

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INCENDIOS MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT

Manuel Vázquez Murcia

Tutor: Fernando Pérez-Cabello

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio:
sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre de 2012



Universidad
Zaragoza

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación realizado por el grupo de investigación GEOFOREST, en el que mediante un análisis multitemporal de imágenes Landsat se examinan los incendios forestales ocurridos en los últimos 30/35 años en un sector de la Comunidad Autónoma de Aragón. Una vez cartografiada la superficie quemada mediante técnicas de teledetección (composiciones en falso color y neocanales - NDVI, dNBR-) se procede a su comparación con fuentes oficiales. A continuación se realiza una caracterización de las superficies forestales afectadas y se realiza un seguimiento de los procesos de regeneración en un incendio piloto (Luesia).

Palabras Clave: *Imágenes Landsat, incendio forestal, NDVI y dNBR, regeneración postincendio, Teledetección.*

Abstract

This dissertation is part of a research project carried out by the GEOFOREST research team. This project explores the wildfires affecting the Aragon region during the past 30/35 years through a multi-temporal analysis of Landsat data. These wildfires are first located, then charted, and finally analysed. NDVI, dNBR, and multi-temporal analysis are applied to monitor the regeneration of the affected species. The area of wildfires (hectares) identified through remote sensing is compared with the area obtained from DGA.

Key Words: *Landsat data, wildfire, NDVI and dNBR, burned area rehabilitation, teledetection.*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	pág. 1
2. OBJETIVOS	pág. 2
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	pág. 3
3.1. Cartografía de incendios	pág. 3
3.1.1. Datos utilizados para la cartografía de incendios.....	pág. 3
3.1.2. Selección y obtención de las imágenes	pág. 3
3.1.3. Corrección de las imágenes	pág. 5
3.1.4. Cartografía de los incendios	pág. 9
3.1.5. Extracción de neocanales: NDVI y dNBR y análisis multi-temporal.....	pág. 10
3.1.6. Método y datos para comparar las superficies de los incendios proporcionadas por la DGA y las superficies de los incendios detectados mediante Teledetección	pág. 13
3.2. Caracterización de las superficies quemadas	pág. 14
3.2.1. Datos y metodología para inventariar las superficies forestales quemadas entre 1998 y 2011	pág. 14
3.2.2. Materiales y metodología para analizar la titularidad de las superficie afectada por el fuego entre 1998 y 2011	pág. 14
4. RESULTADOS	pág. 15
4.1. Análisis comparativo entre las superficies quemadas proporcionadas por la DGA y las obtenidas mediante Teledetección.....	pág. 15
4.2. Análisis de las superficies quemadas tras los incendios ocurridos entre 1998 y 2011	pág. 20
4.3. Titularidad de las superficies afectadas por los incendios forestales en los montes de Huesca y Zaragoza entre 1998 y 2011	pág. 23
4.4. Análisis de la extracción de los neocanales y análisis multitemporal	pág. 26
5. CONCLUSIONES	pág. 27
6. BIBLIOGRAFÍA	pág. 38
7. ANEXOS	pág. 31

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster se integra dentro de un proyecto de investigación, realizado por el grupo de investigación GEOFOREST, que trata de llevar a cabo un análisis multitemporal de imágenes Landsat, en el que se realiza un inventario y evolución de los incendios acontecidos en la Comunidad Autónoma de Aragón en los últimos 25 años.

En el desarrollo de este trabajo se aplicarán contenidos vistos en el transcurso del Máster, tales como: Teledetección, uso de herramientas SIG y análisis estadísticos.

La Comunidad de Aragón presentaba en el 2007 una extensión de 2.631.234 has (9.44% de la superficie forestal total de España), repartidas entre las 939.245 has de Huesca, 937.927 has de Teruel y las 754.063 has de Zaragoza. La superficie forestal arbolada de Aragón comprende una extensión de 1.573.988 has y de 1.057.246 has de superficie forestal desarbolada. Las provincias aragonesas presentan una extensión de superficie forestal arbolada y desarbolada de 619.139 y 320.106 has en Huesca, de 586.135 y 351.792 has en Teruel, y de 368.715 y 385.348 en Zaragoza, respectivamente. (Fuente: Información estadística de Aragón, Medio Ambiente).

Los incendios forestales juegan un papel decisivo en la estructura y dinámica de los ecosistemas forestales Mediterráneos y Sub-Mediterráneos, estando ligados a su desarrollo. Se considera que estos ecosistemas tienen una elevada resiliencia o capacidad de autorregeneración tras una perturbación de este tipo; no obstante, la magnitud de algunos incendios o la frecuencia con la que se suceden pueden hacer necesario realizar actuaciones que aceleren su restauración. Esta recuperación tiene por objetivos, entre otros, frenar los procesos erosivos y favorecer la regeneración natural de la cubierta general.

Desde finales de los años 60 en España se lleva a cabo cada año la recopilación de datos sobre los incendios ocurridos en todo el territorio. En este inventario se recoge información de los partes de incendio, las causas del fuego, las situaciones meteorológicas en las que tienen lugar, las zonas con mayor riesgo de ocurrencia de fuegos, la evaluación de daños, la efectividad de los medios de extinción, el número anual de incendios así como la superficie quemada y el tipo de cubiertas vegetales afectadas, entre muchas otras.

Se hace por lo tanto necesaria la existencia de una base de datos sobre fuegos con un seguimiento y actualización continuos que permitan no sólo elaborar las directrices mencionadas de gestión contra incendios, sino también analizar la ocurrencia de fuegos para profundizar en el conocimiento de sus causas, desarrollo y efectos sobre el entorno. Ante esta perspectiva, la teledetección se presenta como una herramienta casi indispensable hoy en día para realizar dicha labor en territorios relativamente extensos.

La teledetección desde plataformas de satélite contribuye en gran medida al análisis de los fuegos y de las cubiertas vegetales afectadas, así como de sus efectos ecológicos, climáticos y atmosféricos. Los sensores embarcados en los diferentes satélites proporcionan datos de origen único y una visión sinóptica de la distribución espacial de los incendios (focos activos) y de las zonas quemadas, así como del estado de la vegetación y los efectos producidos por los incendios (Díaz-Delgado, 2000).

El uso de la teledetección como herramienta de observación de la superficie terrestre, dispone de una serie de ventajas indiscutibles en comparación con otros sistemas tradicionales de observación de la tierra como la fotografía aérea o la observación directa. Entre las principales ventajas, se destacan las siguientes (Chuvieco, 2010):

- *Visión global: las imágenes de teledetección aportan una visión global de la Tierra, inédita hasta hace pocas décadas.*
- *Observación de información en regiones no visibles del espectro: la mayoría de los sensores que viajan a bordo de satélites registran información tanto en el espectro visible como en el espectro no visible. En las regiones no visibles es posible diferenciar objetos cuya respuesta espectral es similar en el espectro visible y estimar determinadas variables biofísicas.*

- *Observación a distintas escalas: gracias a las distintas orbitas que describen los satélites, las imágenes captadas permiten realizar análisis de la superficie terrestre a distintas escalas y con distintos niveles de detalle.*
- *Frecuencia y homogeneidad de adquisición: en función de las características de las orbitas de los satélites, estos tienen capacidad para pasar por el mismo punto con una frecuencia temporal determinada. De esta forma, es posible hacer un seguimiento multitemporal de procesos dinámicos como procesos meteorológicos, incendios, deforestación, etc. La homogeneidad de las imágenes hacen que estas sean comparables en todo momento.*
- *Formato digital de las imágenes y capacidad de transmisión inmediata de los datos: facilita el tratamiento de los datos mediante sistemas informáticos, de manera que se agilizan las tareas de interpretación y análisis.*

Entre los muchos casos en los que se han utilizado imágenes Landsat para el estudio de incendios, se han consultado los trabajos de Bastarrika y Chuvieco (2006), en la cartografía de áreas quemadas, los trabajos de Escuin et al, (2008), en los que emplean imágenes Landsat para la valoración de índices de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y los trabajos de García-Martín et al, (2009), en los que emplean el NBR (*Normalized Burn Ratio*) para cuantificar las relaciones entre la biomasa forestal quemada y la severidad del fuego.

Es indudable que los Sistemas de Información Geográficos (SIG) son una tecnología que forma parte de los Sistemas de Información, que permiten gestionar y analizar la información espacial, por lo que son una herramienta muy útil para los profesionales que trabajan sobre el territorio. Estas herramientas están orientadas sobre todo para el uso de la gestión de recursos agrícolas, medio ambiente y ordenación del territorio.

Son múltiples los trabajos realizados mediante empleo de imágenes de satélite y de herramientas SIG con diferentes capas de información, para realizar estudios de las áreas quemadas. Un ejemplo son los trabajos de Pérez-Cabello et al, 2007, en la que utiliza los Mapas Forestales para la evaluación de los paisajes, otro ejemplo es el trabajo de Pezzola et al, 2002, evaluando las superficies afectadas por el fuego.

Atendiendo a estos antecedentes, el presente documento trata de poner en consideración las alteraciones que se sufren en cuanto a sus efectos no sólo ecológicos sino que económicos y sociales producidas por los incendios forestales. La zona de estudio se centra en la Comunidad Autónoma de Aragón, pero este análisis se podría expandir al resto de España.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es explorar, identificar y cartografiar los incendios forestales mediante el empleo de imágenes de satélite Landsat, realizando un estudio multiemporal de dichas imágenes en un sector de la Comunidad Autónoma de Aragón.

La consecución de este objetivo principal ha permitido alcanzar una serie de objetivos secundarios, como:

- Comparar las superficies de los incendios forestales extraídas mediante técnicas de teledetección con las bases de datos oficiales del servicio de Gestión Forestal del departamento de Medio Ambiente (DGA).
- Caracterización de las superficies afectadas por incendios desde el punto de vista de las formaciones vegetales afectadas y de la titularidad del monte Aplicación de índices de vegetación y de severidad para analizar los efectos producidos por el fuego en las superficies forestales.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Cartografía de incendios

3.1.1. Datos utilizados para la cartografía de incendios.

La DGA ha facilitado la información oficial sobre las zonas quemadas. En formato Excel (.xls) se ha dispuesto de una base de datos con información identificativa de cada incendio registrado en el territorio de Aragón (la base de datos aparece en anexos 1). La información que se recoge en esta base de datos aparece a continuación:

- El código que identifica a cada incendio, este código también se ha utilizado para los incendios cartografiados mediante teledetección para poder así compararlos.
- Municipios afectados, contemplando hasta 3 municipios.
- Fecha del incendio
- Superficie del incendio expresada en hectáreas

También se ha dispuesto de un archivo con extensión .shp en donde se recogen los polígonos de los incendios recogidos en todo Aragón, estos polígonos vienen con proyección ED 50 UTM Zone 30N y se ha reproyectado a WGS 1984 UTM Zone 30N.

Desde la página web del SITAR (<http://sitar.aragon.es/>) se ha descargado el contorno de Aragón y los municipios de mismo en formato .shp, como en el caso anterior se han reproyectado al ámbito de trabajo.

3.1.2. Selección y obtención de las imágenes

Para obtener un óptimo resultado en la cartografía de los incendios y en la interpretación de los índices de vegetación es necesaria la utilización de imágenes de satélite de alta resolución espectral, espacial y temporal. Quedan descartadas aquellas imágenes de satélite que por su baja definición radiométrica o por no poseer un ancho de banda suficiente, no permitan la distinción espectral de las zonas afectadas por el fuego del área de estudio. Se van a utilizar las imágenes Landsat tanto las TM (*Thematic Mapper*) como las ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) para la realización de este trabajo, la elección de dichos sensores viene determinada por las características óptimas que presentan y porque son gratis.

Las características principales de estos sensores son:

Tanto Landsat 5 (TM) como Landsat 7 (ETM+) presentan una resolución espacial de 30 metros. Espectralmente Landsat 5 (TM) operaba con 7 bandas diferentes. Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas. Landsat 7 (ETM+) incorporaba una banda más, la banda 8 (Pancromática) con una resolución de 15 metros. Ambos satélites poseen la misma temporalidad, pasan por la misma zona con una frecuencia de 16 días dejando información ininterrumpidamente desde 1985. Landsat 5 se puso en órbita en el año 1985 y dejó de ser operativo en el 2011, Landsat 7 se puso en órbita en 1999 todavía permanece en activo pero desde julio del 2003 tiene problemas de bandeo.

La zona de estudio tiene una superficie de unos 22.000 Km², un 46% de la extensión total de Aragón, gran parte se localiza dentro de la escena (*Path 200 /Row 31*). Esta escena cubre parte del territorio de Aragón y es una de las pocas escenas que faltan por analizar dentro del proyecto de GEOFO-REST.

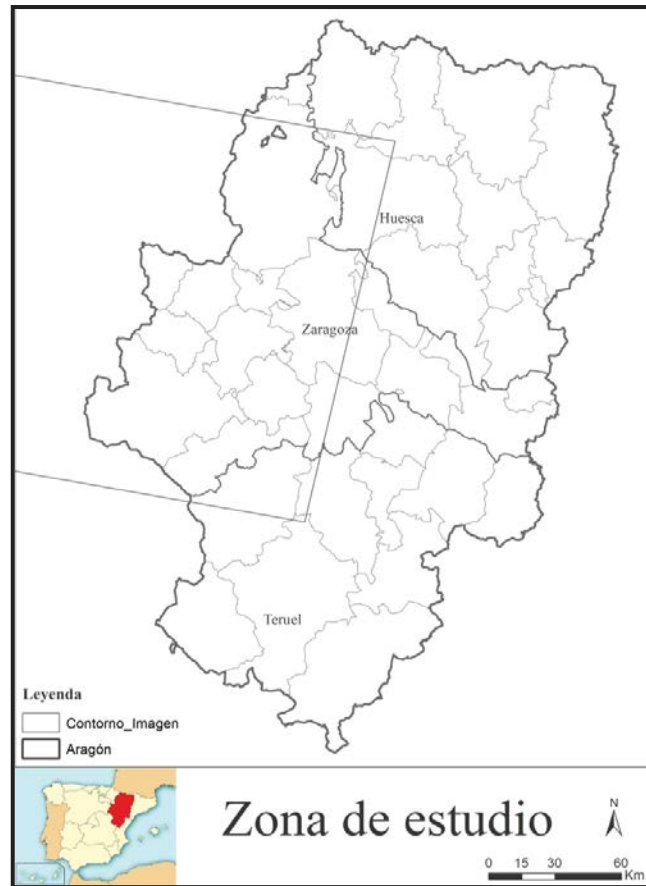


Figura 1. Localización de la zona de estudio

Se ha utilizado 2 imágenes del sensor MSS anteriores al año 1984 y 12 imágenes de los sensores TM y ETM+ disponibles a partir de 1984 de la escena estudiada. Sobre las imágenes MSS no se ha realizado corrección de ningún tipo debido a su complejidad (sólo presentan 4 bandas con un ancho de banda diferente a las bandas de los sensores TM y ETM+ y presentan una resolución espacial menor).

Tabla 1. Imágenes utilizadas

FECHA	SATÉLITE	SENSOR
31/01/1975	LANDSAT 2	MSS
03/06/1975	LANDSAT 2	MSS
12/09/1984	LANDSAT 5	TM
04/08/1987	LANDSAT 5	TM
28/08/1990	LANDSAT 5	TM
29/08/1999	LANDSAT 7	ETM+
30/07/2000	LANDSAT 7	ETM+
01/07/2001	LANDSAT 7	ETM+
06/09/2002	LANDSAT 7	ETM+
31/07/2003	LANDSAT 5	TM
11/08/2007	LANDSAT 5	TM
15/07/2009	LANDSAT 5	TM
18/07/2010	LANDSAT 5	TM
05/07/2011	LANDSAT 5	TM

Todas las imágenes de satélite se han descargado del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), a través de la página <http://glovis.usgs.gov/>. Estas imágenes ya se ofrecen corregidas geométricamente, de hecho, el error que presentan está por debajo de 0.3 píxeles. Los datos del

procesamiento de corrección lo podemos encontrar en un documento de texto que viene adjunto a la descarga de la imagen.

La elección de las imágenes utilizadas para la realización de este trabajo ha estado condicionada por la ausencia de imágenes de satélite en algunos periodos de tiempo. Éste es el caso de los años 90, con ausencia de imágenes en la práctica totalidad de la década.

En la elección de las imágenes se ha tenido en cuenta la presencia de nubes y la estacionalidad en la que se han tomado. La presencia de nubes en la imagen obstaculiza la apreciación de los incendios. Interesa que todas las imágenes sean de la misma estación para que todas las superficies registradas por el sensor tengan una respuesta radiométrica semejante (mismo estado fenológico de la vegetación, inclinación del sol próxima entre unas y otras, etc.), de manera que cualquier diferencia en la radiancia obtenida entre las diferentes imágenes sea fruto de componentes externos y no producidas por la toma de las imágenes en distintas estaciones.

3.1.3. Corrección de las imágenes

El paso siguiente a la descarga de las imágenes es pasarlas a un formato en el que podamos visualizarlas y poder trabajar con ellas. El formato inicial en el que se encuentran las imágenes es geoTIF, presentadas en tantos archivos como bandas espectrales. El programa con el que se va a trabajar es Erdas Imagine, concretamente la versión 2010. Erdas incorpora un módulo de importación de imágenes en el que introducimos las imágenes de entrada dándoles el formato de salida que con el que se va a trabajar. En este caso interesa una imagen multibanda que contenga las bandas del óptico excluyendo las del térmico y pancromático. El resultado final es la obtención de una imagen multibanda con formato IMG, en la que se integran las bandas del visible, bandas 1, 2, 3 (B, G, R), banda 4 (Infrarrojo Próximo) y el *SWIR* (bandas 5 y 7). Como se ha mencionado anteriormente, para estas imágenes no se ha necesitado realizar corrección geométrica ya que las imágenes facilitadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos vienen ya corregidas para tal efecto. Una vez convertidas todas las imágenes al formato deseado se procede a realizar la corrección radiométrica.

Entendemos como corrección radiométrica al conjunto de técnicas que se aplican para modificar los ND (Niveles Digitales) originales con objeto de acercarlos a los que se registrarían si la recepción fuera ideal. En la corrección radiométrica se utilizan técnicas destinadas a la restauración de píxeles o líneas perdidas, corrección de bandeo, correcciones del efecto atmosférico o de las variaciones de iluminación provocadas por el relieve, en estos 2 últimos casos ligadas a la transformación de los ND originales a parámetros físicos como la reflectividad (Chuvieco, 2010).

Es necesario realizar una corrección radiométrica en los siguientes casos:

Para poder realizar estudios multitemporales: necesidad de garantizar que la información que se está comparando es exactamente la misma.

Para poder desarrollar modelos empíricos de estimación de parámetros biofísicos continuos: necesidad de conocer la relación entre la variable física reflectividad y el parámetro a estimar.

Para mejorar la calidad del proceso de clasificación digital; se necesita reducir la varianza espectral de una misma categoría informacional espectral debida a diferencias en la geometría de iluminación.

Entre el sensor y la superficie terrestre se interpone la atmósfera, que interfiere de tres formas diferentes en el flujo de la radiación electromagnética registrada: mediante la absorción, la dispersión y la emisión. Dependiendo de la longitud de onda afectarán en mayor medida o menor medida a la radiancia captada por el sensor. El efecto de la absorción atmosférica está minimizado porque las bandas de observación en las que trabajan los diferentes sensores están ubicadas en longitudes de onda donde la transmisividad atmosférica es alta. Sin embargo, la dispersión atmosférica sí afecta de manera importante en la radiación captada por el sensor (Chuvieco, 1996).

En la dispersión atmosférica interaccionan los gases y partículas que se encuentran en suspensión en la atmósfera tales como los aerosoles y la radiancia electromagnética que atraviesa la atmósfera

provocando en ella reflexión o refracción, variando su dirección e intensidad. Este fenómeno, conocido como luz atmosférica, provoca un incremento de la energía captada por el sensor y afecta con más vigorosidad a las longitudes de onda más cortas (Chuvieco, 1996).

La supresión de estos efectos y la conversión de los ND originales a reflectividad es un paso previo fundamental al establecimiento de los modelos empíricos como el que se persigue, ya que la reflectividad es una variable física comparable y extrapolable a otras zonas, lo que hace más sólida la interpretación de los datos y permite la comparación multitemporal y el análisis integrado entre imágenes obtenidas con el concurso de otros sensores (Chuvieco, 1996).

El proceso metodológico empleado ha sido el propuesto por García-Martín (2011), consta de 2 fases: en primer lugar se aborda la corrección del efecto de dispersión atmosférica y, en segundo, las imágenes son convertidas a reflectividad espectral eliminándose las distorsiones procedentes de la geometría de la observación.

▪ Corrección del efecto de la dispersión atmosférica

La eliminación de la dispersión atmosférica se va a abordar a través de un método que se basa en los datos de la propia imagen. Asume que los efectos atmosféricos son constantes en toda la imagen y que existe una relación lineal entre los datos registrados debidos a la dispersión y la reflectividad de los objetos.

Se va a utilizar métodos basados en la estimación de la contribución de la atmósfera a partir de cubiertas con reflectividad nula (métodos basados en el “objeto oscuro”). En concreto, vamos a utilizar el método de corrección del histograma por sus valores mínimos (*Histogram Minimum Method*) (Chávez, 1996).

- Requiere de la presencia en la imagen de zonas con sombras o aguas muy profundas.
- Sólo estima el espesor atmosférico de aerosoles.
- No considera las transmisividades de los flujos incidente y reflejado.
- No considera la irradiancia difusa.
- Puede ocasionar sobrecorrecciones en algunas de las bandas

Este método presupone que las zonas de la imagen cubiertas por materiales de fuerte absorción (agua, sombra topográfica) deberían presentar una radiancia espectral muy próxima a cero o cero, con lo que la diferencia entre cero y el valor mínimo en cada banda constituirá el efecto dispersor de la atmósfera (Chuvieco, 2010).

Se procede de la siguiente forma: se abre la imagen en *Pseudo Color* para cada banda, una vez abierta la imagen con la herramienta *Raster/Attributes* se busca el mínimo del histograma de cada banda de la imagen.

Generalmente, en las bandas con longitudes de onda más bajas los mínimos del histograma se localizan en zonas de sombra (nubes o topográficas). A medida que las longitudes de onda de las bandas aumentan, los mínimos del histograma se localizan en zonas de aguas profundas.

Para visualizar correctamente donde se encontraban los mínimos del histograma se ha tenido que realizar un recorte (*subset*) de algunas imágenes, debido a que los píxeles que recogen los mínimos se localizan en los márgenes de la imagen, esto es producido porque no todas las bandas de la imagen poseen el mismo tamaño, generándose valores irreales, generalmente muy bajos en sus márgenes. Para crear el recorte se ha utilizado una herramienta del propio Erdas, es conveniente utilizar el mismo programa para realizar este tipo de modificaciones para así evitar pérdida de información o alteración de la imagen cuando se exporta a otro programa. El módulo que se ha utilizado en Erdas para realizar el recorte ha sido *Data Preparation/Subset Image*.

Los valores elegidos como mínimos del histograma han sido los mínimos encontrados por banda de cada imagen, aunque sólo se halla visualizado en un único píxel, siempre y cuando no sea ruido. Algunos autores consideran que el valor mínimo del histograma debe ser como mínimo aquel que tenga unos 200 ND (Hantson et al., 2011), otros autores como Bastarrika y Chuvieco (2006) consideran que el valor mínimo correcto es el décimo Nivel Digital menor de cada una de las bandas.

El procedimiento para eliminar la dispersión es el siguiente: restar el ND mínimo de cada banda a todos los píxeles que la componen (García Martín, 2012). Con este procedimiento conseguimos la imagen de radiancia libre del efecto de la dispersión atmosférica.

- Transformación de los ND originales a valores de reflectividad espectral

Para conocer la reflectividad de una superficie es preciso relacionar 2 magnitudes: la energía reflejada y la energía incidente. La reflejada se puede obtener a partir de la decodificación de los ND proporcionados por el sensor mediante la utilización de sus coeficientes de calibración, obteniéndose de esta forma valores de radiancia. La incidente es función de la irradiancia solar, la cual se puede conocer a partir de tablas solares.

- Cálculo de la radiancia espectral

Se define radiancia espectral como la "energía (radiación electromagnética) recogida por el sensor por metro cuadrado, por ángulo sólido de medida (estéreo-radián) y por longitud de onda".

$$[\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}]$$

La relación entre los ND de la imagen y la radiancia queda controlada por los coeficientes de calibración del sensor, que son distintos para cada longitud de onda (λ).

Previamente al cálculo de la radiancia espectral se han extraído los valores necesarios de cada imagen para realizar este cálculo. Estos valores se han extraído del fichero de cabecera que incorpora cada imagen en su descarga, concretamente del archivo de texto MTL.txt.

Los valores recogidos del fichero de cabecera son: los valores de radiancia máximos y mínimos (L_{max} y L_{min}), los valores de calibración máximos y mínimos (Q_{calmax} y Q_{calmin}), el acimut y el ángulo de elevación solar. Los valores obtenidos para las imagen que van a ser corregidas se pueden observar en el anexo 2.

Una vez recopilados los valores necesarios para la obtención de la radiancia espectral, se trabajará con un módulo *Model Maker* que incorpora el propio Erdas, con el que se van a efectuar relaciones simples y relaciones complejas entre las imágenes ráster, los escalares, operadores y tablas, elementos todos ellos incorporados en este módulo.

Dado que son imágenes procedentes del distribuidor oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para calcular la radiancia con los valores proporcionados por dicho distribuidor se aplica la siguiente fórmula recogida por Chander (2009) en la que introduciremos como escalar.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\text{MAX}_{\lambda}} - L_{\text{MIN}_{\lambda}}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) - (Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\text{MIN}_{\lambda}}$$

Donde:

L_λ = Radiancia espectral [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$]

Q_{cal} = Coeficiente de calibración

Q_{calmin} y Q_{calmax} = Coeficiente de calibración mínimo y máximo

$L_{\text{MIN}\lambda}$ y $L_{\text{MAX}\lambda}$ = Radiancia espectral mínima y máxima [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$]

Una vez calculada la radiancia se tiene que aplicar un condicional para eliminar la radiancia en negativos y así obtener una radiación sin negativos.

▪ Cálculo de la reflectividad sin normalización topográfica

El siguiente paso de la tarea es el cálculo de la reflectividad. La reflectividad sin normalización topográfica en la superficie terrestre, también conocida como reflectividad aparente en la superficie terrestre, no tiene en cuenta la influencia del relieve. Para calcular la reflectividad aparente en superficie se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\rho_T = \frac{(L_\lambda - L_a) \cdot d^2 \cdot \pi}{E_{0\lambda} \cdot \cos \Theta_{\text{sol}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_0} \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Energía reflejada} \\ \longrightarrow \text{Energía incidente} \end{array}$$

A continuación se detalla cada uno de los parámetros de la ecuación:

$(L_\lambda - L_a)$ - Radiancia sin efecto.

d^2 - Factor corrector de la distancia Tierra-Sol, depende del día del año en que se ha tomado la imagen. Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$(1 + 0.01674 * (\sin(2\pi * (J - 93.5) / J_m)))^2$$

$E_{0\lambda}$ - Irradiación solar en el techo de la atmósfera o exo-atmosférica. Es una constante, en Chander et al, (2009) se recomienda los siguientes valores para las bandas de TM y ETM+ (expresadas en $\text{W} / (\text{m}^2 \mu\text{m})$).

Tabla 2. Valores para ETM y ETM+ de la radiación exo-atmosférica

BANDA	1	2	3	4	5	7
TM E_0 ($\text{W} / (\text{m}^2 \mu\text{m})$)	1983	1796	1536	1031	220.0	83.44
ETM+ E_0 ($\text{W} / (\text{m}^2 \mu\text{m})$)	1997	1812	1533	1039	230.8	84.90

Como en este trabajo se ha trabajado con imágenes de ambos sensores, se ha tenido que modificar este valor según el sensor de la imagen.

$\cos \Theta_{\text{sol}}$ - Coseno del ángulo cenital solar. El ángulo cenital solar se calcula como el complementario al ángulo de elevación solar, dicho ángulo viene en los ficheros de cabecera, el ángulo cenital solar se debe expresar en radianes ($1^\circ = 0,01745$ radianes)

τ_1 - Transmisividad del flujo incidente. EL método de corrección utilizado basado en el objeto oscuro no considera las transmisividades de los flujos incidente y reflejado. Para este método utilizamos los valores estándar recomendados por el PNT (Plan Nacional de Teledetección) para las bandas de

TM y ETM+ en condiciones de atmósfera despejada (0 = transmisividad nula y 1 = transmisividad máxima).

Tabla 3. Valores de Transmisividad del flujo incidente

Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
0.70	0.78	0.85	0.91	0.95	0.97

- Los valores de las bandas 1-4 son propuestos por Chavez (1996)
- Los valores de las bandas 5 y 7 son los propuestos por Gilabert et al. (1994)

τ_0 - Transmisividad del flujo ascendente. Dado que Landsat es un sensor de observación cenital el ángulo de observación del sensor también lo es. $\Theta_{\text{sat}} = 0 \rightarrow \cos \Theta_{\text{sat}} = 1$

Una vez que tenemos todos los datos, reproducimos la expresión para calcular la reflectividad aparente en el *Model Maker*.

Aplicar la ecuación de la reflectividad aparente en superficie da como resultado unas imágenes en las que el valor de cada píxel representa la reflectividad de la cubierta presente, por lo que sus valores varían entre 0 (perfectamente absorbente) y 1 (totalmente reflectora).

3.1.4. Cartografía de los incendios

Una vez descargadas y corregidas radiométricamente las imágenes de satélite son introducidas en el software con el que se va a realizar la cartografía de los incendios. En este caso se va a trabajar con el ArcGis 10.0. Para que las imágenes se visualicen correctamente son importadas en una Geodatabase del propio ArcGis. Por defecto las imágenes de satélite son cargadas en una combinación de color 3, 2, 1 (RGB), esta combinación no es adecuada para discriminar las zonas afectadas por los incendios, por ello se ha optado por una combinación de 7, 4, 3. Esta combinación es la más adecuada para la visualización de los incendios y es la que se utiliza normalmente en los estudios de este tipo.

Conviene recordar que cualquier proceso de teledetección se basa en la capacidad de un sensor para recoger la energía electromagnética procedente de los objetos observados. Ello permite caracterizar espectralmente las distintas cubiertas que forman la superficie terrestre. En la combinación de falso color RGB (7/4/3), la vegetación en buen estado aparecerá en tonos verdosos debido a los altos valores de reflectividad que presenta en el *Irc*, debido a los múltiples efectos de dispersión que se generan en las cavidades internas del mesófilo, en comparación con los que registran en las bandas del *Rojo* y del *SWIR*, como consecuencia de la absorción de los pigmentos vegetales y de la humedad de la vegetación.

Cualquier fuente de estrés, entre ellas el fuego, afectará a la vegetación y la alejará de la situación espectral descrita anteriormente. El fuego altera la estructura de la hoja, deteriorando sus pigmentos, la estructura celular y el agua que almacena. Los pigmentos que antes absorbían gran parte de la radiación dejan de hacerlo. Al alterarse la estructura celular la reflectividad en el *Irc* disminuye y la del *SWIR* aumenta debido a la sequedad de la vegetación.

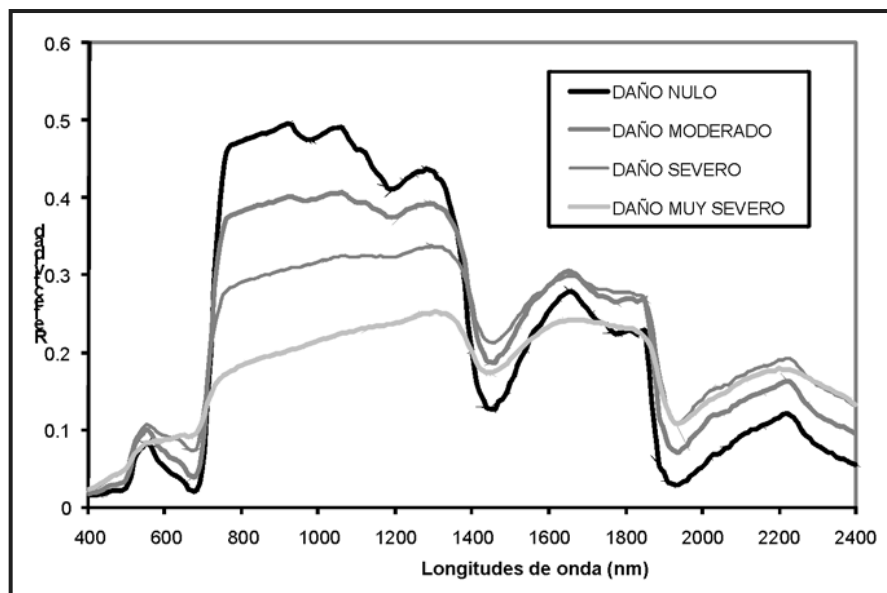


Figura 2. Comportamiento espectral de la vegetación afectada por el fuego (De Santis, A y Vaughan, P., 2009)

En esta situación, al situarse la banda 7 en el cañón del rojo, las zonas afectadas por el fuego se apreciarán en tonos rojizos (alta reflectividad en el *SWIR*) ya que la reflectividad en el *Irc* desciende significativamente. Por otro lado, con la ayuda de la base de datos proporcionada por la DGA se ha ido buscando los incendios presentes en la zona de estudio, alternando la imagen anterior al incendio y la posterior, se aprecia el contorno del incendio. Una vez que el incendio está localizado y definido, se comienza a cartografiar el mismo. Con la herramienta del editor que implementa el propio ArcGis se ha ido editando polígonos para cada incendio observado. El proceso de edición se puede observar en la figura 3.

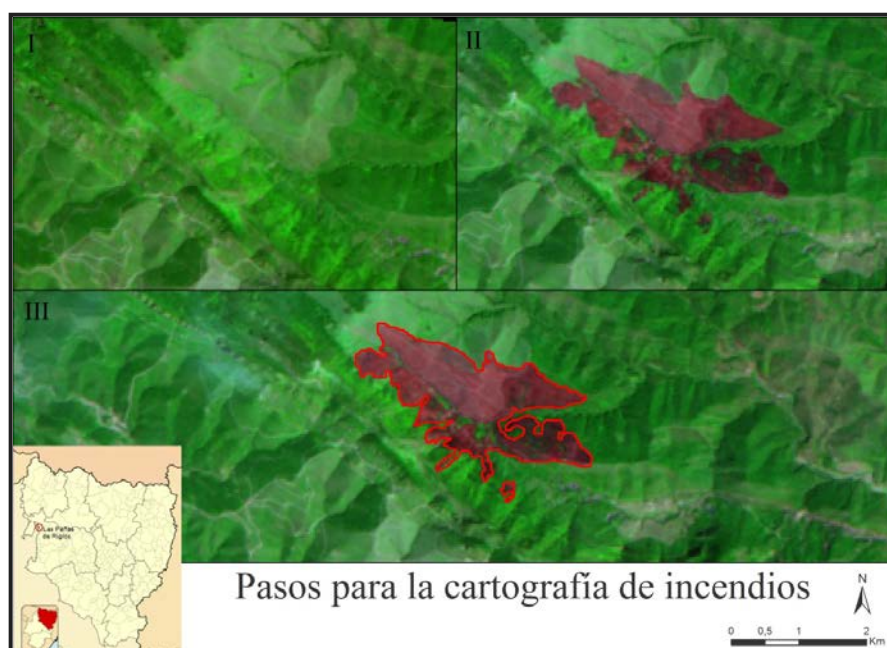


Figura 3. Pasos para cartografiar los incendios. En el recuadro I se ha utilizado una imagen anterior al incendio que fue tomada el 4/08/1987. En los recuadros II y III se ha utilizado la misma imagen tomada el 28/08/1990, en el recuadro III se cartografía el incendio (Todas las imágenes con la combinación de falso color 7/4/3 y corregidas topográficamente y radiométricamente)

3.1.5. Extracción de neocanales: NDVI y dNBR y análisis multitemporal.

Los neocanales son fruto de transformaciones, más o menos complejas, aplicadas a las bandas originales al objeto de aprovechar toda la información contenida en ellas, obteniéndose nuevas dimensiones de la información espectral que pueden resultar útiles a la hora de estimar con mayor precisión

el parámetro buscado o para resaltar diferencias entre cubiertas, eliminándose a su vez la fuerte correlación existente entre algunas bandas por la presencia de información redundante (Chuvieco, 1996). Dentro de la generación de neocanales se encuentran los Índices de Vegetación e Índices de severidad.

Un índice de vegetación puede definirse como “un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas” (Gilabert et al., 1997). Entre los índices de vegetación el más utilizado es el NDVI propuesto por Rouse et al. (1974). El "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), es la diferencia normalizada de las bandas del rojo y del infrarrojo cercano, y cuyo rango de variación queda comprendido entre -1 y +1. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Con rango menor se encontrarán las zonas con poco vigor vegetal o afectada por el fuego. Los valores por debajo de 0.2 y 0.3 se consideran suelo desnudo, por encima de estos valores la cubierta vegetal empieza a recubrir el suelo.

Se ha aplicado el NDVI, porque tiene las ventajas de tener una gran sencillez de cálculo y de facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación. Además permite la comparabilidad entre datos obtenidos por diferentes investigadores. No obstante, tiene el inconveniente de que posee poca capacidad de minimizar la influencia del suelo.

Para obtener este Índice se ha utilizado el Módulo de *Model Maker* de Erdas Imagine para todas las imágenes corregidas geométricamente y radiométricamente disponibles.

El índice desarrollado para la estimación de la severidad se conoce como *Normalized Burn Ratio* (NBR), integrando las dos bandas que mejor responden a los efectos del incendio: banda 4 (infrarrojo próximo - 0,76-0,9 µm) y banda 7 (infrarrojo medio de onda corta - 2,08-2,35 µm) (Key y Benson 2004), su fórmula es la siguiente:

$$NBR = \frac{R4 - R7}{R4 + R7}$$

donde: R es la reflectividad de las bandas

Por lo general, la reflectividad posterior al incendio disminuye en el infrarrojo próximo mientras que aumenta en el infrarrojo medio. La combinación entre estas 2 bandas mejora considerablemente la distinción entre áreas quemadas y no quemadas. Para discriminar las áreas quemadas de las que no lo están y proporcionar una medida cuantitativa del cambio, el NBR posterior al incendio se resta al NBR anterior al incendio.

$$dNBR = NBR_{\text{anterior}} - NBR_{\text{posterior}}$$

El infrarrojo próximo está positivamente correlacionado con la superficie foliar y la productividad vegetal, mientras que el infrarrojo medio responde positivamente a la desecación: a mayor vigor vegetal mayor respuesta en la banda 4 y menor en la banda 7. Por tanto, el dNBR es negativo en las zonas con actividad fotosintética intensa. Las áreas quemadas se caracterizan por la disminución de la actividad fotosintética de la vegetación que influye de modo negativo en la respuesta en la banda 4, junto con la mayor exposición del sustrato y los combustibles quemados, que incrementan la reflectividad registrada en la banda 7. Por lo tanto, el dNBR muestra valores positivos en las zonas quemadas (Key y Benson 2006).

A continuación se muestra los valores de los niveles de severidad según el rango de dNBR

Tabla 4. Rango de valores de severidad según el dNBR (FIREMON: *Fire Effects Monitoring and Inventory System*)

Severity level	dNBR range
Enhanced regrowth, high	–500 to –251
Enhanced regrowth, lo	–250 to –101
Unburned	–100 to +99
Low severity	+100 to +269
Moderate-low severity	+270 to +439
Moderate-high severity	+440 to +659
High severity	+660 to +1300

Como en el caso del NDVI, también se ha utilizado el Erdas para obtener el valor del dNBR de las imágenes de satélite corregidas geométricamente y radiométricamente disponibles. En la figura 4 se muestran las imágenes resultantes de los cálculos de los Índices NDVI y dNBR para el incendio de Luesia del 25/08/2000 de unas 200 hectáreas.

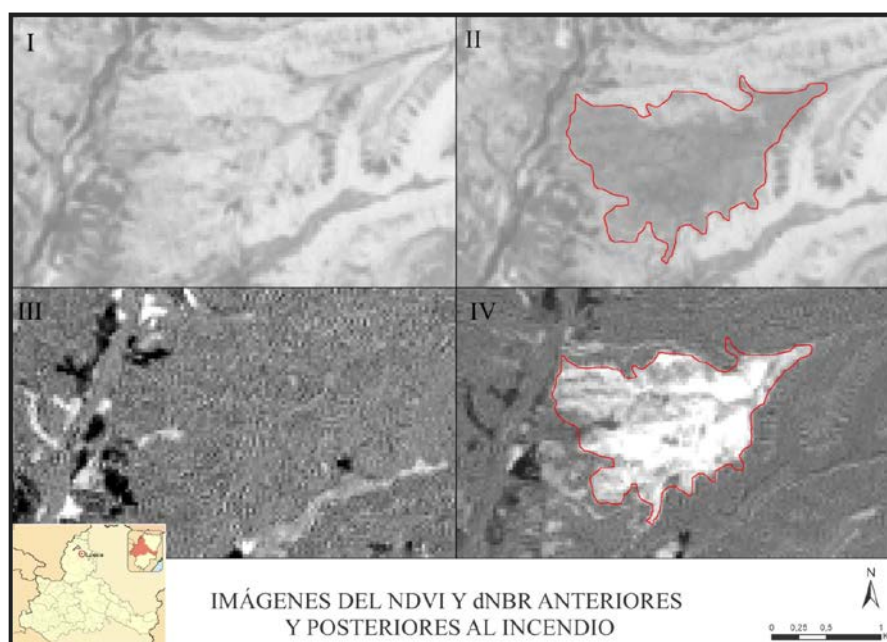


Figura 4. Imágenes del NDVI y dNBR anteriores y posteriores al incendio de Luesia.

En la imagen **I** tenemos el NDVI del 30/07/2000 anterior al incendio. En la imagen **II** se muestra el NDVI del 01/07/2001, en el que se aprecia el contorno del incendio a pesar de ser de un año posterior. En tono gris oscuro se localizan los valores más bajos del NDVI coincidentes con la zona del incendio. La imagen **III** se corresponde con la imagen del dNBR generada entre los años 1999 y 2000, no se aprecia nada significativo porque es anterior al incendio, en cambio en la imagen **IV** del dNBR generada entre los años 2000 y 2001 se recogen cambios significativos; en tono más claro se distingue la silueta del incendio correspondiente con los valores más altos del dNBR. A las imágenes se les ha colocado en rojo el contorno del incendio para facilitar su visualización.

Se ha elegido el incendio ocurrido en Luesia el 25/08/2000 como modelo piloto de la regeneración de las especies forestales en los años sucesivos al incendio. Servirá como ejemplo porque para este incendio se dispone de imágenes de casi todos los años, por lo que se podrá ver mejor la evolución de las especies. Se ha extraído el valor del NDVI y dNBR de cada especie forestal antes y después del incendio de Luesia.

El procedimiento para extraer este valor se presenta en el siguiente esquema:

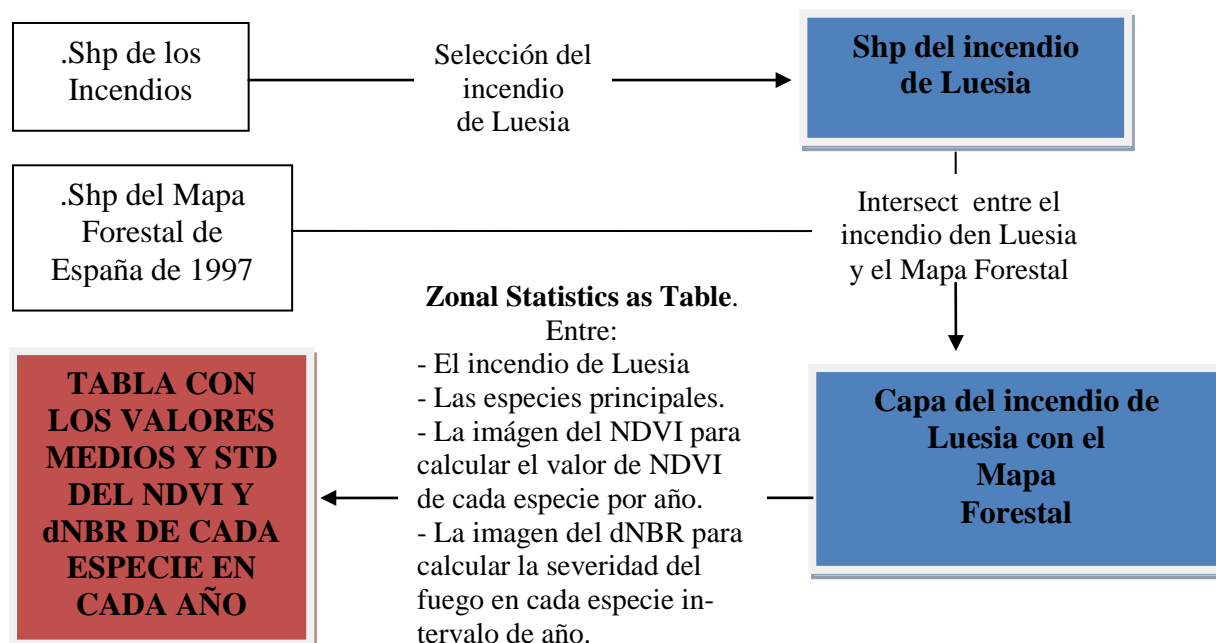


Figura 5. Esquema para el cálculo del NDVI y dNBR de cada especie. Por un lado se ha calculado el valor de cada especie del NDVI y por otro del dNBR, la extracción de los valores en ambos índices es la misma por eso se han colocado los 2.

3.1.6. Método y datos para comparar las superficies de los incendios proporcionadas por la DGA y las superficies de los incendios detectados mediante Teledetección

Para evaluar la fiabilidad de las imágenes de satélite Landsat para la cartografía y análisis de los incendios, se ha realizado un análisis Anova de un factor entre las hectáreas proporcionadas por la DGA y las detectadas mediante Teledetección.

Un análisis de varianza es una técnica que permite superar la indeterminación cuando se estiman las diferencias significativas al comparar varios grupos o muestras. Es una prueba útil para deducir inferencias acerca de las medias de varias muestras. Se utiliza para contrastar diferencias entre las medias de varios grupos o muestras (Tejedor, 1999).

El programa que se ha utilizado para realizar este análisis de varianza es el SPSS versión 15.0, desde el módulo Analizar/Comparar medias se accede al análisis Anova de un factor. Para este caso se ha tomado como variable dependiente la superficie en hectáreas y como factor la fuente de los datos analizados; adicionalmente se ha configurado las opciones para que las estadísticas aparezcan descriptivas y gráficas. Para que se comparen varianzas similares también se ha configurado las estadísticas añadiendo la prueba de homogeneidad de varianza.

Como en este caso se plantea el análisis de las diferencias entre varias fuentes, hay que mencionar que, a lo largo del intervalo temporal analizado, los métodos utilizados por la DGA para calcular la superficie afectada por el fuego han experimentado diferentes avances. En este sentido, conviene señalar que se ha pasado de las estimaciones de los guardas forestales, quienes visualmente y con la ayuda de un mapa determinaban aproximadamente el tamaño del incendio, a la introducción del GPS a bordo de helicópteros que sobrevuelan las zonas afectadas..

Por ello, se ha discretizado el intervalo temporal en 2 periodos en función del grado de tecnificación del proceso de cuantificación de la superficie calcinada: *década 1* incluye los años que van desde 1974 al 2000, y *década 2* los incendios comprendidos entre 2000 y 2011, último año analizado¹. Esta diferenciación permitirá determinar si hay alguna variación entre los distintos métodos empleados para determinar la extensión de los incendios.

¹ Se he empleado *décadas* como término para indicar la división de la serie temporal aunque no contemplan un número de años exacto.

3.2. Caracterización de las superficies quemadas

3.2.1. Datos y metodología para inventariar las superficies forestales quemadas entre 1998 y 2011

Es primordial realizar un inventario de las superficies quemadas en los incendios para la evaluación de las consecuencias de los mismos. El principal efecto asociado a los incendios forestales consiste en la destrucción de la cubierta vegetal, lo que ocasiona, además de pérdida de beneficios directos, la eliminación de su función protectora, pudiendo desencadenar procesos acelerados de pérdida de suelos.

Múltiples factores como pueden ser: la intensidad del incendio, la frecuencia con la que este hace presencia, el tipo de vegetación afectada, la fragilidad del medio, el clima, las características topográficas y orográficas de la zona, entre otros factores físicos del medio, determinan la eficacia y rapidez de la regeneración del medio afectado por incendios forestales. Una vez conocidas estas circunstancias se pueden elaborar planes de restauración que recojan las actuaciones necesarias para la regeneración del ecosistema.

Realizar un inventario forestal fiable de las superficies afectadas por los incendios es una de las principales actuaciones que se deben abordar para conseguir el mayor éxito de la recuperación del ecosistema. Dicho inventario y cartografía es una de las partes más importantes de las que se plantean en este trabajo.

Con el fin de discriminar los sectores forestales afectados por el fuego en la zona de estudio se ha empleado el Mapa Forestal de España de 1997 (escala 1:50.000) y la los incendios cartografiados desde el año 1998 al 2011. Los diferentes pasos realizados en esta fase del trabajo se recogen en los siguientes párrafos: En un primer paso se han seleccionado las hojas que cubrían la zona de estudio. Las sub-hojas utilizadas son las siguientes: 207, 208, 209, 245, 246, 247, 284, 285, 322, 352, 353, 354, 381, 382, 383, 408, 409, 410, 411, 437, 438, 464 y 465. A continuación se ha realizado una unión (*merge*) de todas las hojas para tenerlas en una sola capa y así poder trabajar de una manera más cómoda. El paso siguiente ha sido la reproyección de la capa del Mapa Forestal que viene por defecto en ED 50 UTM Zone 30N a la que se utiliza para el entorno de este trabajo WGS 1984 UTM Zone 30N. Posteriormente se han seleccionado todos los incendios ocurridos después del 1997 y se ha creado una sola capa (*shape*) con esta selección (incendios desde 1998 a 2011). Finalmente, se ha aplicado la función *Intersect* entre las 2 capas. Esta herramienta es la más adecuada para extraer la información de ambas capas, ya que, crea una capa única con la información de ambas capas pero sólo en aquellos lugares donde ambas capas coinciden, con lo que el resultado final es una capa con el perímetro de los incendios en la que se incorpora la información contenida en el Mapa Forestal.

Esta capa generada por la intersección contiene en su tabla de atributos la información de las 2 capas utilizadas, se ha extraído dicha información para realizar el inventario forestal cuyo resultado se mostrará en el apartado 4.3: Análisis de las superficies quemadas tras los incendios ocurridos entre 1998 y 2011 de los Resultados.

3.2.2. Materiales y metodología para analizar la titularidad de la superficie afectada por el fuego entre 1998 y 2011

Desde la página del SITAR <http://sitar.aragon.es/descargas-aragon.htm>, se han descargado los *shapes* de Montes de Huesca, Montes de Zaragoza y de los consorcios de repoblación forestal de ambas provincias. Estos *.shp* incluyen información sobre el titular de los montes, su extensión, término municipal y nombre del monte, entre otras.

Una vez que se ha cambiado la proyección de todas las capas a la del ámbito de estudio, se procede a realizar una intersección entre los incendios ocurridos entre el año 1998 y 2011 y las capas de montes de Huesca y Zaragoza. Al realizar esta operación se obtienen las superficies quemadas en los montes y el titular del mismo.

Como las capas de los consorcios de repoblación se superponían a las de montes, se ha realizado otra intersección entre la capa resultante de la operación anterior y la de los consorcios de repoblación y así obtener las hectáreas de repoblación afectadas por el fuego.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo entre las superficies quemadas proporcionadas por la DGA y las obtenidas mediante Teledetección

Entre los años 1974 y 2011 se han cartografiado 145 incendios con una extensión de 50.761 hectáreas. De los 145 incendios 109 aparecían en la base de datos de la DGA, no teniéndose constancia de un total de 36 incendios. En los siguientes apartados se va a hacer un análisis en profundidad de los incendios ocurridos entre 1998 y 2011.

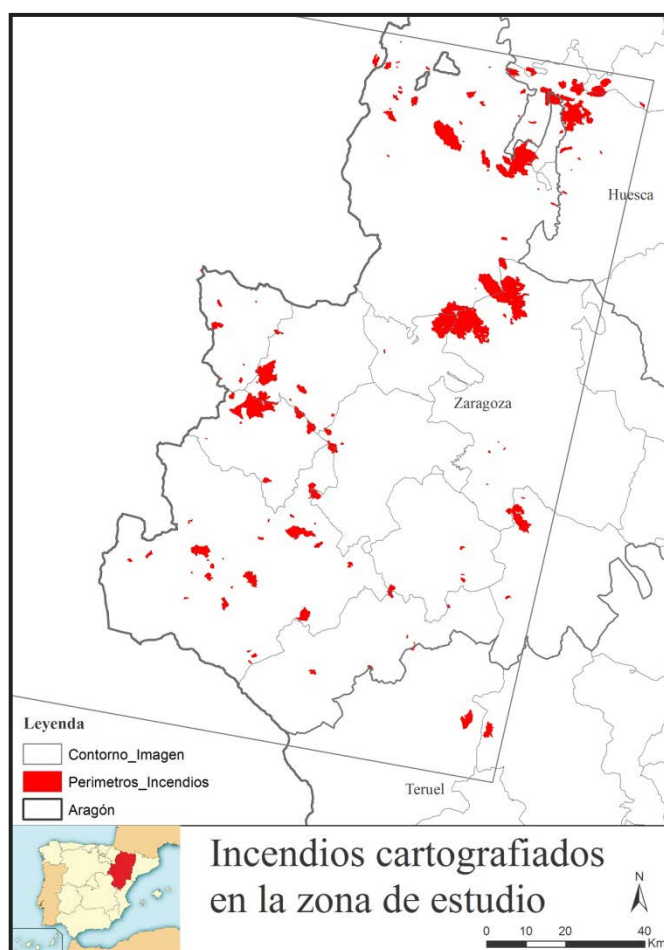


Figura 6. Incendios cartografiados en la zona de estudio

El incendio ocurrido en Zaragoza en el 2009 es el incendio más grande registrado por ambas fuentes, la superficie del incendio perimetrada en la DGA es de 6978 has y las detectadas mediante Teledetección es de 6845 has.

En la Figura 5 se aprecia una similar distribución de las cajas considerando las dos fuentes. En ambos casos la parte superior de la mediana es más grande que la parte inferior, lo cual puede interpretarse que las superficies comprendidas entre el 50% y el 75% están más dispersas que entre el 25% y el 50%. El bigote superior en las 2 fuentes es mayor que el inferior y pone de manifiesto que el 25% de las superficies más pequeñas están más concentradas que el 25% de las superficies más grandes.

En cuanto a los valores atípicos (○) y los valores extremos (*), presentan similitudes en su dispersión pero con algunas diferencias. En E.PROPIA aparecen solo 3 valores como atípicos y en la DGA 4 valores atípicos, y no son iguales los valores presentes en las 2 fuentes, siendo considerados como

extremos en algunos casos. Por ejemplo, mientras que el incendio del 29-jul-2009 es considerado para E.PROPIA como atípico, para la DGA es extremo². Por último destacar que el valor más extremo en ambas fuentes coincide en el incendio ocurrido el 18-ago-2009, con una extensión de más de 6800 has.

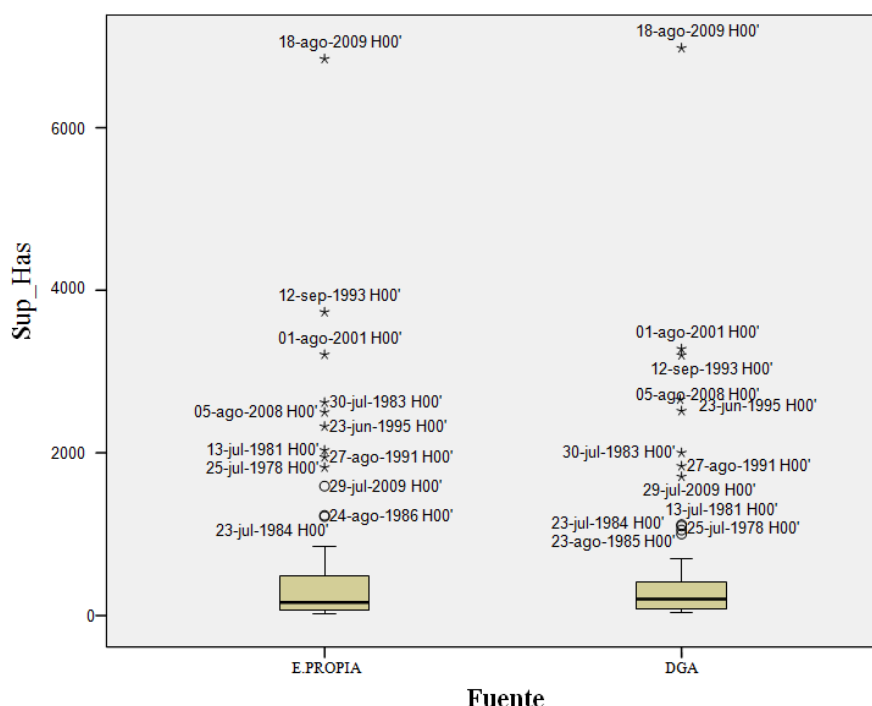


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes entre las Hectáreas de la DGA y E.PROPIA

A continuación se examinarán los resultados obtenidos tras el análisis de varianza realizado con el SPSS. Se ha realizado una división de los análisis: primero se mostrarán los valores globales de todos los años de ambas fuentes y en segundo lugar se mostrarán los valores divididos en 2 décadas para ambas fuentes. En la tabla 5 se realiza una descripción de las superficies de los incendio diferenciando las elaboradas mediante Teledetección (E.PROPIA) y las proporcionadas por la DGA de todos los valores anuales.

▪ Análisis de los datos globales para ambas fuentes

Considerando un total de 92 se desprende que hay una ligera diferencia entre las dos fuentes. La superficie media en E. PROPIA es de 521.86 has mientras que para la DGA es de 507.32 has.

Tabla 5. Valores descriptivos de las superficies en hectáreas. Donde aparecen los realizados mediante Teledetección (E.PROPIA) y los proporcionados por la DGA.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
E.PROPIA	92	521,86	986,683	102,869	317,52	726,20	15	6845
DGA	92	507,32	999,138	104,167	300,41	714,24	30	6978
Total	184	514,59	990,240	73,001	370,56	658,62	15	6978

El valor de significación es de 0.775 superior a 0.05 establecido como valor mínimo para justificar el empleo de estas fuentes para el análisis de las superficies³.

² Un valor se considera atípico cuando sus valores están alejados más de 1,5 longitudes de caja del percentil 75 y extremos cuando superan 3 longitudes del mismo percentil.

Tabla 6. Prueba de homogeneidad de varianzas

Sup_Has			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,082	1	182	,775

Los resultados del análisis ANOVA se presentan en la Tabla 7, El resultado de Sig es 0.921 superior al valor mínimo indicado, de lo que se infiere que no difiere ninguna de las fuentes empleadas⁴.

Tabla 7. Tabla Anova

Sup_Has					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	9718,101	1	9718,101	,010	,921
Intra-grupos	179435612,148	182	985909,957		
Total	179445330,249	183			

De la tabla 7 se desprende que no hay diferencias estadísticamente significativas en la superficie media estimada por las dos fuentes de información contrastadas.

- Análisis de los resultados por décadas.

En la figura 8 de diagrama de cajas y bigotes, se observa que la siniestralidad en términos de superficie quemada es diferente entre ambas décadas, siendo mayor en el caso de la *década 2*. También se percibe que mientras en la *década 2* existe una gran coincidencia entre las superficies declaradas por ambas fuente (hay correspondencia en los casos extremos), en el caso de la *década 1* se aprecia que hay incendios extremos cuyas superficies presentan guarimos muy diferentes (ej.: el caso más destacado es el del 23-jun-1995).

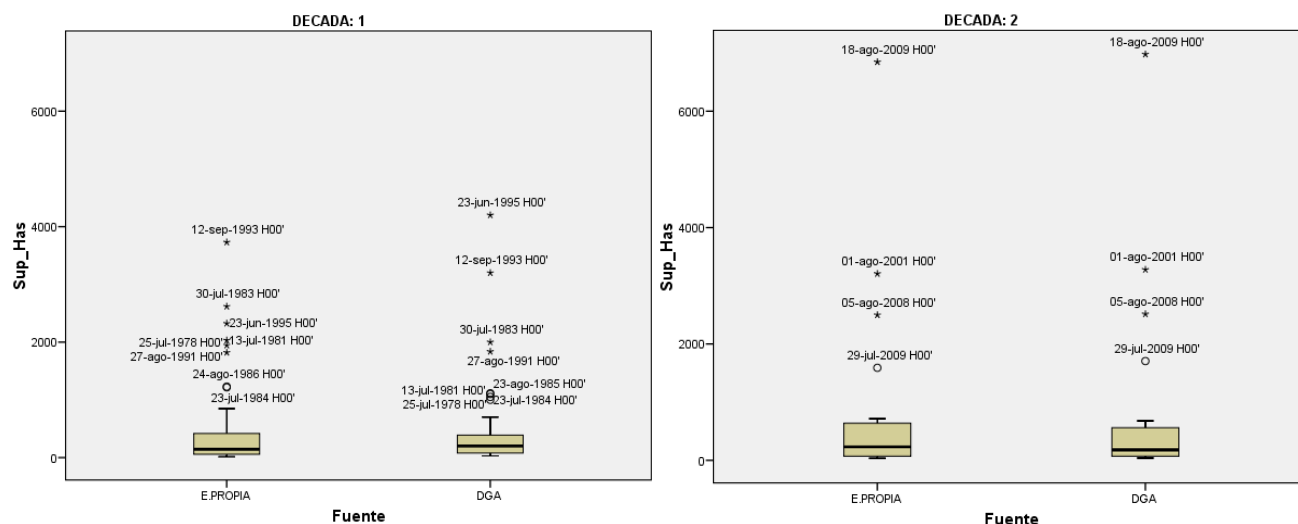


Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes de las décadas 1 y 2 de ambas fuentes.

³ El análisis ANOVA de un factor supone que las varianzas de los grupos son todas iguales. En la tabla 7 se muestra el resultado de la prueba de Levene para la homogeneidad de las varianzas. Si el valor de significación es superior a 0.05, sugiere que las varianzas de las 2 fuentes son iguales y la suposición se justifica

⁴ En el ANOVA de un factor, la variación total se divide en dos componentes. Inter-grupos representa la variación de las medias del grupo en torno a la media global. Intra-grupos representa la variación de las puntuaciones individuales en torno a sus respectivas medias de los grupos. Sig indica el nivel de significación de la prueba F. Los valores menores de significación ($<0,05$) indican diferencias de grupo.

En la misma línea, en la figura 9 se presentaran unos gráficos de barras de error. Este tipo de gráficos nos permite identificar la variabilidad de la medida empleada. Se ha empleado $2\pm$ desviaciones típicas⁵.

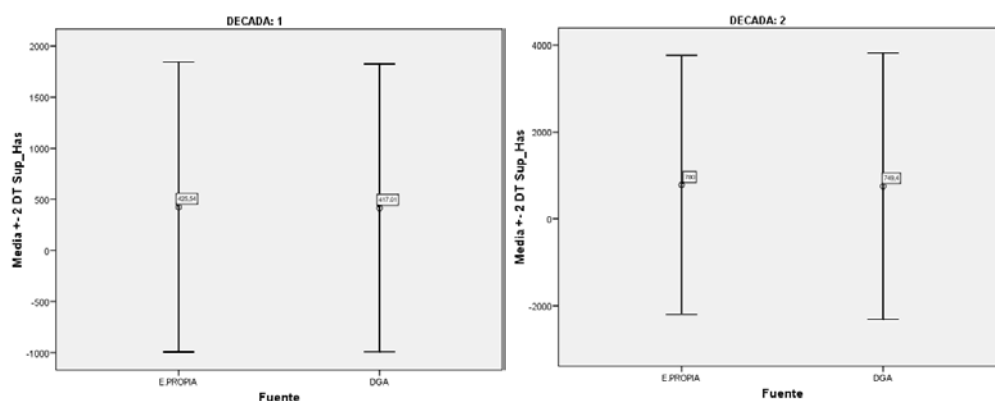


Figura 9. Gráficas de ± 2 desviaciones típicas de ambas décadas.

En los valores descriptivos de la tabla 8 de la *década 1* se han analizado un total de 67 incendios. Se aprecia una similitud en todos los valores, media, desviación típica, intervalo de confianza, etc.

Tabla 8. Valores descriptivos de las superficies en hectáreas de la *década 1*.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
E.PROPIA	67	425,54	708,687	86,580	252,68	598,40	15	3730
DGA	67	417,01	702,871	85,869	245,56	588,45	30	4200
Total	134	421,27	703,139	60,742	301,13	541,42	15	4200

En la prueba de homogeneidad, el valor de significación es de 0.577 indicando que las varianzas de las 2 fuentes son iguales y la suposición se justifica dando validez a los análisis en esta década.

Tabla 9. Prueba de homogeneidad de varianzas de la *década 1*

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,313	1	132	,577

En la tabla 10 se recogen los resultados del análisis Anova para la *década 1*. El valor de significación y el estadístico F no dejan dudas en cuanto a la igualdad de las varianzas de las dos fuentes para esta primera serie de años.

⁵ La estructura del gráfico se basa en un punto central que identifica el valor de la media, la cual se ubica en una línea vertical; la longitud de la línea (barra de error) indica un intervalo de confianza (porcentaje de los datos) o un número especificado de errores típicos o inclusive un número específico de desviaciones típicas.

Tabla 10. Tabla ANOVA para la “década 1”.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2437,405	1	2437,405	,005	,944
Intra-grupos	65753416,903	132	498131,946		
Total	65755854,308	133			

Los valores descriptivos de la *década 2* (tabla 11) reflejan que, a pesar de tener un número menor de incendios, estos presentan mayor superficie aumentando los valores registrados para ambas fuentes con respecto a la *década 1*.

Tabla 11. Valores descriptivos de las superficies en hectáreas de la “década 2”..

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
E.PROPIA	25	780,00	1488,250	297,650	165,68	1394,32	35	6845
DGA	25	749,37	1530,606	306,121	117,57	1381,17	39	6978
Total	50	764,69	1494,174	211,308	340,05	1189,33	35	6978

Los valores de homogeneidad y de Anova representados en las tablas 12 y 13, igual que en el caso anterior, muestran la igualdad entre ambas fuentes.

Tabla 12. Prueba de homogeneidad de varianzas de la *década 2*.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,012	1	48	,915

Tabla 13. Tabla ANOVA para la *década 2*.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	11726,236	1	11726,236	,005	,943
Intra-grupos	109383458,569	48	2278822,054		
Total	109395184,805	49			

Para terminar se muestra el resultado gráfico y la ecuación resultante de un análisis de regresión lineal, utilizando como variables las superficies de los incendios estimadas con las dos fuentes. El coeficiente de correlación lineal es de 0.959, indica que el grado de asociación lineal entre las variables es muy alto. Por cada hectárea registrada por E.PROPIA la DGA registra 0.9235 hectáreas.

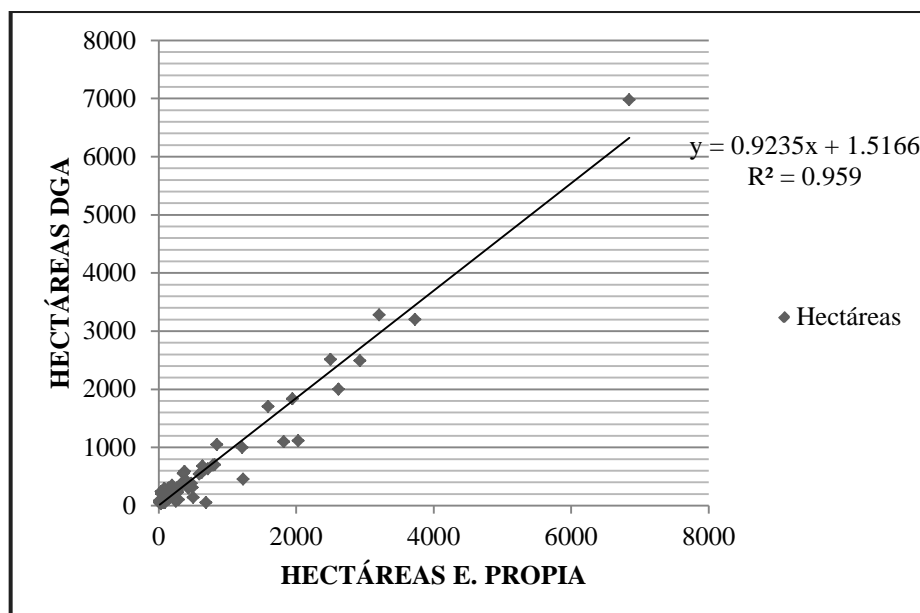


Figura 10.Gráfica de regresión lineal entre las hectáreas de ambas fuentes

4.2. Análisis de la superficie forestal quemada tras los incendios ocurridos entre 1998 y 2011

La Comunidad de Aragón presentaba en el 2007 una extensión de 2.631.234 has (9.44% de la superficie forestal total de España), repartidas entre las 939.245has de Huesca, 937.927 has de Teruel y las 754.063 has de Zaragoza. La superficie forestal arbolada de Aragón comprende una extensión de 1.573.988 has y de 1.057.246 has de superficie forestal desarbolada. Las provincias aragonesas presentan una extensión de superficie forestal arbolada y desarbolada de 619.139 y 320.106 has en Huesca, de 586.135 y 351.792 has en Teruel, y de 368.715 y 385.348 en Zaragoza, respectivamente. (Fuente: Información estadística de Aragón, Medio Ambiente)

En los aproximadamente 22.000 Km² que representa el área estudiada, un 46% de la extensión total de Aragón, desde el año 1998 hasta el 2011 se han encontrado y cartografiado un total de 56 incendios con una extensión de 19.734 has de superficie forestal en total.

Tabla 14. Hectáreas quemadas por año

AÑO	HECTÁREAS
1998	54
1999	37
2000	233
2001	3356
2002	384
2003	501
2004	818
2005	844
2006	313
2007	79
2008	2535
2009	9790
2010	74
2011	716
TOTAL	19734

Antes de empezar con el análisis de las superficies forestales se detallará las características principales de los incendios, tales como: año con mayor superficie quemada, municipios afectados por los incendios y su superficie afectada, número de incendios considerados como grandes incendio (> 500 has). Tal y como se aprecia en tabla 14, en sólo 3 años, 2001, 2008 y 2009 se ha quemado un total de 15.680 has, un 79.46% del total de la superficie forestal quemada. Siendo el año con mayor superficie quemada el 2009 con 9.789 has, seguido del 2001 y del 2008 con 3.356 y 2.535 has respectivamente.

Tabla 15. Municipios por año de incendio y Hectáreas

MUNICIPIOS Y AÑO	HECTÁREAS	MUNICIPIOS Y AÑO	HECTÁREAS
Zaragoza	8258	Añón de Moncayo	44
2009	6833	1999	30
2004	717	2009	8
2011	689	2002	6
2003	16	Sos del Rey Católico	43
2007	3	2002	43
Las Peñas de Riglos	3198	Talamantes	42
2001	3198	2000	33
Zuera	2566	2010	7
2008	2497	2009	2
2002	35	Piedratajada	39
2006	34	2009	39
Jaulín	1566	Lupiñén Orilla	38
2009	1566	2002	38
Terrer	636	Tauste	23
2009	636	2007	23
Morés	623	La Sotonera	18
2009	623	2011	18
Luna	552	Luceni	17
2005	501	2009	17
1998	51	Carenas	15
Uncastillo	482	2008	15
2002	257	Torralba de Ribota	14
2006	225	2008	14
Encinacorba	304	Biota	13
2003	232	2007	13
2005	72	Valmadrid	13
Nuévalos	273	2003	13
2005	273	María de Huerva	13
Luesia	252	2007	7
2000	200	2009	6
2003	52	Cuarte de Huerva	9
Ayerbe	184	2011	9
2003	179	El Frasno	9
2002	5	2008	9
Ariza	165	Castiliscar	9
2001	111	2003	9
2006	54	Valpalmas	7
Abanto	101	1999	7
2004	101	Ateca	6
Badules	80	2007	6
2009	59	Asín	6
2007	21	2007	6
Sierra de Luna	67	Purujosa	2
2010	67	1998	2
Villanueva de Huerva	47	TOTAL	19734
2001	47		

En la tabla 15, se aprecia que Zaragoza con un total de 5 incendios es el municipio que más incendios ha registrado y además presenta la mayor superficie quemada con 8.258 has, siguiéndole en número de incendios y superficie el municipio de Zuera, con 3 incendios y 2.566 has. Un total de 12 municipios de los 37 han sido afectados por más de un incendio.

En la figura 11 se aprecian los 9 incendios considerados como grandes incendios (>500has) con una superficie de 17.260has, el 87.46% de la superficie total registrada, 4 de ellos ocurridos en el 2009 en los municipios de Zaragoza, Jaulín, Terrer y Morés. Destacar también que 3 de los grandes incendios cartografiados se encuentran en el municipio de Zaragoza.

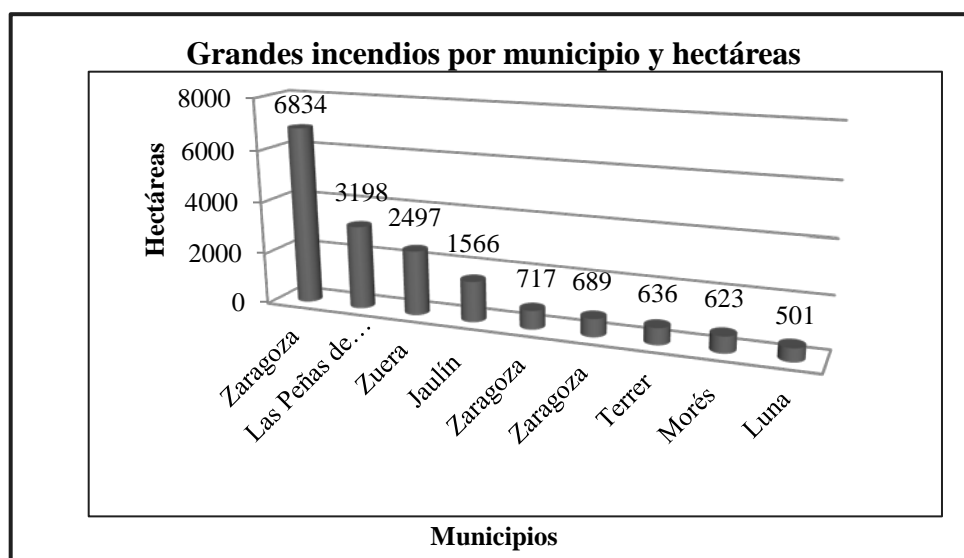


Figura 11. Grandes incendios por municipio y Hectáreas (algún incendio se ha extendido por más de un municipio, se ha colocado el que mayor extensión presentaba)

Tabla 16. Tipo de estructura forestal quemada por Hectárea

TIPO DE ESTRUCTURAS	HECTÁREAS
Bosque (superficie forestal arbolada)	7525
Pastizal-matorral (superficie forestal no arbolada)	3012
Agrícola (superficie forestal no arbolada)	2913
Temporalmente desarbolado, Incendio (superficie forestal no arbolada)	2294
Herbazal (superficie forestal no arbolada)	1841
Matorral (superficie forestal no arbolada)	1137
B. Plantación (superficie forestal arbolada)	367
Mosaico arbolado sobre cultivo y/o prado (superficie forestal arbolada)	332
Mosaico arbolado sobre forestal desarbolado (superficie forestal arbolada)	68
Prados (superficie forestal no arbolada)	57
Mosaico desarbolado sobre cultivo (superficie forestal arbolada)	51
M. sin V. Superior (superficie forestal no arbolada)	42
Otros (superficie forestal no arbolada)	40
A.F.M. (Bosquetes) (superficie forestal arbolada)	35
Complementos B. (superficie forestal no arbolada)	15
A.F.M. (Riberas) (superficie forestal arbolada)	5
TOTAL	19734

Como se puede observar en la tabla 16, la estructura forestal más afectada por los incendios son los espacios forestales arbolados con un total de 7.525 has, un 38.13% de la superficie total, le siguen pastizal-matorral con 3.012has, los terrenos agrícolas con 2.913has. Pero en su conjunto, si analizamos las estructuras forestales por su composición arbórea, se observa que la superficie forestal no arbolada

es superior a la arbolada, con una superficie de 11.351 has de superficie forestal no arbolada y una superficie arbolada de 8.383 has.

El inventario representado en la tabla 17 se ha realizado en función del porcentaje de ocupación de cada especie tal y como aparece en el Mapa Forestal de España de 1997. Se puede extraer que 3 especies albergan 6596,6 has el 85.75% de las especies forestales inventariadas. La especie forestal más castigada por los incendios es *Pinus halepensis* con una extensión de 4639,3 has, seguida de la *Juniperus sabina* 1119,4 has y de *Juniperus oxycedrus* con 837,9 has.

Tabla 17. Especie forestal por porcentaje de ocupación y por superficie (has).

ESPECIE FORESTAL	HECTÁREAS
Pino halepensis (<i>Pinus halepensis</i> ,24)	4639,3
Sabina negral (<i>Juniperus phoenicea</i> ,39)	1119,4
Enebro oxicedro (<i>Juniperus oxycedrus</i> ,237)	837,9
Encina (<i>Quercus ilex</i> ,45)	394
Quejigo fagínea (<i>Quercus faginea</i> ,44)	175,8
Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i> ,21)	124,5
Cultivo en mosaico,1500	122,5
Pino pináster (<i>Pinus pinaster</i> ,26)	94,2
Boj (<i>Buxus sempervirens</i> ,91)	65,7
Pino laricio (<i>Pinus nigra</i> ,25)	34,1
Matorral en mosaico,8000	23,2
Pastizal-Matorral en mosaico,3500	19
Nogal (<i>Juglans regia</i> ,75)	10
Prado en mosaico,3400	8,4
Enebro común (<i>Juniperus communis</i> ,37)	4,3
Chopo (<i>Populus nigra</i> ,58)	4,3
Madroño (<i>Arbutus unedo</i> ,68)	3,2
Ciprés (<i>Cupressus sempervirens</i> ,36)	3,2
Pino uncinata (<i>Pinus uncinata</i> ,22)	2,8
Quercus humilis(<i>Quercus pubescens</i> (<i>Q. humilis</i>),243)	2,4
Haya (<i>Fagus sylvatica</i> ,71)	2,4
Sauce (<i>Salix spp.</i> ,57)	1,6
Guillomo (<i>Amelanchier ovalis</i> ,2)	0,3
Chopo híbrido (<i>Populus x canadensis</i> ,258)	0,2
TOTAL	7692,7

4.3. Titularidad de las superficies afectadas por los incendios forestales en los montes de Huesca y Zaragoza entre 1998 y 2011.

En las capas de montes que se han empleado no se refleja la totalidad de de las superficies afectadas por el fuego, sino que sólo se registra la superficie de los propios montes, de ahí que las superficies de los incendios analizados con estas capas reflejen menor superficie que la cartografiada. Los resultados del análisis en los montes de Huesca se recogen en la siguiente tabla:

En la provincia de Huesca durante etapa de estudio se han registrado 2064 has quemadas en sus montes.

El incendio más importante localizado en Huesca fue el de Las Peñas de Riglos ocurrido en el 2001, tres titulares fueron afectados por este incendio, el más perjudicado fue el Ayuntamiento de Las Peñas de Riglos con 915 has. De todos los titulares del monte afectados por este incendio la Sociedad de montes de Sarsamarcuello y Linas forma parte de un consorcio de repoblación.

Tabla 18. Municipio principal, titular y hectáreas de los montes afectados por el fuego en Huesca

MUNICIPIOS, TITULAR DEL MONTE	HECTÁREAS
Las Peñas de Riglos	1991
AYTO DE LOARRE	687
AYTO DE PEÑAS DE RIGLOS, LAS	915
SOCIEDAD DE MONTES DE SARSAMARCUELLO Y LINAS	389
Ayerbe	68
GOBIERNO DE ARAGON	68
La Sotonera	5
AYTO DE LOSCORRALES	5
Total Hectáreas	2064

En la tabla 19 se recogen los análisis de los montes de Zaragoza:

Tabla 19. Municipio principal, titular y hectáreas de los montes afectados por el fuego en Zaragoza

MUNICIPIOS, TITULAR DEL MONTE	HECTÁREAS
Zuera	1597
AYTO DE CASTEJÓN DE VALDEJASA	987
AYTO DE TAUSTE	15
AYTO DE ZUERA	595
Jaulín	1132
AYTO DE PUEBLA DE ALBORTÓN, LA	303
AYTO DE VALMADRID	829
Zaragoza	892
AYTO DE PRADILLA DE EBRO	403
AYTO DE TAUSTE	489
Luna	439
AYTO DE LUNA	437
AYTO DE MURILLO DE GÁLLEGO	2
Terrer	305
AYTO DE PARACUELLOS DE JILOCA	6
AYTO DE TERRER	254
AYTO DE VILUEÑA, LA	45
Luesia	197
AYTO DE BIEL	2
AYTO DE LUESIA	166
GOBIERNO DE ARAGÓN	29
Encinacorba	151
AYTO DE ENCINACORBA	111
AYTO DE MAINAR	1
GOBIERNO DE ARAGÓN	39
Nuévalos	95
AYTO DE CARENAS	3
AYTO DE NUÉVALOS	70
GOBIERNO DE ARAGÓN	14
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	8
Ariza	93
AYTO DE ARIZA	62
GOBIERNO DE ARAGÓN	7
M LUZ PALACIOS PALACIOS	24

Abanto	92
AYTO DE ABANTO	92
Uncastillo	80
AYTO DE CASTILISCAR	27
AYTO DE UNCASTILLO	53
Villanueva de Huerva	47
AYTO DE VILLANUEVA DE HUERVA	47
Añón de Moncayo	30
AYTO DE AÑÓN DE MONCAYO	30
Tauste	23
AYTO DE TAUSTE	23
Badules	15
AYTO DE BADULES	15
Valmadrid	9
AYTO DE VALMADRID	9
Tarazona	9
AYTO DE TARAZONA	9
Talamantes	6
AYTO DE TALAMANTES	6
Sos del Rey Católico	4
GOBIERNO DE ARAGÓN	4
Purujosa	2
AYTO DE PURUJOSA	2
Total Hectáreas	5218

Se han reconocido un total de 5218 has afectadas los incendios en los montes de Zaragoza, el incendio que más superficie de bosque ha calcinado es el ocurrido en Zuera, Tauste y Castejón de Valdejasa en el 2008 con 1597 has. El Ayuntamiento de Castejón de Valdejasa ha sido el que mayor superficie de bosque se ha incendiado con 987 has. En sólo 3 incendios se han quemado el 68.11% de la superficie de bosque en Zaragoza.

Se han incendiado 665 has de repoblación en la provincia de Zaragoza, 2 consorcios de repoblación acaparan el 83.76% de bosque afectado, Ayuntamiento de Puebla de Albortón con 303 has y Ayuntamiento de Terrer con 254 has.

Tabla 20. Consorcios de repoblación afectados por el fuego en Zaragoza

AYTO DE PUEBLA DE ALBORTÓN, LA	303
AYTO DE TERRER	254
AYTO DE CARENAS	3
AYTO DE NUÉVALOS	70
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	8
M LUZ PALACIOS PALACIOS	24
AYTO DE BIEL	2
AYTO DE MAINAR	1
Total Hectáreas	665

4.4. Análisis de la extracción de los neocanales y análisis multitemporal

El incendio de Luesia tuvo una extensión de 200 has, en la siguiente tabla se aprecian las especies forestales afectadas en dicho incendio por superficie de ocupación tal y como aparece en el Mapa Forestal de España de 1997.

Tabla 21. Especies forestales por porcentaje de ocupación en el incendio de Luesia

Especies Forestales	Hectáreas
<i>Quercus ilex</i>	25,9
<i>Quercus faginea</i>	7,3
<i>Pinus sylvestris</i>	5,1
<i>Pinus nigra</i>	19,4
<i>Juniperus oxycedrus</i>	1,8
<i>Buxus sempervirens</i>	1,6

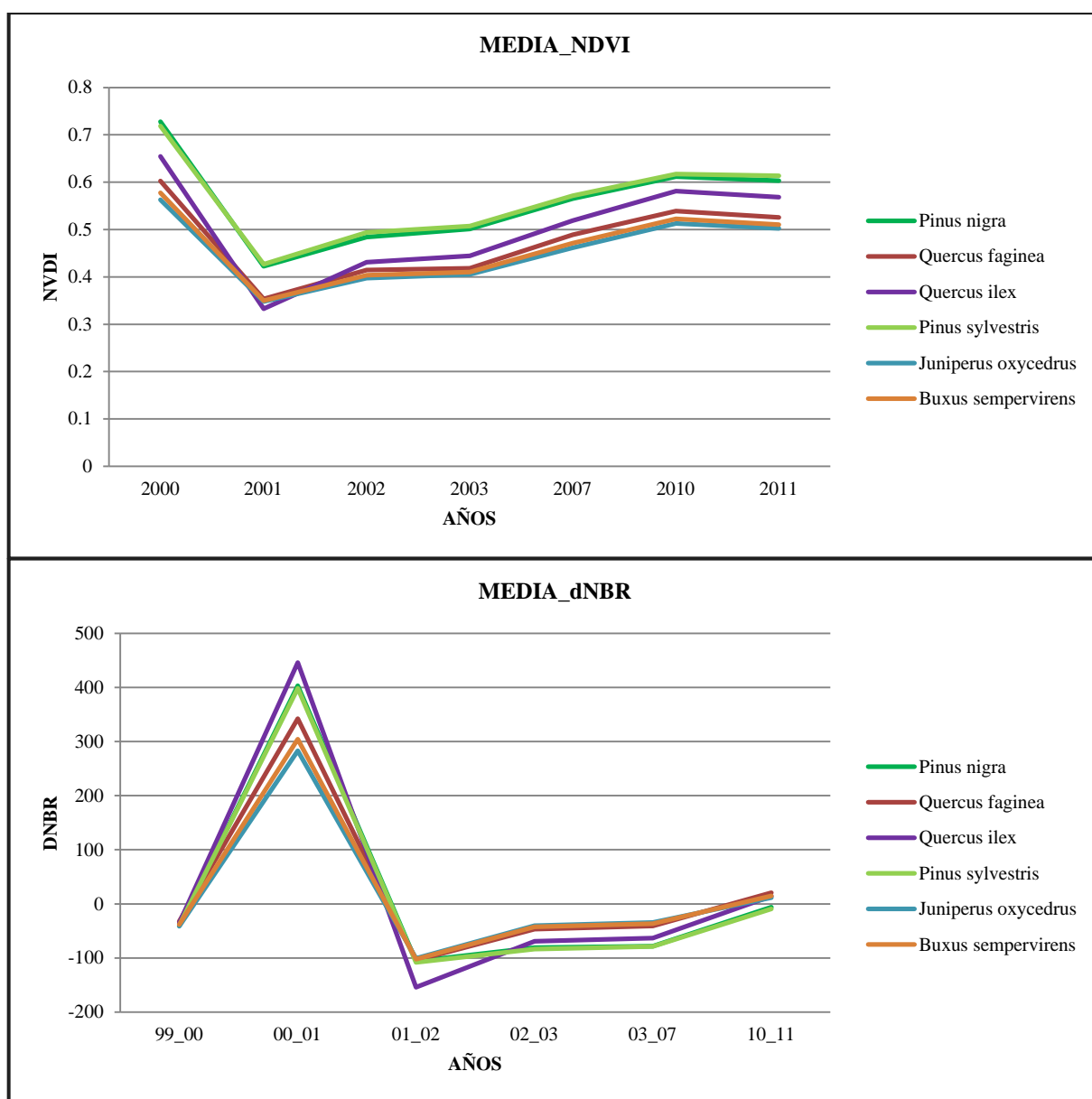


Figura 12. En la parte superior de la figura se recoge la evolución temporal de los valores medios del NDVI, y en la parte inferior los valores medios del dNBR

En las gráficas se aprecia que en el año 2000 (la imagen con la que se realizaron ambos índices fue tomada el 30/07/2000), días antes del incendio, los valores del NDVI son los más altos de los re-

cogidos en toda la serie, reflejando el estado de la vegetación antes de ser afectada por el fuego. El dNBR muestra valores cercanos a 0 propios de zonas sin quemar.

En el año 2001 se aprecia el paso del incendio; los valores del NDVI han descendido al nivel más bajo de los registrados en la serie y los del dNBR indican que el incendio fue moderado. En los años sucesivos al incendio se aprecia que la vegetación experimenta un proceso de regeneración.

El análisis de la regeneración de la vegetación tras el incendio mediante el NDVI no asegura que después del incendio la vegetación regenerada sea la misma que la que había antes del incendio. Sólo refleja el nivel de vigorosidad/cubrimiento de la vegetación que aparece en los píxeles analizados en función de la formación vegetal afectada. Antes del incendio los valores más altos del NDVI se corresponden con el *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* y *Quercus ilex*. Tras el incendio los valores del NDVI descienden en todas las especies pero no por igual, depende de la capacidad de cada especie para responder al fuego y de la severidad con la que se han quemado. *Quercus ilex* es la especie que registra el valor más alto de severidad y el valor más bajo de NDVI. *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris* han sido afectados con la misma severidad y presentan la misma evolución en la regeneración.

Observando los valores del NDVI de cada año de las especies afectadas por el fuego se vislumbra una regeneración, pero en ningún caso se alcanzan los valores previos al fuego. Los pinos presentan niveles de recuperación altos en el 2011, aunque también recogen los niveles de severidad más bajos. La regeneración más destacada es la del *Quercus ilex*, pese a que registra los valores más altos de severidad.

5. CONCLUSIONES

La Teledetección es una herramienta adecuada para el seguimiento del medio ambiente. Las imágenes Landsat empleadas para realizar este trabajo son más que necesarias para obtener un gran resultado y alcanzar los objetivos propuestos.

Las tecnologías SIG son una poderosa herramienta que facilita a los técnicos el procesamiento de datos y la adquisición de óptimos resultados de los mismos. La combinación de las herramientas SIG y la Teledetección amplifica la capacidad de análisis del territorio y mejora sustancialmente la obtención de los resultados.

El empleo de la Teledetección para el análisis de los incendios juega un papel importante no sólo para la detección de los incendios una vez ocurridos, sino que, mediante el uso de la Teledetección se puede evaluar zonas de riesgo de posibles incendios, entre otras aptitudes/cualidades.

El principal problema con el que se ha tenido que lidiar es la falta de disponibilidad de imágenes de satélite para la década de los 90; se desconoce la causa por la que en el USGS no se encuentra disponibilidad de las mismas. La limitación de estas imágenes provoca que no se puedan realizar análisis multitemporales completos para evaluar los cambios sufridos en las superficies. Tener imágenes de todos los años también ayuda a digitalizar mejor los incendios, al apreciarse con mayor precisión el perímetro del mismo.

Aún teniendo imágenes con incendios recién ocurridos, se ha tenido ligeros problemas para la digitalización de los mismos. Los píxeles localizados en zonas agrícolas tienen una respuesta espectral similar a la de las zonas quemadas.

Los datos proporcionados por la DGA han sido de gran ayuda, pero en ellos se ha apreciado algunos errores. En la capa de incendios facilitada, el contorno de algunos incendios no reflejaba con exactitud la silueta del incendio. En la base de datos se ha apreciado que estaba mal reflejada la superficie en hectáreas de algunos incendios, provocando que el análisis de comparación entre las hectáreas ofrecidas por la DGA y las hectáreas detectadas mediante Teledetección sufra perturbaciones. Al apreciar algunas desigualdades, se ha comprobado que los datos de la DGA eran erróneos y se han corregido.

El método empleado por la DGA y el realizado mediante el uso de la Teledetección son compatibles como se ha demostrado en las comparaciones realizadas anteriormente. En el método empleado por la DGA se aprecian limitaciones en la toma de los datos (error en la toma con el GPS) o limitacio-

nes para sobrevolar determinadas localizaciones como por ejemplo el campo de tiro militar de San Gregorio. En el año 2011 sufrió un incendio, del que la DGA sólo tiene constancia de 50has quemadas, las que detectaron fuera de la base militar, ya que no se tiene permitido el vuelo dentro de estas instalaciones a la aviación civil. Las hectáreas del incendio que se perimetraron utilizando imágenes de satélite fueron 690. El buen uso de la Teledetección puede solventar las limitaciones de toma de datos de la DGA.

Respecto a los datos de los resultados obtenidos en este trabajo, decir que reflejan la fiabilidad de las imágenes de satélite Landsat para facilitar resultados satisfactorios de los análisis realizados.

Como se aprecia en los resultados, el empleo de la Teledetección para la detección de los incendios es viable, dando buenos resultados al ser comparados con los datos proporcionados por la DGA. El inventario realizado para conseguir las especies forestales afectadas por el fuego da buenos resultados pudiéndose acercarse a la verdad terreno. Los resultados de los índices empleados facilitan la interpretación del estado de la vegetación antes y después del incendio, realizando un seguimiento de la regeneración de los mismos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Bastarrika Izagirre, A. Chuvieco Salinero, E y Pilar Martín Isabel, M. (2008). Comparación de productos de área quemada obtenidos mediante imágenes de satélite en la Península Ibérica.
- Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006). "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204
- Chander, G., Markham, B.L. y Helder, D.L. (2009). "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, pp. 893–903
- Chavez, P. S. (1996). "Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 62 (9), pp.1025-1036.
- Chavez, P. S. (1996). "Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 62 (9), pp.1025-1036.
- Chuvieco, E. (1996): Fundamentos de teledetección espacial. Rialp, Madrid, 568 pp.
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel. Barcelona. 590 pp.
- Chuvieco, E., Martín, M.P. y Ventura, G., (2002). Evaluación de imágenes NOAA-AVHRR y Terra-MODIS para cartografía regional de áreas quemadas. *X Simposio Internacional de la Sociedad de Expertos Latinoamericanos en Percepción Remota (SELPER)*. Cochabamba. Bolivia.

- De las Heras, J., López, R. y Moya, D. (2011). Los grandes incendios forestales de la sierra de Alca-raz-Segura: consecuencias y medidas de restauración. *Redforesta Red Social de los Profesionales del Medio Natural*.
- De Santis, A. y Chuvieco Salinero, E.. (2008). Análisis Comparativo de Sensores Espaciales para la Cartografía de la Severidad en el Incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). *Revista de Teledetección*.
- De Santis, A. y Vaughan, P. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos Rurais nº 5*
- Díaz-Delgado Hernández, R. (2000). Caracterización mediante Teledetección del régimen de incendios forestales en Cataluña (periodo 1975-98) y su influencia en los procesos de regeneración.
- Ecuin, S., Navarro, R. and Fernández, P. (2008). "Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images". *International Journal of Remote Sensing Vol. 29*
- Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden, M. L., Griffin, K. L., Hartley A. E., Joel G., Peñuelas, J. y Valentini, R. (1995). Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian Vegetation types. *Ecological Applications*, 5:28-41.
- García Martín, A. (2011): "Tratamiento digital de las imágenes de satélite: realces, corrección radiométrica, extracción de parámetros físicos y transformaciones aplicadas a la imagen." *Material docente del Máster Universitario Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección*. Universidad de Zaragoza
- García Martín, A. (2012). Evaluación del potencial energético de los bosques de Teruel mediante teledetección y SIG. Ed. Consejo Económico y Social de Aragón
- García-Martín, A, De la Riva, J, Pérez-Cabello, F y R. Montorio (2009). Estimación de la biomasa residual forestal en el contexto de la gestión de los incendios forestales en áreas mediterráneas. *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp. 345-348
- Gilabert , M.A., González -Piqueras , J. y García -Haro , J. (1997). "Acerca de los índices de vegetación". *Revista de Teledetección*, Vol. 8, pp. 1-10.
- Gilabert, M. A., C. Conese, et al. (1994). "An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectance from TM images". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15 (10), pp. 2065-2086.
- Gómez Nieto, I., Martín Isabel, M. P. (2008). Estudio comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes modis. *Revista de Teledetección número 29*.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., Cristóbal, J., Peces, J. J. y Teijeiro, J. A. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección 36, 51-61*.

- Key, C.H. y Benson, N.C. (2004). Ground Measure of Severity, The Composite Burn Index. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- Key, C.H., y Benson, N.C. (2006). Landscape assessment (LA). In D.C. Lutes, R.E. Keane, J.F. Caratti, C.H. Key, N.C. Benson, S. Sutherland y L.J. Gangi (Eds.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system (pp. 1-55). Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD.
- Lutes, Duncan C., Keane, Robert E., Caratti, John F., Key, Carl H., Benson, Nathan C., Sutherland, Steve, Gangi, Larry J. (2006). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD.*
- Pérez-Cabello, F. y Ibarra, P. (2004). Procesos de regeneración vegetal en comunidades incendiadas (Prepirineo Oscense)
- Pérez-Cabello, F., Ibarra Benlloch, P., de la Riva Fernández, J., Echeverría Arnedo, M. T., Montorio Llovería, R., García-Martín (2007), A. Impacto de los incendios forestales en comunidades vegetales sub-mediterráneas: evaluación multitemporal de la diversidad del paisaje utilizando imágenes landsat tm. *Cuadernos de Investigación Geográfica* N° 33 pp. 101-114
- Pezzola, A., C Winschel, Y R. Sanchez, (2002). Evaluación de la superficie afectada por incenios en los partidos de Villarino y Patagones. Provincia de Buenos Aires 2001/2002. Lab. de Teledetección y SIG - EEA INTA H. Ascasubi. Bs As. Argentina
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deerino, D. W. y Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*. NASA/OSFC. Type III. Final Report. Oreenbello MD. pp. 371
- Tejedor, F.J. (1999). Análisis de varianza. Ed. La muralla S.A. Madrid. 192pp.

7. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos utilizada

COD	PROV	MUN_1	MUN_2	MUN_3	FECHA	AÑO	HA DGA	HA REAL	ESC_1	ESC_2	FEHA IMAGEN
11	ZGZ	Sos del Rey Católico			15/08/1974	1974	85	16	199_31	200_31	31/01/1975
12	ZGZ	Azuara			16/08/1974	1974	61	49	199_31		04/08/1987
14	ZGZ	Los Fayos	Tarazona		02/03/1975	1975	260	271	200_31		03/06/1975
19	ZGZ	Tobed			02/08/1975	1975	200	105	199_31	200_31	12/09/1984
27	ZGZ	Agüero	Luna		25/07/1978	1978	1100	1819	199_31	200_31	12/09/1984
29	ZGZ	Épila	Tabuenca		13/08/1978	1978	300	188	199_31	200_31	12/09/1984
34	ZGZ	Castiliscar			19/09/1978	1978	84	74	199_31	200_31	12/09/1984
35	ZGZ	Purujosa			21/09/1978	1978	300	145	200_31		12/09/1984
41	ZGZ	Luna	Orés		12/05/1979	1979	312	488	199_31	200_31	12/09/1984
45	ZGZ	Zuera			08/07/1979	1979	697	792	199_31	200_31	12/09/1984
50	ZGZ	Herrera de los Navarros			16/08/1979	1979	68	38	199_31		12/09/1984
54	ZGZ	Bubierca	Castejón de las Armas		25/07/1980	1980	350	197	200_31		12/09/1984
55	ZGZ	Gotor	Illueca		28/07/1980	1980	152	156	200_31		12/09/1984
59	ZGZ	Sos del Rey Católico			06/08/1980	1980	210	180	200_31		12/09/1984
65	ZGZ	Castiliscar			18/08/1980	1980	40	100	200_31		12/09/1984
72	HU	Las Peñas de Riglos			07/09/1980	1980	258	218	199_31	200_31	12/09/1984
74	HU	Las Peñas de Riglos			12/09/1980	1980	230	275	199_31	200_31	12/09/1984
84	ZGZ	Tarazona			18/03/1981	1981	50	94	200_31		12/09/1984
86	ZGZ	Ateca	Bubierca		19/03/1981	1981	150	160	200_31		12/09/1984
94	ZGZ	Tosos			11/07/1981	1981	90	67	199_31	200_31	12/09/1984
95	ZGZ	Agüero	Luna	Murillo de Gállego	13/07/1981	1981	1115	2031	199_31		12/09/1984
96	HU	Agüero			15/07/1981	1981	60	52	199_31	200_31	12/09/1984
97	ZGZ	Villalengua			28/07/1981	1981	53	35	200_31		12/09/1984
101	ZGZ	Tarazona			17/08/1981	1981	50	76	200_31		12/09/1984
102	HU	Loarre			26/08/1981	1981	110	145	199_31	200_31	12/09/1984
109	ZGZ	San Martín del Río	Villanueva de Jiloca		07/11/1981	1981	50	54	200_31		12/09/1984
110	ZGZ	Borja	Bulbunte	Tarazona	07/11/1981	1981	200	112	200_31		12/09/1984
118	ZGZ	Ateca	Bubierca	Moros	15/07/1982	1982	625	670	200_31		12/09/1984
121	ZGZ	Calatayud	Paracuellos de la Ribera	Sabiñán	15/04/1983	1983	200	40	199_31	200_31	12/09/1984
122	HU	Bailo	Las Peñas de Riglos		31/05/1983	1983	100	288	199_31	200_31	12/09/1984
123	ZGZ	Abanto			07/06/1983	1983	50	22	200_31		12/09/1984
130	ZGZ	Asin	Biota	Luesia	30/07/1983	1983	2000	2618	199_31	200_31	12/09/1984
132	ZGZ	Ainzón	Tabuenca		15/08/1983	1983	220	265	199_31	200_31	12/09/1984
135	ZGZ	Calatayud	El Frasno	Paracuellos de la Ribera	23/07/1984	1984	1000	1216	199_31	200_31	12/09/1984
137	HU	Caldearenas			31/07/1984	1984	70	58	199_31		04/08/1987
140	ZGZ	Alhama de Aragón	Contamina	Ibdes	01/09/1984	1984	50	29	200_31		12/09/1984
141	ZGZ	Calatayud	Sediles		01/09/1984	1984	135,5	147	199_31	200_31	12/09/1984
149	HU	Loarre			26/07/1985	1985	100	60	199_31	200_31	04/08/1987

150	HU	Caldearenas	Las Peñas de Riglos		05/08/1985	1985	700	815	199_31	200_31	04/08/1987
153	HU	Anzánigo	Caldearenas		23/08/1985	1985	1050	847	199_31	200_31	04/08/1987
161	ZGZ	Tarazona			05/03/1986	1986	60	23	200_31		04/08/1987
164	ZGZ	Zuera	Castejón de Valdejasa		01/07/1986	1986	587	377	199_31		04/08/1987
166	ZGZ	Sos del Rey Católico			13/07/1986	1986	30	33	200_31		04/08/1987
167	ZGZ	Murillo de Gállego			15/07/1986	1986	80	37	199_31		04/08/1987
168	ZGZ	Ateca	Bubierca		18/07/1986	1986	95	79	200_31		04/08/1987
171	HU	Caldearenas			31/07/1986	1986	550	356	199_31	200_31	04/08/1987
174	HU	Las Peñas de Riglos			21/08/1986	1986	120	109	199_31	200_31	04/08/1987
177	ZGZ	Agüero	Las Peñas de Riglos	Murillo de Gállego	24/08/1986	1986	454	1229	199_31	200_31	04/08/1987
178	HU	Ayerbe			01/09/1986	1986	75	18	199_31	200_31	04/08/1987
180	ZGZ	Luna			16/08/1987	1987	380	474	199_31		28/08/1990
181	ZGZ	Calcena	Talamantes		21/08/1987	1987	240	37	200_31		28/08/1990
183	ZGZ	Tabuena			22/08/1987	1987	50	30	200_31		28/08/1990
184	ZGZ	Fuentes de Jiloca	Montón		13/09/1987	1987	541	591	199_31	200_31	28/08/1990
195	ZGZ	Ateca	Bubierca	Moros	05/08/1989	1989	295	82	200_31		28/08/1990
198	ZGZ	Biel			29/08/1989	1989	110	83	199_31	200_31	28/08/1990
206	ZGZ	Las Peñas de Riglos	Longás		12/08/1990	1990	400	351	200_31		28/08/1990
223	ZGZ	Orcajo	Used		21/08/1991	1991	195	125	199_31	200_31	28/08/1990
224	ZGZ	Añón de Moncayo	Ambel	Talamantes	27/08/1991	1991	1836	1945	200_31		28/08/1999
231	ZGZ	Calcena	Purujosa	Talamantes	12/09/1993	1993	3199	3730	200_31		28/08/1999
235	ZGZ	Calatayud			18/06/1994	1994	200	65	200_31		28/08/1999
239	ZGZ	Añón de Moncayo			16/07/1994	1994	140	68	200_31		28/08/1999
240	ZGZ	Tabuena	Trasobares		17/07/1994	1994	425	405	200_31		28/08/1999
242	ZGZ	Tabuena	Tierga		28/07/1994	1994	300	434	200_31		28/08/1999
243	ZGZ	Épila	Nigüella		28/07/1994	1994	340	428	199_31	200_31	28/08/1999
244	ZGZ	Calcena			28/07/1994	1994	50	15	200_31		28/08/1999
251	ZGZ	Zuera			23/06/1995	1995	4200	2323	199_31		28/08/1999
266	ZGZ	Luna	Murillo de Gállego		01/08/1998	1998	52	52	199_31		28/08/1999
267	ZGZ	Purujosa			28/08/1998	1998	0	2			28/08/1999
272	ZGZ	Luesia			25/08/2000	2000	210	200	199_31	200_31	01/07/2001
278	ZGZ	Ariza			26/06/2001	2001	103,49	109	200_31		01/07/2001
285	HU	Las Peñas de Riglos	Loarre	Murillo de Gállego	01/08/2001	2001	3277	3207	199_31	200_31	06/11/2011
287	ZGZ	Villanueva de Huerva			01/08/2001	2001	62,3	47	200_31		06/09/2002
291	ZGZ	Sos del Rey Católico			03/02/2002	2002	0	42	200_31		02/06/2002
295	HU	Lupiñén Orilla			21/06/2002	2002	60	38	199_31	200_31	06/09/2002
298	ZGZ	Uncastillo			24/07/2002	2002	251,42	257	200_31	200_31	06/09/2002
303	HU	Ayerbe	Biscarrués		30/06/2003	2003	180	179	199_31	200_31	31/07/2003
304	ZGZ	Luesia			29/07/2003	2003	93,55	52	200_31		31/07/2003
305	ZGZ	Encinacorba			29/07/2003	2003	280,29	232	200_31		31/07/2003
311	ZGZ	Abanto			08/08/2004	2004	107,5	100	200_31		11/08/2007
313	ZGZ	Zaragoza			01/09/2004	2004	630	717	200_31		11/08/2007

314	ZGZ	Nuévalos			16/07/2005	2005	291,43	273	200_31		11/08/2007
315	ZGZ	Encinacorba			02/08/2005	2005	82,66	72	200_31		11/08/2007
316	ZGZ	Luna			14/08/2005	2005	140,15	501	200_31		11/08/2007
320	ZGZ	Uncastillo			14/06/2006	2006	227,58	225	200_31		11/08/2007
322	ZGZ	Sos del Rey Católico			15/06/2006	2006	72	250	200_31		11/08/2007
327	ZGZ	Ariza			15/07/2006	2006	67	54	200_31		11/08/2007
328	ZGZ	Zuera	Zaragoza		25/07/2006	2006	39,26	35	200_31		11/08/2007
332	ZGZ	Tauste			03/03/2007	2007	0	23	200_31		11/08/2007
341	ZGZ	Badules			09/07/2007	2007	0	6	200_31		11/08/2007
343	ZGZ	Biota	Sádaba		23/07/2007	2007	0	13	200_31		11/08/2007
346	ZGZ	Asín			31/07/2007	2007	0	6	200_31		11/08/2007
347	ZGZ	Tarazona			03/08/2007	2007	0	48	200_31		11/08/2007
353	ZGZ	Ateca			28/08/2007	2007	0	6	200_31		15/07/2009
382	ZGZ	Carenas			30/03/2008	2008	0	14	200_31		15/07/2009
383	ZGZ	Torralba de Ribota			03/04/2008	2008	0	14	200_31		15/07/2009
392	ZGZ	Zuera	Castejón de Valdejasa	Zaragoza	05/08/2008	2008	2513,7	2498	200_31		15/07/2009
393	ZGZ	El Frasno			05/09/2008	2008	0	9	200_31		15/07/2009
406	ZGZ	Talamantes			11/06/2009	2009	0	2	200_31		15/07/2009
408	ZGZ	Castiliscar			22/06/2009	2009	0	8	200_31		15/07/2009
409	ZGZ	Piedratajada			22/06/2009	2009	0	39	200_31		15/07/2009
410	ZGZ	Luceni			26/06/2009	2009	0	18	200_31		15/07/2009
412	ZGZ	Badules			12/07/2009	2009	0	60	200_31		15/07/2009
416	ZGZ	Morés	Arándiga	Chodes	22/07/2009	2009	560,94	625	200_31		18/07/2010
417	ZGZ	Jaulín	Valmadrid	Puebla de Albortón	29/07/2009	2009	1705,4	1590	200_31		18/07/2010
418	ZGZ	Terrer	La Vilueña	Paracuellos de Jiloca	01/08/2009	2009	678,9	638	200_31		03/10/2009
419	ZGZ	María de Huerva			11/08/2009	2009	0	6	200_31		03/10/2009
420	ZGZ	Zaragoza	Tauste	Torres de Berrellén	18/08/2009	2009	6977,6	6845	200_31		03/10/2009
421	ZGZ	Añón de Moncayo			29/08/2009	2009	0	7	200_31		03/10/2009
430	ZGZ	Zaragoza			28/06/2011	2011	50	690	200_31		05/07/2011
432	TER	Fonfría	Torrecilla	Allueva		1984	0	723	200_31		12/09/1984
433	ZGZ	Luesia				1984	0	29	200_31		12/09/1984
434	ZGZ	Sos del Rey Católico				1984	0	23	200_31		12/09/1984
435	ZGZ	Sos del Rey Católico				1984	0	4	200_31		12/09/1984
436	ZGZ	Aranda de Moncayo				1984	0	6	200_31		12/09/1984
437	ZGZ	Zaragoza				1984	0	195	200_31		12/09/1984
438	ZGZ	Ateca				1984	0	8	200_31		12/09/1984
439	ZGZ	Alhama de Aragón				1984	0	9	200_31		12/09/1984
440	ZGZ	Longás				1990	0	1	200_31		28/08/1990
441	ZGZ	Las Peñas de Riglos				1990	0	3	200_31		28/08/1990
442	ZGZ	Añón de Moncayo				1999	0	30	200_31		28/08/1999
443	TER	Salcedillo	Segura de Los Baños	Villanueva del Rebo-llar de La Sierra		1984	0	509	199_31	200_31	03/07/1984

444	ZGZ	Vierlas				1984	0	6	200_31		12/09/1984
445	ZGZ	Luesia				1984	0	6	200_31		12/09/1984
446	ZGZ	Zuera				1990	0	26	200_31		28/08/1990
447	ZGZ	Zuera				1987	0	16	200_31		04/08/1987
448	ZGZ	Zuera				2002	0	34	200_31		06/09/2002
449	ZGZ	Tabuena				1990	0	10	200_31		28/08/1990
450	ZGZ	Valpalmas				1999	0	6	200_31		28/08/1999
451	ZGZ	Talamantes	Ambel			2000	0	34	200_31		30/07/2000
452	ZGZ	Sierra de Luna			17/10/2010	2010	72	66	200_31		18/07/2010
453	ZGZ	Sos del Rey Católico				2002	0	6	200_31		06/09/2002
454	ZGZ	Badules				2007	0	15	200_31		11/08/2007
455	ZGZ	Zaragoza				2003	0	16	200_31		31/07/2003
456	ZGZ	Zaragoza				2007	0	3	200_31		11/08/2007
457	ZGZ	Talamantes				2010	0	7	200_31		18/07/2010
458	HU	Ayerbe	Biscarrués			2002	0	4	200_31		06/09/2002
459	ZGZ	Épila	Ricla			1990	0	24	200_31		28/08/1990
460	ZGZ	Biel				1990	0	12	200_31		28/08/1990
461	ZGZ	Luna				1990	0	11	200_31		28/08/1990
462	ZGZ	Tauste				1990	0	2	200_31		28/08/1990
463	ZGZ	Aguilón				1984	0	9	200_31		12/09/1984
464	ZGZ	Valmadrid				2003	0	13	200_31		31/07/2003
465	ZGZ	María de Huerva				2007	0	7	200_31		11/08/2007
466	ZGZ	La Sotonera	Loscorrales			2011	0	18	200_31		05/07/2011
467	ZGZ	Cuarte de Huerva				2011	0	9	200_31		05/07/2011

Anexo 2

IMAGEN 12_09_1984	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	46	15	10	7	1	1
FRECUENCIA	120	47	22	27	109	215
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	169	333	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	28,69023622	15,6708661	8,2257874	3,74614173	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	140.9896094					
SUN_ELEVATION	45.5630590					
DIA JULIANO	256					
IMAGEN 04_08_1987	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	61	23	18	17	12	5
FRECUENCIA	15	15	29	28	7	4
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	169	333	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	38,76031496	26,2485039	16,5775984	12,506378	0,95389764	0,11220472
SUN_AZIMUTH	125,0533100					

SUN_ELEVATION	54,8574439					
DIA JULIANO	216					
IMAGEN 27_07_1990	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	53	17	12	8	4	1
FRECUENCIA	4	19	32	2	9	15
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	169	333	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	33,3896063	18,3152756	10,3137402	4,62216535	-0,00893701	-0,15
SUN_AZIMUTH	120.8533163					
SUN_ELEVATION	55.2403955					
DIA JULIANO	208					
IMAGEN 28_08_1990	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	47	15	11	10	2	2
FRECUENCIA	13	10	43	44	7	9
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	169	333	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	29,3615748	15,6708661	9,26976378	6,3742126	-0,24964567	-0,08444882
SUN_AZIMUTH	131.9624789					
SUN_ELEVATION	48.5408986					
DIA JULIANO	240					
IMAGEN 29_08_1999	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	50	30	20	17	1	1
FRECUENCIA	21	39	1	18	1	3
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	191,60	196,50	152,90	157,40	31,06	10,80
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-6,20	-6,40	-5,00	-5,10	-1,00	-0,35
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	31,95826772	16,765748	6,81141732	5,13622047	-1	-0,35
SUN_AZIMUTH	143.3514818					
SUN_ELEVATION	52.4882429					
DIA JULIANO	241					
IMAGEN 30_07_2000	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	54	34	24	10	1	1
FRECUENCIA	31	6	10	45	2	2
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	191,60	196,50	152,90	241,10	31,06	10,80
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-6,20	-6,40	-5,00	-5,10	-1,00	-0,35
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	35,07322835	19,9610236	9,2980315	3,62362205	-1	-0,35
SUN_AZIMUTH	132.4704800					
SUN_ELEVATION	59.2817349					
DIA JULIANO	212					
IMAGEN 01_07_2001	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	57	36	25	13	6	1
FRECUENCIA	3	6	1	1	6	2
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	191,60	196,50	152,90	241,10	31,06	10,80
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-6,20	-6,40	-5,00	-5,10	-1,00	-0,35
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	37,40944882	21,5586614	9,91968504	6,53149606	-0,36889764	-0,35
SUN_AZIMUTH	126.6943259					
SUN_ELEVATION	63.0867651					
DIA JULIANO	182					
IMAGEN 06_09_2002	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	32	19	13	11	3	2
FRECUENCIA	189	19	15	222	4	1
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	293,70	300,90	234,40	241,10	47,57	16,54
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-6,20	-6,40	-5,00	-5,10	-1,00	-0,35
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	30,4019685	15,3771654	6,31023622	4,59291339	-0,61755906	-0,28350394
SUN_AZIMUTH	144.5580989					

SUN_ELEVATION	49.4997775					
DIA JULIANO	249					
IMAGEN 31_07_2003	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	44	14	10	2	1	1
FRECUENCIA	16	2	2	1	7	8
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	193	365	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	31,41055118	15,9864567	8,2257874	-0,63397638	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	127.3902753					
SUN_ELEVATION	57.1745610					
DIA JULIANO	212					
IMAGEN 11_08_2007	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	46	16	12	6	1	1
FRECUENCIA	22	10	16	1	51	11
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	193	365	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	32,94220472	18,8828346	10,3137402	2,87011811	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	137.0336338					
SUN_ELEVATION	57.1957277					
DIA JULIANO	223					
IMAGEN 15_07_2009	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	47	16	12	6	1	1
FRECUENCIA	12	11	27	11	4	8
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	193	365	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	33,7080315	18,8828346	10,3137402	2,87011811	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	128.0262218					
SUN_ELEVATION	61.4880117					
DIA JULIANO	196					
IMAGEN 18_07_2010	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	44	15	11	6	1	1
FRECUENCIA	30	67	110	27	2	7
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	193	365	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	31,41055118	17,4346457	9,26976378	2,87011811	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	129.1357838					
SUN_ELEVATION	61.3111285					
DIA JULIANO	199					
IMAGEN 05_07_2011	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
VALOR MÍNIMO HISTOGRAMA	45	15	11	8	1	1
FRECUENCIA	19	16	14	8	2	2
VALOR MÁXIMO DE RADIANCE	193	365	264	221	30,20	16,50
VALOR MÍNIMO DE RADIANCE	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	-0,15
QCALMAX	255	255	255	255	255	255
QCALMIN	1	1	1	1	1	1
CHANDER	32,17637795	17,4346457	9,26976378	4,62216535	-0,37	-0,15
SUN_AZIMUTH	126,8546403					
SUN_ELEVATION	62,7578138					
DIA JULIANO	186					