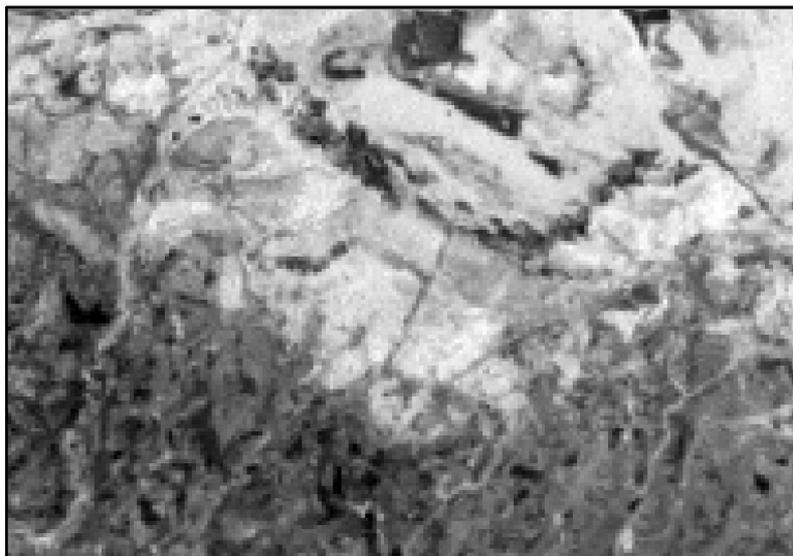


Ilustración 7- NBR pre-fuego sin clasificar. Elaboración propia.



Ilustración 8- NBR post-fuego sin clasificar. Elaboración propia.

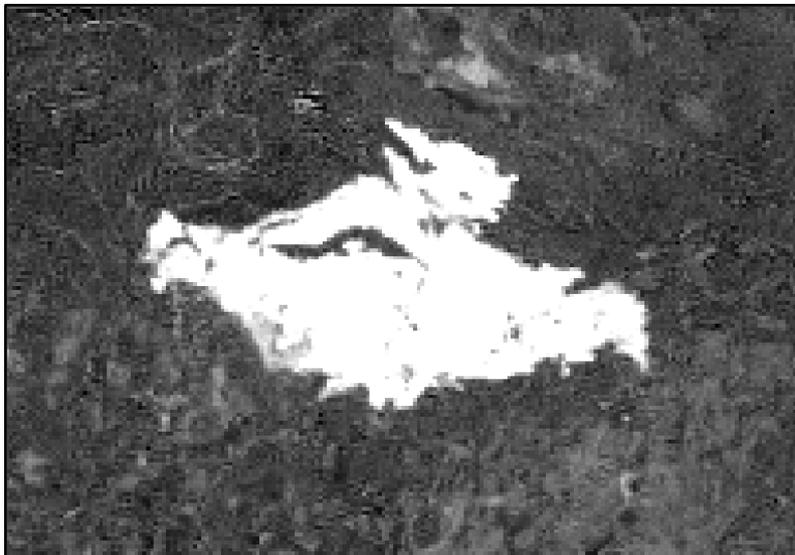


Ilustración 9- dNBR sin clasificar. Elaboración propia.

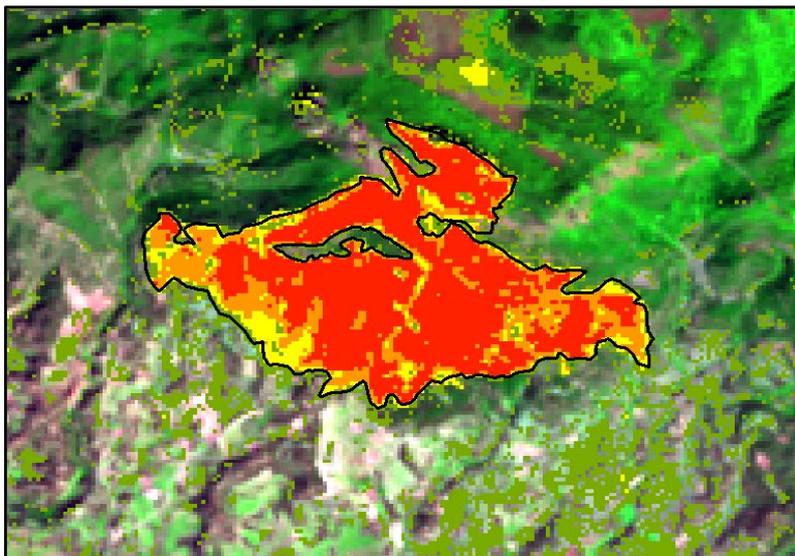


Ilustración 10- dNBR clasificado por rangos de severidad. Elaboración propia.

4.3.4. Corrección de los desplazamientos en las imágenes mal georreferenciadas

Cuando se descargan las imágenes satelitales desde el servidor del USGS, estas vienen con un sistema de coordenadas determinado. En concreto, utilizan el sistema de proyección WGS 1984 UTM. En principio, tanto las imágenes pre-fuego como las post-fuego deberían coincidir en la visualización sobre el *Data Frame* del SIG. Sin embargo, se detectó un desplazamiento en algunas de las imágenes, constituyendo este un factor limitante para la cartografía de los perímetros del incendio y de la severidad, ya que no se obtendrían valores reales.

En este punto del trabajo resultó imprescindible la ayuda de Juan de la Riva, quien consiguió determinar una metodología para reubicar las imágenes que presentaban desplazamiento. Se consiguió con la herramienta *Georeferencing* de *ArcMap*. Para solucionar este problema, se hizo un ajuste para cada uno de los incendios que presentaban desplazamiento.

5. Resultados

5.1. Contextualización de los incendios forestales en La Rioja

5.1.1. Relación número total de incendios y superficie total afectada para el periodo 1968-2015

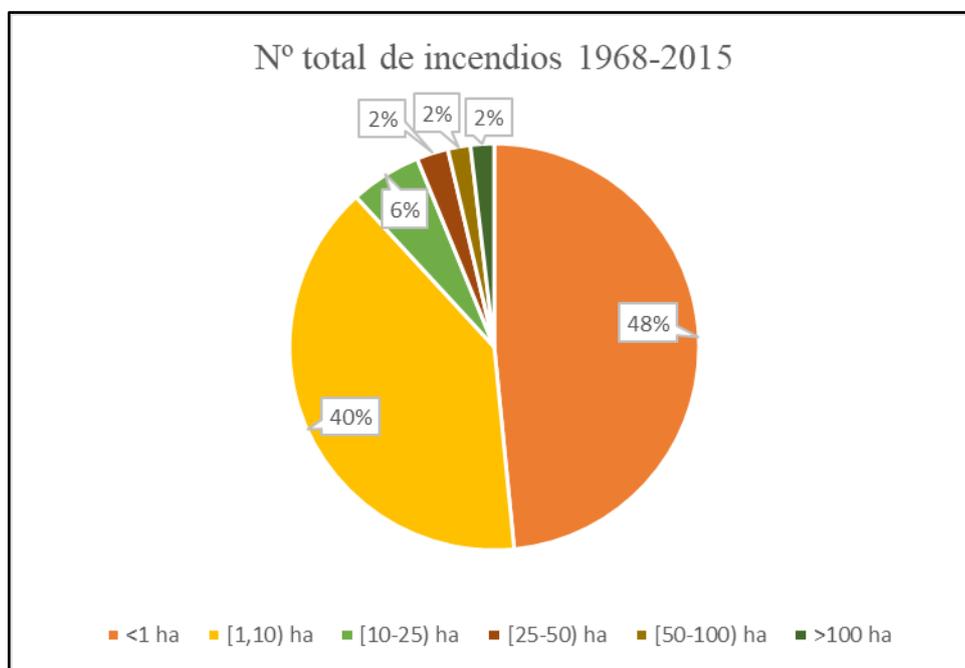
En la serie histórica de la EGIF en La Rioja 1968-2015 se han registrado un total de 3.478 incendios forestales y la superficie total afectada fue de 28.558 hectáreas. Con la información disponible en la Estadística General de los Incendios Forestales se han clasificado una serie de intervalos para determinar cómo es la distribución de los mismos por rango de tamaño. Además del número de incendios, se ha procedido a analizar la superficie afectada (en hectáreas) en función del tamaño de los incendios utilizando los mismos rangos. Los rangos considerados han sido <1 ha o conatos, [1, 10 ha) muy pequeños, [10, 25 ha) pequeños, [25-50 ha) tamaño medio, [50-100 ha) medio-grandes y >100 ha grandes incendios. El resultado puede consultarse en la Tabla 10.

Puede observarse que los más numerosos son los conatos, ya que representan hasta un 48,45% del total de los incendios. Los de tamaño pequeño, entre 1 y 10 hectáreas también representan un porcentaje importante con respecto del total, en concreto 39,76%. Tan solo

1,87% es lo que representan los grandes incendios, pero son los que mayores efectos adversos generan debido a que, obviamente la superficie afectada es mayor.

Tamaño		Nº Total	%	Sup.(ha)	%
Conato	<1 ha	1685	48,45	444,59	1,56
Muy pequeño	[1,10) ha	1383	39,76	4083	14,30
Pequeño	[10-25) ha	196	5,64	2979,13	10,43
Medio	[25-50) ha	87	2,50	2980,64	10,44
Medio-grande	[50-100) ha	62	1,78	4077,67	14,28
Gran incendio	>100 ha	65	1,87	13993,6	49,00
TOTAL		3478	100,00	28558,63	100,00

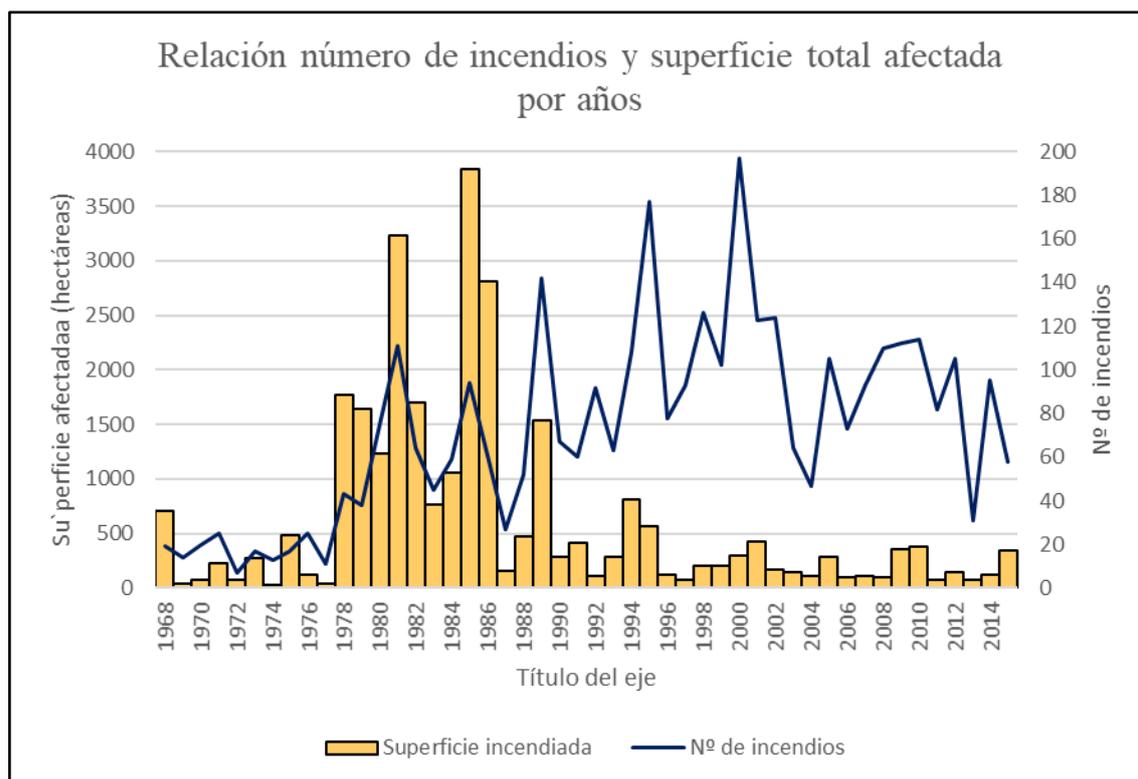
Tabla 10- Número y superficie afectada en hectáreas por rango de tamaños. Elaboración propia. Fuente: EGIF.



Gráfica 2- Número total de incendios por tamaño 1968-2015. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

Analizando la superficie afectada por rangos observamos que son los grandes incendios los que suponen hasta un 49% del total de la superficie incendiada, muy lejos del 14,30% de los muy pequeños y del 14,28 % de los medio-grandes.

Además, en la Gráfica 3 puede constatar que la tendencia del número de incendios ha sido creciente desde que existe registro hasta el año 2000, donde se da un cambio de tendencia decreciente.

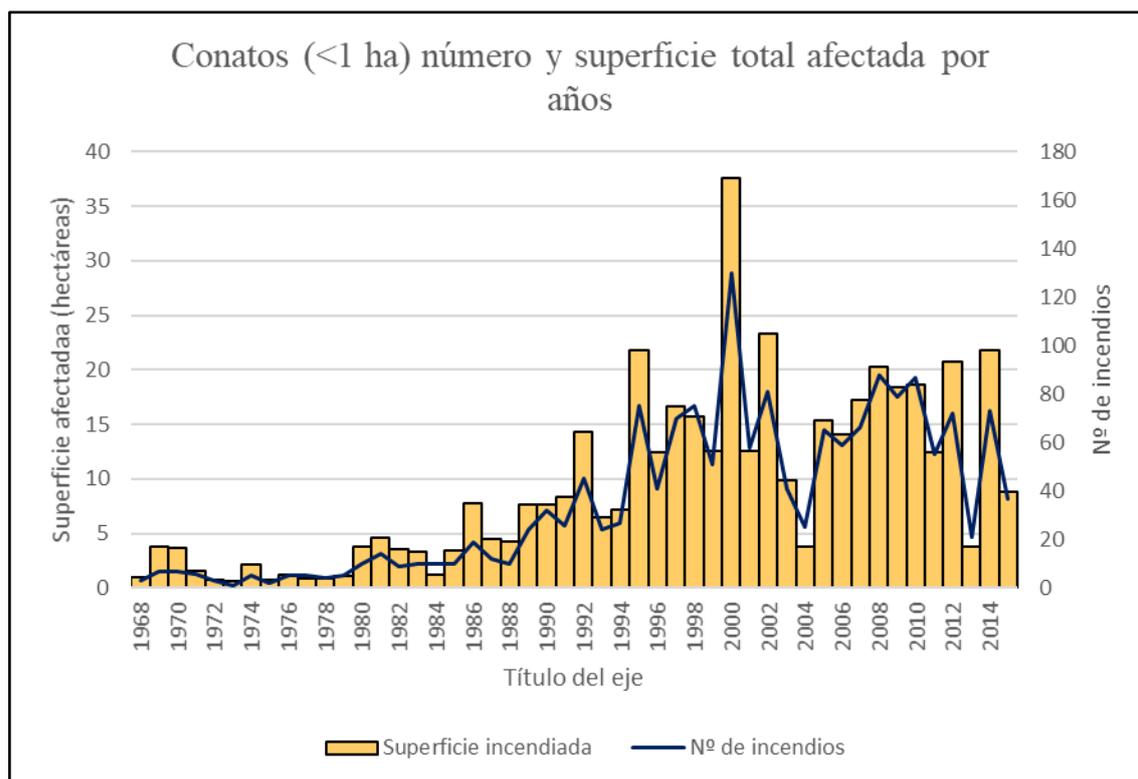


Gráfica 3- Relación número de incendios y superficie total afectada por años. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

Los peores años en cuanto a la superficie total afectada se dan en el periodo 1978-1986, donde se quemaron hasta 18.059 hectáreas que suponen un 63 % del total. La media de la superficie incendiada por año para el periodo 1968-2015 es de 597,05 ha, mientras que la media para el periodo de 1978-1986 es de 2006,62 ha, casi cuatro veces más.

5.1.2. Evolución de los conatos en la serie histórica 1968-2015

El cambio en la tendencia de los conatos se produce a partir de 1983, y esto tiene sentido, ya que a partir de este año es cuando se empiezan a registrar todos los conatos en los partes de incendios forestales. Desde 1983, la tendencia es ascendente con alguna bajada acusada a modo de dientes de sierra. Puede verse en detalle en la Gráfica 4.



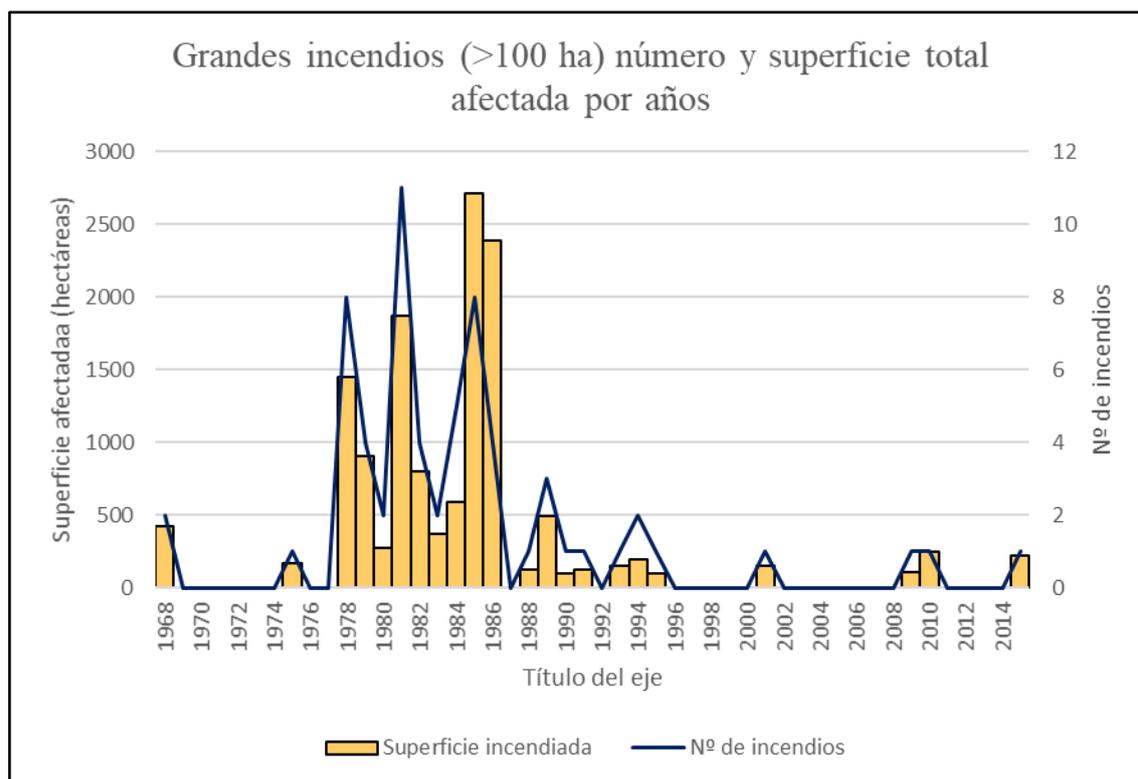
Gráfica 4- Relación número y superficie afectada por años de los conatos. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

Destaca el año 2000, donde se produjeron hasta 130 conatos, un número que es casi tres veces superior a la media para el periodo 1983-2015 que es de 48,4.

5.1.3. Evolución de los grandes incendios en la serie histórica 1968-2015

El periodo de 1978-1986, anteriormente considerado como el peor desde que existe registro de los incendios en La Rioja es también un periodo de fuerte afección de los grandes incendios en comparación con la ocurrencia de otras épocas. Pueden destacarse hasta 4 años negros:

- **1978**, 8 grandes incendios que afectaron a 1.447 hectáreas.
- **1981**, 11 grandes incendios que afectaron a 1.868 hectáreas.
- **1985**, 8 grandes incendios que afectaron a 2.709 hectáreas.
- **1986**, 4 grandes incendios que afectaron a 2.390 hectáreas.



Gráfica 5- Relación número y superficie afectada por años de los grandes incendios. Elaboración propia. Fuente: EGIIF.

Exceptuando el periodo de 1978-1986, la evolución de los grandes incendios forestales se caracteriza por una baja frecuencia de los mismos, 1 ó 2 al año como máximo y muchos años donde no se produce ninguno, y afectando a una superficie siempre inferior a 500 hectáreas.

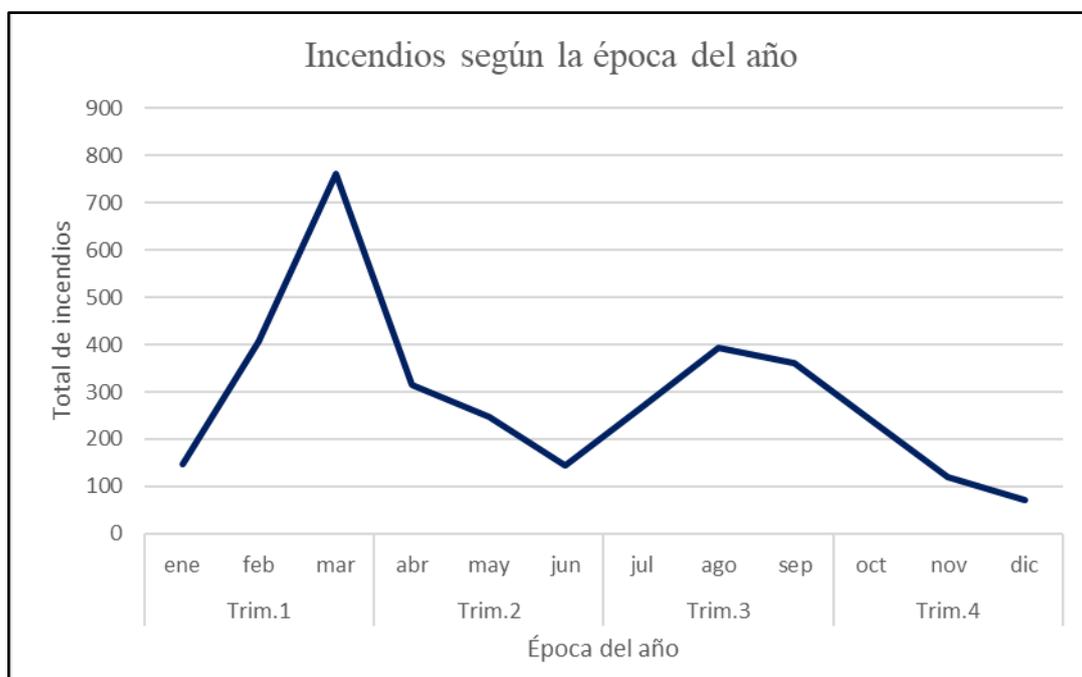
5.1.4. Evolución del resto de incendios por rango de tamaño en la serie histórica 1968-2015

En cuanto a la evolución del resto de incendios por rango de tamaños, los de tamaño muy pequeño [1,10 ha) representan el 39,76 % del total, los de tamaño pequeño [10-25 ha) un 5,64 %, los de tamaño medio [25-50 ha) un 2,5 % y los de tamaño medio-grande [50-100 ha) 1,78 %.

5.1.5. Ocurrencia de incendios según la época del año

En el Gráfico 6 puede analizarse en que época del año se produce un mayor número de incendios forestales. Se muestran dos repuntes, uno en marzo, al principio de la primavera y otro en verano. Resulta interesante destacar que la mayoría de los incendios forestales en La Rioja, no se producen en los meses de verano como cabría esperar, debido a unas condiciones meteorológicas y de sequedad en el combustible que favorecen la proliferación

de incendios forestales en junio, julio y agosto. Lo cierto es que la Gráfica 6 nos indica que el mayor registro de incidencias se da particularmente en el mes de marzo.



Gráfica 6- Incendios según la época del año. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

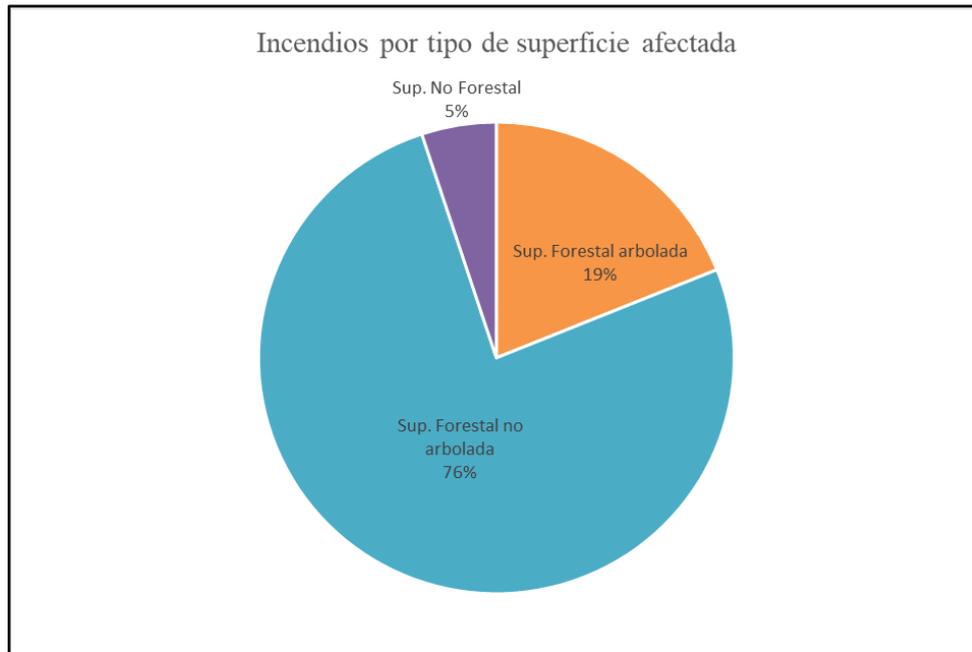
Se muestran dos repuntes, uno en marzo, al principio de la primavera y otro en verano. Resulta interesante destacar que la mayoría de los incendios forestales en La Rioja, no se producen en los meses de verano como cabría esperar, debido a unas condiciones meteorológicas y de sequedad en el combustible que favorecen la proliferación de incendios forestales en junio, julio y agosto. Lo cierto es que la gráfica nos indica que el mayor registro de incidencias se da particularmente en el mes de marzo.

Esto último está directamente relacionado con las quemas agrícolas, que buscan la regeneración de los pastos o la eliminación de residuos agrícolas, pero que se descontrolan y acaban derivando en incendios forestales. Febrero también presenta un repunte significativo conforme al mes anterior. El trimestre segundo del año y el cuarto son los que presentan un menor número de incendios forestales. Por último, destacar que en los meses de junio hasta octubre hay un notable repunte del registro de incendios.

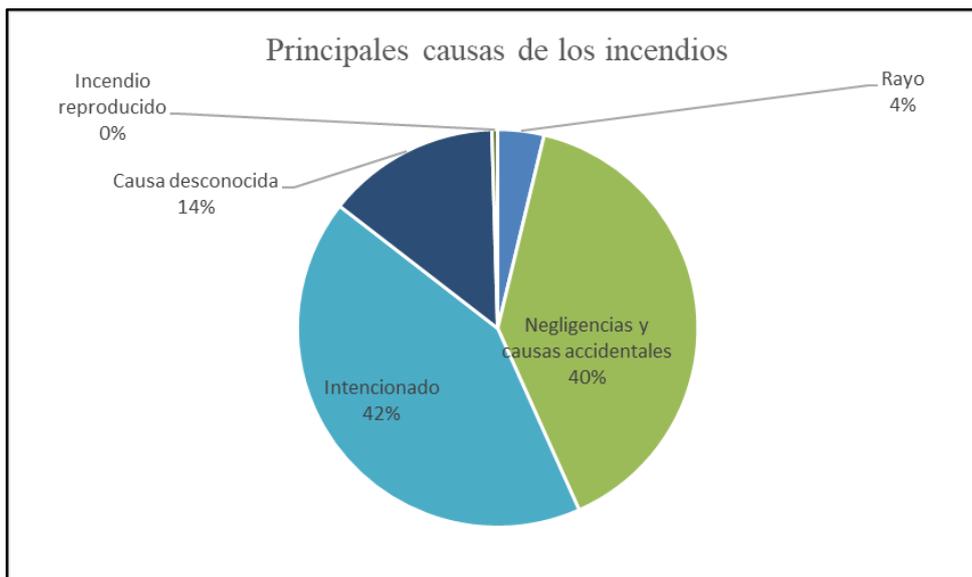
5.1.6. Según el tipo de superficie afectada

Únicamente el 5% de los incendios afecta a superficie no forestal, aunque es lógico, ya que los datos recogidos en la EGIF únicamente recopilan información de los incendios

forestales, es decir, aquellos que afectan a superficies forestales. La razón por la que quedan registrados es porque se trata de incendios que se han iniciado en una superficie forestal pero que han acabado afectando a superficie no forestal. Los incendios que mayores impactos ecológicos plantean son los que afectan a superficies forestales arboladas, y que en el caso de La Rioja se cuantifican en un 19% del total. El 76% restante se corresponde con los incendios forestales que afectan a superficies forestales no arboladas.



Gráfica 7- Incendios por tipo de superficie afectada. Elaboración propia. Fuente: EGIF.



Gráfica 8- Principales causas de los incendios. Elaboración propia. Fuente: EGIF.

5.1.7 Según el tipo de causa que los origina

La mayor parte de los incendios forestales en La Rioja son o incendios intencionados 42%, o producidos por negligencias u otras causas accidentales 40%. Los rayos, también son causantes de hasta un 4% de los incendios, indicando la importancia de las tormentas en el ámbito mediterráneo. Además, según la motivación de los mismos, hasta el 85% se deben a agricultores y ganaderos que cuya finalidad es la eliminación de matorral o para regenerar y favorecer el nacimiento de pasto.

5.2. Distribución espacial de los incendios forestales

La distribución espacial de la incidencia de los incendios forestales sobre el territorio es importante, ya que permite reconocer las zonas que son más afectadas por el fuego. Conociendo la distribución, se puede contribuir a una más eficiente gestión de incendios, como puede ser la instalación de los medios de extinción adecuados o incluso la localización de los medios de vigilancia, para contribuir, en la medida de lo posible a aminorar el número de incendios que se producen.

En los siguientes mapas se analizan la localización de los incendios forestales para el periodo 1983-2015; para el conjunto de los incendios, para los grandes incendios, para los conatos y por último un análisis de la distribución temporal para ver si ha cambiado el tipo de distribución por periodos de años.

Los mapas se han generado a partir de un sistema de información geográfica y con los datos de la Estadística General de Incendios Forestales. La unidad básica que aparece representada es el cruce de la cuadrícula ICONA (10 x 10 Km) con los límites municipales, ya que ambos datos están recogidos en la estadística. Se creó un campo común mediante la concatenación de ambos en Excel y posteriormente se vinculó la información con el SIG mediante un *join*. Hay que tener en cuenta que la estadística recoge el dato de la localización del inicio del fuego, pero en función de su tamaño y características, este puede salir de la entidad formada por el cruce de la cuadrícula y el municipio.

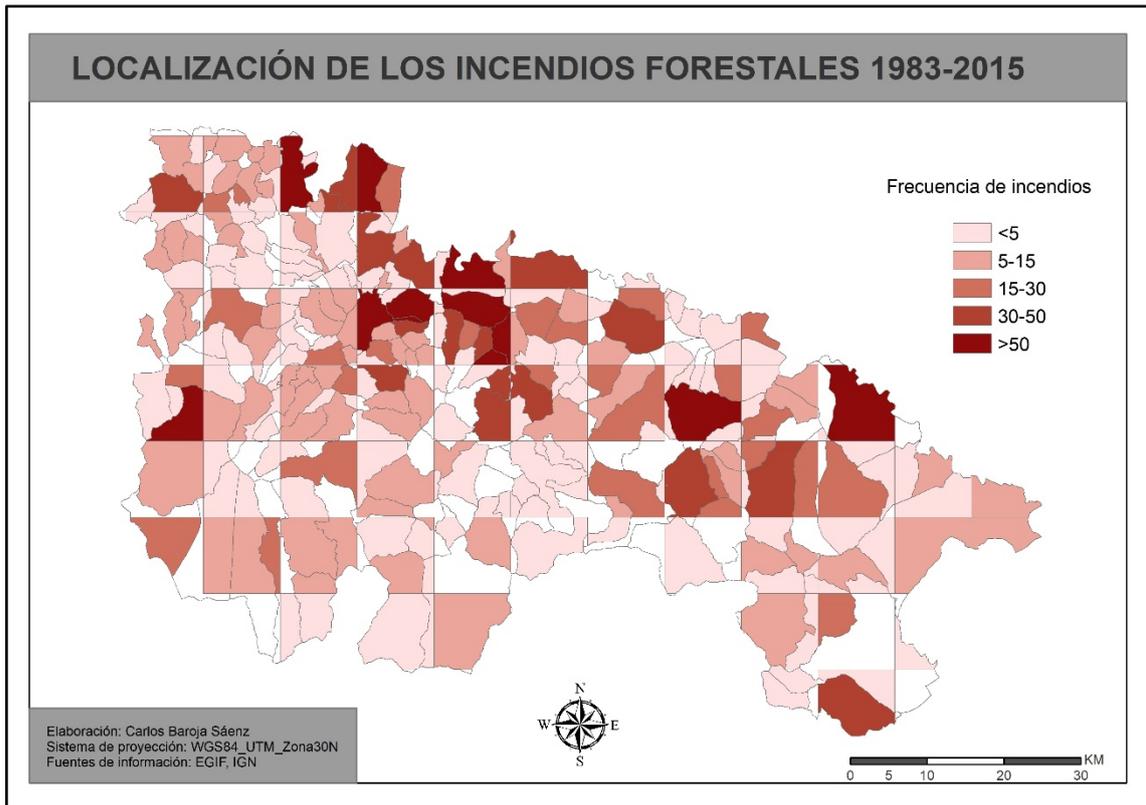


Ilustración 11- Mapa de localización de los incendios forestales 1983-2015. Elaboración propia.

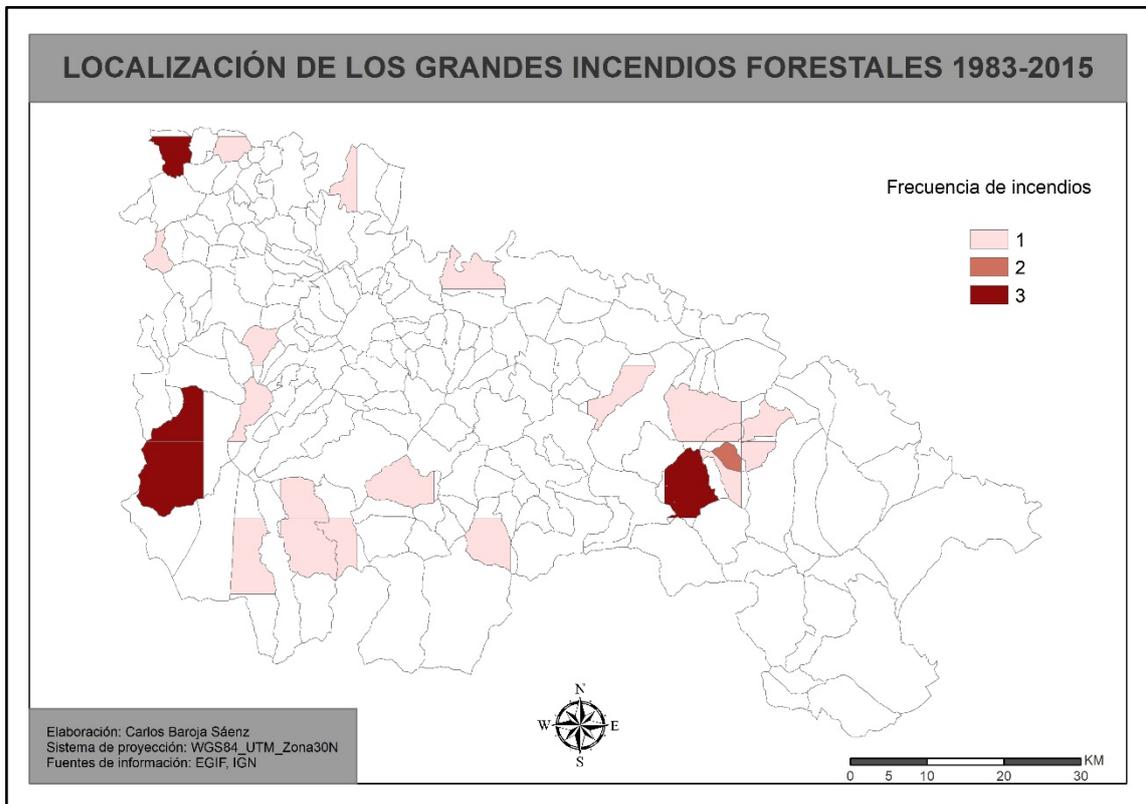


Ilustración 12- Mapa de localización de los grandes incendios forestales 1983-2015. Elaboración propia.

En el anterior mapa puede observarse que la distribución de los incendios forestales no es homogénea para el periodo 1983-2015. No obstante, son muy pocos los espacios que no se han visto afectados por ningún incendio forestal. En algunos sectores al norte de la Comunidad, muy próximos al río Ebro se han llegado a registrar hasta más de 50 incendios forestales en dicho periodo. También sectores centrales y en Ezcaray.

Considerando los 34 grandes incendios forestales para el periodo 1983-2015, en algunas entidades se han llegado a producir hasta 3 grandes incendios forestales. Destacan el municipio de Ezcaray, con un registro de hasta 6 grandes incendios, Foncea, al noroeste de la región con 3 grandes incendios y Arnedillo, en sector del valle del Cidacos con un registro de 3 grandes incendios.

Otro hecho destacable es que los grandes incendios se han producido con mayor frecuencia en el sector occidental de la región.

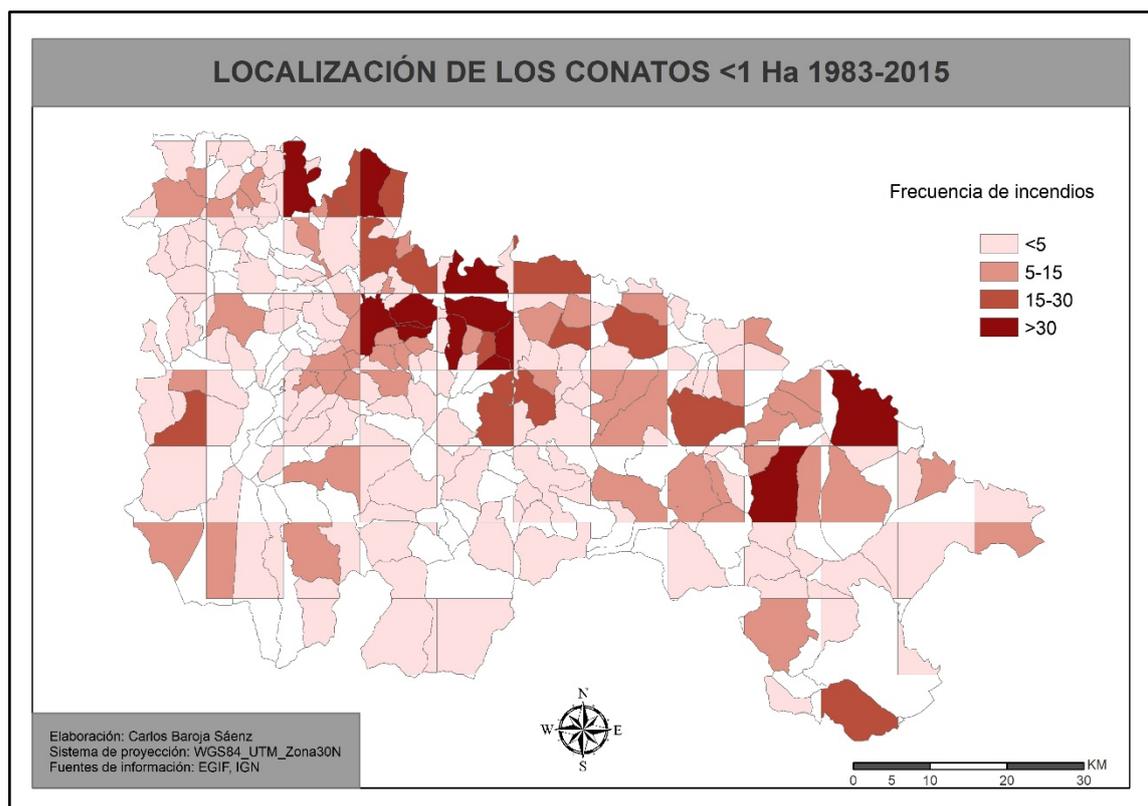


Ilustración 13- Mapa de localización de los conatos 1983-2015. Elaboración propia.

Los conatos tienen una distribución que se asemeja más a la del conjunto de todos los incendios. Tiene sentido, ya que el mayor registro de los incendios para el periodo son

los de dimensiones inferiores a 1 hectárea. De nuevo pocos sectores no afectados por ninguno y las mayores frecuencias en sectores septentrionales y centrales de la región.

En el análisis de la distribución temporal se ha podido detectar un cambio a partir del año 1993. Los periodos de 10 años analizados son 1983-1992, 1993-2002, 2003-2012. En el primero de los periodos la distribución es más o menos homogénea, con pocos sectores que presenten frecuencias superiores a 20 incendios y muchos sectores con frecuencias bajas de menos de 5 incendios. Sin embargo, el cambio en la tendencia se observa en el periodo 1993-2002 y continua en el último periodo 2003-2012.

El cambio en la tendencia consiste en que las mayores frecuencias se dan al norte de la región, concretamente en la zona del valle del Ebro y se pierde la equidistribución que aparece en el primero de los periodos. Puede observarse el cambio de la tendencia en los siguientes mapas para cada uno de los periodos de análisis:

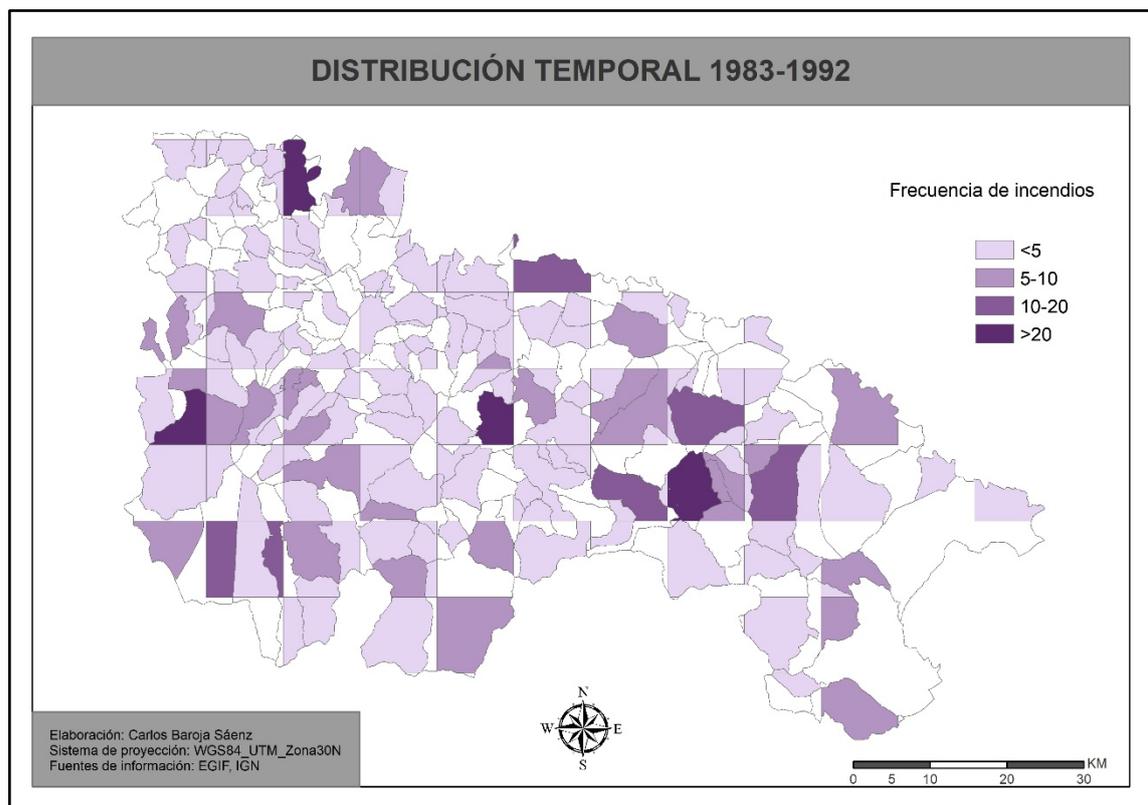


Ilustración 14- Mapa de distribución temporal de incendios 1983-1992. Elaboración propia.

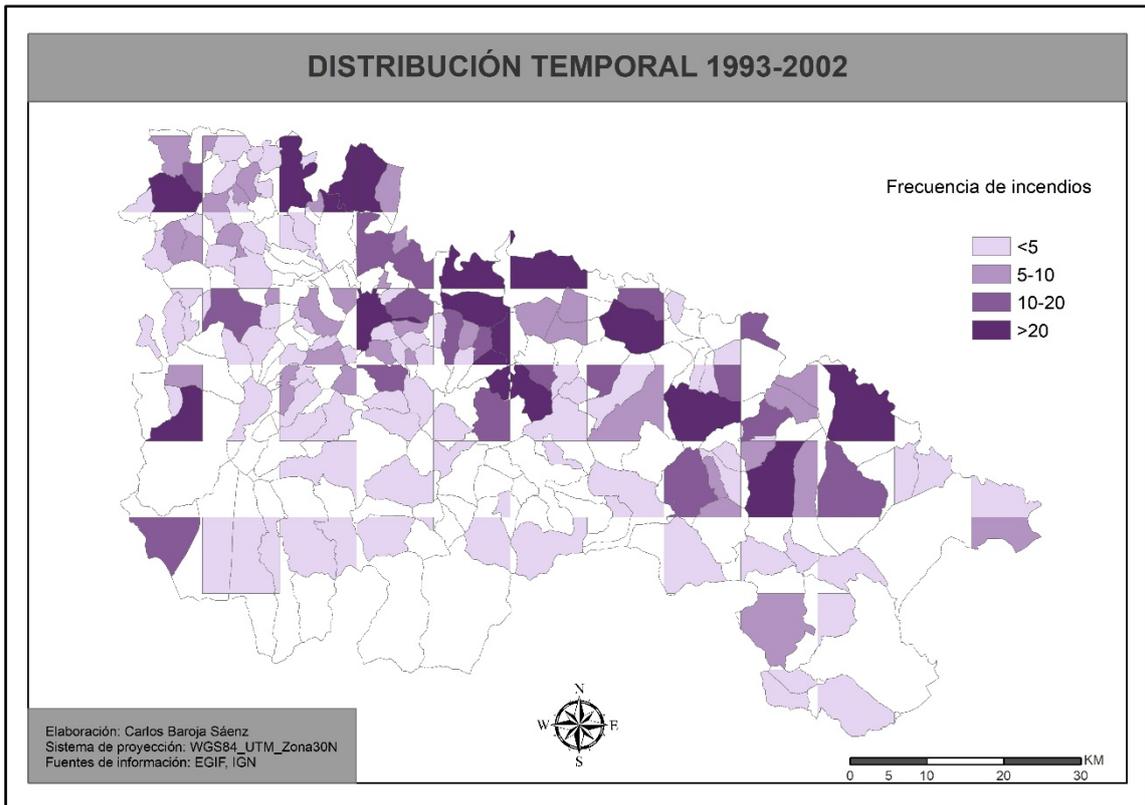


Ilustración 15- Mapa de distribución temporal de incendios 1993-2002. Elaboración propia.

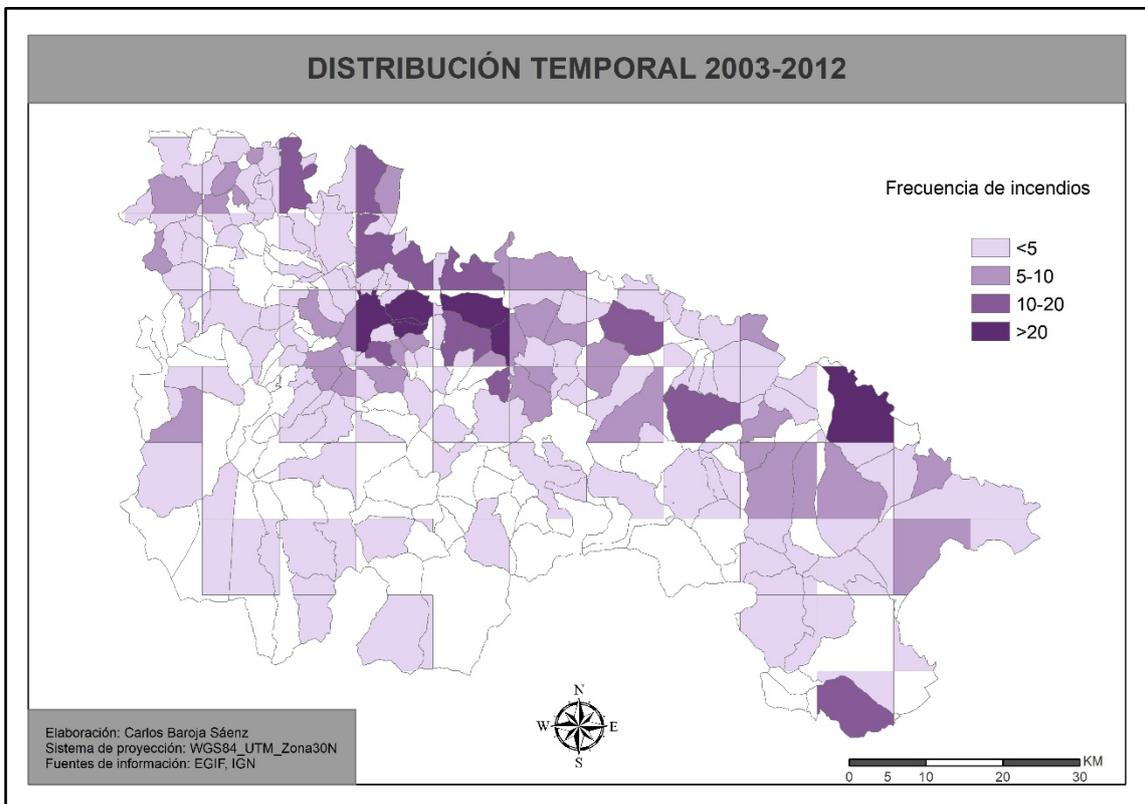


Ilustración 16- Mapa de distribución temporal de incendios 2003-2012. Elaboración propia.

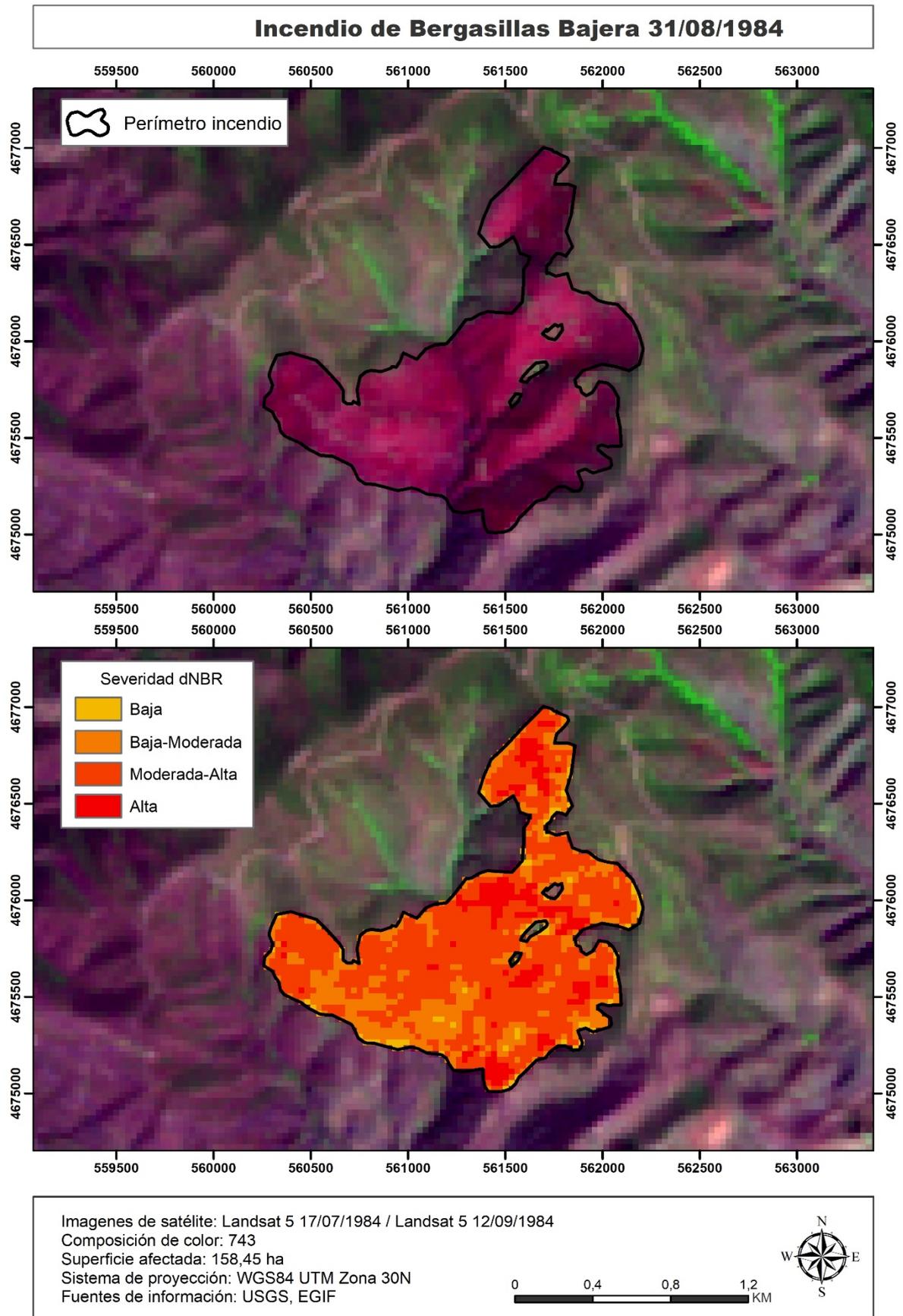
5.3. Fichas de los grandes incendios forestales

Para cada uno de los incendios forestales de calidad óptima y buena de adquisición de las imágenes de satélite se ha procedido a elaborar una ficha en la que se incluye información relevante como el nombre del incendio que se corresponde con el nombre del municipio donde se produjo y la fecha de la ignición, la fecha de las imágenes pre-fuego y post-fuego, la superficie afectada medida en hectáreas, el perímetro y la severidad.

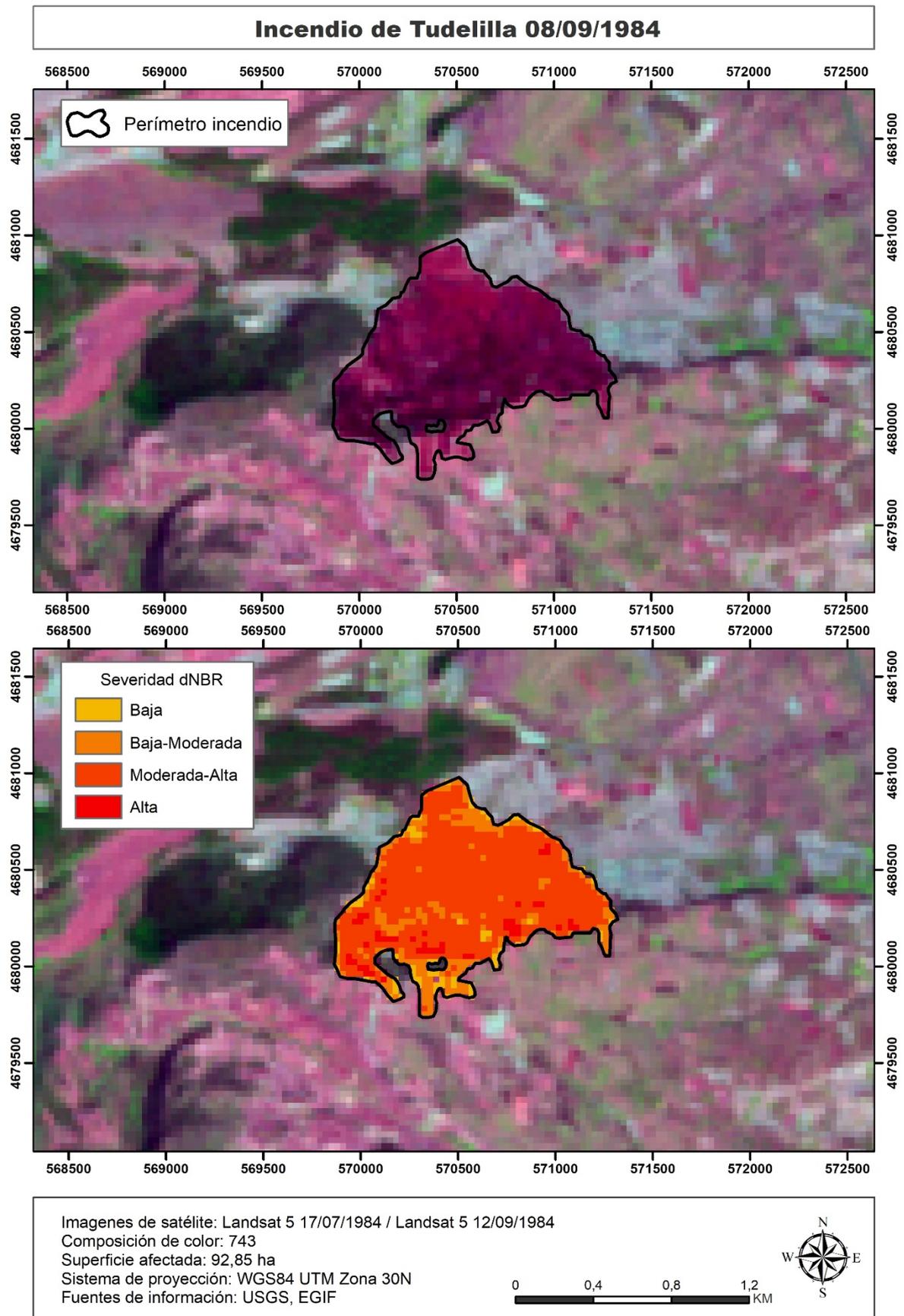
Puede consultarse más información referente a los grandes incendios en los anexos de este documento e información de las imágenes de satélite que fueron utilizadas en el proceso de la cartografía.

Las fichas se componen de dos mapas del incendio, uno en el que puede observarse el perímetro sobre la composición en color 743 y el otro, el índice de severidad utilizando los umbrales de Key & Benson.

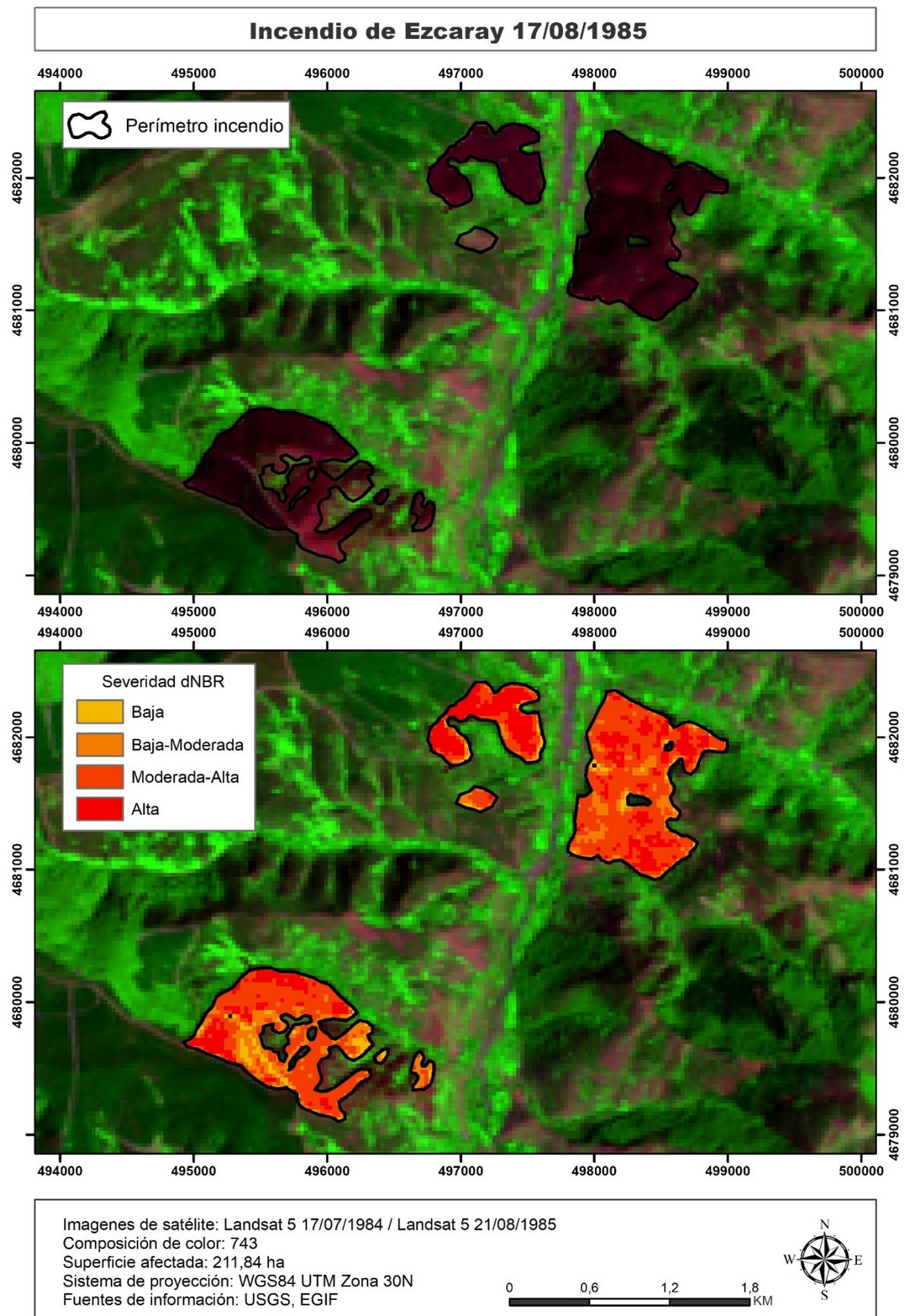
5.3.1. Incendio de Bergasillas Bajera 31/08/1984



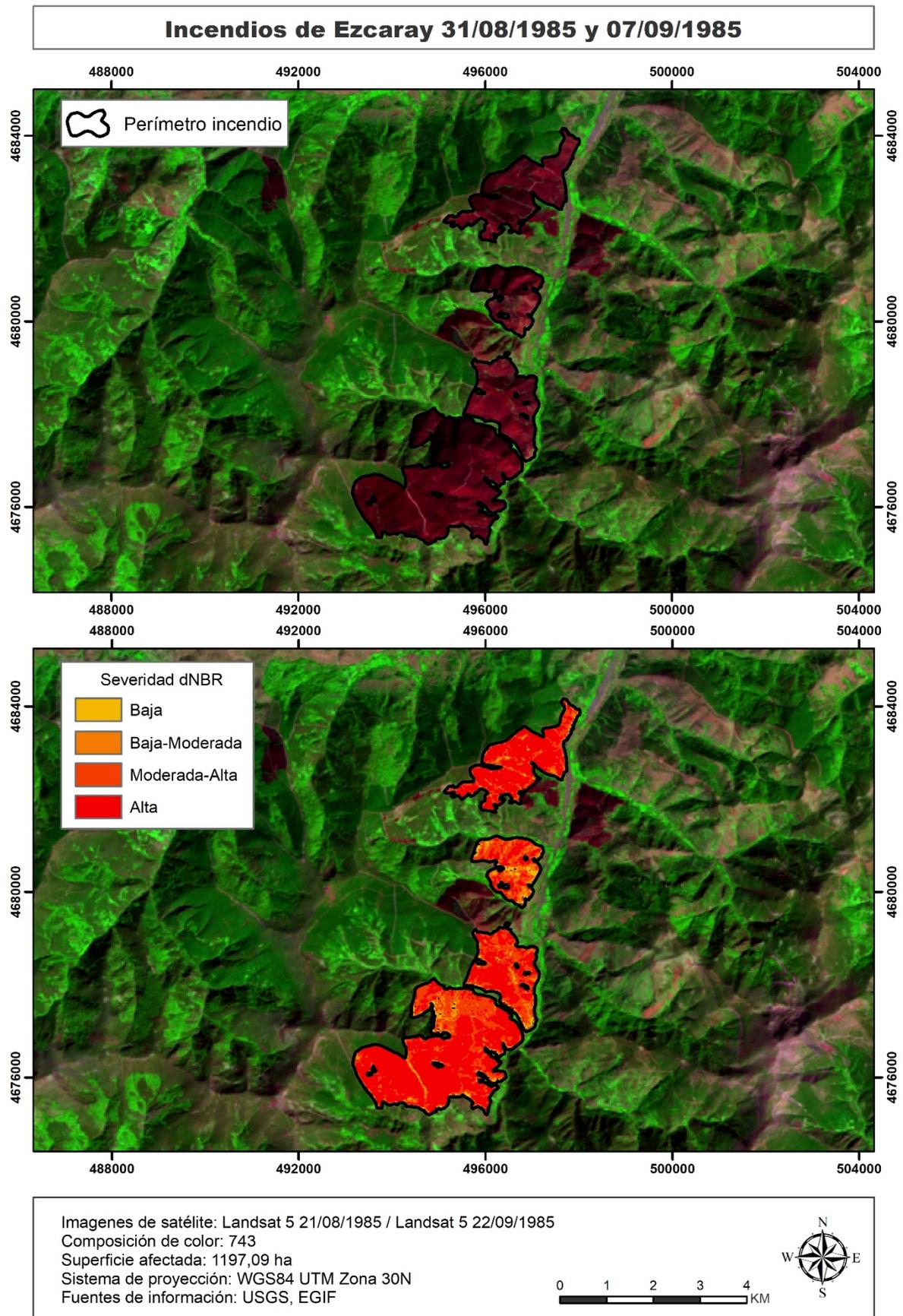
5.3.2. Incendio de Tudelilla 08/09/1984



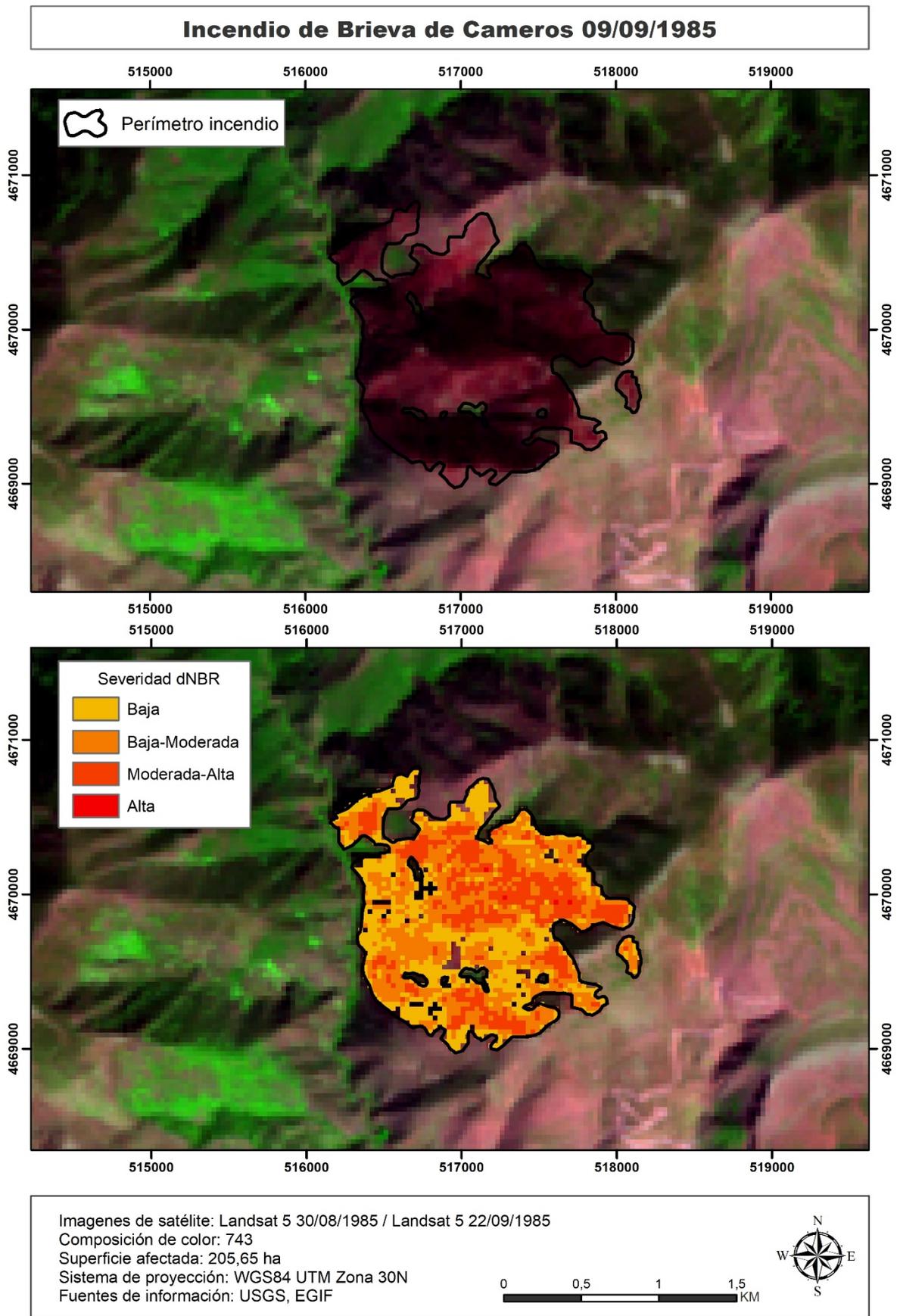
5.3.3. Incendio de Ezcaray 17/08/1985



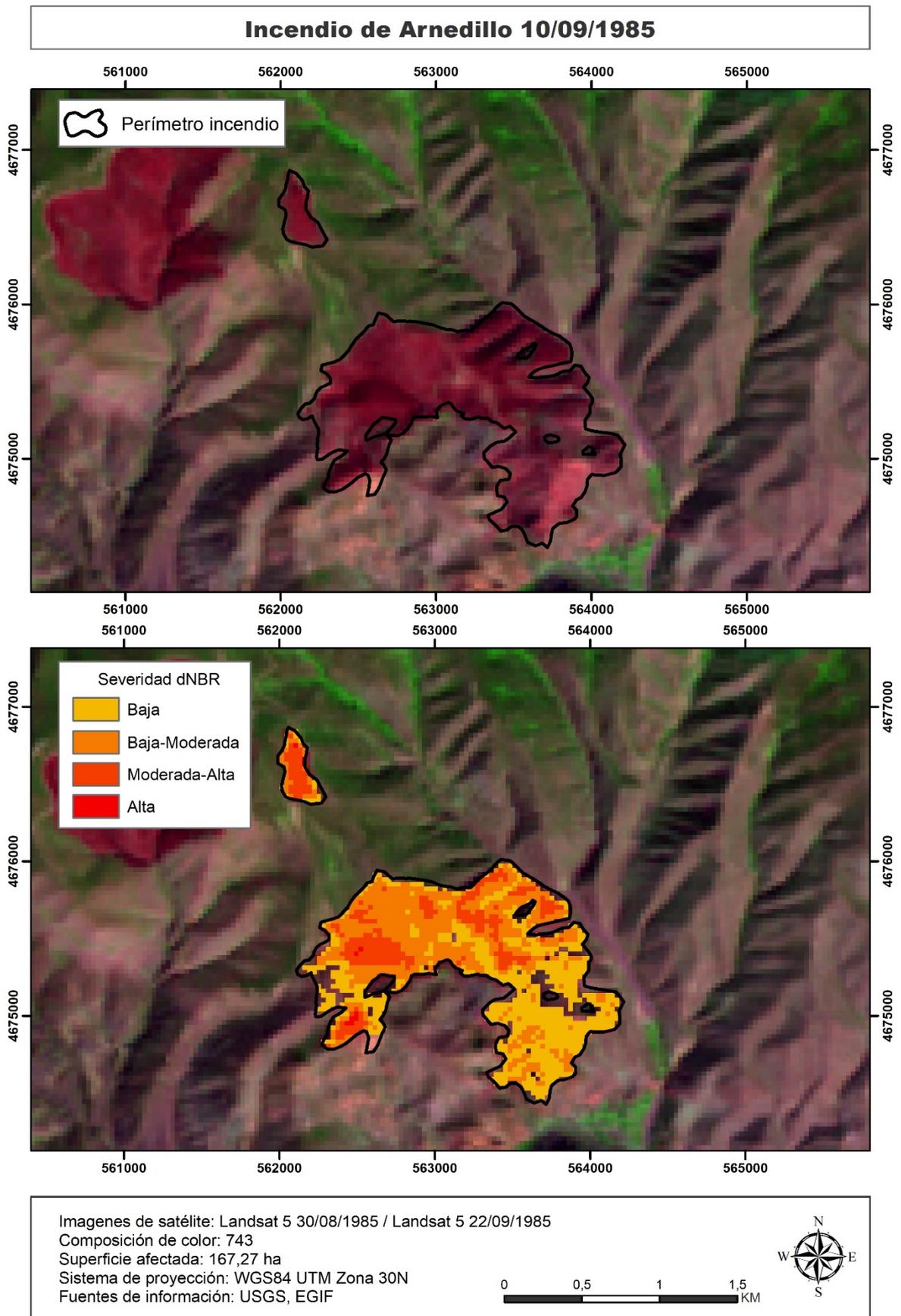
5.3.4. Incendios de Ezcaray 31/08/1985 y 07/09/1985



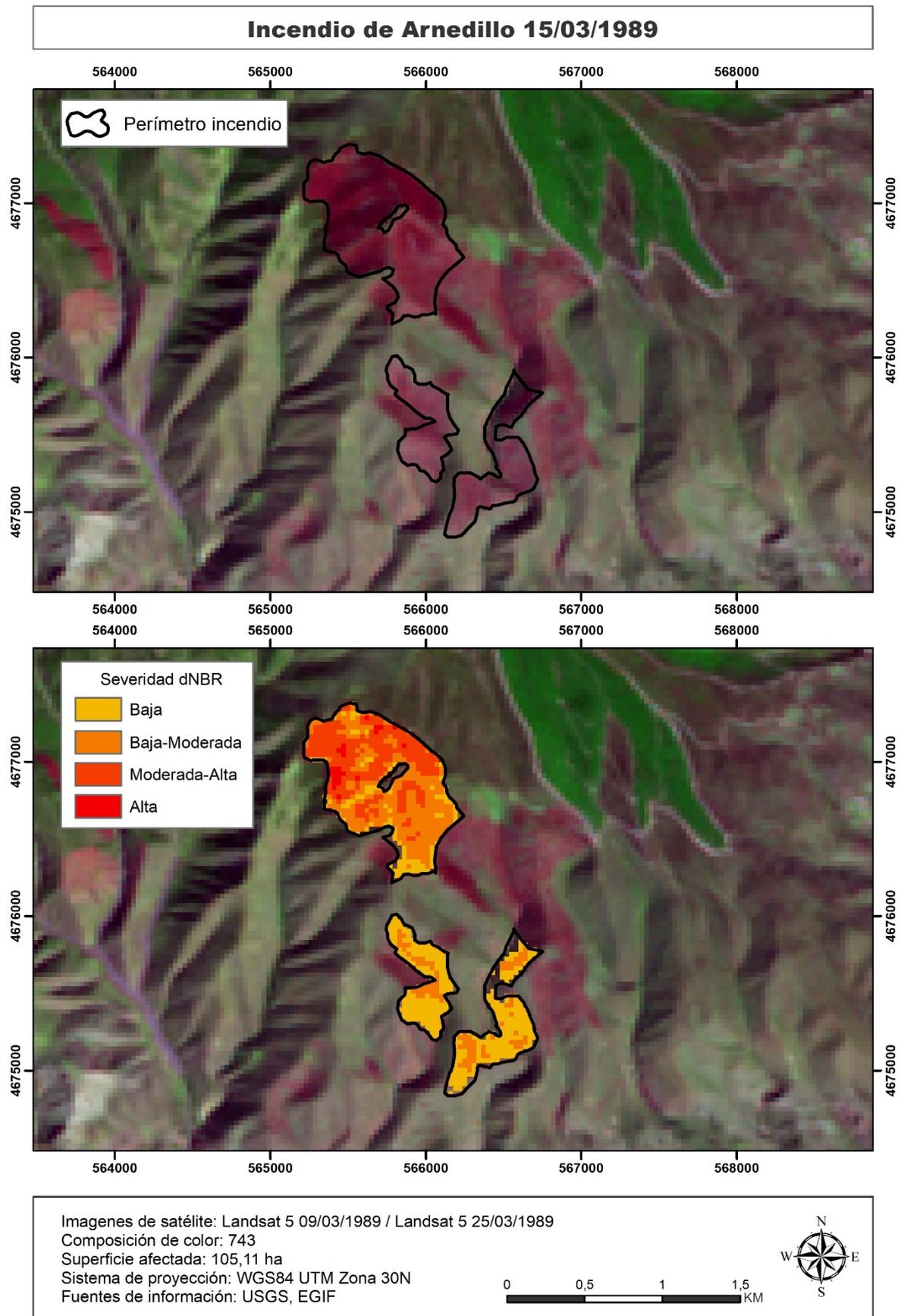
5.3.5. Incendio de Brieva de Cameros 09/09/1985



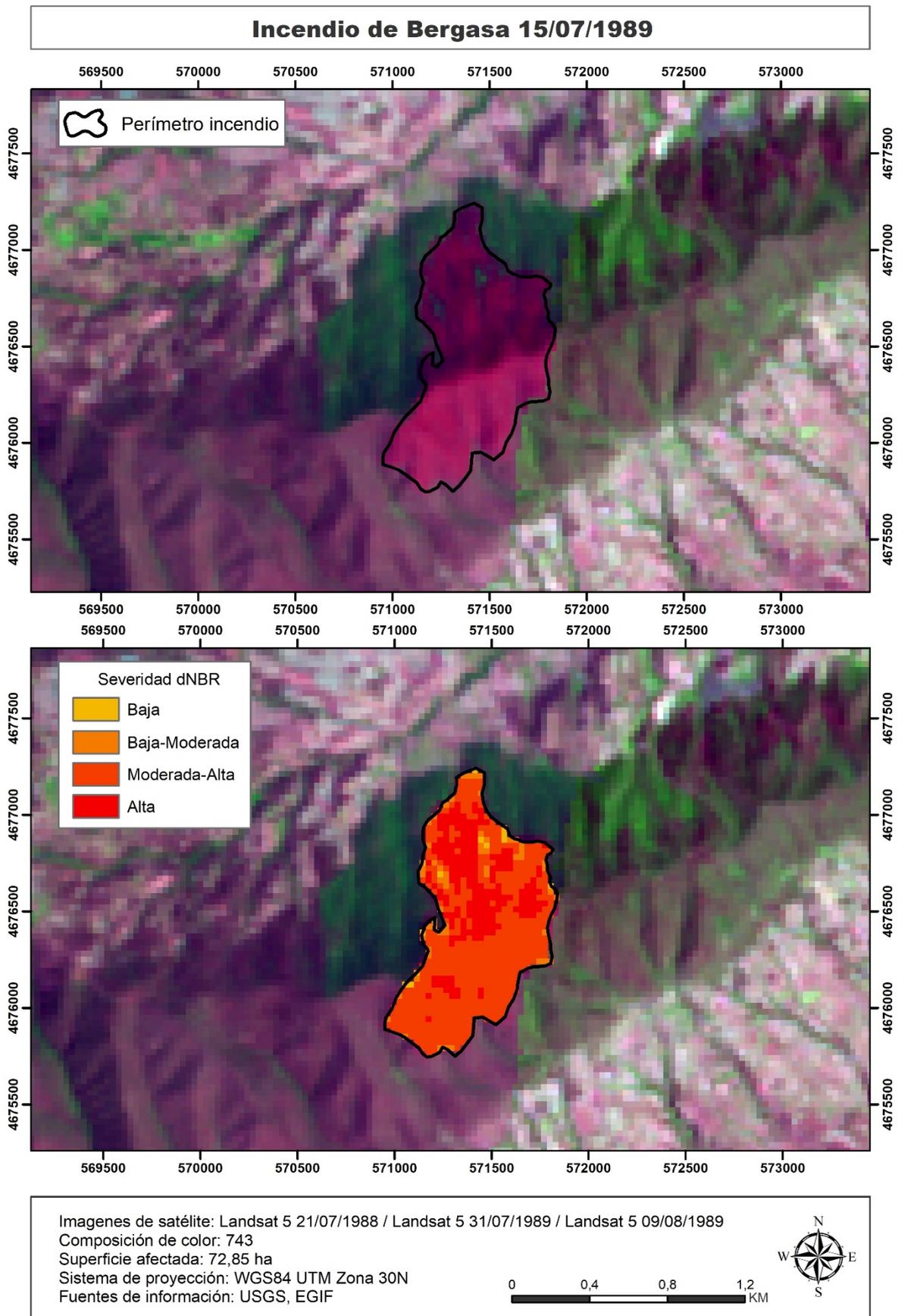
5.3.6. Incendio de Arnedillo 10/09/1985



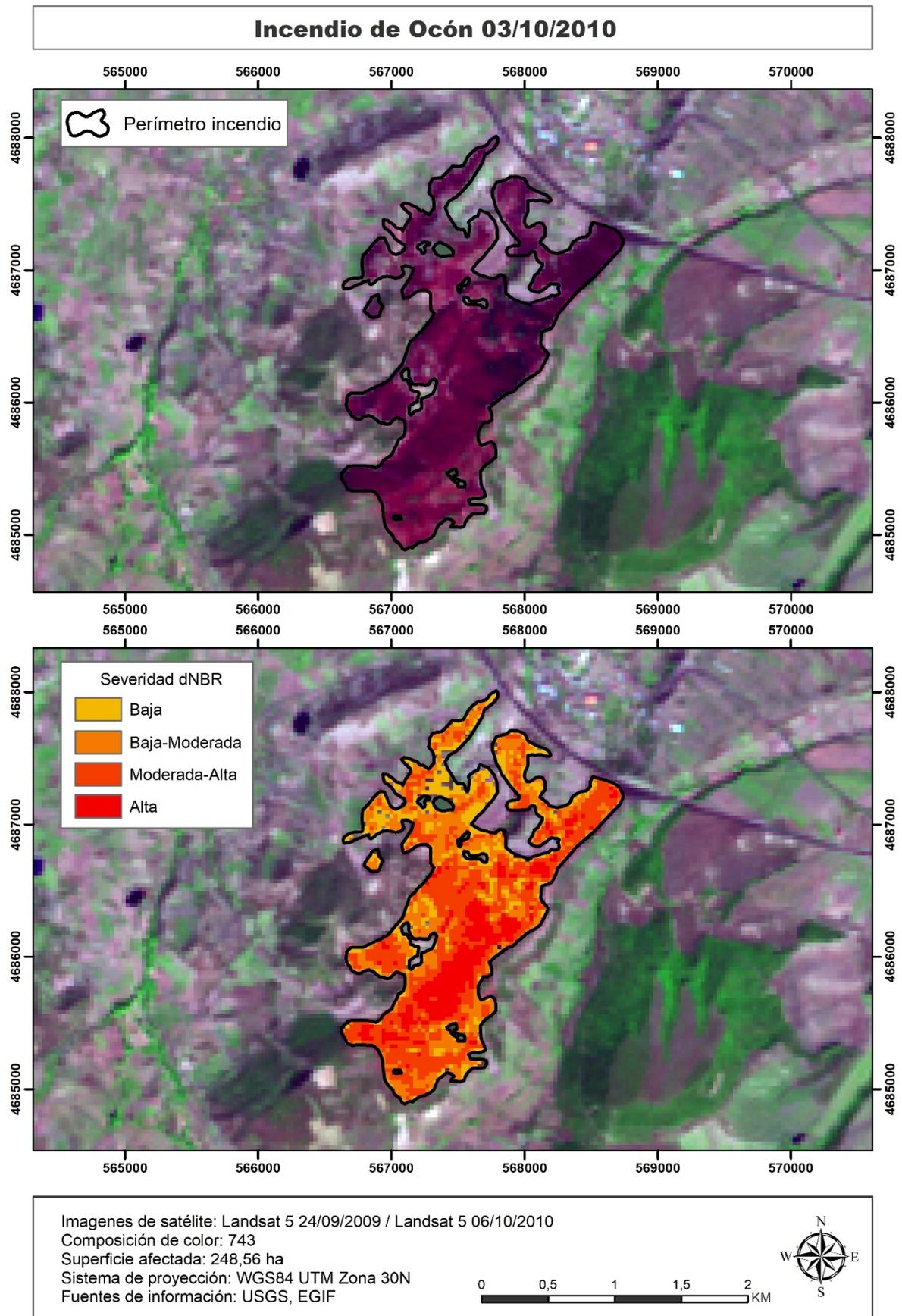
5.3.7. Incendio de Arnedillo 15/03/1989



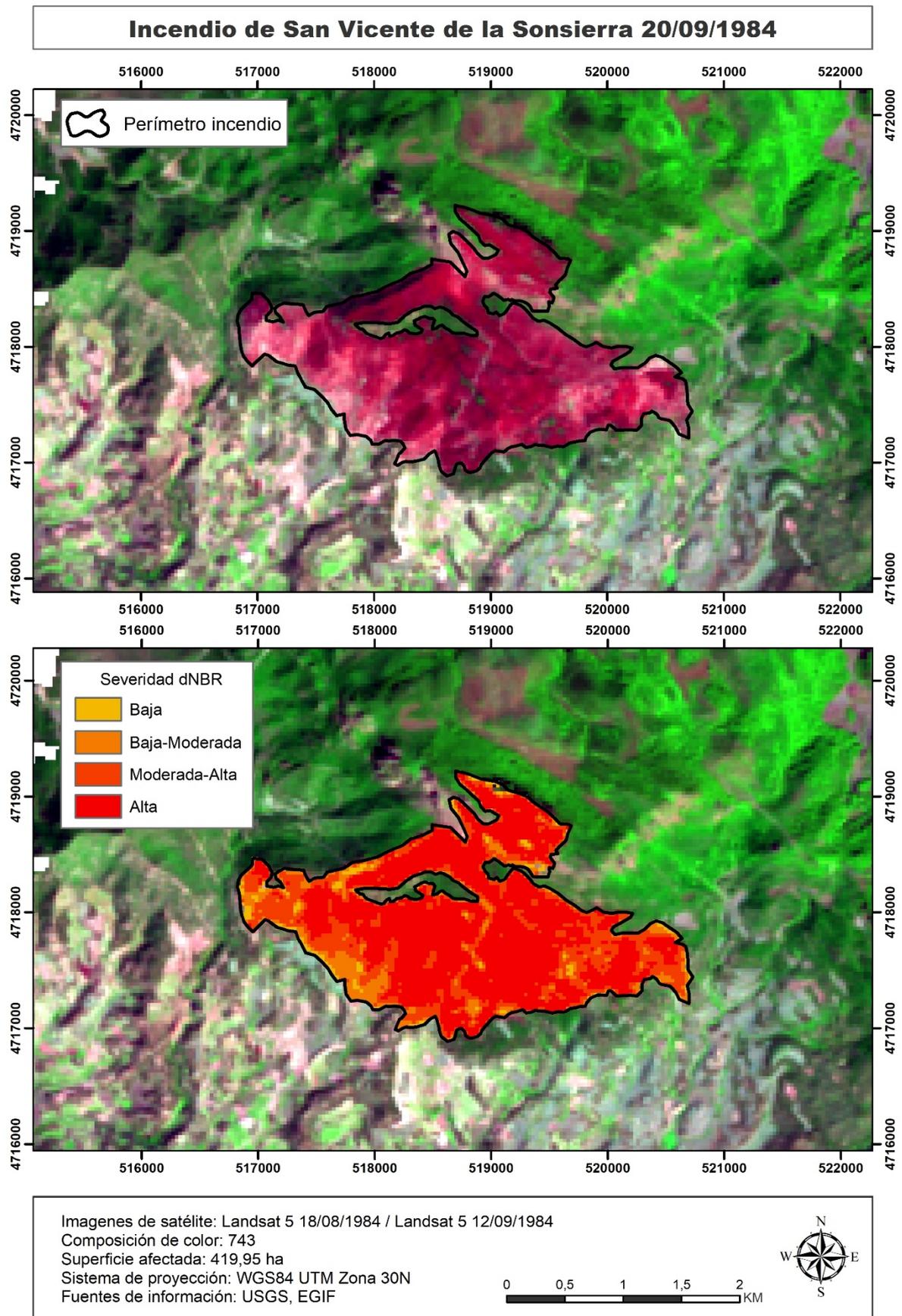
5.3.8. Incendio de Bergasa 15/07/1989



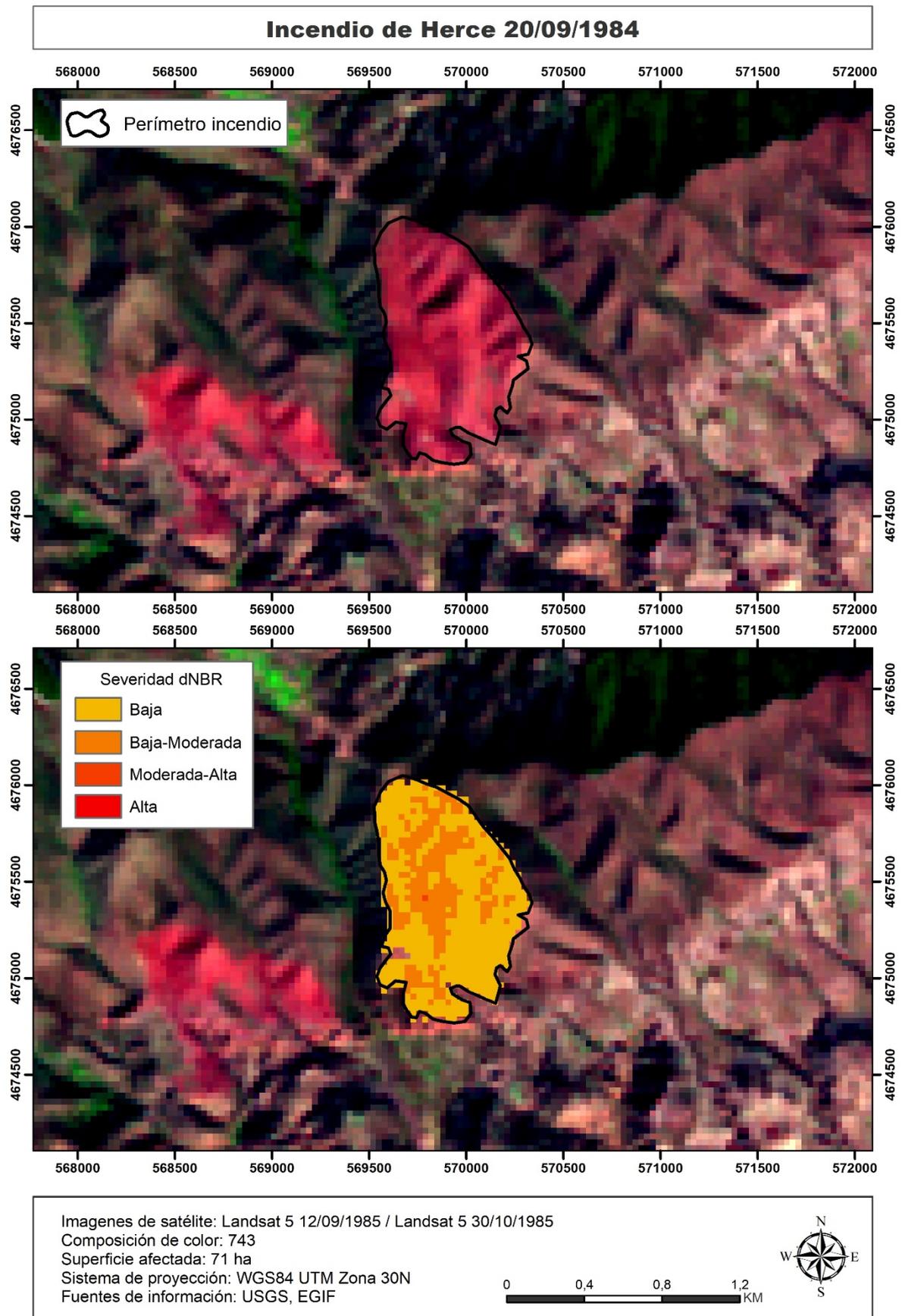
5.3.9. Incendio de Ocón 03/10/2010



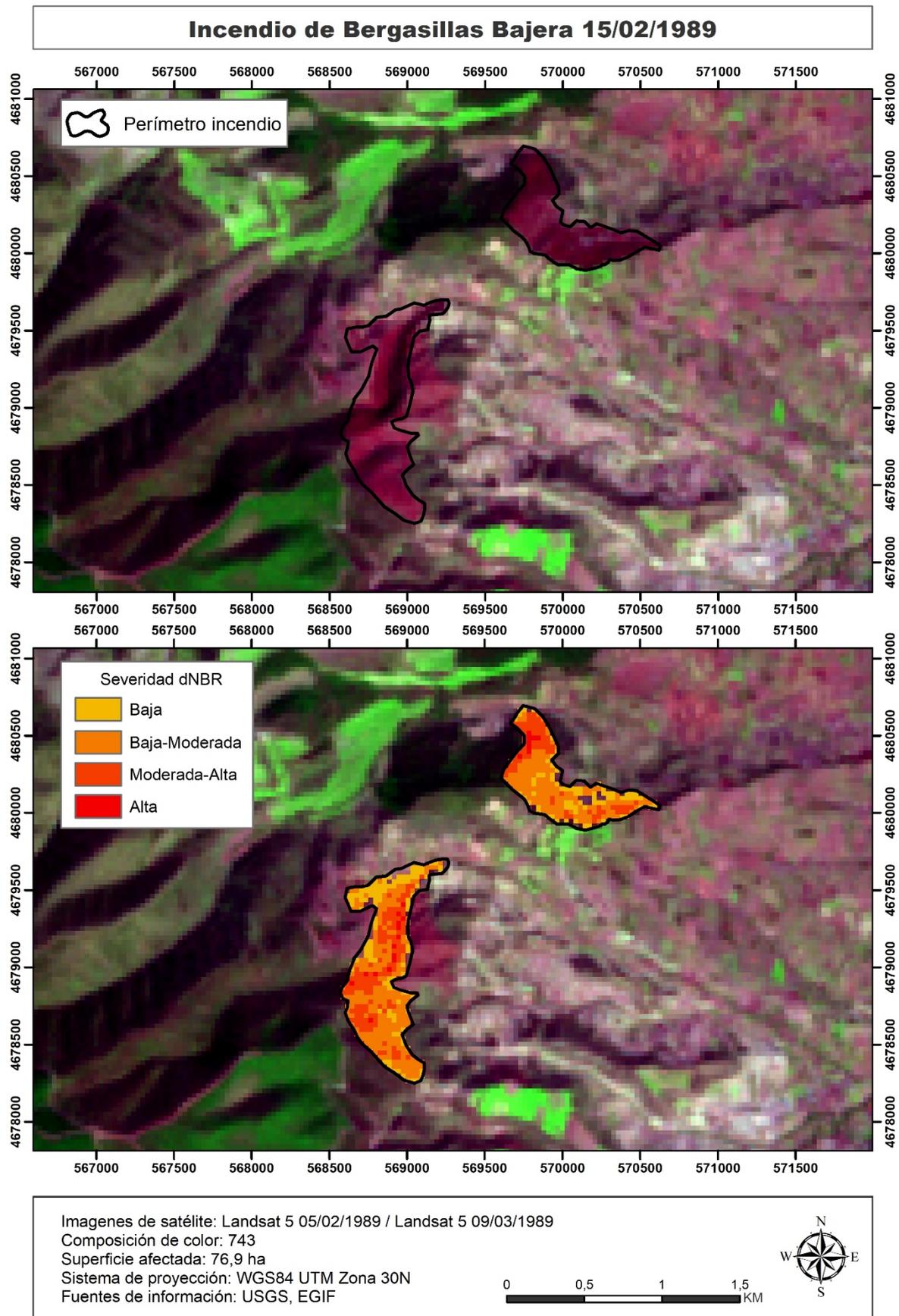
5.3.10. Incendio de San Vicente de la Sonsierra 20/08/1984



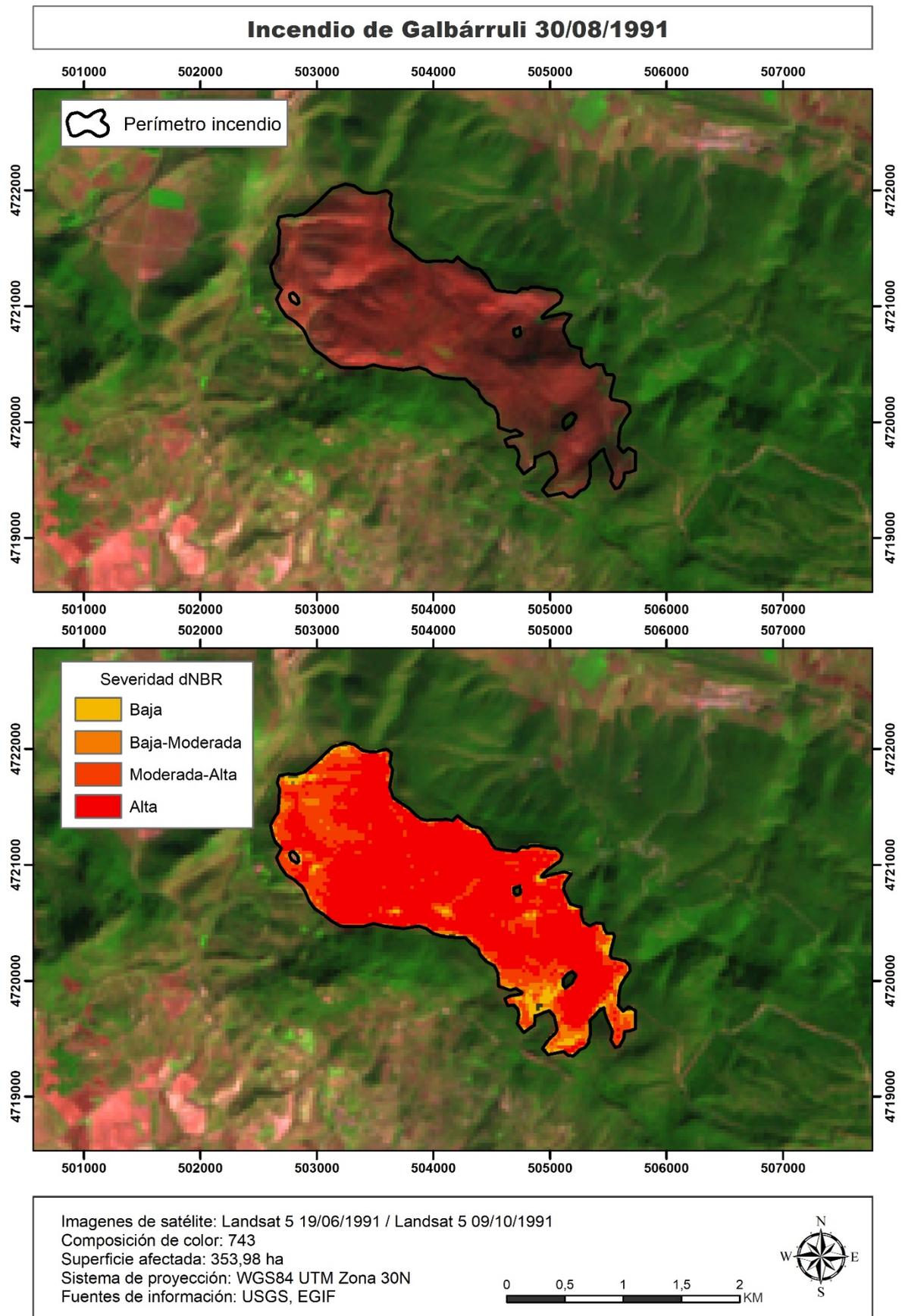
5.3.11. Incendio de Herce 20/09/1984



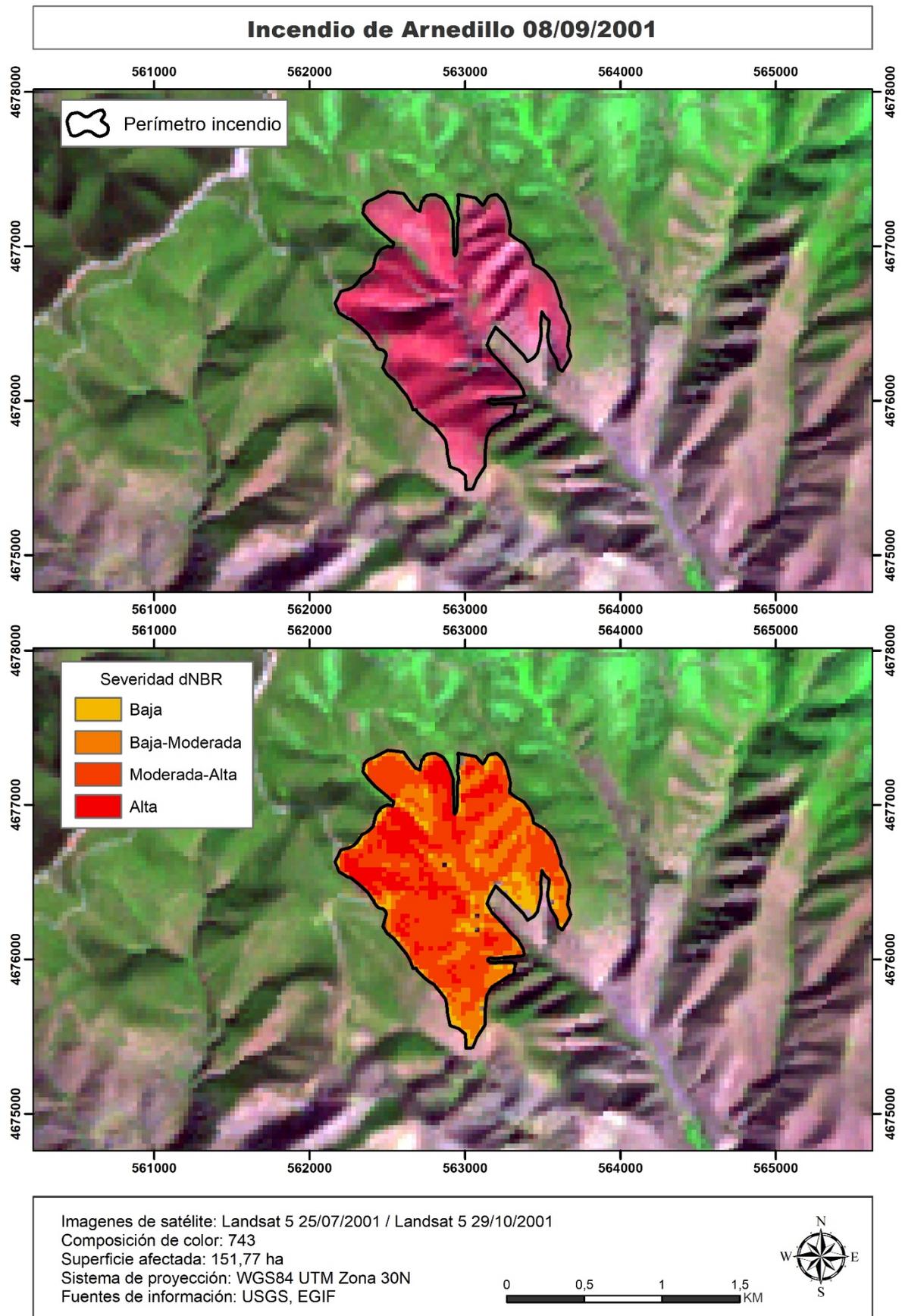
5.3.12. Incendio de Bergasillas Bajera 15/02/1989



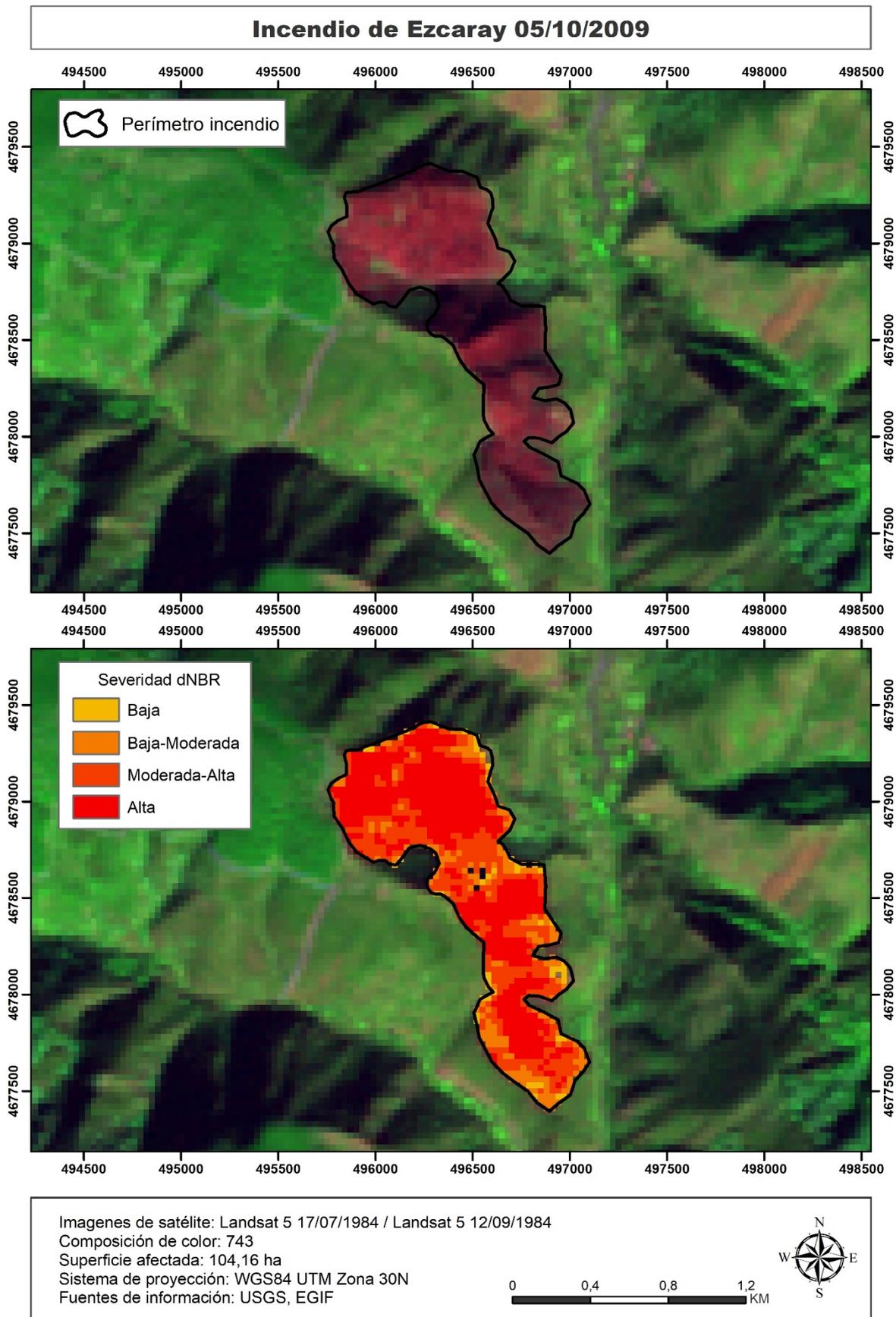
5.3.13. Incendio de Galbárruli 30/08/1991



5.3.14. Incendio de Arnedillo 08/09/2001



5.3.15. Incendio de Ezcaray 05/10/2009



6. Conclusiones

Los incendios forestales en La Rioja actúan como un factor que limita y condiciona el desarrollo sostenible en las zonas de riesgo, reduciendo así su contribución al desarrollo de un turismo y una agricultura de calidad que se adapten adecuadamente al medio ambiente. (Plan General de Protección contra incendios).

La Rioja es la Comunidad Autónoma más pequeña del Estado español, por lo que el número de incendios forestales también es más bajo que en otras comunidades. No obstante, hay que recordar que más la mitad del territorio es superficie forestal, y por lo tanto se trata de un territorio con elevada exposición a los incendios forestales.

El hecho de que se hayan registrado 34 incendios forestales de más de 100 ha para el periodo 1983-2015 no es un dato alarmante. Más aún si consideramos que la mayoría de los incendios que afectaron a superficies superiores a las 100 ha ellos se produjeron entre los años 1976-1986. Pero esto no significa que se pueda bajar la guardia y se debe continuar con una adecuada gestión en prevención y extinción. Además, disponer de unos adecuados medios de lucha contra los incendios forestales es esencial para que los incendios sean apagados con eficacia y no lleguen a ser más que conatos. De este modo, las consecuencias ecológico-paisajísticas serán mínimas.

El análisis del registro de la serie histórica nos indica que el número de incendios en La Rioja no es muy elevado en comparación con otras regiones. Asimismo, casi un 90% de los mismos son de pequeñas dimensiones y afectan a superficies inferiores a 10 hectáreas y menos de un 2% afecta a superficies superiores a 100 hectáreas.

Se ha detectado un cambio en la tendencia de la distribución espacial de los incendios forestales, ya que se producen con mayor frecuencia en el sector del Valle del Ebro. Una explicación a este cambio en la tendencia puede estar relacionado con la disposición de los cultivos sobre el territorio, pues en ese sector de la región se concentran más parcelas de cultivo y el uso del fuego está muy extendido en las tareas agrícolas. Hay que educar a nuestros agricultores en buenas prácticas para reducir notablemente el número de negligencias.

La teledetección espacial ha ocupado el papel principal en este trabajo y es en lo que se ha invertido un mayor esfuerzo y horas de dedicación. Mediante la cartografía de

perímetros y de la severidad ha quedado demostrada la capacidad de los sistemas de observación remota para el análisis de los incendios forestales. En un principio, se consideró la cartografía de los 34 incendios forestales desde el año 1983, pero la no disponibilidad de imágenes adecuadas próximas en el tiempo lo ha limitado a la cartografía de 16 grandes incendios forestales. La cartografía realizada puede resultar útil en futuros trabajos de estudios de la regeneración vegetal en la región.

Por último, destacar que las áreas afectadas por los incendios forestales cartografiados a menudo eran inferiores que el dato registrado en la estadística oficial y los incendios de mayor entidad representan, en la mayoría de los casos, las severidades más altas.

7. Bibliografía

- Arellano, S., Vega, J. A., Rodríguez y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O-Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledetección*, 49. 49-61.
- Botella-Martínez, M. A., Fernández-Manso, A. (2017). Estudio de la severidad post-incendio en la Comunidad Valenciana comparando los índices dNBR, RdNBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8. *Revista de Teledetección*, 49. 33-47.
- Chuvieco Salinero, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Rialp.
- Chuvieco Salinero, E. (2010). *Teledetección ambiental*. Madrid: Ariel.
- Gobierno de La Rioja (2004). *Plan Forestal de La Rioja*. Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial, Gobierno de la Rioja. Disponible en: <http://www.larioja.org/medio-ambiente/es/publicaciones/monografias/contenidos/plan-estrategico-conservacion-medio-natural-plan-fore-c45de> Último acceso [26/06/2018].
- Gobierno de La Rioja. *Plan general de Protección contra Incendios de los Sistemas Forestales de La Rioja (2012)*. Gobierno de la Rioja. Disponible en: <http://www.larioja.org/larioja-client/cm/medio-ambiente/images?idMmedia=627431> Último acceso [26/06/2018].
- IGN. *Instituto Geográfico Nacional. Centro de descargas*. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> Último acceso [26/06/2018].
- Key, C.H., & Benson, N. (2006). Landscape assessment (LA). Sampling and analysis methods. In L.J. Lutes, D.C. Keane, R.E. Caratti, J.F. Key, C.H. Benson, & N.C.Gangi (Eds.), *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Integration of standardized field data collection techniques and sampling design*

with remotesensing to assess fire effects (pp. LA1–LA51). FortCollins, CO: Rocky Mountain Research Station, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

MAGRAMA. Estadística General de Incendios Forestales. Memoria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Estad%C3%ADstica%20General%20de%20Incendios%20Forestales_METODOLOG%C3%8DA_tcm30-132484.pdf Último acceso [26/06/2018].

MAPAMA. Estadísticas de incendios forestales. Sitio web del Ministerio de Medio Ambiente. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx Último acceso [26/06/2018].

MAPAMA. *Impreso de Parte de incendio forestal*. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/impreso_parte_%20IF_%20v_tcm30-132604.pdf Último acceso [26/06/2018].

Montorio, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., de la Riva, J. (2007). Estudio de los procesos de regeneración vegetal postincendio en parcelas experimentales mediante radiometría de campo. *Cuadernos de investigación Geográfica*, 33. 59-84.

Navazo, G., Nieto, A., Moreno, G. (2015). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata. En Nieto, A. (Ed.), *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario*. (pp. 247-267) Cáceres. Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura.

Pérez-Cabello, F., Ibarra, P., de la Riva, J., Echeverría, M. T., Montorio, R., García-Martín, A. (2007). Impacto de los incendios forestales en comunidades vegetales submediterráneas: Evaluación multitemporal de la diversidad del paisaje utilizando imágenes Landsat TM. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 33. 101-114.

USGS (2018). *Product guide. Landsat 4-7 surface reflectance (LEDAPS) Product*. Department of the Interior U.S. Geological Survey (USGS). Disponible en: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/ledaps_product_guide.pdf Último acceso [26/06/2018].

USGS. *Earth Explorer*. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Último acceso [26/06/2018].

Viedma, O., Chuvieco, E. (1994). Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya de Buñol (Valencia). *Revista de la Asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho*, 167. 60-66.

8. Anexo

Bergasillas Bajera 31-08-1984	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_19840717_20171213_01_T1	LT05_L1TP_200031_19840912_20170220_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010311984199FUI00	LT52000311984256XXX03
Acquisition Date	17/07/1984	12/09/1984
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	N/A

Tabla 1 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasillas Bajera 31/08/1984

Tudelilla 08-09-1984	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201030_19840717_20171213_01_T1	LT05_L1TP_200031_19840912_20170220_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010301984199FUI00	LT52000311984256XXX03
Acquisition Date	17/07/1984	12/09/1984
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	N/A

Tabla 2 Anexo - Información de las imágenes de satélite Tudelilla 08/09/1984

Ezcaray 17-08-1985	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_19840717_20171213_01_T1	LT05_L1TP_201031_19850821_20171212_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010311984199FUI00	LT52010311985233FUI00
Acquisition Date	17/07/1984	21/08/1985
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 3 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 17/08/1985

Ezcaray 07-09-1985	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_19850821_20171212_01_T1	LT05_L1TP_201031_19850922_20171213_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010311985233FUI00	LT52010311985265FUI00
Acquisition Date	21/08/1985	22/09/1985
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 4 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 07/09/1985

Brieva de Cameros 09-09-1985	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_200031_19850830_20171212_01_T1	LT05_L1TP_201031_19850922_20171213_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52000311985242FUI00	LT52010311985265FUI00
Acquisition Date	30/08/1985	22/09/1985
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 5 Anexo - Información de las imágenes de satélite Brieva de Cameros 09/09/1985

Arnedillo 10-09-1985	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_200031_19850830_20171212_01_T1	LT05_L1TP_201031_19850922_20171213_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52000311985242FUI00	LT52010311985265FUI00
Acquisition Date	30/08/1985	22/09/1985
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 6 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 10/09/1985

Arnedillo 15-03-1989	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_19890309_20180217_01_T1	LT05_L1TP_201031_19890325_20180217_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010311989068FUI00	LT52010311989084FUI00
Acquisition Date	09/03/1989	25/03/1989
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 7 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 15/03/1989

Bergasa 15-07-1989	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_200031_19880721_20180217_01_T1	LT05_L1TP_201031_19890731_20180217_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52000311988203FUI00	LT52010311989212FUI00
Acquisition Date	21/07/1988	31/07/1989
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 8 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasa 15/07/1989

Ocón 03-10-2010	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_20090924_20161020_01_T1	LT05_L1TP_200031_20101006_20180130_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010312009267MPS00	LT52000312010279MTI00
Acquisition Date	24/09/2009	06/10/2010
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	BUMPER	BUMPER

Tabla 9 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ocón 03/10/2010

San Vicente de la Sonsierra 20-08-1984	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201030_19840818_20170220_01_T1	LT05_L1TP_200031_19840912_20170220_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010301984231XXX14	LT52000311984256XXX03
Acquisition Date	18/08/1984	12/09/1984
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	N/A	N/A

Tabla 10 Anexo - Información de las imágenes de satélite San Vicente de la Sonsierra 20/08/1984

Herce 20-09-1984	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_200031_19840912_20170220_01_T1	LT05_L1TP_200031_19841030_20170220_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52000311984256XXX03	LT52000311984304XXX01
Acquisition Date	12/09/1984	30/10/1984
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	N/A	N/A

Tabla 11 Anexo - Información de las imágenes de satélite Herce 20/09/1984

Bergasillas Bajera 15-02-1989	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_19890205_20180217_01_T1	LT05_L1TP_201031_19890309_20180217_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010311989036FUI00	LT52010311989068FUI00
Acquisition Date	05/02/1989	09/03/1989
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 12 Anexo - Información de las imágenes de satélite Bergasillas Bajera 15/02/1989

Galbárruli 30-08-1991	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201030_19910619_20180217_01_T1	LT05_L1TP_201030_19911009_20180219_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010301991170FUI00	LT52010301991282FUI01
Acquisition Date	19/06/1991	09/10/1991
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	SAM	SAM

Tabla 13 Anexo - Información de las imágenes de satélite Galbárruli 30-08-1991

Arnedillo 08-09-2001	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_200031_20010725_20161210_01_T1	LT05_L1GS_200031_20011029_20180312_01_T2
Landsat Scene Identifier	LT52000312001206MTI00	LT52000312001302MTI00
Acquisition Date	25/07/2001	29/10/2001
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T2
Collection Number	1	1
Sensor Mode	N/A	SAM

Tabla 14 Anexo - Información de las imágenes de satélite Arnedillo 08/09/2001

Ezcaray 05-10-2009	Prefuego	Postfuego
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201031_20090924_20161020_01_T1	LT05_L1TP_201031_20091026_20161018_01_T1
Landsat Scene Identifier	LT52010312009267MPS00	LT52010312009299MPS00
Acquisition Date	24/09/2009	26/10/2009
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Collection Category	T1	T1
Collection Number	1	1
Sensor Mode	BUMPER	BUMPER

Tabla 15 Anexo - Información de las imágenes de satélite Ezcaray 05/10/2009