



Estudio de la regeneración de la superficie afectada por incendios forestales en la provincia de Valencia

Autor: Pablo Navarro Traver

Tutor: Jorge Abel Recio Recio

Fecha: 10 de Julio de 2017

Índice

1. Introducción	7
2. Datos.....	9
2.1. Imágenes de satélite.....	9
2.2. Datos de incendios	13
3. Preprocesado.....	27
3.1. Comprobación corrección geométrica	27
3.2. Corrección del SLC-Off.....	30
3.3. Ajuste de media y desviación típica	48
4. Metodología	59
4.1. Cálculo de NDVI	59
4.2. Cálculo de NBR	62
4.3. Análisis de gráficas	65
4.4. Delimitación de incendios mediante umbralización	79
4.5. Generación de máscaras-verdad terreno	93
4.6. Evaluación de índices NDVI y NBR.....	96
4.7. Análisis de la regeneración de la vegetación en las zonas incendiadas.....	108
5. Presupuesto	129
6. Conclusiones.....	130
7. Agradecimientos.....	131
8. Bibliografía.....	132
9. Anejos	134



Índice de figuras

Fig 1	4
Fig 2	5
Fig 3	6
Fig 4	7
Fig 5	7
Fig 6	8
Fig 7	9
Fig 8	10
Fig 9	10
Fig 10	11
Fig 11	11
Fig 12	12
Fig 13	12
Fig 14	13
Fig 15	13
Fig 16	14
Fig 17	14
Fig 18	15
Fig 19	16
Fig 20	16
Fig 21	17
Fig 22	17
Fig 23	18
Fig 24	18
Fig 25	19
Fig 26	19
Fig 27	20
Fig 28	21



Fig 29.....	21
Fig 30.....	22
Fig 31.....	23
Fig 32.....	24
Fig 33.....	25
Fig 34.....	25
Fig 35.....	26
Fig 36.....	27
Fig 37.....	27
Fig 38.....	31
Fig 39.....	32
Fig 40.....	33
Fig 41.....	34
Fig 42.....	35
Fig 43.....	36
Fig 44.....	36
Fig 45.....	38
Fig 46.....	38
Fig 47.....	40
Fig 48.....	40
Fig 49.....	41
Fig 50.....	41
Fig 51.....	42
Fig 52.....	43
Fig 53.....	44
Fig 54.....	45
Fig 55.....	46
Fig 56.....	47
Fig 57.....	48
Fig 58.....	49
Fig 59.....	50
Fig 60.....	51
Fig 61.....	51
Fig 62.....	51



Fig 63.....	54
Fig 64.....	55
Fig 65.....	56
Fig 66.....	56
Fig 67.....	57
Fig 68.....	57
Fig 69.....	58
Fig 70.....	58
Fig 71.....	59
Fig 72.....	59
Fig 73.....	60
Fig 74.....	61
Fig 75.....	62
Fig 76.....	63
Fig 77.....	63
Fig 78.....	64
Fig 79.....	66
Fig 80.....	67
Fig 81.....	68
Fig 82.....	69
Fig 83.....	70
Fig 84.....	71
Fig 85.....	72
Fig 86.....	73
Fig 87.....	74
Fig 88.....	75
Fig 89.....	76
Fig 90.....	76
Fig 91.....	77
Fig 92.....	78
Fig 93.....	79
Fig 94.....	79
Fig 95.....	80
Fig 96.....	80



Fig 97.....	81
Fig 98.....	82
Fig 99.....	82
Fig 100.....	83
Fig 101.....	83
Fig 102.....	84
Fig 103.....	84
Fig 104.....	85
Fig 105.....	85
Fig 106.....	86
Fig 107.....	87
Fig 108.....	88
Fig 109.....	88
Fig 110.....	89
Fig 111.....	89
Fig 112.....	90
Fig 113.....	90
Fig 114.....	91
Fig 115.....	91
Fig 116.....	91
Fig 117.....	92
Fig 118.....	93
Fig 119.....	93
Fig 120.....	93
Fig 121.....	93
Fig 122.....	94
Fig 123.....	95
Fig 124.....	96
Fig 125.....	97
Fig 126.....	98
Fig 127.....	99
Fig 128.....	100
Fig 129.....	101
Fig 130.....	102



Fig 131	103
Fig 132.....	104
Fig 133.....	105
Fig 134.....	106
Fig 135.....	107
Fig 136.....	108
Fig 137.....	108
Fig 138.....	109
Fig 139.....	110
Fig 140.....	111
Fig 141	111
Fig 142.....	112
Fig 143.....	112
Fig 144.....	113
Fig 145.....	113
Fig 146.....	114
Fig 147.....	114
Fig 148.....	115
Fig 149.....	116
Fig 150.....	116
Fig 151.....	117
Fig 152.....	118
Fig 153.....	118
Fig 154.....	119
Fig 155.....	119
Fig 156.....	120
Fig 157.....	120
Fig 158.....	121
Fig 159.....	122
Fig 160.....	122
Fig 161	123
Fig 162.....	123

1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar, he escogido este proyecto debido a la gran cantidad de incendios que existían, existen y existirán en España. Está considerado como un problema bastante grave, debido a las pérdidas tanto de fauna y flora como de patrimonio.

Considero que el control, seguimiento y finalmente extinción de los incendios es una tarea imprescindible en nuestra sociedad. Por ello, hoy en día existen los sistemas de detección en tiempo real de incendios forestales por satélite, para ayudarnos a combatir dicho problema.

Es indispensable esta herramienta, ya que podemos actuar rápidamente frente al problema y poder dar soluciones efectivas a los cuerpos de extinción. Y a lo largo de los años siguientes, realizar un estudio multitemporal de la zona afectada para observar los cambios en la vegetación y de esta forma poder conocer de primera mano las zonas que han sido más dañadas por el fuego y las que han sufrido menos daño. Además, podemos realizar un plan de regeneración del ecosistema con toda la información obtenida.

Para realizar este proyecto, me he basado en el artículo escrito por el señor Chengquan Huang, llamado 'An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks', en el que describe la elaboración de un análisis multitemporal de un incendio en Estados Unidos. En este estudio se describe cómo ha adquirido los datos necesarios para poder realizar ese trabajo, los diferentes pasos que ha seguido para poder visualizar el progreso de la vegetación a lo largo de los años de estudio.

También podemos utilizar el cálculo de índices espectrales, para poder conocer la cantidad de vegetación que hay en un área en concreto, por lo que, podremos saber con exactitud, cuánta vegetación existe en nuestra área de estudio en el transcurso de los años.

El proyecto se divide en diferentes secciones, que son las siguientes: una breve introducción en la que expongo el motivo por el cual he elegido este proyecto las bases en las que se fundamenta. El punto de partida, en el que explico los pasos que he seguido para poder conseguir los datos necesarios para el posterior procesado de las imágenes.

La metodología, consiste en el procesado de las imágenes para poder alcanzar nuestro objetivo, que es la visualización de los cambios de la vegetación a lo largo de los años de estudio. El estudio de los resultados, en el que se analizan las soluciones alcanzadas a lo largo de un periodo de tiempo estipulado y el grado de crecimiento forestal que han tenido las áreas de estudio afectadas por los incendios durante estos años.

Los objetivos de este proyecto son el análisis de las zonas afectadas por los incendios y principalmente, el estudio de la posterior regeneración de la vegetación en dichas zonas quemadas a lo largo del periodo.

Y el último apartado, en el que hago referencia a las conclusiones extraídas de los análisis anteriormente citados.

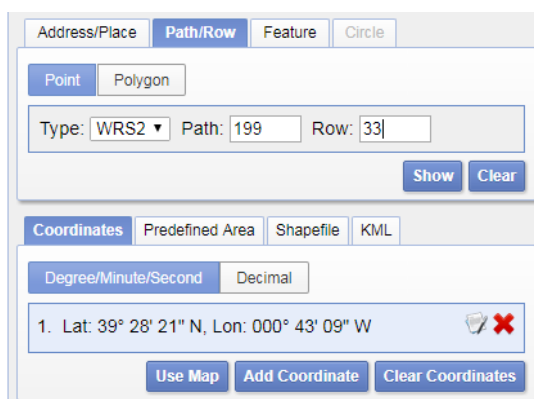


Fig 1. Incendio forestal visto desde el aire

2. DATOS

2.1 Imágenes de satélite

En primer lugar, decidimos utilizar imágenes Landsat para este proyecto porque es un satélite que ofrece una mayor cobertura a lo largo de los años y podemos tener más facilidad para descargarnos las imágenes gratuitamente. Hemos acudido a la página de Earth Explorer para poder efectuar la descarga de las imágenes de las zonas de estudio, en este caso, de los municipios de Chiva, Simat de la Vall d'Alcalá, Benifallim, Villamarxant, Vall D'Alcalá, Rafelguaraf, Ontinyent, Cortes de Pallas, Requena (Los Pedrones), Lloc Nou de Sant Jeroni, Agramón (Sierra de los Donceles), Bocairent (Sierra de Mariola). Las imágenes engloban todas las localidades anteriormente citadas, por lo que, previamente, hemos tenido que buscar las coordenadas geográficas (λ , φ) de las zonas de estudio. Las imágenes tienen el siguiente Path Row:



The screenshot shows the Earth Explorer interface with the following details:

- Tab: Path/Row
- Buttons: Point, Polygon
- Type: WRS2
- Path: 199
- Row: 33
- Buttons: Show, Clear
- Tab: Coordinates
- Buttons: Predefined Area, Shapefile, KML
- Format: Degree/Minute/Second
- Coordinate: 1. Lat: 39° 28' 21" N, Lon: 000° 43' 09" W
- Buttons: Use Map, Add Coordinate, Clear Coordinates

Fig 2. Path Row de la zona de estudio

La superficie que se representa en el anterior Path Row es la de la provincia de Valencia, parte de la provincia de Alicante y también parte de la provincia de Albacete, como se puede observar en la siguiente imagen, donde se representan las zonas que abarca la imagen:



Fig 3. Provincias que abarca nuestra zona de estudio.

En el proceso de descarga de las imágenes, hemos ido descargando imágenes cada 3 años, desde el año 2000 hasta el año 2015. Debido a que, en mi opinión, cada 3 años es un periodo de tiempo suficiente para poder observar algún cambio visual en el terreno afectado.

El procedimiento que seguimos para descargarnos las imágenes fue el siguiente: en primer lugar, en la pestaña de Data Sets acudimos a Landsat Archive / Pre-Collection/Landsat Surface Reflectance L7 ETM+. Cuando hemos seleccionado esa opción, nos vamos a la pestaña de Search Criteria y allí introducimos las coordenadas que engloban nuestras zonas de estudio y la fecha en la que estamos interesados y desde allí nos descargamos la imagen que más se ajusta a nuestras necesidades.

Dicho esto, en cada periodo de tiempo, Earth Explorer te ofrece bastantes tipos de imagen o de formatos de almacenamiento para descargar, como por ejemplo (.jpg, .zip, .tiff). En nuestro caso, nos las descargamos todas, pero por regla general, usaremos en este proyecto las imágenes en formato .TIFF ya que es un formato manejable con el programa ENVI para poder realizar un procesado de las imágenes más adelante.

En la siguiente imagen se puede ver el contenido del archivo .zip de una imagen:



Fig 4. Contenido del archivo .zip para cada año de estudio

A continuación, las imágenes de referencia que nos descargamos para poder realizar el estudio son las siguientes:

IMÁGENES REFERENCIA DESCARGADAS

AÑO	FECHA
2000	08/08/2000
2003	13/05/2003
2006	10/09/2006
2009	10/09/2009
2012	10/09/2012
2015	19/09/2015

Fig 5. Imágenes de referencia descargadas

En la siguiente imagen, mostramos las imágenes auxiliares o de apoyo que hemos utilizado para poder corregir las imágenes de referencia:

IMÁGENES USADAS PARA CORRECCION IMAG REFERENCIA

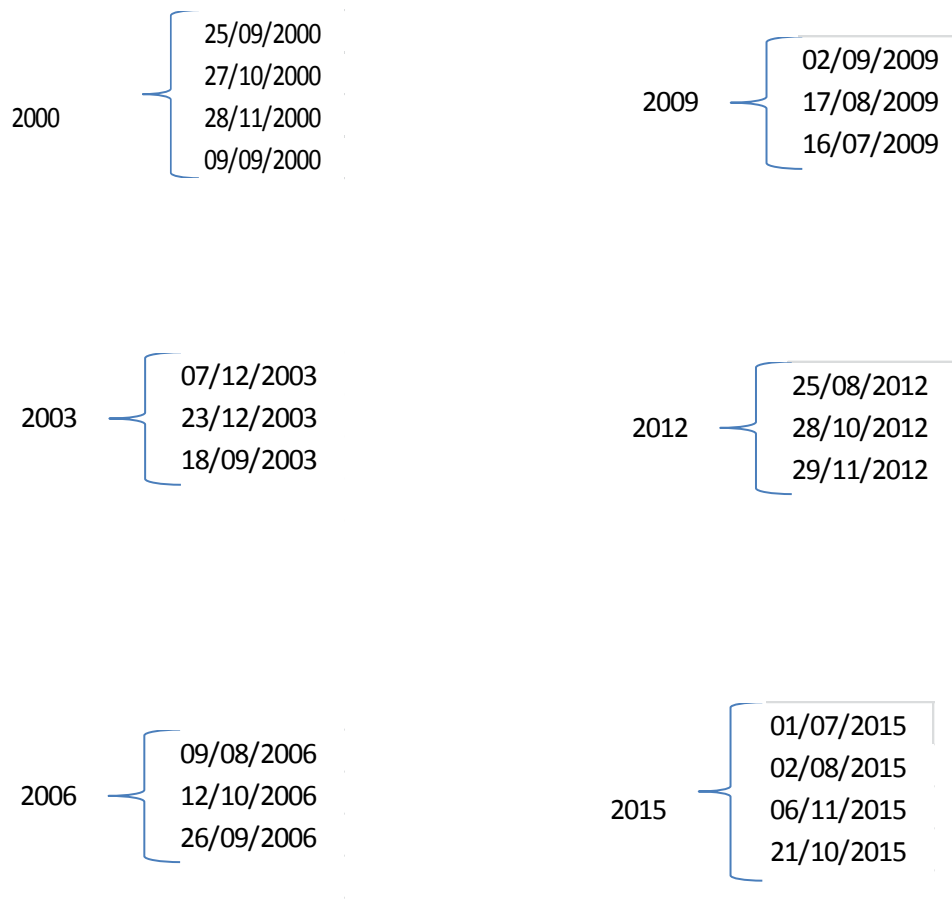


Fig 6. Imágenes usadas para la corrección de imágenes de referencia

En la imagen anterior indicamos las imágenes auxiliares que hemos utilizado para poder corregir las imágenes de referencia. Las imágenes que he utilizado para el estudio han sido las imágenes de referencia pero corregidas.

2.2 Datos de incendios

Previamente, acudimos a la página web de la Generalitat Valenciana para buscar las estadísticas de incendios forestales por año para analizar los incendios forestales desde el año 2000 hasta el año 2010, para posteriormente elegir los cuatro incendios forestales con mayor extensión de áreas quemadas en cada año.

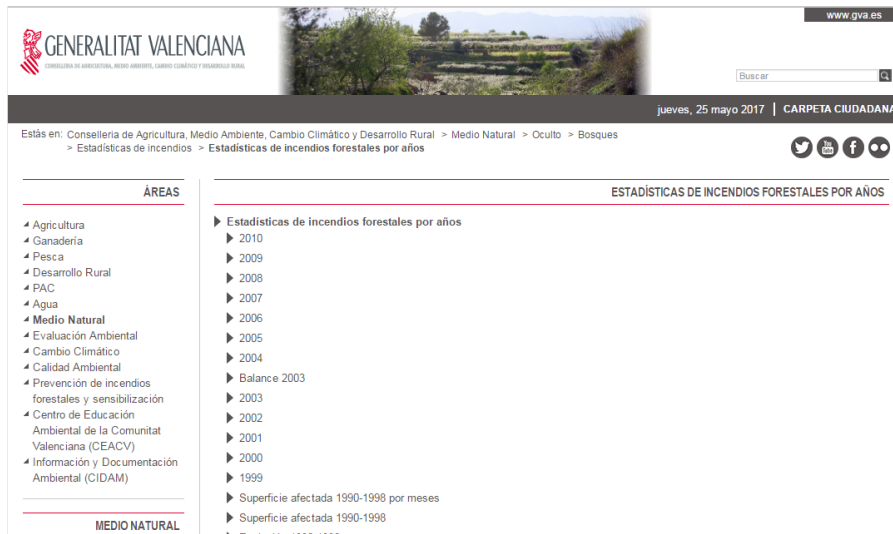


Fig 7. Estadísticas de incendios forestales (Fuente: Generalitat Valenciana)

Buscamos información sobre estos incendios en referencia a las fechas donde se produjeron, localización, hectáreas quemadas y tipo de vegetación quemada.

En las siguientes imágenes podemos observar los datos adquiridos de la página web de la Generalitat Valenciana para estudiar y examinar los incendios forestales más graves ocurridos durante nuestro periodo de estudio:

INCENDIOS FORESTALES 2000							
Provincia	Comarca	Municipio de inicio	Causas	Fecha	SUPERFICIE (Ha)		
Valencia	La Hoya de Buñol	Chiva	Intencionado	16/09/2000	415	1,808.00	2,223.00
Valencia	La Safor	Simat de la Valldigna	Intencionado	03/09/2000	510.5	807.3	1,317.80
Alicante	El Comtat	Planes	Intencionado	27/08/2000	101	522	623
Alicante	La Marina Alta	Xàbia/Jávea	Intencionado	26/08/2000	50	322.52	372.52
Castellón	La Plana Alta	Orpesa/Oropesa	Negligencia	15/07/2000	278	45	323
Alicante	La Marina Alta	Alcalalí	Negligencia	31/07/2000	102	125	227
Valencia	La Plana de Utiel-Requena	Requena	Otras	03/08/2000	160	35	195

Fig 8. Incendios forestales año 2000 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen anterior podemos observar cómo los incendios forestales más graves en el año 2000 surgieron en los municipios de Chiva, donde el incendio arrasó 415 hectáreas de vegetación rasa y 1080 hectáreas de bosque, Simat de la Valldigna con 510 hectáreas de matorral y 807 hectáreas de bosque. Y por último, tenemos otro incendio de tamaño medio, el del municipio de Planes donde se quemaron 100 hectáreas de matorral y 522 hectáreas de bosque. También nos llama la atención, que la gran mayoría de los incendios graves son provocados por la acción humana y suelen ser en fechas comprendidas entre los meses de Junio y Septiembre.

INCENDIOS FORESTALES 2001					SUPERFICIE (Ha)		
Provincia	Comarca	Municipio de inicio	Causas	Fecha	Arbolada	Rasa	Total
Castellón	EL BAIX MAESTRAT	Xert/Chert	Rayo	29/08/2001	1,258.03	1,941.97	3,200.00
Alicante	LA MARINA ALTA	Vall de Gallinera	Negligencia	09/08/2001	20	420	440
Valencia	LA SAFOR	Villalonga	Otras	25/06/2001	1	273	274
Valencia	LA HOYA DE BUÑOL	Chiva	Intencionado	29/08/2001	6	168.9	174.9
Castellón	LA PLANA ALTA	Sierra Engarcerán	Negligencia	29/08/2001	103	44	147
Valencia	EL CAMP DE MORVEDRE	Sagunto/Sagunt	Negligencia	24/03/2001	40	5	45
Valencia	LA SAFOR	vernes de la Valldigna	Intencionado	11/08/2001	16	19	35
Alicante	L'ALACANTÍ	Aigües	Intencionado	01/07/2001	12	8	20

Fig 9. Incendios forestales año 2001 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En esta imagen (Fig 9), podemos observar como los incendios forestales más graves en el año 2001 fueron dos incendios y otros dos incendios de tamaño medio. Se produjeron en los municipios de Xert, donde el incendio arrasó 1250 hectáreas de vegetación rasa y 1900 hectáreas de bosque, en Vall de Gallinera con 20 hectáreas de matorral y 420 hectáreas de bosque. Y por último, tenemos los dos incendios de tamaño medio, el primero en el municipio de Villalonga donde se quemó 1 hectárea de matorral y 273 hectáreas de bosque, y el segundo incendio apareció en el municipio de Chiva y quemó 6 hectáreas de matorral y 170 hectáreas de zona de bosque. En este caso dos de los incendios fueron intencionados y los otros dos incendios provocados por otras causas.

INCENDIOS FORESTALES 2002							
Provincia	Comarca	Municipio de inicio	Causas	Fecha	SUPERFICIE (Ha)		
					Arbolada	Rasa	Total
Alicante	L'ALCOIÀ	Benifallim	Líneas eléctricas	02/11/2002	165	45	210
Castellón	LA PLANA ALTA	Cabanes	Quema agrícola	09/11/2002	0	166	166
Alicante	LA MARINA ALTA	Benigembla	Intencionado	23/07/2002	35	115	150
Alicante	LA MARINA BAIXA	Callosa d'En Sarrià	Intencionado	09/11/2002	7.22	140.08	147.3
Valencia	LA VALL D'ALBAIDA	Benigánim	Intencionado	11/10/2002	10.4	90.6	101
Alicante	EL COMTAT	L'Orxa/Lorcha	Intencionado	22/10/2002	6	52	58
Alicante	LA MARINA ALTA	Adsubia	Intencionado	22/10/2002	4	40	44

Fig 10. Incendios forestales año 2002 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen pasada, vemos como los incendios forestales más graves en el año 2002 fueron un incendio grave y otros tres incendios de tamaño medio. El incendio más grave se produjo en el municipio de Benifallim, donde el incendio arrasó 166 hectáreas de vegetación rasa y 45 hectáreas de bosque. El primer incendio de tamaño medio se produjo en Cabanes con 420 hectáreas de bosque quemado. El segundo incendio de tamaño medio se dio en Benigembla, arrasando 35 hectáreas de matorral y 115 hectáreas de bosque. Y por último, el tercer incendio de tamaño medio, en el municipio de Callosa d'en Sarrià donde se quemaron 7 hectáreas de matorral y 140 hectáreas de bosque. En este caso dos de los incendios fueron intencionados y los otros dos incendios provocados también por la acción humana aunque indirectamente.

INCENDIOS FORESTALES 2003							
Provincia	Comarca	Municipio de inicio	Causas	Fecha	SUPERFICIE (Ha)		
					Arbolada	Rasa	Total
Valencia	LA HOYA DE BUÑOL	Buñol	Intencionado	28/08/2003	137	1,570.00	1,707.00
Alicante	LA MARINA ALTA	Llíber	Intencionado	30/08/2003	24	850	874
Castellón	LA PLANA BAIXA	Eslida	Líneas eléctricas	31/01/2003	152.73	116.8	269.53
Valencia	VALENCIA	Valencia	Intencionado	04/02/2003	0	40	40
Valencia	LOS SERRANOS	Chelva	Intencionado	12/08/2003	8.07	29.86	37.93
Valencia	LA SAFOR	Simat de la Vallidigna	Intencionado	14/08/2003	2	33	35

Fig 11. Incendios forestales año 2003 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En esta imagen (Fig 11), observamos como los incendios forestales más graves en el año 2003 fueron dos incendios graves y otro incendio de menor extensión. El

incendio más grave se produjo en el municipio de Buñol, donde el incendio arrasó 137 hectáreas de vegetación rasa y 1570 hectáreas de bosque. El siguiente incendio grave se produjo en Lliber con 24 hectáreas de bosque quemado y 850 hectáreas de zona de bosque. El tercer incendio de tamaño medio se dio en Eslida, arrasando 152 hectáreas de matorral y 116 hectáreas de bosque. En este caso los dos incendios más graves fueron intencionados y los otros dos incendios provocados también por la acción humana.

INCENDIOS FORESTALES 2004								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
18/12/2004	18:52	TORREBLANCA	CASTELLON	PRAT CABANES TORREBL	Intencionado	81,22	0,00	81,22
10/08/2004	14:30	SAGUNT	VALENCIA	MARJAL DE ALMENARA	Intencionado	7,00	0,00	7,00
12/08/2004	21:45	SERRA	VALENCIA	RODENO LLARG	Intencionado	345,37	279,01	624,38
10/11/2004	23:00	CHIVA	VALENCIA	TENDERO	Intencionado	6,40	0,00	6,40
20/07/2004	13:20	PEGO	ALICANTE	BCO. TARCO	Otras	6,00	0,00	6,00
09/11/2004	23:20	BENICARLO	CASTELLON	EL PUIG	Desconocido	6,00	0,00	6,00

Fig 12. Incendios forestales en el año 2004 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen anterior, vemos como el incendio forestal más grave en el año 2004 fue en el municipio de Serra, el cual arrasó 345 hectáreas de matorral y 279 hectáreas de zona de bosque, y como la mayoría de los incendios forestales fue intencionado, es decir, realizado por la acción humana. También podemos observar como en el año 2004 el porcentaje de incendios forestales graves descendió con respecto a los años anteriores.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2005								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
12/07/2005	18:17	SMAT LA VALLDIGNA	VALENCIA	PALOMARA	Intencionado	564.43	77.52	641.95
22/06/2005	13:35	XATIVA	VALENCIA	BIXQUERT	Rayo	266.89	133.11	400.00
24/01/2005	20:15	CABANES	CASTELLON	EL PRAT	Intencionado	334.00	0.00	334.00
28/07/2005	21:59	VALLAT	CASTELLON	PRADO	Rayo	248.00	10.00	258.00
24/01/2005	17:25	VALL DE ALMONACID	CASTELLON	IAS BALSILLAS	Negligencia	171.50	73.50	245.00
30/04/2005	13:15	ATZENETA DEL MAESTRAT	CASTELLON	RIBASAL	Negligencia	168.49	49.20	217.69

Fig 13. Incendios forestales en el año 2005 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen previa, vemos como los incendios más graves en el año 2005 fueron un incendio grave y otros dos incendios de tamaño medio. El incendio más grave se produjo en el municipio de Palomara, donde el incendio arrasó 544 hectáreas de vegetación rasa y 77 hectáreas de bosque. El primer incendio de tamaño medio se produjo en Bixquert con 270 hectáreas de matorral quemado y 133 hectáreas de zona de bosque. El segundo incendio de tamaño medio se dio en El Prat, arrasando 334 hectáreas de matorral. En este caso dos de los incendios fueron intencionados y el otro incendio provocado por otras causas.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2006								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
10/03/2006	23:31	SIMAT LA VALLDIGNA	VALENCIA	LES FOIES	Negligencia	1.540.00	554.00	2.094.00
14/09/2006	21:10	VALL DE GALLINERA	ALICANTE	SIERRA DEL ALMIRANTE	Intencionado	319.00	19.00	338.00
20/07/2006	16:05	VILAMARXANT	VALENCIA	LA PEA	Intencionado	0.00	194.00	194.00
07/03/2006	22:46	FINESTRAT	ALICANTE	REALET-MAS DEL OFICIAL	Intencionado	61.00	129.00	190.00
12/03/2006	16:55	PEDRALBA	VALENCIA	FERRERO BLANCO	Negligencia	0.00	66.20	66.20
23/11/2006	12:48	LUTXENT	VALENCIA	BARRANC DELS LLIDONERS	Intencionado	58.04	0.00	58.04

Fig 14. Incendios forestales en el año 2006 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En esta imagen (Fig 14), podemos ver como el incendio forestal más grave en el año 2006 fue un incendio grave y otros dos incendios de menor extensión. El incendio más grave se produjo en el municipio de Simat de la Valldigna, quemando 1540 hectáreas de vegetación rasa y 554 hectáreas de bosque. El primer incendio de menor extensión se produjo en el municipio de Vall de Gallinera con 319 hectáreas de bosque quemado y 19 hectáreas de zona de bosque. El segundo incendio de tamaño medio se dio en Villamarxant, arrasando 194 hectáreas de bosque. En este caso el incendio más grave fue provocado por negligencia y los otros dos incendios provocados intencionadamente, también por la acción humana.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2007								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
28/08/07	12:35	USERES LES/USERAS	CASTELLON	LA PONSA	Otras	5.299.26	475.76	5.775.02
07/03/07	22:15	GABIÉL	CASTELLON	LA Balsa	Rayo	632.13	412.70	1.044.83
07/03/07	23:36	CULLA	CASTELLON	ROQUETA	Rayo	167.39	260.77	428.16
08/03/07	4:58	BORRIOL	CASTELLON	MONTAÑA NEGRA	Otras	112.24	48.10	160.34
15/07/07	14:20	HIGUERUELAS	VALENCIA	BARRANCO DE LA PEÑETA	Intencionado	0.46	136.05	136.51
08/03/07	4:12	CERVERA DEL MAESTRE	CASTELLON	BARRALES	Intencionado	93.84	40.00	133.84

Fig 15. Incendios forestales en el año 2007 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen anterior, vemos como los incendios forestales más graves en el año 2007 fueron dos incendios graves y un incendio de tamaño medio. El incendio forestal más grave se produjo en el municipio de Les Useres, el cual arrasó 5300 hectáreas de matorral y 475 hectáreas de zona de bosque. El primer incendio de tamaño medio se dio en el municipio de Gaibiel, quemando 632 hectáreas de zona de matorral y 412 hectáreas de zona de bosque. El segundo incendio de menor extensión comenzó en la localidad de Culla, arrasando 167 hectáreas de zona de matorral y 260 hectáreas de zona de bosque. Podemos observar como uno de los incendios más graves fue provocado por rayos y el otro incendio de magnitud parecida por otras causas, mientras que el de menor extensión fue producido por rayos.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2008								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
31/03/08	23:04	CABANES	CASTELLON	EL PRAT	Intencionado	274.15	0.00	274.15
08/04/08	12:18	ENGUERA	VALENCIA	MATAMOROS	Desconocido	4.00	86.00	90.00
15/08/08	15:46	AYORA	VALENCIA	TRES CORTES Y HONTANAR	Negligencia	0.00	76.00	76.00
17/04/08	14:26	ALBALAT DELS TARONGERS	VALENCIA	LA PEDRERA	Negligencia	20.00	13.80	33.80
03/09/08	21:30	LLIBER	ALICANTE	LA MARIOLA	Intencionado	25.04	6.10	31.14

Fig 16. Incendios forestales en el año 2008 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen previa, podemos observar como el incendio más grave en el año 2008 fue un incendio de tamaño medio. El incendio se produjo en el municipio de Cabanes, donde el incendio arrasó 274 hectáreas de vegetación rasa. En este caso, el incendio fue intencionado. Podemos ver, que en el año 2008 también ha decrecido el porcentaje de incendios forestales graves en comparación con otros años.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2009								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie rasa	Superficie arbolada	Total (Ha)
24/01/09	9:20	NUCIA LA	ALICANTE	EL COPET	Otras	75.00	885.00	960.00
23/07/09	23:46	SEGORBE	CASTELLON	TINTONARES	Rayo	282.94	549.37	832.31
22/07/09	14:45	VALL D ALCALA LA	ALICANTE	ELS COLETOS	Negligencia	269.00	76.00	345.00
23/07/09	15:50	ONDA	CASTELLON	PEDRISSETES	Intencionado	32.05	203.66	235.71
24/01/09	18:43	BARXETA	VALENCIA	COTO REQUENA	Intencionado	84.00	7.00	91.00
25/08/09	23:15	VILLALONGA	VALENCIA	LES TANCANES	Rayo	61.00	0.00	61.00

Fig 17. Incendios forestales en el año 2009 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En esta imagen (Fig 17), podemos ver como el incendio forestal más grave en el año 2009 fue dos incendios graves y otro incendio de menor extensión. El primer incendio grave se produjo en el municipio de La Nucia, quemando 75 hectáreas de vegetación rasa y 885 hectáreas de bosque. El segundo incendio grave se produjo en el municipio de Segorbe con 282 hectáreas de bosque quemado y 549 hectáreas de zona de bosque. El incendio de tamaño medio se dio en Vall D'Alcala, arrasando 269 hectáreas de matorral y 76 hectáreas de zona de bosque. En este caso, los incendios más graves fueron provocados por rayos y otras causas, mientras que el incendio de menor extensión fue provocado por negligencia.

INCENDIOS FORESTALES AÑO 2010								
FECHA	HORA	MUNICIPIO	PROVINCIA	PARAJE	CAUSA	Superficie no arbolada	Superficie arbolada	Total (Ha)
07/09/10	17:54	RAFELGUARAF	VALENCIA	LOMA DE VICENTICO	Intencionado	1,144.36	914.99	2,059.35
06/09/10	22:28	ONTINYENT	VALENCIA	LA SOLANA	Intencionado	1,903.05	54.12	1,957.17
06/09/10	22:28	OTRA PROVINCIA	ALICANTE	LA SOLANA	Intencionado	339.23	215.66	554.89
06/09/10	22:05	OTRA PROVINCIA	VALENCIA	LA SOLANA	Intencionado	248.96	124.46	373.42

Fig 18. Incendios forestales en el año 2010 (Fuente: Generalitat Valenciana)

En la imagen anterior, vemos como los incendios forestales más graves en el año 2007 fueron dos incendios graves. El incendio forestal más grave se produjo en el municipio de Rafelguaraf, el cual arrasó 1144 hectáreas de matorral y 914 hectáreas de zona de bosque. El siguiente incendio grave se dio en el municipio de Ontinyent, quemando 1900 hectáreas de zona de matorral y 54 hectáreas de zona de bosque. Podemos observar como los dos incendios fueron provocados por negligencias del ser humano.

A continuación vamos a realizar una breve descripción de la localización de los municipios en los que se localizan los incendios forestales analizados:

El municipio de **Chiva** se encuentra situado al oeste de la ciudad de Valencia (a 30 km exactamente) con una superficie de 178.7 km² y coordenadas geográficas 39° 28'17"N y 0° 43' 11"O en la falda de la Loma del Castillo, a 270m sobre el nivel del mar.

En sus diferentes relieves conviven los barrancos de Chiva, Ballesteros, la Cueva Morica, Sechara y la Hoz. La Sierra de Chiva se adentra en Gestalgar y Siete Aguas, con alturas superiores a los 1000 m, de las cuales cabe destacar el pico Hierbas (1023 m) o el de Santa María (1137 m). La superficie forestal representa el 40,3% del total, con especies como el pino y la carrasca. Los devastadores incendios de la década de 1990 dejaron la mayor parte de la sierra calcinada, arrasando 10686 Ha. Desde entonces se está llevando a cabo importantes labores de repoblación y acondicionamiento del medio natural.

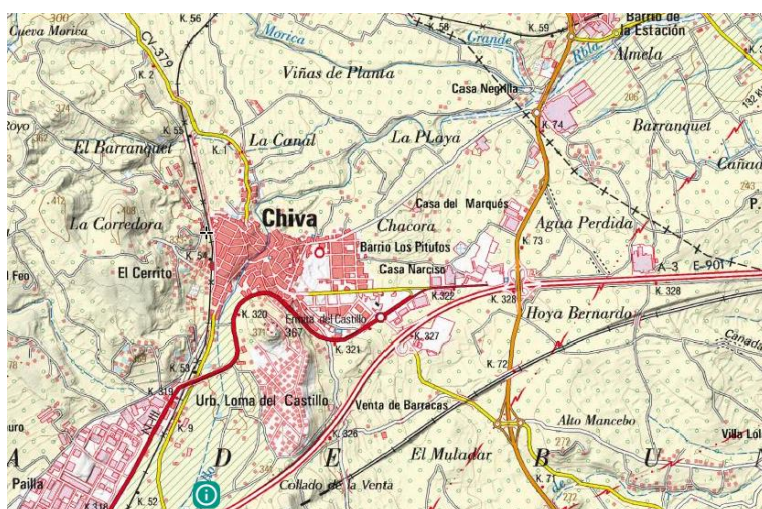


Fig 19. Localización detallada del municipio de Chiva (Fuente: Terrasit)

El municipio de **Simat de Valldigna** se encuentra a 55 km de Valencia con coordenadas geográficas 39º 02'37" N y 0º 18'37" O y, además equidistante a 20 km de las localidades costeras de Gandía y Cullera así como también de Xàtiva y Alcira.

La Valldigna constituye una subcomarca natural rodeada por las montañas de la sierra de Corbera o de las Agujas, al norte, la del Mondúver, al sur, y el Monte Toro, al oeste -a cuyo pie se encuentra la población de Simat de Valldigna- y abierta hacia el este, desde donde se extiende hasta el mar.

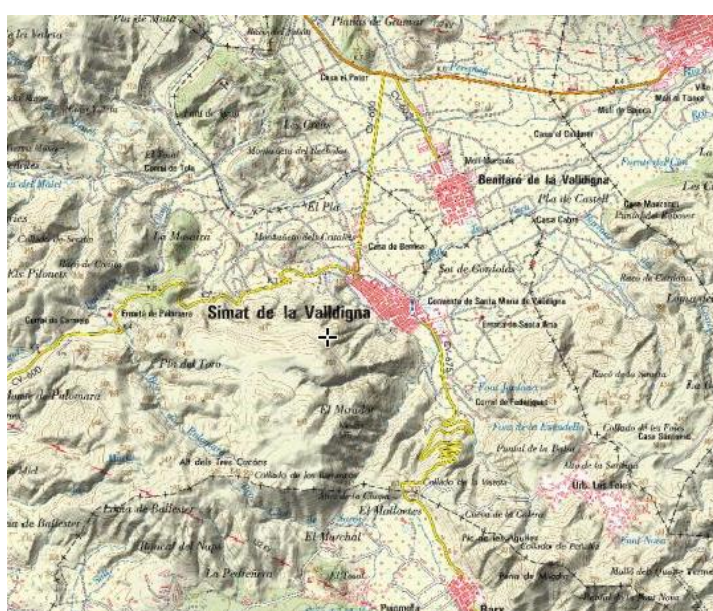


Fig 20. Localización detallada del municipio de Simat de la Valldigna (Fuente: Terrasit)

En referencia al municipio de **Benifallim**, es una pequeña población de la Comunidad Valenciana que se encuentra a 50 km aproximadamente de Valencia con coordenadas geográficas $38^{\circ}39'46''N$ y $0^{\circ}23'59''O$. Situada en el norte de la provincia de Alicante, en la comarca de la Hoya de Alcoy.

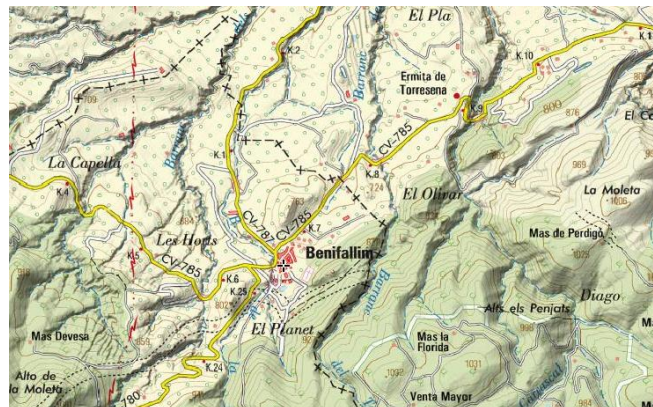


Fig 21. Localización detallada del municipio de Benifallim (Fuente: Iberpix)

Los Pedrones es una aldea del municipio de Requena con coordenadas geográficas $39^{\circ}20'07''N$ y $1^{\circ}05'00''O$, situada a una distancia de 70 kilómetros de Valencia y pertenece a la comarca de Requena-Utiel.



Fig 22. Localización detallada del municipio de Los Pedrones (Fuente: Iberpix)

Villamarxant es un municipio de la provincia de Valencia, situado en la ribera derecha del río Turia, en el momento en que éste abandona la zona montañosa del interior para penetrar en la llanura prelitoral valenciana, con coordenadas geográficas 39°34'04"N y 0°37'21"O y se encuentra a 25 kilómetros de Valencia.



Fig 23. Localización detallada del municipio de Villamarxant (Fuente: Iberpix)

Vall D'Alcala es un municipio situado en el noreste de la provincia de Alicante, en la subcomarca de los Valles de Pego (Marina Alta) y se encuentra a 80 kilómetros de Alicante, con coordenadas geográficas 38°47'40"N y 0°15'10"O.



Fig 24. Localización detallada del municipio de Vall D'Alcala (Fuente: Iberpix)

Rafelguaraf es un municipio perteneciente a la provincia de Valencia, en la comarca de la Ribera Alta, situado entre el río Albaida y la sierra de Agulles. Está situado a 50 kilómetros de Valencia, con coordenadas geográficas 39°03'06"N y 0°27'18"O.

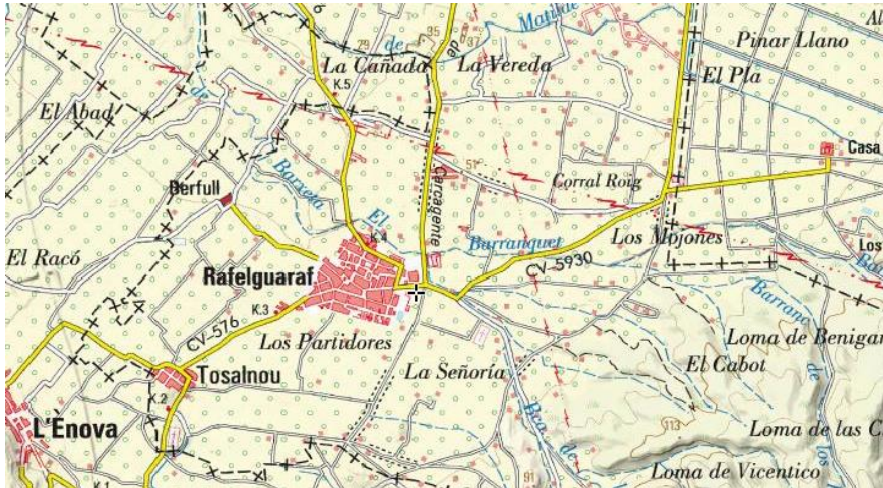


Fig 25. Localización detallada del municipio de Rafelguaraf (Fuente: Iberpix)

Ontinyent es un municipio de la Comunidad Valenciana, capital de la comarca del Valle de Albaida, situada a 90 kilómetros al sur de la provincia de Valencia y con coordenadas geográficas 38°49'20"N y 0°36'26"O.

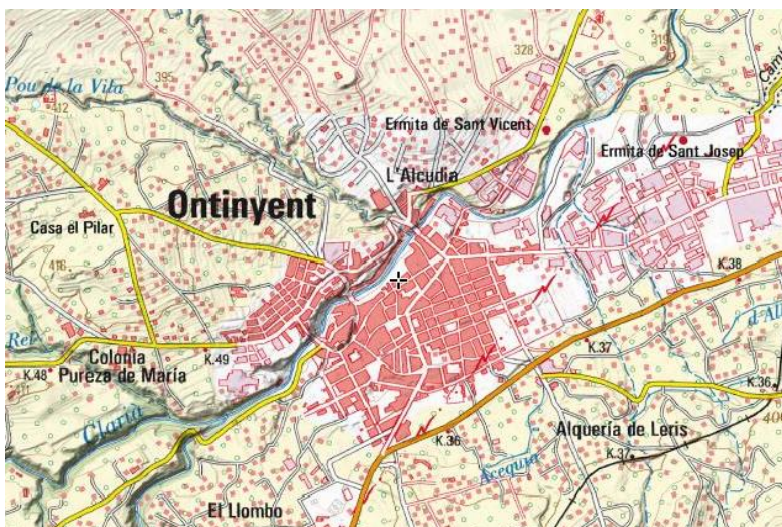


Fig 26. Localización detallada del municipio de Ontinyent (Fuente: Iberpix)

Cortes de Pallás es un municipio de la Comunidad Valenciana, perteneciente a la provincia de Valencia, en la comarca del Valle de Ayora-Cofrentes. Situado a 80 kilómetros de Valencia, con coordenadas geográficas 39°14'35"N y 0°56'33"O.

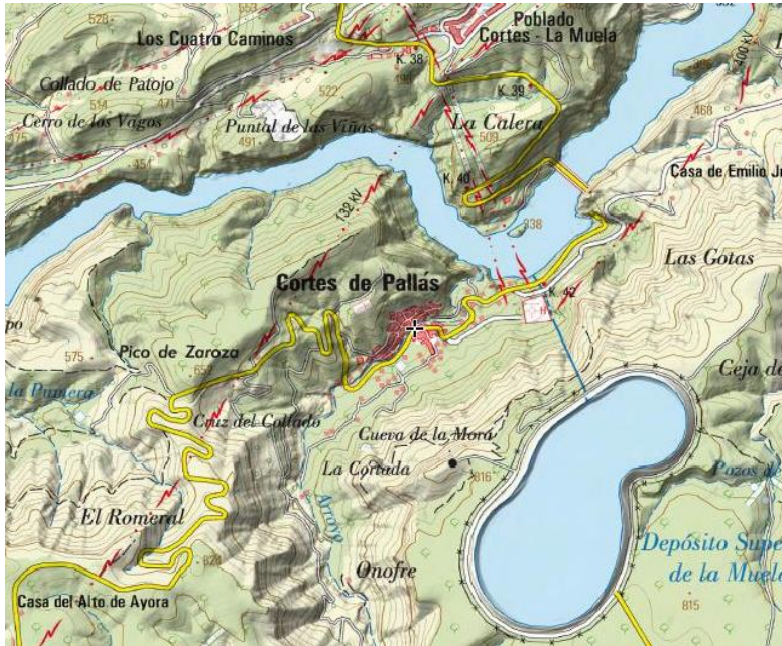


Fig 27. Localización detallada del municipio de Cortes de Pallás (Fuente: Iberpix)

Agramón es una pedanía española perteneciente al municipio de Hellín, en la provincia de Albacete. Se encuentra rodeada por la Sierra de las Cabras, la Sierra de los Donceles, Cabeza Llana, Las Lomas y Cerro de Pedro Pastor. Se encuentra a 12 kilómetros de Hellín y sus coordenadas geográficas son 38º 25' 15,09" N y 1º 38' 11,77" W.



Fig 28. Localización detallada del municipio de Agramón (Fuente: Iberpix)

Bocairent es un municipio de la Comunidad Valenciana. Se sitúa en el extremo sur de la provincia de Valencia, en la comarca del Valle de Albaida. Se encuentra a 95 kilómetros de la ciudad de Valencia y sus coordenadas geográficas son 38°45'57"N y 0°36'46"O.

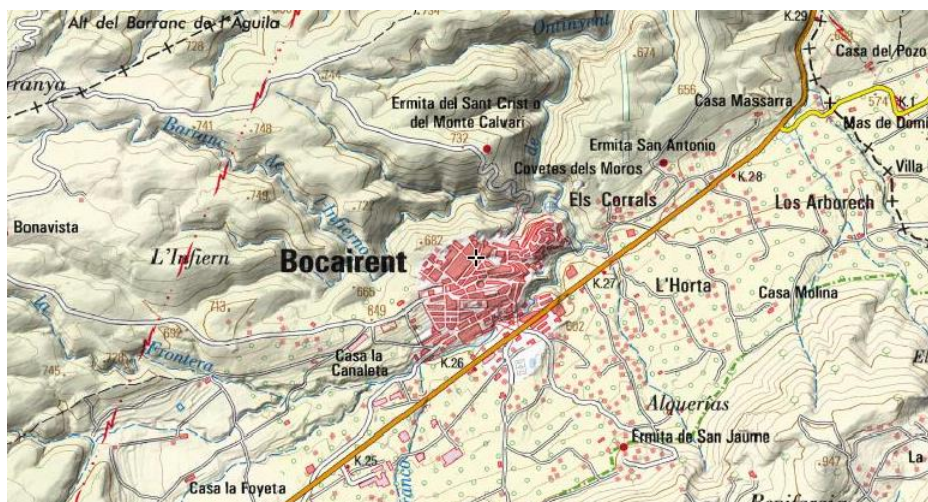


Fig 29. Localización detallada del municipio de Bocairent (Fuente: Iberpix)

Lloc Nou de Sant Jeroni es un municipio de la Comunidad Valenciana, perteneciente a la provincia de Valencia y situado en la comarca de la Safor. Se encuentra a 80 kilómetros de Valencia y las coordenadas geográficas del municipio son $38^{\circ}54'47''\text{N}$ $0^{\circ}17'03''\text{O}$.



Fig 30. Localización detallada del municipio de Bocairent (Fuente: Iberpix)

3 PREPROCESADO

3.1 Comprobación corrección geométrica

Para poder empezar a trabajar con las diferentes imágenes previamente descargadas, es obligatorio realizar una serie de correcciones a las distintas imágenes, por lo que, para ello hemos utilizado el programa ENVI. El objetivo de esta comprobación es determinar si la imagen está georreferenciada o no, por lo cual, hemos ido abriendo cada imagen en el programa para verificar si estaba georreferenciada o no y para poder conocer con exactitud de cuántas filas y columnas está constituida la imagen, en qué tipo de proyección, datum y sistema de referencia se hallan cada una de las imágenes. Se puede visualizar en la siguiente imagen:

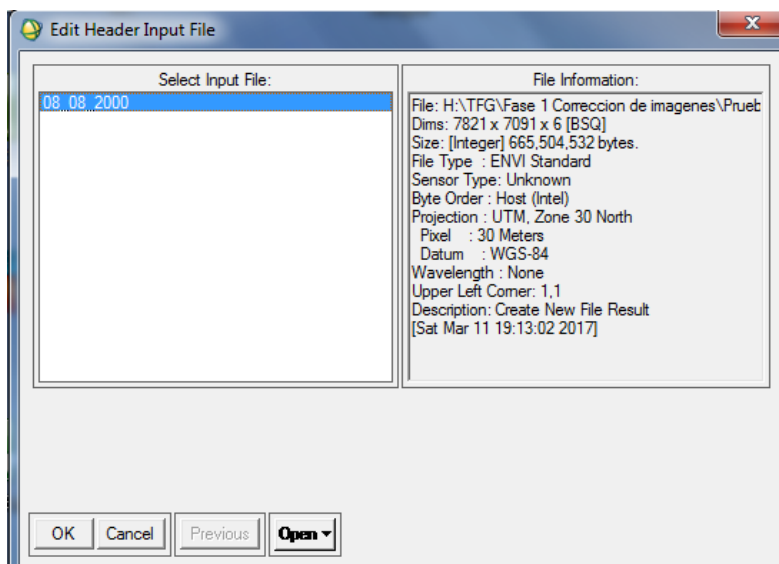


Fig 31. Visualización de las características de la imagen del año 2000 con ENVI

Para verificar que la georreferenciación es correcta y no hay ningún fallo, hemos decidido usar el programa ENVI, debido a que tiene una herramienta muy útil para este tipo de circunstancias. Es la opción ‘Geographic Link’, en el que podemos unir geográficamente puntos de vista, por lo que todas las vistas vinculadas actualizarán el área seleccionada al mismo tiempo.

Además, hemos utilizado la herramienta ‘Cursor Location Value’, en la que nos permite obtener más información sobre las coordenadas UTM, las filas y columnas del área en la que está situado el cursor, etc..., por lo que, con estas dos herramientas podemos abrir dos imágenes de diferente periodo temporal y compararlas entre sí, para ver si en el mismo punto tienen o no las mismas coordenadas UTM. Por lo tanto, podremos comprobar si la georreferenciación se ha realizado correctamente o no.

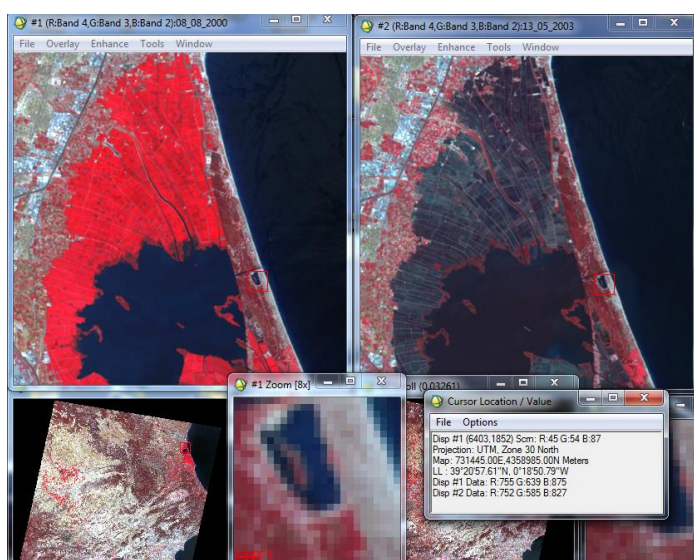


Fig 32. Georreferenciación en zona de costa (Display 1)

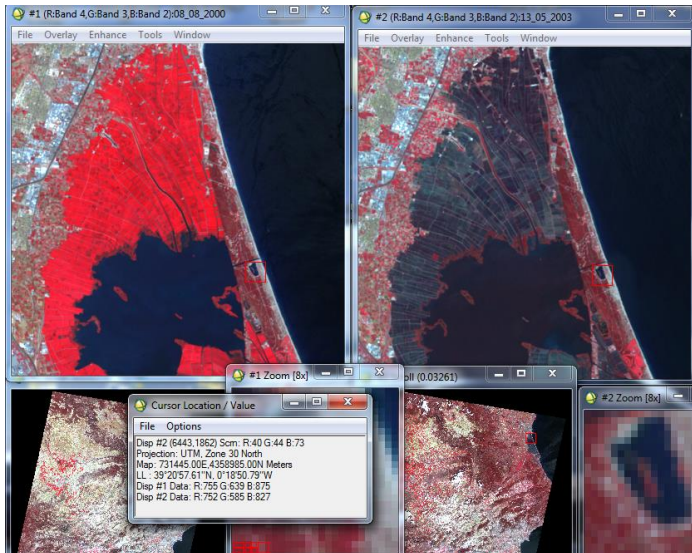


Fig 33. Georreferenciación en zona de costa (Display 2)

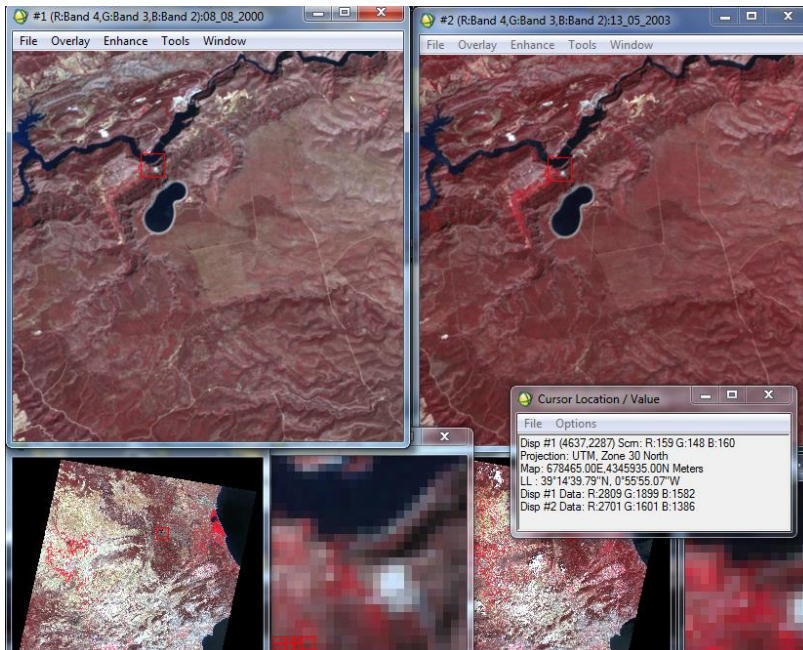


Fig 34. Georreferenciación en zona del interior (Display 1)

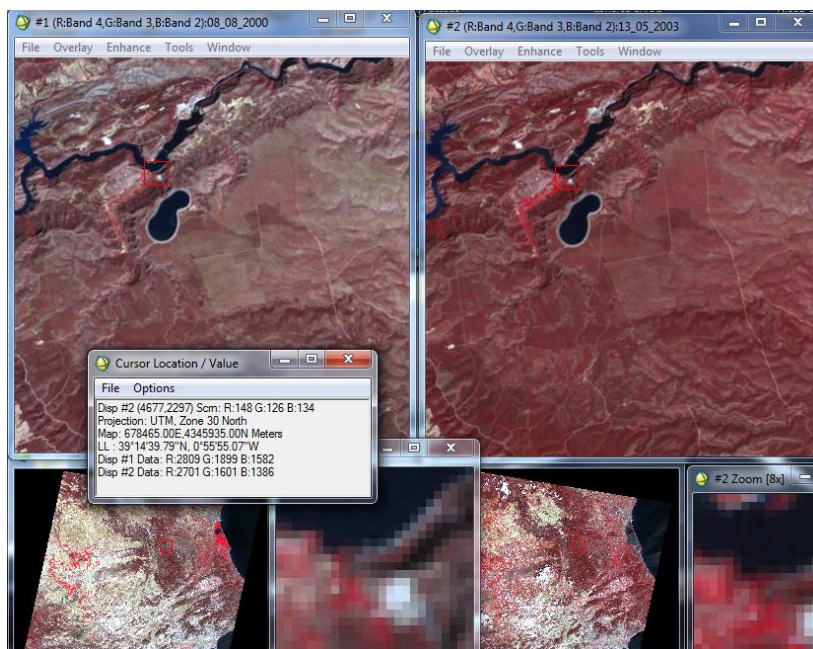


Fig 35. Georreferenciación en zona del interior (Display 2)

Con esta comprobación podemos concluir que, seleccionando el mismo pixel de dos imágenes de diferentes años, el valor de sus coordenadas es exactamente el mismo, por lo que las imágenes están bien georreferenciadas.

3.2 Corrección del SLC-Off

El satélite Landsat 7 fue lanzado el 15 de abril de 1999, pero en Mayo de 2003, el sensor ETM+ presentó fallos del Escaner Lineal o también conocido con sus siglas SLC. Por este motivo, se encuentra apagado, y las escenas adquiridas desde el 14 de julio de ese año, contienen líneas de datos inválidos (gaps). Por lo tanto, como parte de nuestras imágenes datan del año 2003 en adelante, contienen este error como se puede observar a continuación:

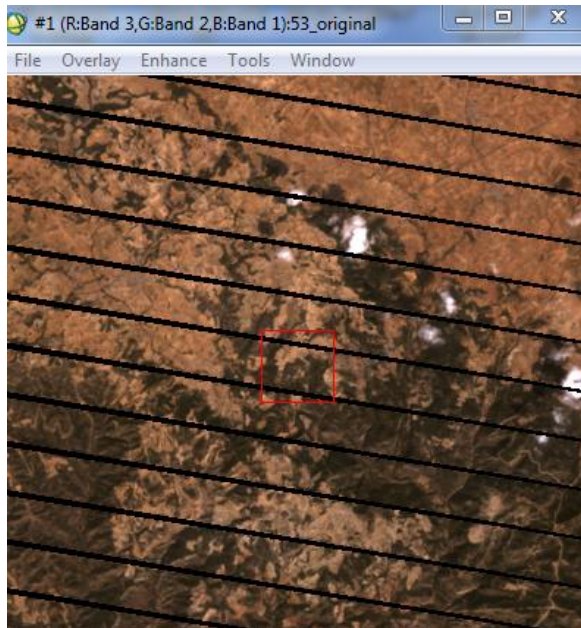


Fig 36. Bandeado causado por el escáner corrector lineal estropeado del Landsat 7

El SLC es la parte del sensor ETM+ que compensa el movimiento hacia adelante del satélite durante la adquisición de las imágenes. Sin el SLC, el área escaneada por el sensor proyecta un patrón de zigzag, causando que la mayoría de los datos registrados estén duplicados y, la parte correspondiente al terreno bajo el satélite, no sea registrada, quedando las regiones duplicadas y las no registradas de la imagen con el valor 0.

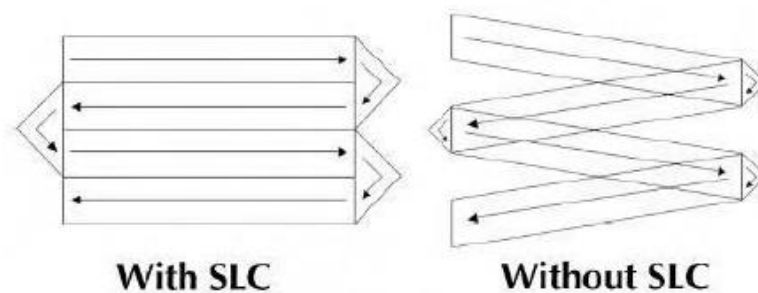


Fig 37. Compensación del movimiento del satélite Landsat. (Fuente: Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+. Rodríguez Ramos N. (2009). Universidad de la Habana.)

Los gaps provocan aproximadamente, la pérdida de un 22% de la información de cada imagen. Están dispuestos en franjas inclinadas hacia la izquierda unos 8° respecto a la orientación horizontal debido a la rotación de la imagen, y aparecen en intervalos de 33 píxeles. Estas franjas tienen hasta 15 píxeles en el borde de la imagen y van disminuyendo gradualmente camino al centro hasta desaparecer.

Existen tres métodos utilizados para la eliminación de los gaps:

- **Basados en múltiples imágenes:** los gaps de una imagen primaria son modificados usando otras imágenes que contienen información válida en la zona correspondiente.

En este grupo se encuentran, las técnicas de Ajustes Lineales Locales del Histograma y las de Ajuste de Histograma para la imagen completa, que funcionan con datos seleccionados manual o automáticamente para toda o parte de las imágenes. Las basadas en la Calibración Lineal Empírica que funcionan sobre la regresión lineal de puntos seleccionados por sus características de terreno y su respuesta espectral y la basada en la Transformación de las Componentes Principales (PCT) que convierte los datos de la imagen que se utilizará para rellenar a las características de la imagen primaria que presenta los vacíos.

- **Basados en una sola imagen:** funciona utilizando las correlaciones entre los píxeles de la imagen, obtenidas por técnicas geoestadísticas de interpolación, donde las áreas vacías son modificadas usando datos válidos de la propia imagen. En este grupo se encuentran técnicas sencillas como el reemplazo de los píxeles vacíos por sus vecinos, tales como el vecino más cercano, Máxima Verosimilitud, Mahalanobis y otras más complejas como el Krigging ordinario.
- **Híbridos:** Este tercer grupo aprovecha las sinergias existentes entre los dos anteriores.

Incluye técnicas como, la del relleno de las áreas vacías que usan datos válidos de la propia imagen, aplicando un proceso de interpolación basado en la información de los bordes con otra imagen, como el caso del CoKrigging, o usando un enfoque de segmentación que utiliza la información obtenida de otras imágenes para establecer una rutina de interpolación dentro de los límites definidos para cada segmento.

En este proyecto utilizaremos el método ‘basado en múltiples imágenes’ debido a que es el método más sencillo de aplicar y además, tenemos imágenes tanto anteriores a las imágenes dañadas como imágenes posteriores a las mencionadas anteriormente.

Para rellenar los gaps provocados por el problema del SLC-off en cada una de las imágenes dañadas, es necesario procesar cada una de las seis bandas en escala de grises que las componen.

Debemos de comentar que en este proyecto hemos utilizado un programa creado en la Universidad de La Habana en la Facultad de Matemáticas y Computación, para poder llegar a corregir los errores de bandeado causado por el escáner corrector lineal en las imágenes del satélite Landsat posteriores al año 2003.

El algoritmo seleccionado en este trabajo, recibe como entrada dos escenas correspondientes a una misma banda de las imágenes a corregir, primaria y secundaria, y devuelve una escena cuyos datos válidos serán los mismos de la escena primaria unidos a los gaps que se hayan podido rellenar. Para ello, se emplea la siguiente metodología:

- ❖ Preparación de las escenas de trabajo utilizando el programa de procesamiento de imágenes ENVI, para pasarlas como una entrada correcta al algoritmo seleccionado.
- ❖ Implementación de un algoritmo de relleno

Para que el algoritmo sea efectivo, las escenas de entrada deben cumplir dos condiciones fundamentales, son las siguientes:

- ✓ Deben tener el mismo tamaño en cuanto a filas y columnas y deben corresponder a la misma localización geográfica.
- ✓ Deben estar libres de nubes y sus sombras.

Debido al ángulo desde el cual el satélite toma las imágenes puede suceder que las escenas no tengan una misma resolución, o que estén ligeramente desfasadas. Por tal motivo, es necesario hallar una zona que sea cubierta por todas las imágenes. Esto se logra con el programa ENVI, una vez detectada dicha escena, se recorta manualmente cada escena de trabajo.

Por otra parte, las nubes pueden interferir de manera desfavorable en el proceso de corrección. Para eliminarlas, creamos máscaras y se sustituyen los valores que ocupan las nubes, por el valor 0 en escala de grises, para posteriormente tratarlas como al resto de los gaps.

- ❖ Se seleccionan dos escenas, una primaria y una de relleno (tratando de que sean las más adecuadas en cuanto a calidad). Estas escenas serán la entrada del algoritmo implementado, en el cual se siguen los pasos expuestos a continuación:
 - ✓ Buscar las fronteras de la imagen real en la escena primaria, para analizar solamente aquellos puntos que son gaps.
 - ✓ Buscar las fronteras de la imagen real en la escena de relleno.
 - ✓ Dividir la imagen en cuatro cuadrantes y para cada uno de ellos hacer lo siguiente:

- ❖ Por cada píxel inválido contenido en la imagen real de la escena primaria (hallado desde el centro hacia los bordes laterales), si el píxel correspondiente en la escena de relleno es válido:
 - ✓ Se busca una ventana que se vaya extendiendo por los píxeles vecinos que lo rodean, hasta llegar a la mínima cantidad requerida de píxeles comunes, 144 por sugerencia de USGS.
 - ✓ Se calculan los coeficientes de la función de regresión lineal entre los píxeles comunes.
 - ✓ Se ajustan los coeficientes a un rango razonable.
 - ✓ Se calcula la función con el valor del píxel válido.
 - ✓ Se asigna el valor calculado al píxel inválido en la escena primaria.

- ❖ Si aún quedan píxeles inválidos en la imagen real de la escena primaria:
 - ✓ Se toman los píxeles de otra escena de relleno.

 - ✓ Volveremos a seleccionar dos escenas, una primaria y una de relleno, que serán las entradas del algoritmo y seguidamente continuaremos con los pasos anteriormente citados.



Fig 38. En las ventanas de ejemplos, los píxeles negros son gaps y los blancos son datos válidos. Como las imágenes están georreferenciadas, la localización del píxel (x, y) es la misma sobre el terreno de ambas escenas, y los píxeles comunes son aquellos que son válidos en las dos. (Fuente: Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+. Rodríguez Ramos N. (2009). Universidad de la Habana.)

Seguidamente explicaremos como hemos procesado las imágenes para poder introducirlas en el software creado en la Universidad de La Habana:

Con la imagen descargada y los datos correspondientes a la mencionada imagen, comenzamos a crear tres máscaras para dicha imagen, y otras tres máscaras para las imágenes auxiliares que apoyaran a la imagen de referencia a la hora de procesarla en el programa elaborado por la Universidad de La Habana.

- **Primera máscara (máscara_1).** La primera máscara se crea para cambiar los ND del bandeo. Originalmente tienen un valor de -9999 y lo que hacemos es crear la máscara para sustituir ese valor por 0. Luego esta máscara debemos de multiplicarla en el BandMath por la imagen de referencia y así poder obtener una imagen resultante con el valor de los píxeles del bandeo transformados por el valor 0.

En la siguiente imagen verificamos lo mencionado en el párrafo anterior, hemos enlazado la imagen original del 2006 (izquierda) y su correspondiente máscara 1 (izquierda) y se puede observar como en el Cursor Location Value en el Display 1 aparece un valor de -9999 y en el Display 2 un valor de 0 colocando el cursor en una línea del bandeo.

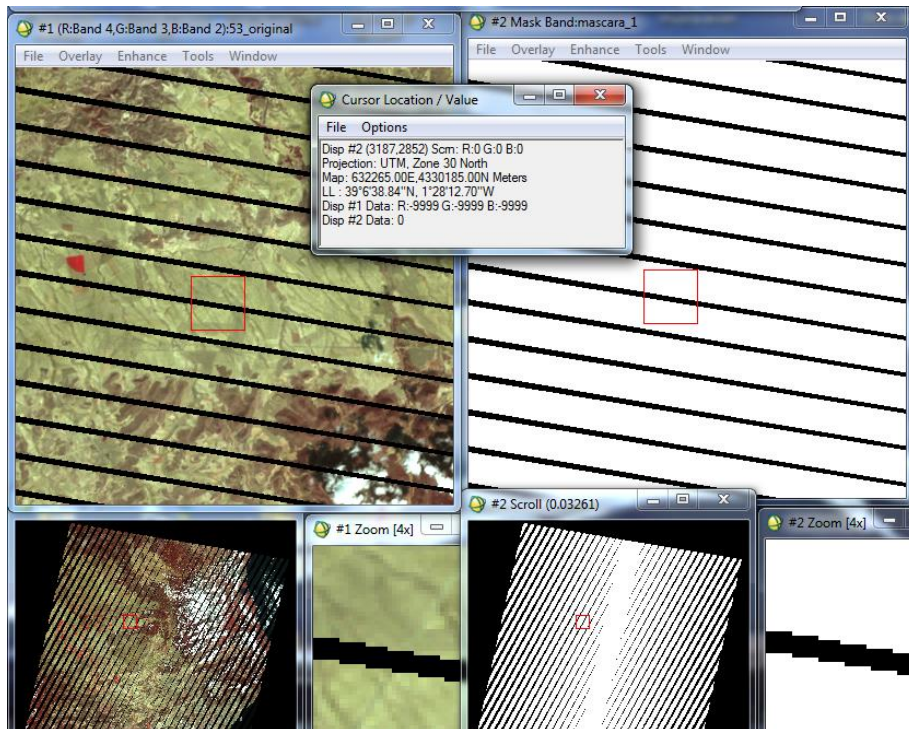


Fig 39. Máscara 1 para imagen del año 2006

- **Segunda máscara (máscara_2).** La segunda máscara se concibe para modificar los valores de los píxeles que conforman las sombras de las nubes y poder, de esta forma, sustituir esos valores por valor 0. Posteriormente debemos de aplicar dicha máscara sobre la imagen resultante donde tenemos el bandeo con valor 0, para así poder llegar a tener en una imagen el bandeo y las sombras de las nubes con valores de 0.

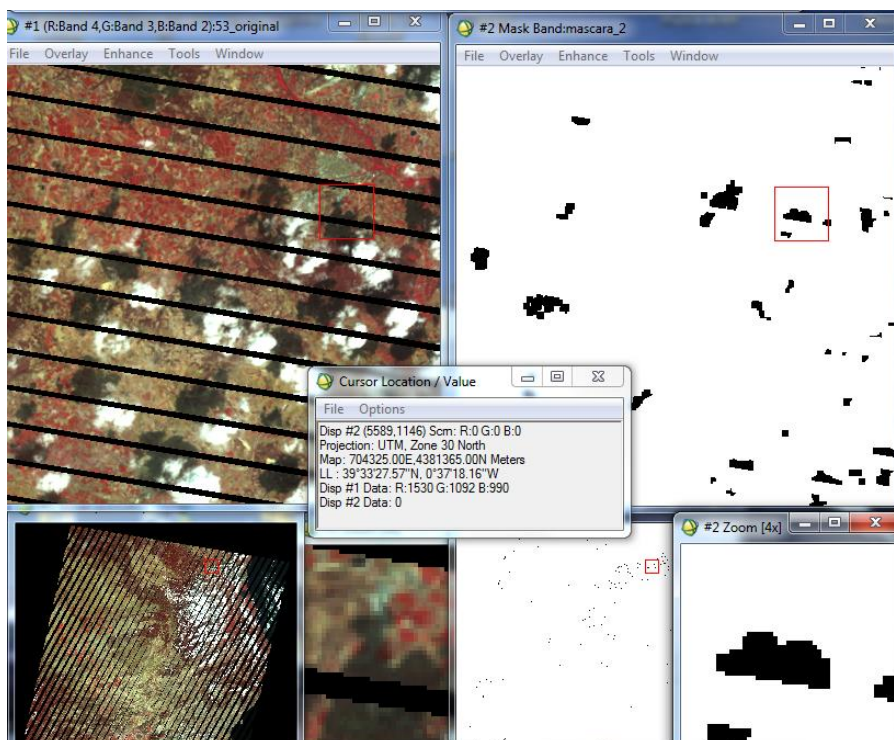


Fig 40. Máscara 2 para imagen del año 2006

En la anterior imagen, se observa la imagen original del año 2006 (izquierda) y nuestra máscara de sombras de nubes. Podemos observar como en el Cursor Location Value hemos cambiado el valor de las sombras de las nubes por valor 0.

- **Tercera máscara (máscara_3).** La tercera máscara se creó para conmutar los valores de los niveles digitales de la máscara de nubes facilitada por Earth Explorer, que tiene unos valores de pixel de 255 y los queremos transformar a valor 0. Finalmente multiplicaremos dicha máscara con la imagen donde tenemos el bandeado y las sombras de las nubes con valor 0, para poder tener en una única imagen todos los errores con valor 0.

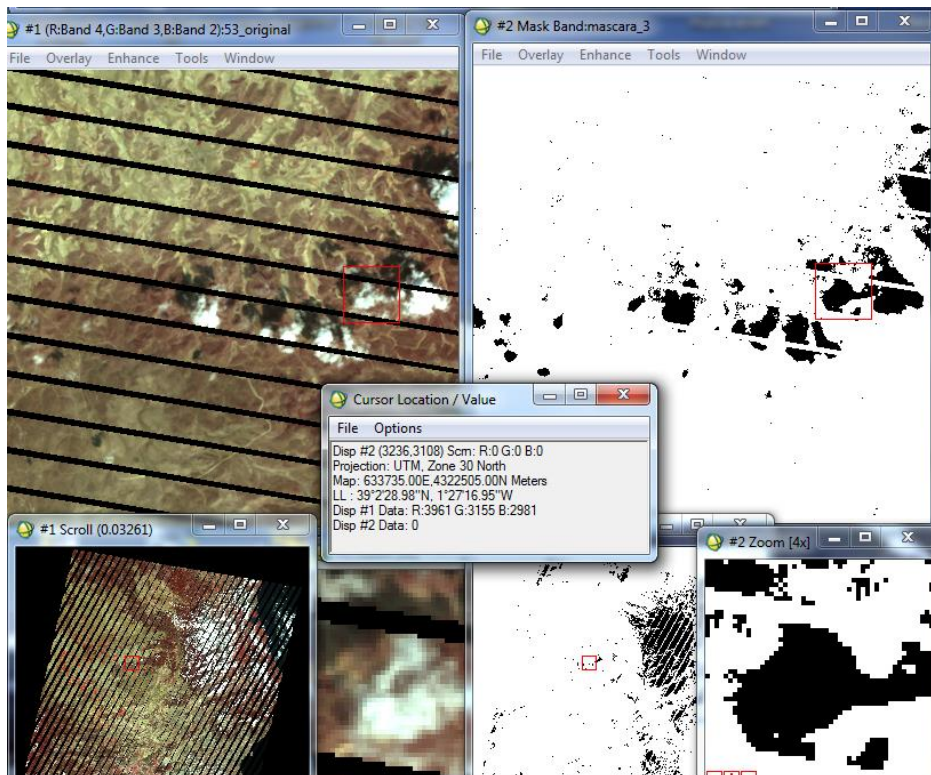


Fig 41. Máscara 3

En la anterior imagen observamos la imagen original del año 2006 (izquierda) y su correspondiente máscara de nubes (derecha) y podemos observar como en el Cursor Location Value aparecen las nubes con un valor 0.

Cuando ya tenemos todas las máscaras para cada imagen, el siguiente paso consiste en realizar la combinación entre imágenes. Se trata de realizar los siguientes pasos:

En primer lugar, tenemos que multiplicar la imagen original con la máscara del bandeo creada anteriormente, el resultado que se obtiene es una imagen parecida a la original con la única excepción de que el error de bandeo aparece con valores de pixel de 0 en lugar de -9999 como tenía antes.

Posteriormente, a la imagen resultante anterior se le aplica la máscara de sombras de nubes, por lo que se obtendrá una nueva imagen que contiene tanto los valores de los píxeles del error en bandeo a 0, como también las sombras de las nubes a valor 0.

Finalmente, a la imagen resultante anterior se le aplica la máscara de nubes, que dará una imagen resultante en la que aparece el error del bandeo, las sombras de las nubes y las nubes con valores a 0.

Debemos realizar este paso para todas las imágenes que son necesarias corregir.

Después de crear las máscaras en cada una de las imágenes, para obtener cuatro imágenes sin errores, sin nubes y sin las sombras de las nubes, debemos de cambiar el tamaño a las nuevas imágenes creadas en el paso anterior, para que éstas tengan las mismas coordenadas y filas/columnas.

Trasladándonos al menú de herramientas del programa ENVI, seguimos los siguientes submenús:

- File > Edit ENVI Header > Seleccionamos una imagen. De este modo conocemos las filas/columnas de esa imagen.
- File > Edit ENVI Header > Seleccionamos una imagen > Edit Attributes > Map Info. Logramos conocer las coordenadas de la imagen.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo del cambio de tamaño de la imagen del año 2012 y sus tres imágenes correspondientes.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
IMAGEN	F/C ORIGINALES	F/C CORREGIDAS	X/Y ORIGINALES	X/Y CORREGIDAS
original_10_09_2012	8031/7091	8031/7091	540585/4414515	540585/4414515
25_08_2012	8031/7061	8031/7061	540285/4413915	540285/4413915
28_10_2012	8031/7061	8031/7061	538485/4413915	538485/4413915
29_11_2012	8041/7061	8041/7061	538785/4413915	538785/4413915

Fig 42. Cambio de tamaño en la imagen del año 2012

- ✓ En la columna [1] tenemos cada una de las imágenes, empezando por la imagen original (la que queremos corregir) seguida de sus tres imágenes auxiliares.
- ✓ En la columna [2] observamos las filas y columnas originales de cada imagen, es decir, las imágenes sin corregir de error de bandeo, sombras y nubes.
- ✓ En la columna [3] observamos las filas y columnas de las imágenes corregidas de error de bandeo, nubes y sombras de las nubes.

- ✓ En la columna [4] observamos las coordenadas originales de cada imagen.
- ✓ En la columna [5] observamos las coordenadas de las imágenes corregidas.

Ahora debemos decidir qué valor elegir para cambiárselo a todas las imágenes del año 2012, por ello en la columna [3] (en color azul) elegimos el valor de fila y columna = 8031/7061 a fin de que, de los valores de dicha columna, seleccionemos los valores más pequeños. El error hubiera sido elegir un valor de por ejemplo, 8031/7091 ya que el programa ENVI no puede crear 30 columnas más y nos hubiera dado error.

Hemos obtenido las coordenadas originales pero nos hace falta otro dato más que son las coordenadas finales de las imágenes. Se calculan aplicando las siguientes fórmulas:

$$X_{final} = X_{imag.correg} + F_{imag.correg} \cdot x \text{ tamaño pixel}$$

$$Y_{final} = Y_{imag.correg} - C_{imag.correg} \cdot x \text{ tamaño pixel}$$

Fig 43. Fórmulas para la obtención de las coordenadas finales de las imágenes

- $X_{imag.correg}$, indica la coordenada X de la imagen corregida.
- $Y_{imag.correg}$, indica la coordenada Y de la imagen corregida.
- $F_{imag.correg}$, indica la fila de la imagen corregida.
- $C_{imag.correg}$, indica la columna de la imagen corregida.
- Tamaño del pixel, las dimensiones de cada pixel de la imagen.

En la siguiente tabla se muestran los valores de las coordenadas finales en referencia a las imágenes del año 2012:

IMAGEN	COORDENADAS FINALES	
	X FINAL	Y FINAL
original_10_09_2012	781515	4201785
25_08_2012	781215	4202085
28_10_2012	779415	4202085
29_11_2012	780015	4202085

Fig 44. Coordenadas finales de la imagen del año 2012

El desarrollo de los cálculos para obtener las coordenadas finales es el siguiente:

$$\left. \begin{aligned} 540585 + 8031 * 30 &= 781515 \\ 4414515 - 7091 * 30 &= 4201785 \end{aligned} \right\} \text{Original_10_09_2012}$$

$$\left. \begin{aligned} 540285 + 8031 * 30 &= 781215 \\ 4413915 - 7061 * 30 &= 4202085 \end{aligned} \right\} 25_08_2012$$

$$\left. \begin{aligned} 538485 + 8031 * 30 &= 779415 \\ 4413915 - 7061 * 30 &= 4202085 \end{aligned} \right\} 28_10_2012$$

$$\left. \begin{aligned} 538785 + 8041 * 30 &= 780015 \\ 4413915 - 7061 * 30 &= 4202085 \end{aligned} \right\} 29_11_2012$$

Como ya conocemos las coordenadas originales y las coordenadas finales de las imágenes, ahora debemos de trasladar dichas coordenadas al programa AutoCAD para poder averiguar cuál es el área de estudio que coincide entre las cuatro imágenes.

Con este método hallaremos las coordenadas de la zona de estudio donde coinciden las cuatro imágenes y recortaremos las cuatro imágenes con las coordenadas de esa zona de estudio, de tal forma que, todas las imágenes tengan las mismas filas y columnas y además las mismas coordenadas.

Observamos donde coinciden las cuatro imágenes y tomamos sus coordenadas.

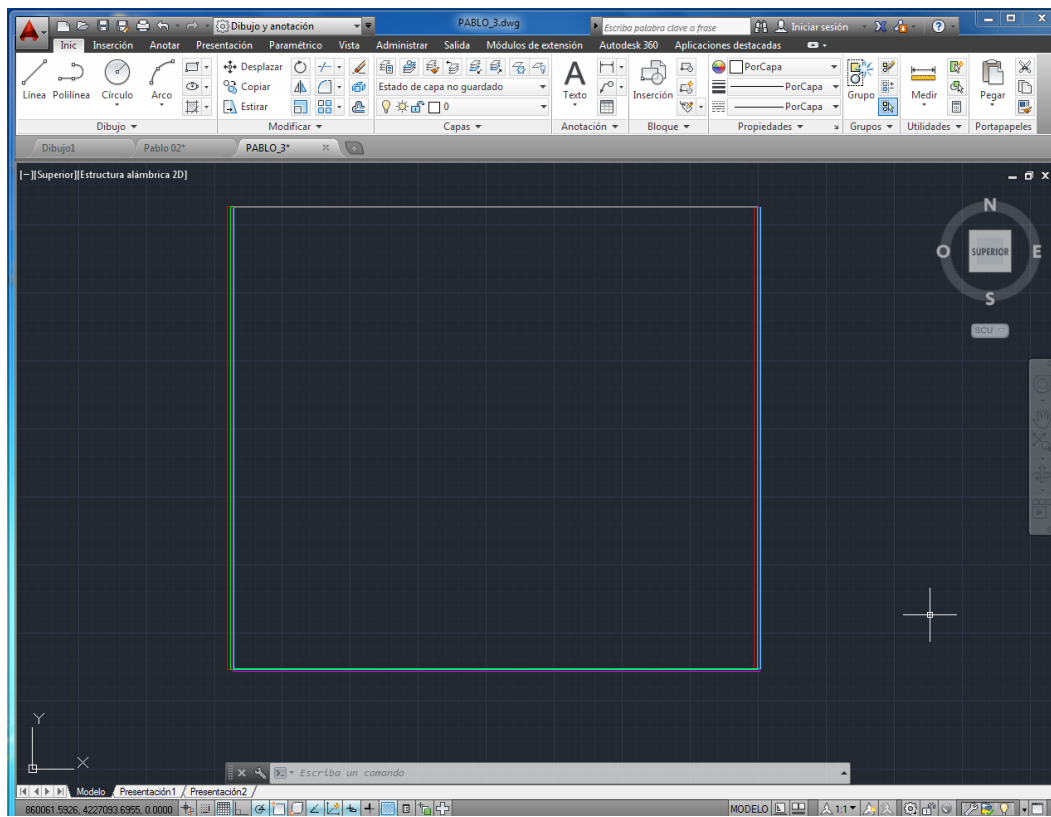


Fig 45. Coordenadas de las esquinas de cada imagen

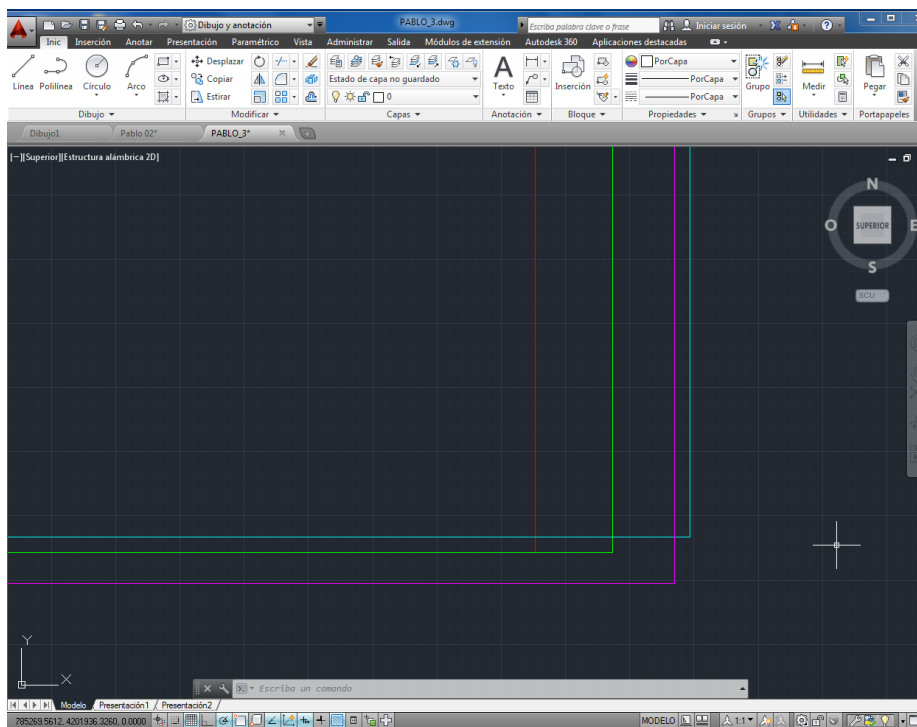


Fig 46. Coordenadas de las esquinas de cada imagen más detalladas

Las bandas que componen cada escena o imagen en el programa deben de ser procesadas de forma independiente y preparadas previamente utilizando el programa de procesamiento de imágenes ENVI, ya que las entradas al software (imagen primaria y auxiliar) deben tener el mismo tamaño en cuanto a filas y columnas y tener las mismas coordenadas y además estar libres de nubes y sus sombras.

Las imágenes se deben seleccionar tratando de que sean las más adecuadas en cuanto a calidad y además deben tener un nivel de luminosidad similar.

Las imágenes que son necesarias para un relleno satisfactorio son, como mínimo, 5 secuencias de imágenes. Nosotros hemos usado 4 imágenes auxiliares y la imagen original, con la particularidad de haber elegido imágenes con pocas nubes y sombras y con clara visibilidad del terreno.

Con la metodología tratamos de introducir en el programa la primera banda de la escena original (imagen primaria) y la primera banda de la primera escena auxiliar (imagen auxiliar o secundaria) y el resultado obtenido al utilizar este software fue efectivo. Los píxeles con datos inválidos fueron rellenados con valores que se ajustan a los valores de los datos válidos. Y así sucesivamente con todas las bandas.

Posteriormente se realiza el mismo proceso comentado en el párrafo anterior, pero con diferentes escenas, es decir, ahora en la segunda iteración elegimos el resultado anterior (resultado_1) y la siguiente imagen auxiliar.

Introducimos las bandas de ambas escenas siempre en orden, es decir, la primera banda del resultado_1 con la primera banda de la segunda imagen auxiliar. Y así sucesivamente con todas las bandas.

Por último, realizamos idéntico proceso que el descrito anteriormente pero con las imágenes resultado_2 y la última imagen auxiliar.

El resultado obtenido serán las 6 bandas que componen la imagen corregida, sin errores de bandeo, sombras y nubes y con valores de los ND entre 0 y 255.

1º iteración

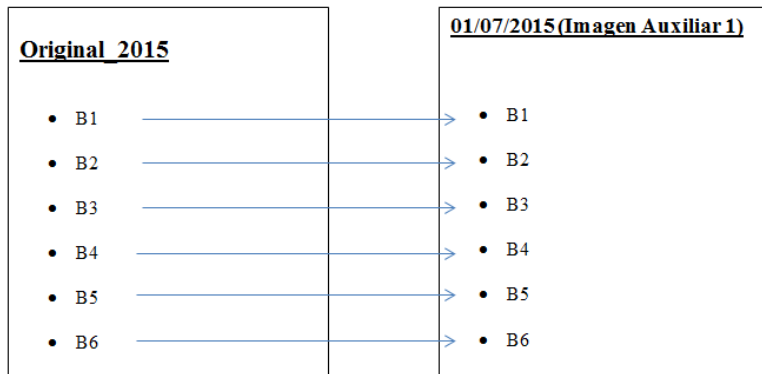


Fig 47. Primera iteración en el programa SLC-Off entre las bandas de la imagen de referencia y la primera imagen auxiliar.

2º iteración

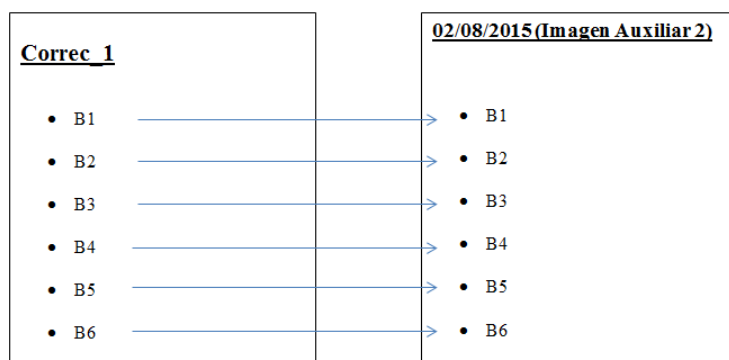


Fig 48. Segunda iteración en el programa de SLC-Off entre la primera corrección y la segunda imagen auxiliar.

3º iteración

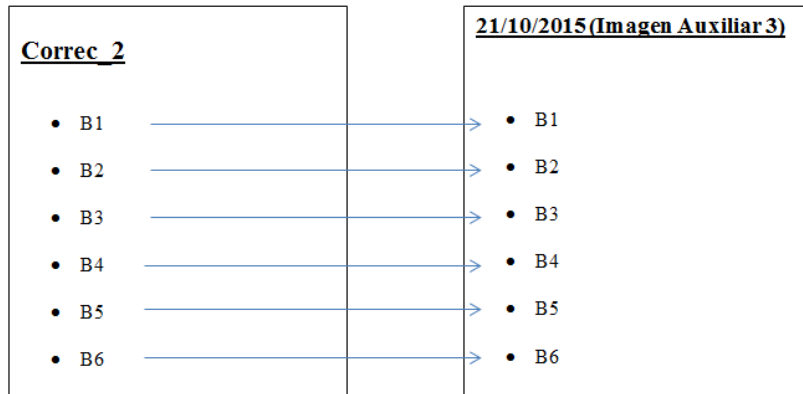


Fig 49. Tercera iteración en el programa de SLC-Off entre la segunda corrección y la tercera imagen auxiliar.

4º iteración

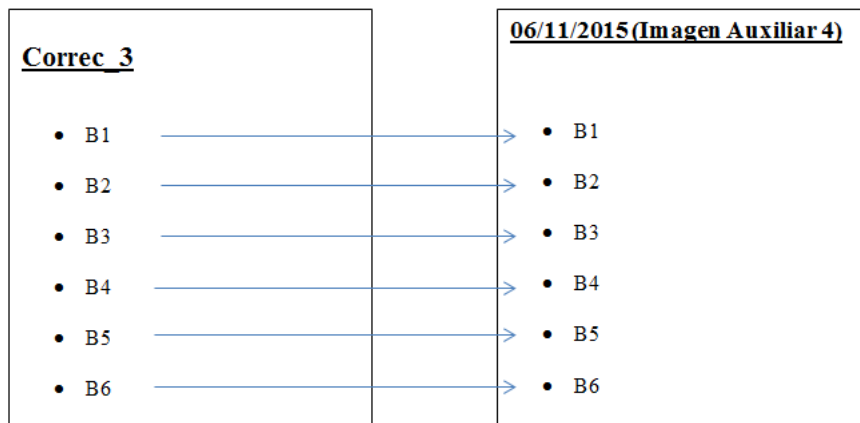


Fig 50. Cuarta iteración en el programa de SLC-Off entre la tercera corrección y la cuarta imagen auxiliar.

En la imagen anterior podemos observar el proceso que utilizamos para corregir cada banda de las imágenes.

Comenzamos uniendo las bandas de la imagen original con la primera imagen auxiliar (01_07_2015). El resultado de esta unión es la imagen de la primera corrección. A continuación, unimos todas las bandas de esta nueva imagen con las bandas de la segunda imagen auxiliar (02_08_2015) .

Continuamos con la tercera iteración, en la que elegimos la imagen de la segunda corrección, con todas sus bandas, que es el resultado de la segunda iteración y la unimos con las bandas de la tercera imagen auxiliar.

Por último, realizamos la cuarta iteración en la que escogemos la imagen de la tercera corrección, con todas sus bandas, resultado de la tercera iteración y la enlazamos con las bandas de la cuarta imagen auxiliar.

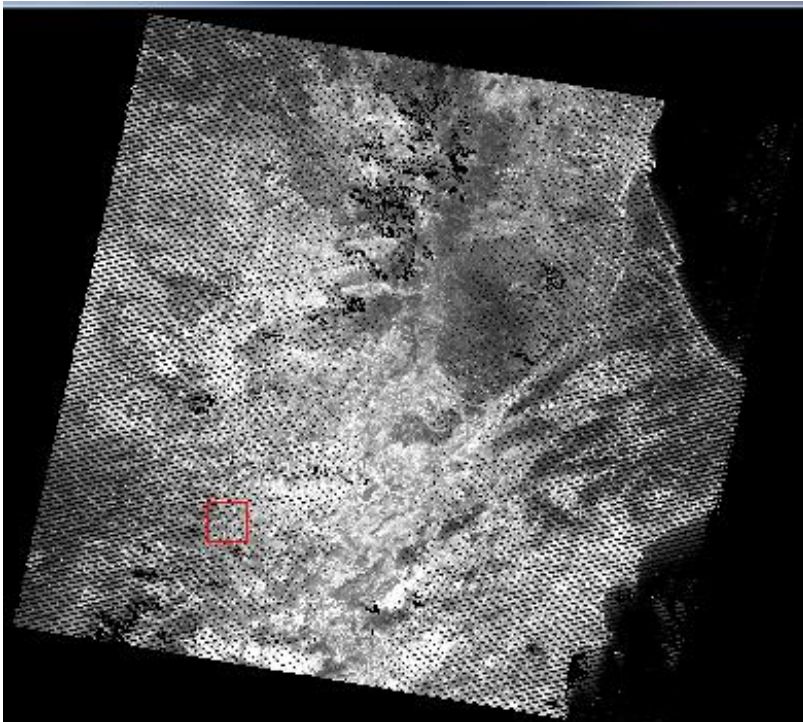


Fig 51. Resultado de la primera banda del año 2015

En la imagen previa observamos el resultado corregido de la primera banda de la imagen original del año 2015.

Por último, cuando tenemos creadas cada banda de la imagen resultante, debemos de guardar la nueva imagen en formato ENVI para poder visualizarla y comprobar que no haya ningún error.

Los pasos son los siguientes: File > Save File As > ENVI Standard. Luego elegimos las bandas de la imagen resultante y ordenamos dichas bandas. A continuación cargamos la imagen para poder visualizarla.

En la imagen siguiente, podemos observar el resultado final del año 2015:

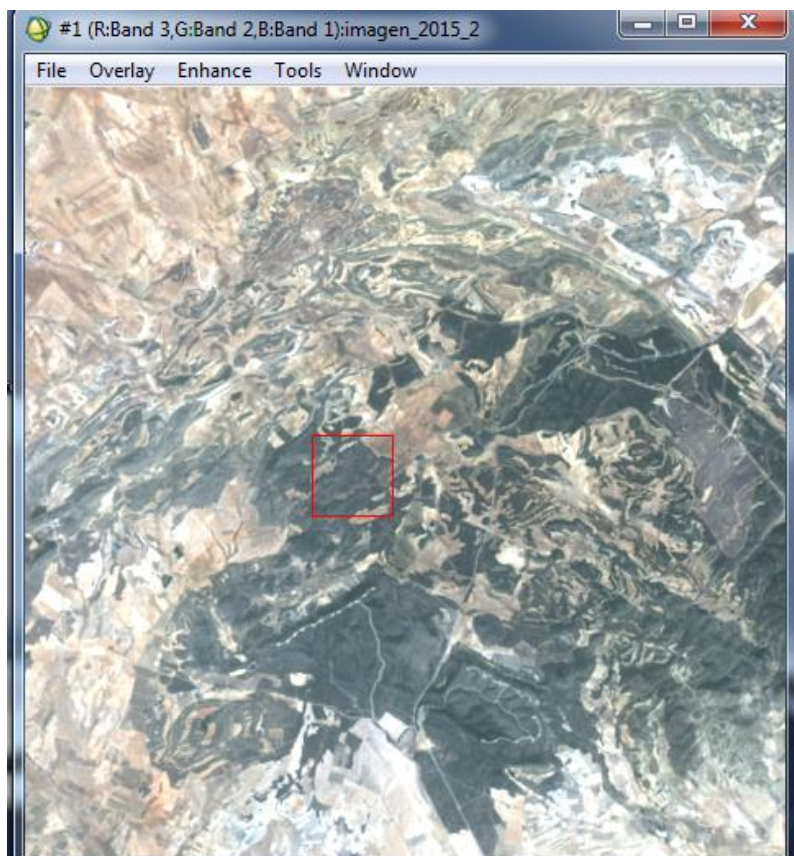


Fig 52. Resultado final del año 2015

3.3. Ajuste de media y desviación típica

En este punto, realizaremos un ajuste de media y desviación típica a nuestras imágenes de estudio, teniendo como referencia la imagen del año 2012, ya que es la imagen que tiene un mayor contraste en todas las bandas debido a que, previamente, hemos calculado las estadísticas de todos los años de estudio y en todas las imágenes menos en la de referencia se podía observar como alguna banda se había desplazado del conjunto de bandas. Con este ajuste lo que queremos conseguir es que las medias y desviaciones típicas de todas las imágenes de estudio tengan la misma media y desviación típica que la imagen de referencia. A continuación se puede observar lo citado anteriormente:

En primer lugar debemos de crear una máscara de la zona útil de las imágenes. Necesitamos realizar una máscara que contendrá la zona que queremos estudiar y así poder prescindir de las áreas que no nos interesan, como es el caso del mar. Solo será necesario crear una máscara, debido a que todas las imágenes tienen el mismo tamaño, por lo cual podemos usar la máscara que creamos para todas las imágenes. A continuación se muestra la máscara creada:

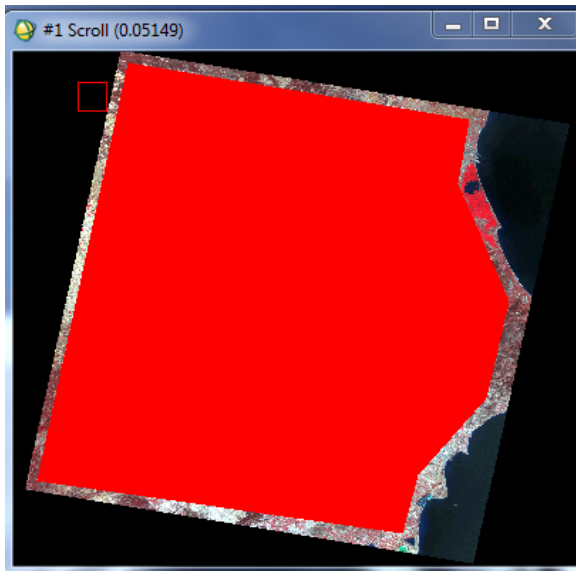


Fig 53. ROI de la zona útil de trabajo

A partir de esta máscara, la aplicaremos a cada imagen de estudio y podremos sacar sus estadísticas para analizar y observar si las bandas de cada imagen están agrupadas o por el contrario, están muy separadas entre ellas.

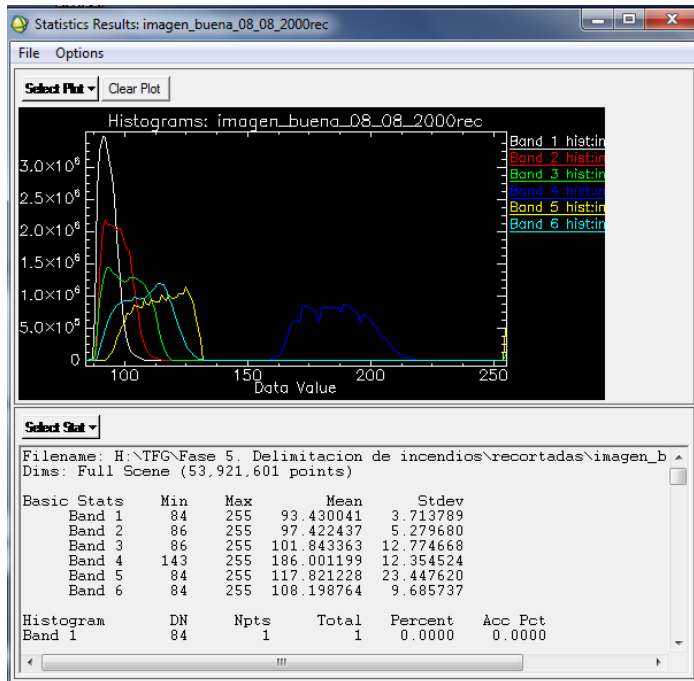


Fig 54. Estadísticas imagen del año 2000 aplicándole máscara de la zona útil

En la imagen anterior podemos ver como casi todas las bandas están bien agrupadas menos la banda 4 que se encuentra bastante alejada del resto de bandas. Además se puede observar en las estadísticas como la banda 4 tiene un mínimo con un rango de valor diferente al resto de bandas, por lo que denota que algo está pasando en la banda 4.

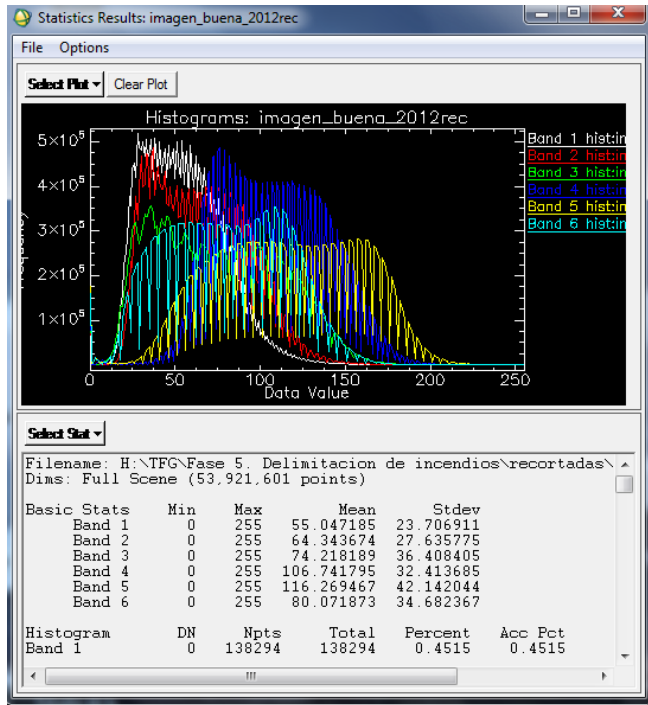


Fig 55. Estadísticas imagen del año 2012 aplicándole máscara de la zona útil

En las estadísticas de la imagen del año 2012, podemos observar como las bandas se encuentran totalmente agrupadas y vemos que tienen un rango de valores similar en la media y desviación típica.

Para verificar las demás imágenes, debemos de calcular las estadísticas de éstas para comprobar la agrupación de las bandas y los valores que poseen de media y desviación típica:

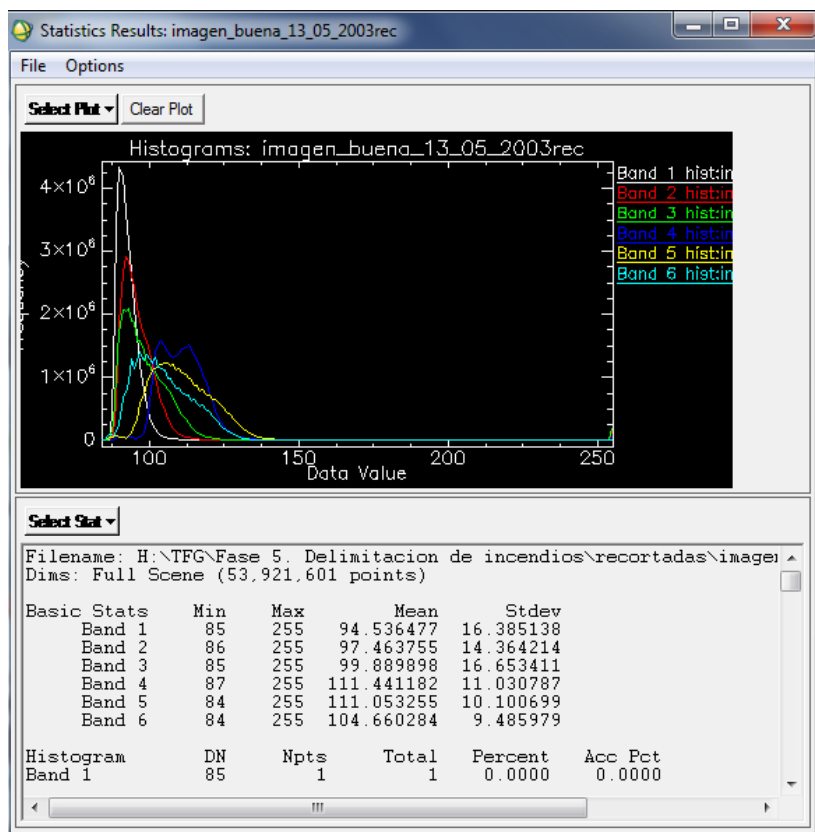


Fig 56. Estadísticas imagen del año 2003 aplicándole máscara de la zona útil

En las estadísticas de la imagen del año 2003, vemos como todas las bandas se encuentran agrupadas o juntas, pero tenemos que fijarnos en que la banda 1 y la banda 2 tienen unos picos demasiado alejados de los demás que se mantienen con valores por debajo de ellas, por lo que hemos detectado una situación anómala en dichas bandas.

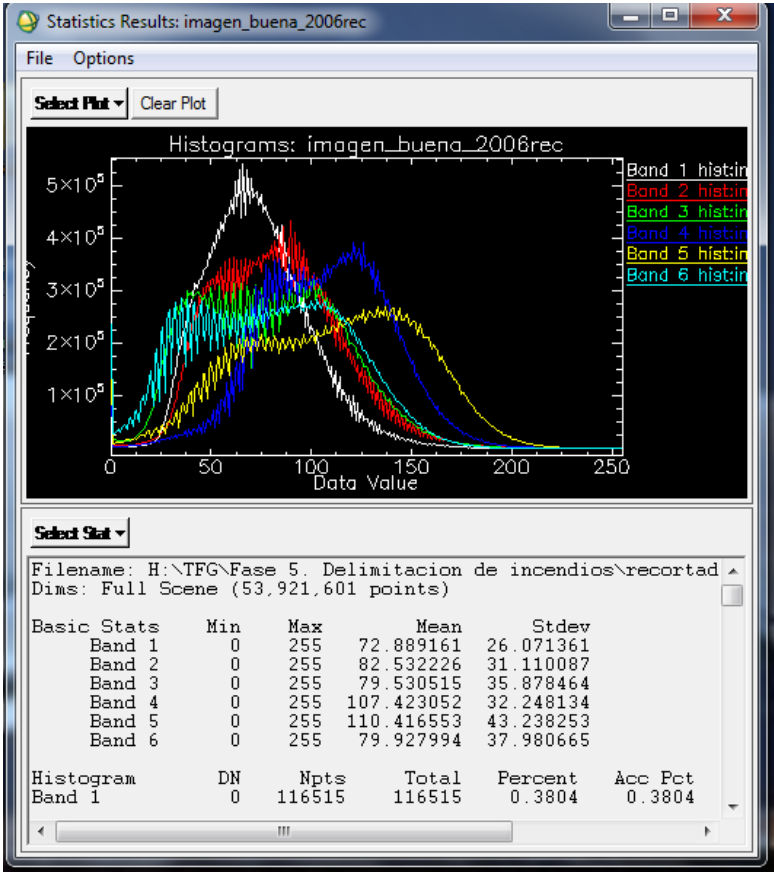


Fig 57. Estadísticas imagen del año 2006 aplicándole máscara de la zona útil

En las estadísticas de la imagen del año 2006, vemos como las bandas están juntas, pero observamos como la banda 5 está un poco más separada que las demás bandas, por lo que verificamos la media y desviación típica de la banda 5 observando que posee una desviación típica fuera del rango de las demás desviaciones típicas, es decir, un poco más alta que las demás desviaciones típicas del resto de bandas. Asimismo su media también tiene un valor más elevado que el resto de medias.

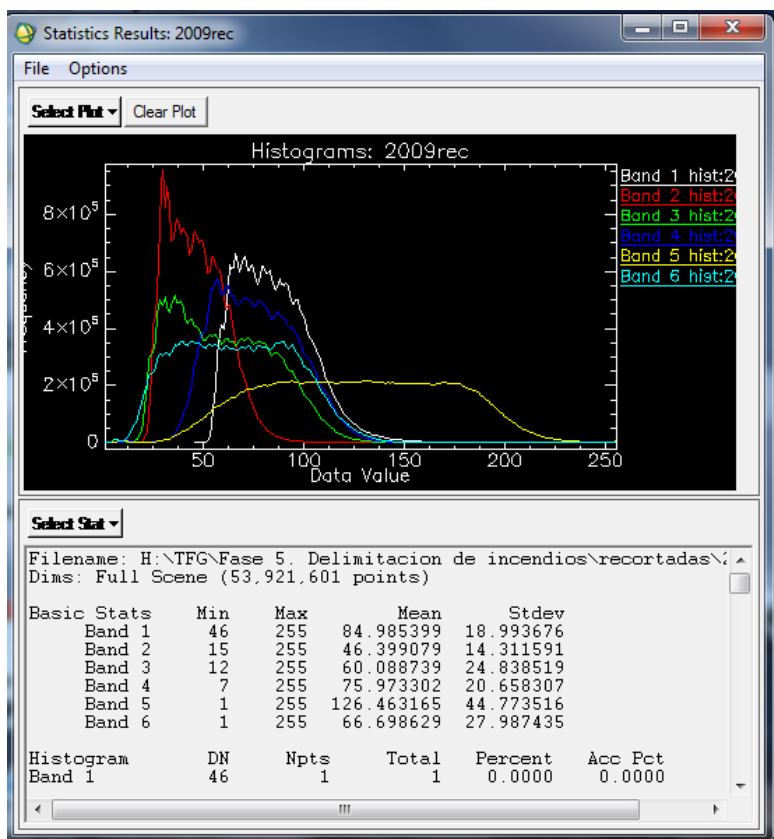


Fig 58. Estadísticas imagen del año 2009 aplicándole máscara de la zona útil

En las estadísticas de la imagen del año 2009, vemos como la mayoría de las bandas están agrupadas menos una banda, la banda 5, donde observamos que se encuentra más alejada y además es más baja y larga que las demás bandas, las cuales son más altas y estrechas. Comprobamos la media y desviación típica de la banda 5 y definitivamente pasa algo anómalo en dicha banda, ya que tiene el valor de la media fuera del rango de las demás medias y su desviación típica también es demasiado grande comparada con las demás.

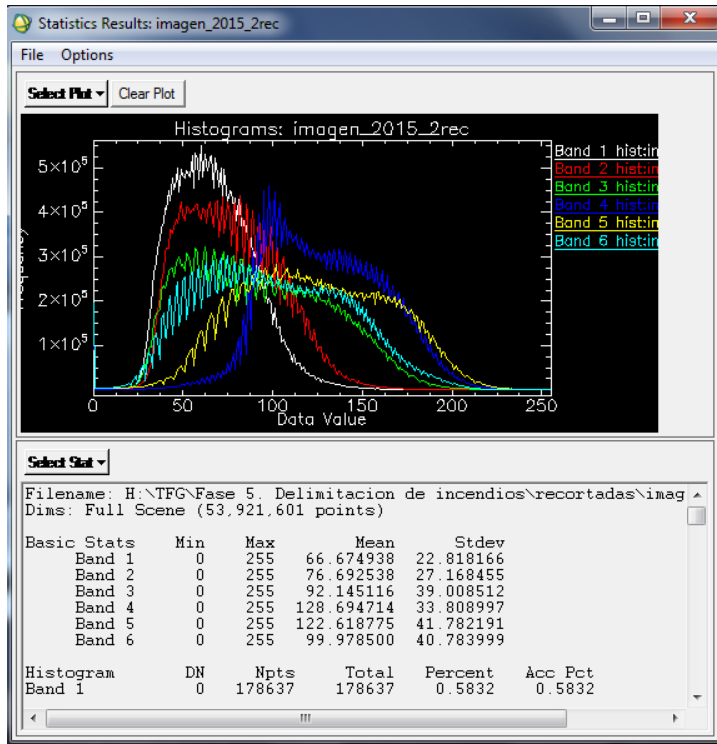


Fig 59. Estadísticas imagen del año 2015 aplicándole máscara de la zona útil

En las estadísticas de la imagen del año 2015, observamos como todas las bandas se comportan de una manera parecida, ya que están agrupadas y si nos fijamos en las medias y desviaciones típicas, todas tienen el mismo rango de valores, menos la banda 4 y 5 que tienen las medias un poco elevadas comparadas con el resto de valores y las desviaciones típicas son todas del mismo rango de valores.

El siguiente paso es transformar las medias y desviaciones típicas de todas las imágenes para que tengan los mismos valores de media y desviación típica que la imagen de referencia, es decir, la imagen del año 2012. Para ello, debemos de realizar el ajuste de media y desviación típica a cada una de las seis bandas que forman una imagen, por lo que debemos de calcular dos índices y la fórmula general de este ajuste para cada banda. Aplicaremos este proceso para cada imagen. Las fórmulas para calcular el ajuste respecto a la imagen del año 2000 son las siguientes:

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}}$$

Fig 60. Fórmula del coeficiente 'a'

- $\sigma_{B1\ 2012}$, indica la desviación típica de la banda 1 de la imagen del año 2012.
- $\sigma_{B1\ 2000}$, indica la desviación típica de la banda 1 de la imagen del año 2000.

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000}$$

Fig 61. Fórmula del coeficiente 'b'

- $\mu_{B1\ 2012}$, indica la media de la banda 1 de la imagen del año 2012.
- a, coeficiente.
- $\mu_{B1\ 2000}$, indica la media de la banda 1 de la imagen del año 2000.

$$B1_{2000} * a + b$$

Fig 62. Fórmula general de ajuste de media y desviación típica

- $B1_{2000}$, indica la banda 1 de la imagen del año 2000
- a, coeficiente a.
- b, coeficiente b.

A continuación vamos a mostrar un ejemplo de los cálculos realizados para el ajuste de la imagen del año 2000:

❖ Banda 1

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{23.70691}{3.71378} = 6.383498$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 55.047185 - (6.383498 * 93.43) = -541.363$$

❖ Banda 2

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{27.63577}{5.27968} = 5.234364583$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 64.343674 - (5.234364583 * 97.4224) = -445.6006862$$

❖ Banda 3

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{36.40840}{12.77466} = 2.850048455$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 74.218189 - (2.850048455 * 101.843363) = -216.04033$$

❖ Banda 4

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{32.41368}{12.35452} = 2.623629247$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 106.741795 - (2.623629247 * 186.001199) = -381.2563$$

❖ Banda 5

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{42.14204}{23.44762} = 1.79728433$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 116.269467 - (1.79728433 * 117.821228) = -95.488779$$

❖ Banda 6

$$a = \frac{\sigma_{B1\ 2012}}{\sigma_{B1\ 2000}} = \frac{34.68236}{9.68573} = 3.580768822$$

$$b = \mu_{B1\ 2012} - a * \mu_{B1\ 2000} = 80.071873 - (3.580768822 * 108.198764) = -307.36288$$

Los cálculos de los índices 'a' y 'b' los hemos realizado con la calculadora y la fórmula general la hemos elaborado con el programa ENVI aplicando el submenú Band Math. Por último, vamos a comprobar si hemos realizado correctamente los cálculos anteriores y observaremos si la media y la desviación típica en cada banda de la imagen del año 2000 son iguales a las de la imagen de referencia (imagen del año 2012).

Debemos de unir todas las bandas ajustadas para poder crear una imagen apta para ENVI, por lo que acudimos a ENVI y seguimos los siguientes pasos: File > Save File As > ENVI Standard> Importamos las bandas y las reordenamos en su correcta posición.

Finalmente, aplicamos la máscara de la zona útil creada en el primer paso y extraemos las estadísticas de la imagen nueva del año 2000.

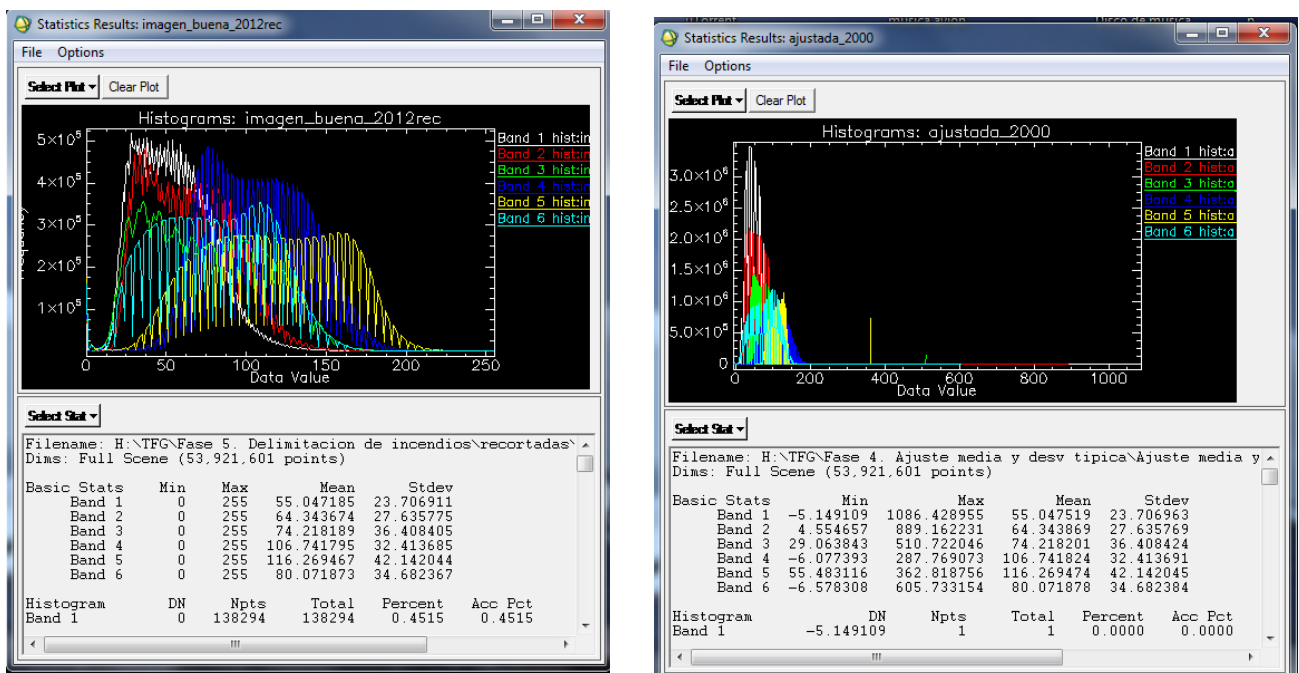


Fig 63. Estadísticas de imagen de referencia (izquierda) y estadísticas ajustadas imagen año 2000 (derecha).

Como podemos observar, la imagen ajustada del año 2000 tiene la misma media y desviación típica en cada una de las bandas que la imagen de referencia, por lo que hemos realizado correctamente el ajuste de media y desviación típica. También podemos comprobar que en la imagen ajustada del año 2000 las bandas se encuentran más agrupadas y no dispersas, como ocurría con la banda 5 cuando aún no estaba ajustada la imagen del año 2000

4. METODOLOGÍA

4.1 Cálculo de NDVI

En este paso calcularemos el NDVI para cada año de estudio. El NDVI es el índice de vegetación de diferencia normalizada, utilizado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en referencia a la medición, por medio de sensores remotos instalados en una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de las bandas rojas e infrarroja del espectro electromagnético que la vegetación refleja. Además, El NDVI varía entre valores de -1 y +1. La fórmula para calcular el índice NDVI es la siguiente:

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

Fig 64. Fórmula NDVI

- IRC, indica el infrarrojo cercano del espectro electromagnético
- R, indica la banda roja del espectro electromagnético

Para poder calcular el índice NDVI, acudimos al programa ENVI, exactamente al submenú Transform > NDVI > Seleccionamos la imagen que queremos calcular su índice NDVI y posteriormente designamos una ruta de salida. A continuación se muestran varios ejemplos de índices NDVI calculados:

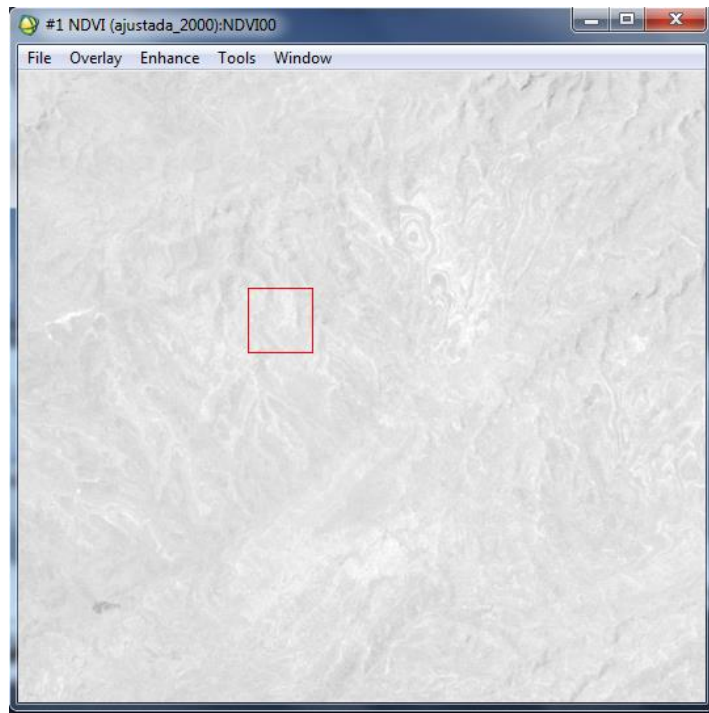


Fig 65. NDVI del año 2000

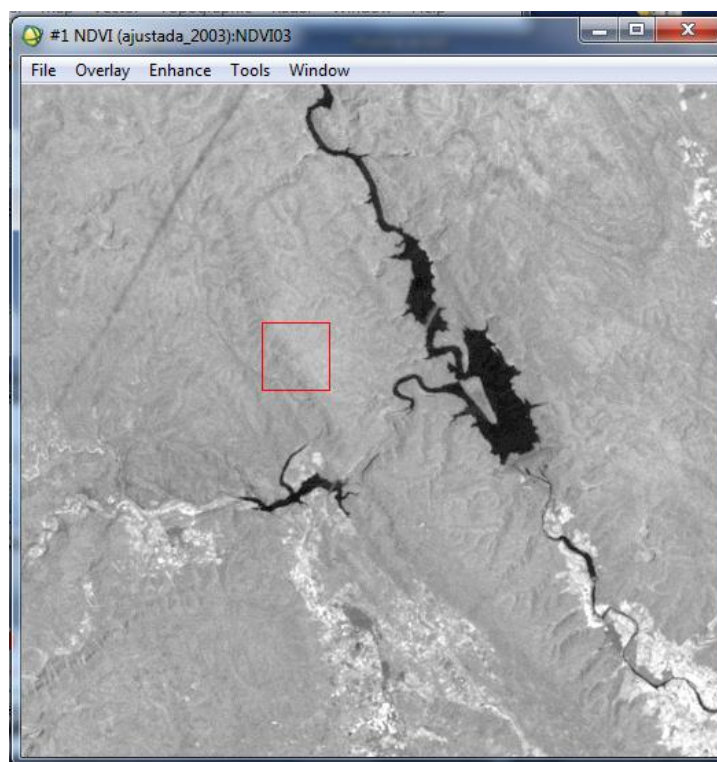


Fig 66. NDVI del año 2003

Seguidamente tenemos que restar los índices NDVI anteriormente calculados para cada par de años de estudio. En este paso realizamos una sencilla resta con el submenú de ENVI llamado Band Math, en el que restaremos los índices NDVI calculados anteriormente cada tres años, es decir:

- NDVI2000 – NDVI2003
- NDVI2003 – NDVI2006
- NDVI2006 – NDVI2009
- NDVI2009 – NDVI2012
- NDVI2012 – NDVI2015

Fig 67. Resta de NDVI

A continuación, para poder comprobar que la resta se ha realizado correctamente, en el caso del índice NDVI de los años 2000 y 2003, abrimos en ENVI los índices NDVI de los respectivos años de estudio y su correspondiente resta. Abrimos el submenú Cursor Location Value para poder seleccionar un pixel al azar y observamos el resultado:

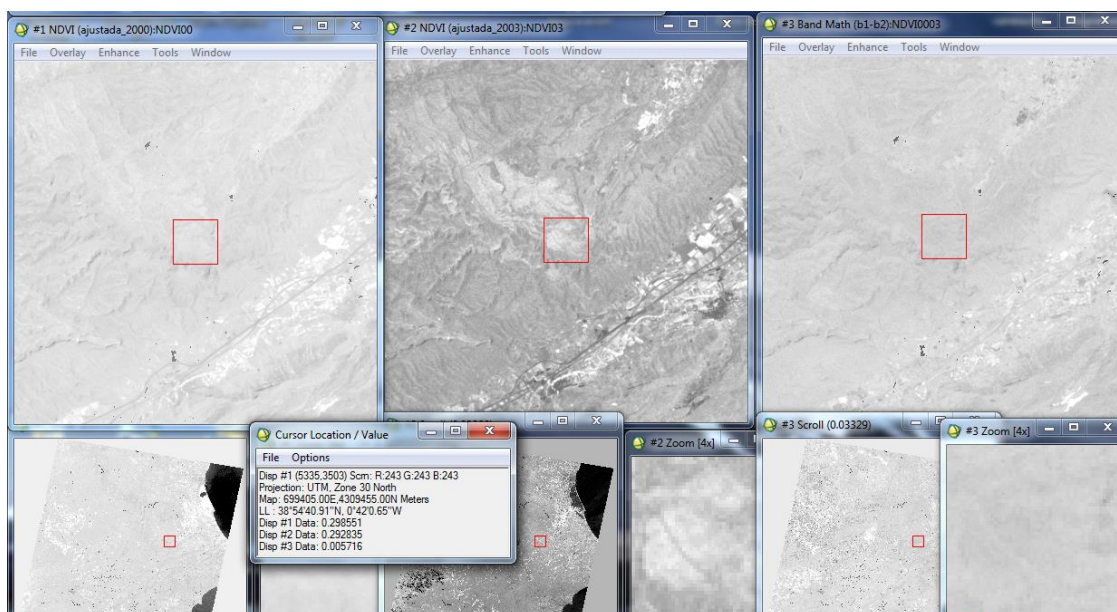


Fig 68. Comprobación del cálculo de la resta de NDVI de los años 2000-2003

A la izquierda el índice NDVI del año 2000, en el centro de la imagen el índice NDVI del año 2003 y a la derecha la resta del índice NDVI entre el año 2000 y el año 2003, pudiendo comprobar que la resta es correcta para ese pixel.

4.2. Cálculo de NBR

Ahora debemos de calcular el índice NBR para cada par de años de estudio, en el que el NBR o como se denomina en inglés, Normalized Burn Ratio, nos servirá para observar la severidad de los incendios ocurridos en nuestro periodo de estudio. El índice NBR se calcula de la siguiente manera:

$$\text{NBR} = \frac{B4 - B7}{B4 + B7}$$

Fig 69. Fórmula del índice NBR

El índice NBR se calcula con las bandas 4 y 7 de cada imagen, es decir, utilizamos información del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta respectivamente.

En las siguientes imágenes podemos visualizar los índices NBR de los años 2009 y 2012:

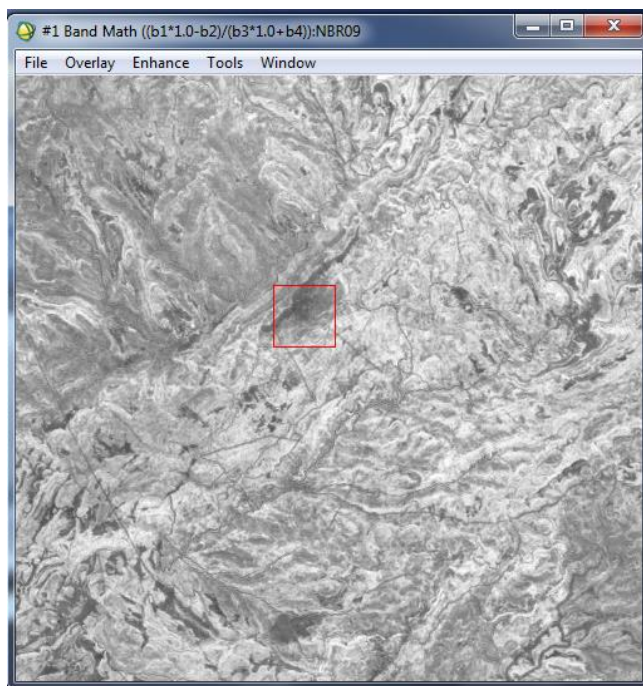


Fig 70. NBR del año 2009



Fig 71. NBR del año 2012

A continuación, debemos restar los índices NBR calculados en el paso anterior por cada par de años de estudio. Debemos de restar los índices NBR calculados en el paso anterior, como hemos hecho con el índice NDVI. Por lo tanto, con este índice nos será mucho más fácil poder observar algún otro incendio en nuestra área de estudio. En primer lugar, acudimos al programa ENVI para poder realizar la resta de ambos índices NBR en el submenú llamado Band Math, en el que restaremos los índices NBR cada tres años, es decir:

- NBR2000 – NBR2003
- NBR2003 – NBR2006
- NBR2006 – NBR2009
- NBR2009 – NBR2012
- NBR2012 – NBR2015

Fig 72. Resta de NBR

Seguidamente podemos visualizar la imagen resultante de la resta del índice NBR del año 2009 y el año 2012 para poder comprobar que el resultado de la resta esté correctamente ejecutado:

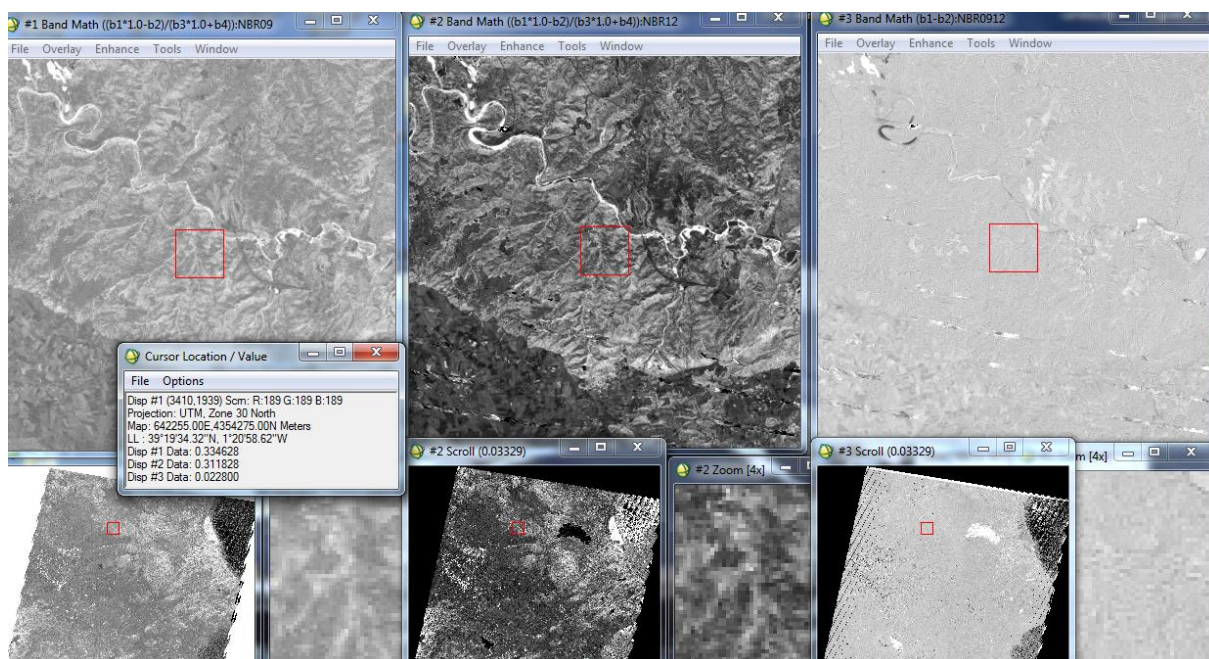


Fig 73. Comprobación del cálculo de la resta de NBR en los años 2009-2012

A la izquierda podemos observar el índice NBR del año 2009, en el centro el índice NBR del año 2012 y a la derecha la resta de los índices NBR de los años 2009 y 2012. Observamos que la resta entre ambos índices NBR de los distintos años es correcta. Cabe destacar que, gracias a la resta de los índices NBR, pudimos localizar tres nuevos incendios en nuestra área de estudio que añadimos al proyecto.

4.3. Análisis de gráficas

En esta fase debemos de dibujar regiones de interés, o también conocidas como ROI's, de las zonas quemadas por los incendios y a su vez de zonas no quemadas limítrofes a los incendios. Dibujaremos ROI's para cada incendio de los que estamos estudiando. A continuación se muestran varios ejemplos de áreas quemadas:

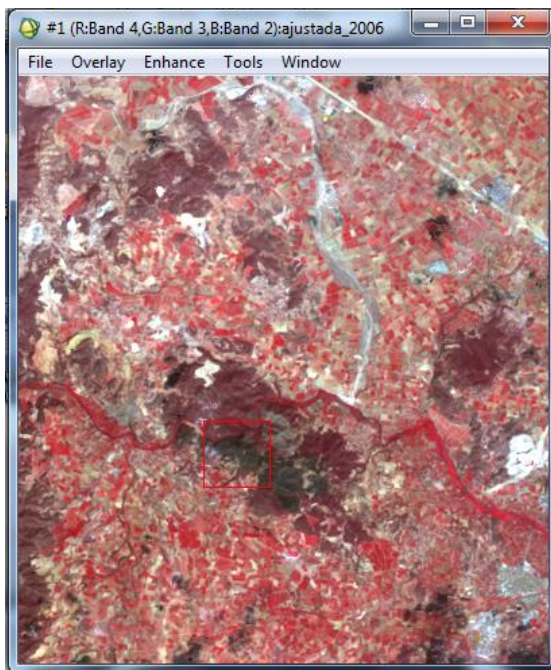


Fig 74. Zona quemada en Villamarxant año 2006

En la imagen anterior podemos observar como la zona del incendio aparece en color negro o gris oscuro y las zonas de cultivo o con vegetación en un tono rojizo o granate.

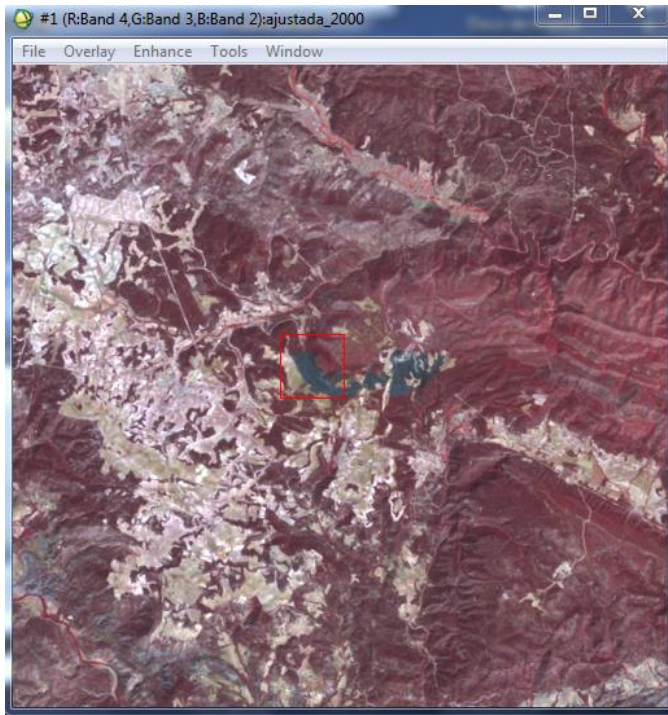


Fig 75. Zona quemada en Los Pedrones año 2000

En esta imagen (Fig 75), vemos como el incendio se detecta claramente con su color característico negro y las zonas con tonos de rojo oscuro son zonas de vegetación.

A continuación crearemos las ROI's de las zonas quemadas por los incendios y de las zonas limítrofes a dichos incendios que no han sido quemadas. Ejecutamos lo citado anteriormente realizando una serie de pasos en el programa ENVI, que son los siguientes:

Primero, abrimos la imagen del año 2012, ya que es la imagen donde se ve mejor el incendio del municipio de Rafelguaraf, clicamos en el menú Basic Tools > Region Of Interest > ROI Tool y a continuación debemos de dibujar el área quemada y posteriormente varias zonas limítrofes no quemadas, como se puede observar en las siguientes imágenes:



Fig 76. ROI incendio en Rafelguaraf

En la imagen previa hemos dibujado la ROI del incendio de Rafelguaraf en color morado para posteriormente extraer las estadísticas de esta ROI junto con los índices NDVI y NBR, para de esta forma poder observar los cambios de vegetación que han ocurrido en la zona del incendio.

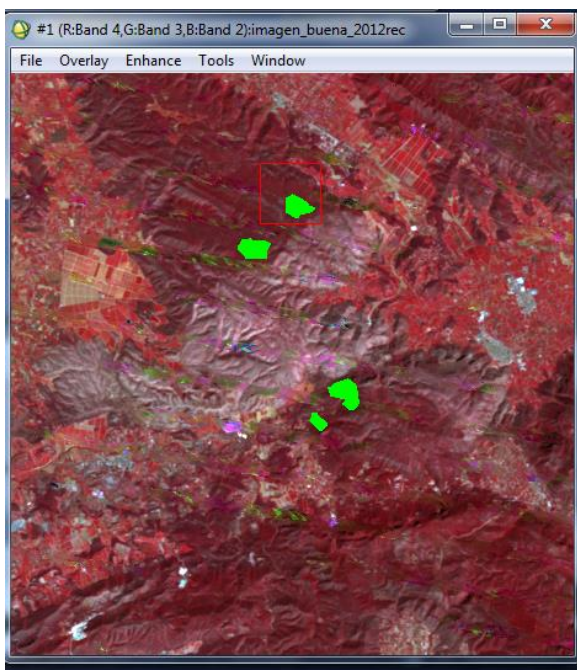


Fig 77. ROI zonas limítrofes al incendio en Rafelguaraf

En la imagen anterior observamos las ROI's de las zonas limítrofes al incendio en color verde, zonas cercanas a la zona quemada, para posteriormente realizar un análisis con dichas ROI's de las zonas limítrofes con los índices NDVI y NBR. Los valores del índice NDVI de las zonas limítrofes deberán ser muy similares a los del índice NDVI del incendio.

Realizamos este procedimiento para el resto de incendios forestales.

A continuación debemos de crear gráficas en Excel para poder analizar la evolución del terreno a lo largo del periodo de estudio y poder comprobar si los índices nos muestran la aparición de los incendios forestales en los respectivos años en los que se produjeron y poder ver como se ha transformado la vegetación a lo largo de los años.

Dichas gráficas están divididas en dos secciones: la sección del incendio, donde analizaremos con los índices NDVI y NBR la ROI del incendio y la sección de las zonas limítrofes, donde estudiaremos con los índices NDVI y NBR la ROI de dichas zonas y examinaremos los resultados.

BENIFALLIM

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.191291	2000	0.376409	2000
0.183009	2003	0.325685	2003
0.498413	2006	0.261433	2006
0.482569	2009	0.401542	2009
0.038925	2012	-0.190677	2012
0.281638	2015	0.199248	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.208079	2000	0.299289	2000
0.162016	2003	0.123313	2003
0.392505	2006	0.254726	2006
0.369358	2009	0.266143	2009
0.387482	2012	0.314527	2012
0.394385	2015	0.279191	2015

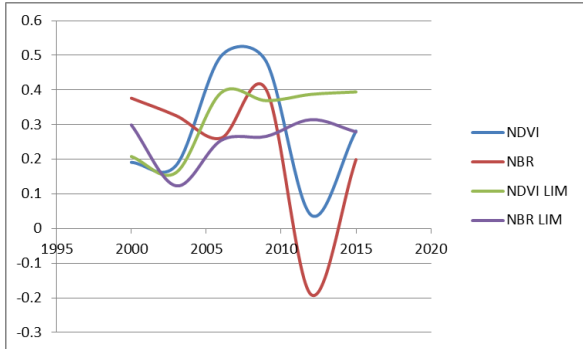


Fig 78. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Benifallim

En el incendio de Benifallim, en primer lugar analizaremos las variables del índice NDVI con la ROI del incendio y el índice NDVI LIM de la ROI de las zonas limítrofes, que deben de tener unos valores similares en las tablas:

- En el NDVI del incendio (NDVI) se parte en el año 2000 con vegetación, en el año 2003 se observa como se ha quemado, debido a un incendio ocurrido en el año 2002 y hasta el año 2009 aumenta, es decir, se va regenerando poco a poco la vegetación, posteriormente desciende bruscamente debido a otro incendio acontecido en el año 2012, y por último se va recuperando la vegetación hasta llegar al año 2015. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM) comenzamos con vegetación, se va regenerando debido al incremento que podemos observar en la gráfica hasta el año 2006 y más tarde se mantiene constante la evolución desde el año 2006 hasta el año 2015.
- Ahora vamos a analizar el índice NBR de la ROI del incendio y el índice NBR LIM de la ROI de las zonas limítrofes. El NBR del incendio (NBR) casi no se aprecia que haya detectado el incendio del año 2002, en el año 2005 comienza a regenerarse, luego se ve claramente como detecta perfectamente el incendio del año 2012 y por último en el año 2015 vuelve a regenerarse. Por lo que, podemos decir que el índice NBR detecta muy bien el incendio de Benifallim, como podemos observar en la gráfica, con ese descenso brusco en el año 2012. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM) de la ROI de las zonas limítrofes, apreciamos un descenso brusco en el año 2002, después en el año 2005 empieza a regenerarse la vegetación, y por último esa evolución regenerativa se prolonga hasta el año 2015.

LOS PEDRONES

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
-0.148039	2000	-0.172513	2000
0.231813	2003	0.264202	2003
0.306828	2006	0.305141	2006
0.456079	2009	0.384263	2009
0.455682	2012	0.380137	2012
0.461468	2015	0.393965	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.18303	2000	0.310923	2000
0.203282	2003	0.332326	2003
0.370064	2006	0.34627	2006
0.475946	2009	0.4011	2009
0.473606	2012	0.390513	2012
0.482168	2015	0.40206	2015

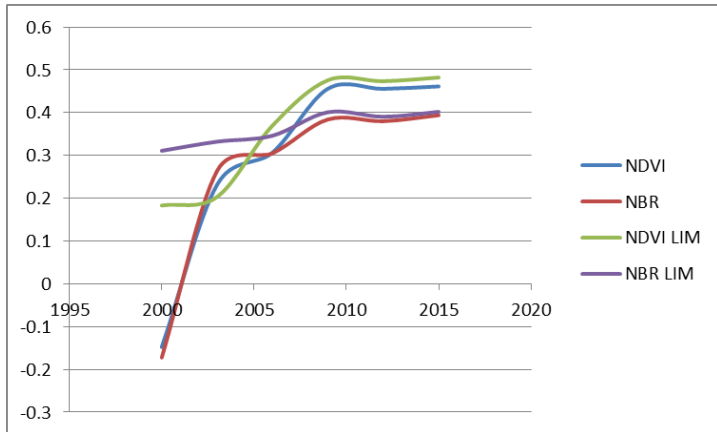


Fig 79. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Los Pedrones

- En primer lugar vamos a analizar el índice NDVI del incendio (NDVI), en el que se parte en el año 2000 con un incendio ocurrido ese mismo año. En el año 2003 se observa cómo se va regenerando poco a poco, y hasta el año 2010 aumenta, es decir, se va regenerando progresivamente la vegetación, luego se mantiene constante la regeneración entre los años 2010 y 2015. Cabe destacar que el índice NDVI detecta muy bien el incendio de Los Pedrones, ya que éste se produjo pocos días antes de la toma de la imagen del satélite. Por otro lado, en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), comenzamos con vegetación, después entre los años 2003 hasta 2009 se puede observar un incremento en la gráfica, que indica que la vegetación se está regenerando y a partir del año 2009 hasta el año 2015 se mantiene constante la evolución regenerativa.
- En el índice NBR del incendio (NBR) empezamos con un incendio en el año 2000, luego se va regenerando hasta el año 2003 y a partir del año 2003 hasta el año 2015 se puede observar cómo se va regenerando poco a poco. En el índice NBR cabe destacar lo mismo que en el índice NDVI, detecta muy bien el incendio. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

VILLAMARXANT

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.131537	2000	0.260895	2000
0.187276	2003	0.324991	2003
0.14164	2006	-0.182619	2006
0.205028	2009	0.130546	2009
0.228372	2012	0.143535	2012
0.267274	2015	0.256264	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.137359	2000	0.241249	2000
0.179756	2003	0.294375	2003
0.360017	2006	0.249305	2006
0.355807	2009	0.299896	2009
0.349631	2012	0.269884	2012
0.303401	2015	0.292122	2015



Fig 80. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Villamarxant

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) de Villamarxant podemos observar que partimos en el año 2000 hasta el año 2003 con vegetación. A partir del año 2003, vemos como escasamente detecta el incendio ocurrido en el año 2006, y por ultimo su ascenso en la gráfica indicando una regeneración. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, entre los años 2003 y 2006 se puede observar un aumento, indicando regeneración, y desde el año 2006 hasta el año 2015 se mantiene constante, no hay cambios.
- Ahora analizaremos el índice NBR del incendio (NBR), en el que comenzamos con vegetación, y luego podemos observar como detecta bastante bien el incendio ocurrido en el año 2006, después un aumento, lo que indica regeneración y entre los años 2010 y 2015 una regeneración progresiva. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

VALL D'ALCALA

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.126936	2000	0.156482	2000
0.199906	2003	0.270107	2003
0.281054	2006	0.183626	2006
0.083343	2009	-0.198009	2009
0.161168	2012	0.128723	2012
0.249921	2015	0.204976	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.166334	2000	0.276311	2000
0.210646	2003	0.322566	2003
0.337831	2006	0.25829	2006
0.402021	2009	0.28914	2009
0.389159	2012	0.305424	2012
0.457447	2015	0.340739	2015

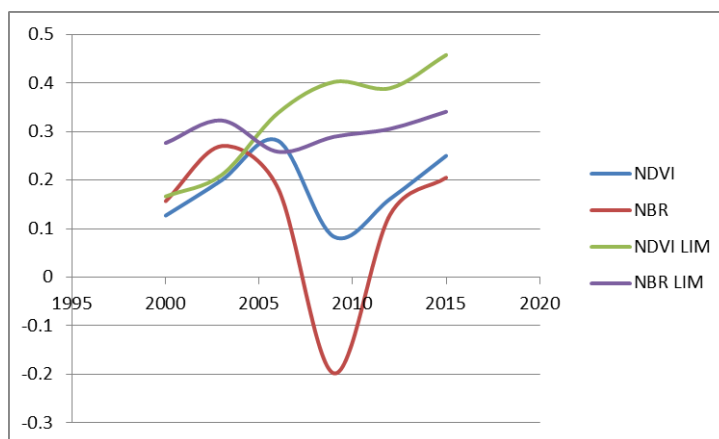


Fig 81. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Vall D'Alcala

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) de Vall D'Alcala, se inicia en el año 2000 hasta el año 2006 con vegetación. A partir del año 2006, podemos observar como de forma mínima detecta el incendio ocurrido en el año 2009, y por último su ascenso en la gráfica indicando una regeneración. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, en el año 2006 se puede observar un aumento, indicando regeneración, y desde el año 2006 hasta el año 2015 se mantiene ese aumento.
- En el índice NBR del incendio (NBR), comenzamos con vegetación, y posteriormente podemos observar como detecta bastante bien el incendio ocurrido en el año 2009, después un aumento, lo que indica regeneración hasta el año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

RAFELGUARAF

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.170139	2000	0.274639	2000
0.234694	2003	0.327134	2003
0.310496	2006	0.245723	2006
0.421883	2009	0.282333	2009
0.247723	2012	0.18656	2012
0.316177	2015	0.231872	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.175716	2000	0.292999	2000
0.226787	2003	0.380976	2003
0.324424	2006	0.306531	2006
0.45651	2009	0.333979	2009
0.457997	2012	0.336924	2012
0.500707	2015	0.339215	2015

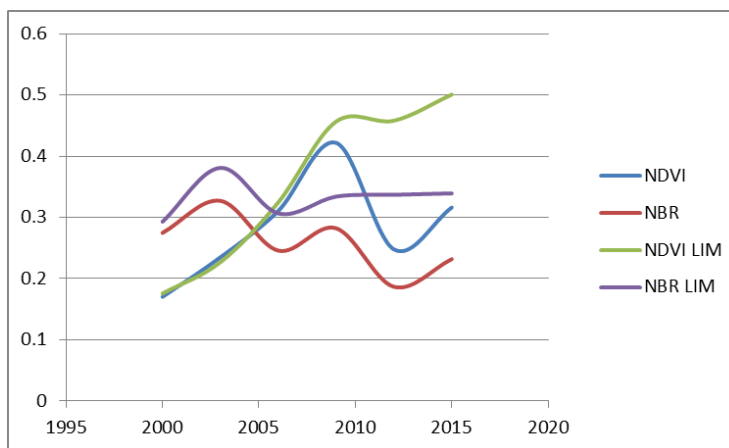


Fig 82. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Rafelguaraf

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) comenzamos con vegetación en el año 2000, a partir del año 2009, podemos observar como detecta el incendio ocurrido en el año 2010, y por último su ligero ascenso en la gráfica indicando una regeneración en el año 2015. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, en el año 2010 se puede observar un pequeño aumento, indicando regeneración hasta el año 2015.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, y luego también podemos observar cómo va decreciendo, lo que implicaría incendios aislados en el año 2006, seguidamente una leve regeneración en el año 2009 y la detección del incendio del año 2010, y su posterior regeneración. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), comenzamos con vegetación, en el año 2006 aparece un ligero descenso, y posteriormente se mantiene constante hasta el año 2015.

ONTINYENT

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.147767	2000	0.149901	2000
0.214372	2003	0.261516	2003
0.321727	2006	0.179064	2006
0.315137	2009	0.145009	2009
0.184216	2012	0.123528	2012
0.22909	2015	0.134956	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.148169	2000	0.19113	2000
0.21443	2003	0.304772	2003
0.34635	2006	0.213203	2006
0.36304	2009	0.202306	2009
0.36747	2012	0.243071	2012
0.403113	2015	0.248831	2015

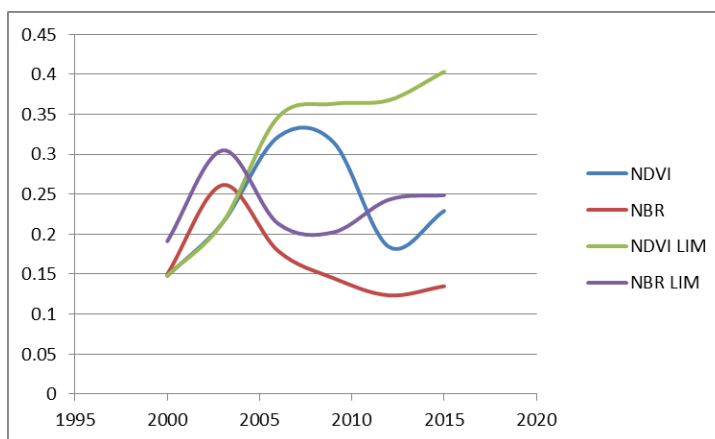


Fig 83. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Ontinyent

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) tenemos vegetación en el año 2000. Luego se produce un aumento hasta el año 2006, y del año 2009 hasta el año 2012, un descenso debido al incendio ocurrido en el año 2010, y entre los años 2012 y 2015 se observa su posterior regeneración. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, hasta llegar al año 2006 donde aún se puede apreciar el posterior incremento hasta el año 2015.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, y luego también podemos observar cómo va aumentando, y su posterior descenso hasta el año 2010, donde detecta de forma escasa el incendio, y su posterior y lenta regeneración hasta el año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), comenzamos con vegetación, luego observamos un ligero descenso en el año 2010 y su posterior regeneración hasta el año 2015.

CORTES DE PALLAS

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.204935	2000	0.261943	2000
0.231194	2003	0.314785	2003
0.970577	2006	0.244801	2006
0.410632	2009	0.287361	2009
0.120533	2012	-0.19307	2012
0.265456	2015	0.228886	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.179518	2000	0.196015	2000
0.2094	2003	0.25095	2003
0.572471	2006	0.314818	2006
0.360364	2009	0.230227	2009
0.359712	2012	0.243702	2012
0.370228	2015	0.25767	2015

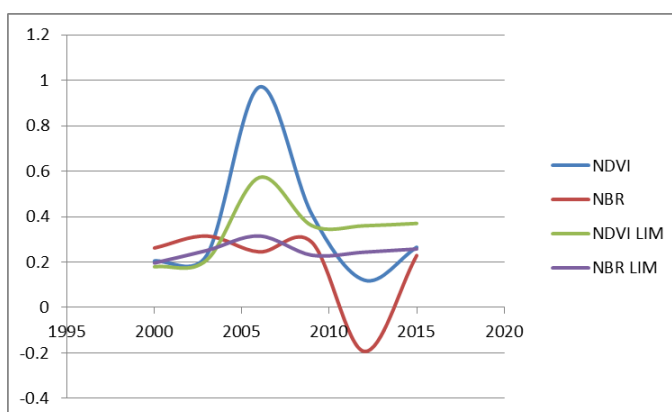


Fig 84. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Cortes de Pallas

- Comenzamos con vegetación en el índice NDVI del incendio (NDVI), en el año 2000, en los años posteriores se observa un incremento, hasta llegar al año 2012 donde se produjo el incendio, y por ultimo un leve incremento, que indica una regeneración lenta. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, hasta llegar al año 2003 donde se aprecia un incremento hasta llegar al año 2010, y desde el año 2010 hasta el año 2015 se mantiene constante.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, y se mantiene así hasta llegar al año 2012, donde detecta muy bien el incendio y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

SIERRA DE LOS DONCELES

INCENDIO				ZONAS LIMITROFES			
NDVI		NBR		NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO	μ	AÑO	μ	AÑO
0.150058	2000	0.192396	2000	0.165084	2000	0.199678	2000
0.153968	2003	0.162488	2003	0.164239	2003	0.175862	2003
0.286299	2006	0.133718	2006	0.321501	2006	0.170448	2006
0.286974	2009	0.245406	2009	0.317224	2009	0.286815	2009
0.102718	2012	-0.191255	2012	0.286299	2012	0.220141	2012
0.12418	2015	0.07808	2015	0.25468	2015	0.155364	2015

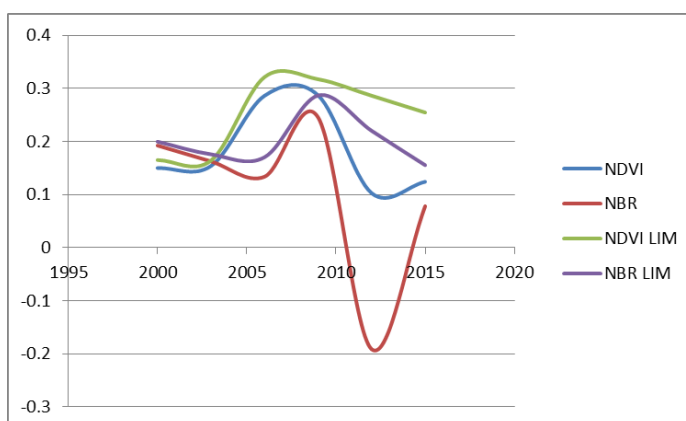


Fig 85. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Sierra de Los Donceles.

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) de la Sierra de los Donceles, partimos con vegetación en el año 2000, en los años posteriores se observa un incremento, hasta llegar al año 2012 donde se produjo el incendio, y por ultimo un leve incremento, que indica una regeneración. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, hasta llegar al año 2003 donde se aprecia un incremento hasta llegar al año 2010, y desde el año 2010 hasta el año 2015 se observa un leve descenso.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, decrece un poco hasta el año 2006, provocado por un incendio aislado, después en el año 2009 aumenta, lo cual indica una regeneración y en el año 2012 podemos observar como detecta el incendio perfectamente y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), empezamos con vegetación, decrece hasta llegar al año 2006 debido a un incendio aislado, aumenta hasta el año 2010, y por ultimo decrece hasta el año 2015.

SIERRA DE MARIOLA

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.134081	2000	0.207723	2000
0.184139	2003	0.254744	2003
0.359648	2006	0.256503	2006
0.372866	2009	0.262315	2009
0.144448	2012	-0.167016	2012
0.217763	2015	0.13778	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.16039	2000	0.292337	2000
0.179002	2003	0.28416	2003
0.435831	2006	0.324966	2006
0.435636	2009	0.325485	2009
0.454045	2012	0.350223	2012
0.481872	2015	0.318807	2015

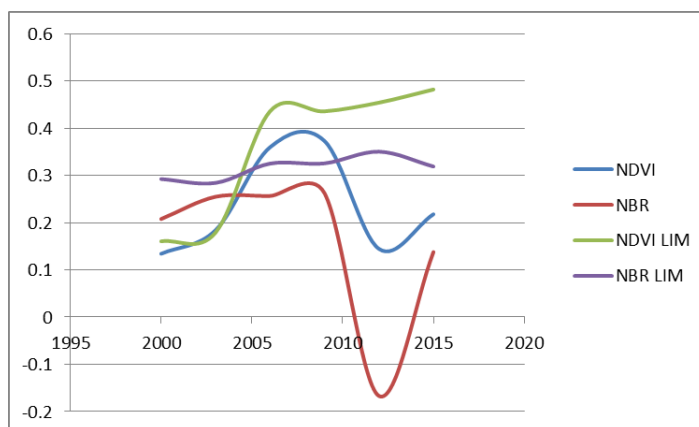


Fig 86. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Sierra de Mariola

- En el índice NDVI del incendio (NDVI) empezamos con vegetación en el año 2000, aumenta dicha vegetación hasta el año 2010, y por último podemos observar como detecta el incendio producido en el año 2012 y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, hasta llegar al año 2003 donde se aprecia un incremento hasta llegar al año 2006, y desde el año 2006 hasta el año 2015 se observa cómo se mantiene constante.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, se mantiene constante hasta el año 2009 y después podemos observar como detecta muy bien el incendio ocurrido en el año 2012 y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

LLOC NOU DE SANT JERONI

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.178929	2000	0.369973	2000
0.225148	2003	0.41656	2003
0.711363	2006	0.434352	2006
0.498657	2009	0.445402	2009
0.172693	2012	-0.09656	2012
0.394889	2015	0.334134	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.164903	2000	0.276421	2000
0.220147	2003	0.297979	2003
0.301786	2006	0.29998	2006
0.391086	2009	0.281704	2009
0.41987	2012	0.305231	2012
0.439692	2015	0.325813	2015

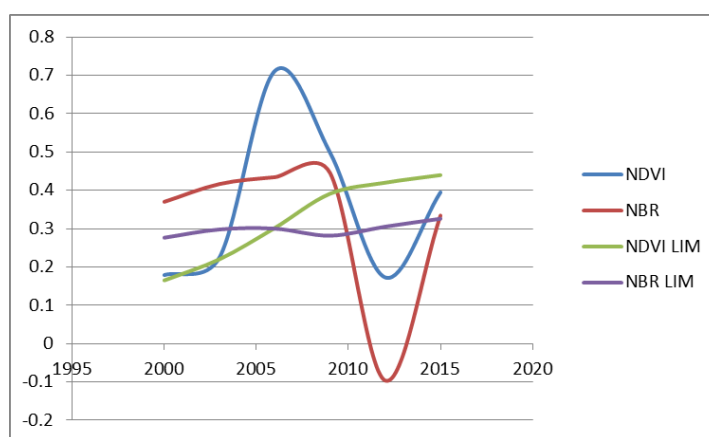


Fig 87. Gráficas de incendio y zonas limítrofes con índices NDVI y NBR en Lloc Nou de Sant Jeroni

- Iniciamos el análisis con vegetación en el índice NDVI del incendio (NDVI) en el año 2000, aumenta dicha vegetación hasta el año 2006, y por último se aprecia como detecta el incendio producido en el año 2012 y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. Mientras que en el índice NDVI de las zonas limítrofes (NDVI LIM), partimos con vegetación, hasta llegar al año 2009 donde se aprecia un incremento hasta llegar al año 2015.
- En el índice NBR del incendio (NBR), empezamos con vegetación, se mantiene constante hasta el año 2009 y después podemos observar como detecta claramente el incendio ocurrido en el año 2012 y su posterior regeneración hasta llegar al año 2015. En cuanto al índice NBR de las zonas limítrofes (NBR LIM), se mantiene constante la vegetación de las zonas limítrofes durante todo el periodo de estudio.

4.4. Delimitación de los incendios mediante umbralización

Procedemos a realizar la delimitación de los incendios, por lo que acudimos al programa ENVI, menú Basic Tools > Region of Interest > ROI Tool y procedemos a delimitar la zona del incendio. A continuación, debemos de extraer las estadísticas, es decir, la media (μ) y la desviación típica (σ), de la ROI del incendio y la ROI de las zonas limítrofes para la resta de NBR y la resta de NDVI de cada incendio.

- Incendio de Villamarxant, debemos calcular las estadísticas en la resta del índice NDVI y resta del índice NBR para el incendio y las zonas limítrofes en el periodo de tiempo donde se produjo el incendio, en el caso del incendio de Villamarxant, se produjo en el año 2006, por lo que debemos de elegir la resta de índices NDVI entre los años 2003 y 2006 y la resta de índices NBR entre los mismos años:

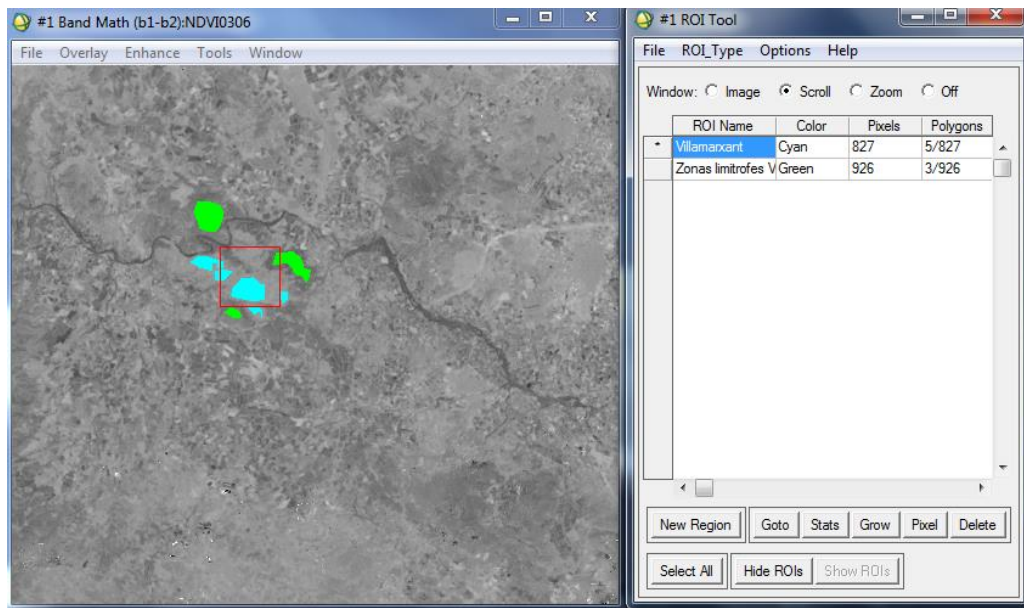


Fig 88. ROI del incendio de Villamarxant y de las zonas limítrofes en resta NDVI 2003-2006

En la anterior imagen, mostramos la resta de índices NDVI entre los años 2003 y 2006 y hemos añadido las ROI del incendio (cian) y de las zonas limítrofes (verde).

A continuación, extraemos las estadísticas tanto para la zona del incendio como para las zonas limítrofes con la resta de índices NDVI entre los años 2003 y 2006:

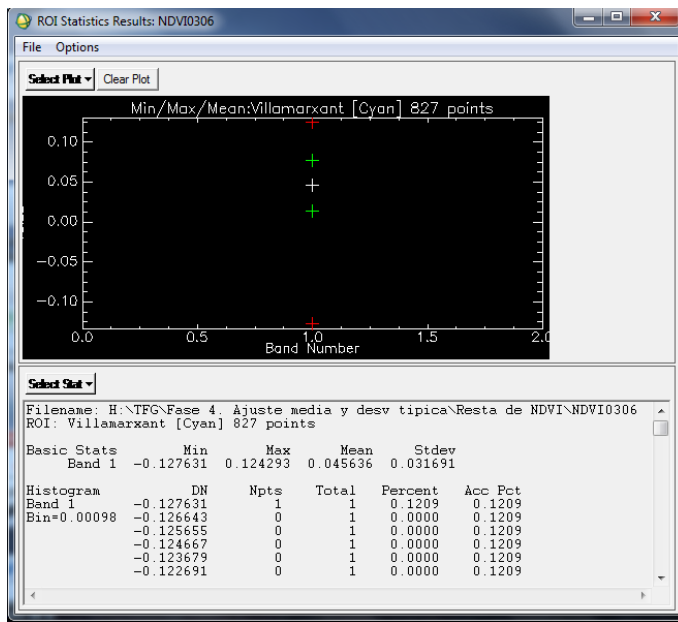


Fig 89. Estadísticas del incendio con resta NDVI 2003-2006

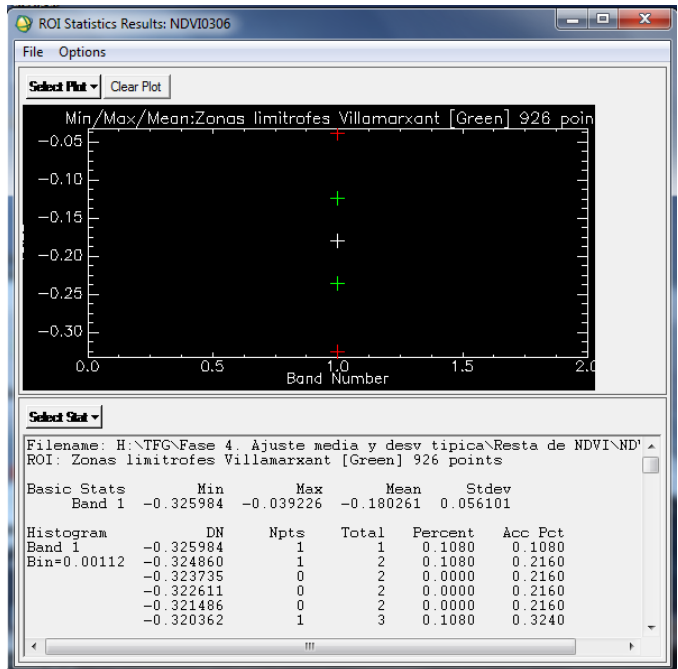


Fig 90. Estadísticas de zonas limitrofes con resta NDVI 2003-2006

Ahora debemos de calcular la intersección entre ambas medias para el incendio de Villamarxant. Dicha intersección la calculamos en una hoja Excel especializada para computar las intersecciones de las curvas Gaussianas, en el que introducimos la media y desviación típica del incendio, y la media y desviación típica de las zonas limítrofes y el programa nos devuelve dos resultados (int1, int2), pero solo uno es válido, el que se encuentra entre los dos valores de la media, por lo tanto el resultado es -0.04035019.

	Clase1	Clase 2
Media	0.045636	-0.180261
Desv. Típica	0.031691	0.056101
a	-338.984339	
b	102.714127	
c	4.69644786	
int1	-0.04035019	
int2	0.34335571	

Fig 93. Cálculo de la intersección en resta NDVI 2003-2006

Tendremos que crear una máscara con el valor de la intersección como valor mínimo y como valor máximo 1 para que la máscara creada nos proporcione los pixeles de los incendios:

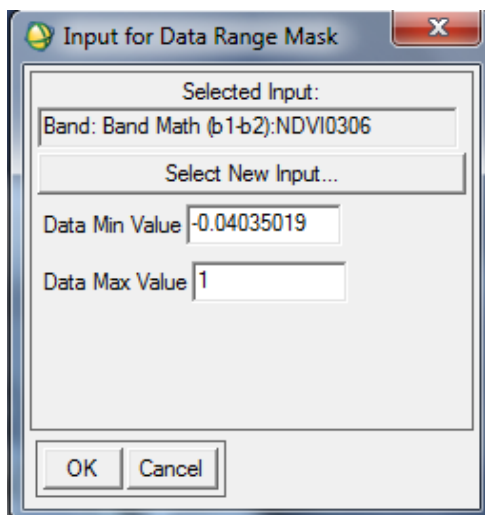


Fig 94. Máscara intersección resta NDVI 2003-2006

En la imagen anterior observamos como introduciendo el valor de la intersección como valor mínimo y el valor de 1 como máximo, ya que a partir del valor calculado en la intersección de la curva Gaussiana todos los valores superiores a ese valor representan los píxeles que a nosotros nos interesan, que son los quemados y los valores inferiores a ese valor los píxeles no quemados.

La máscara resultante es la siguiente:

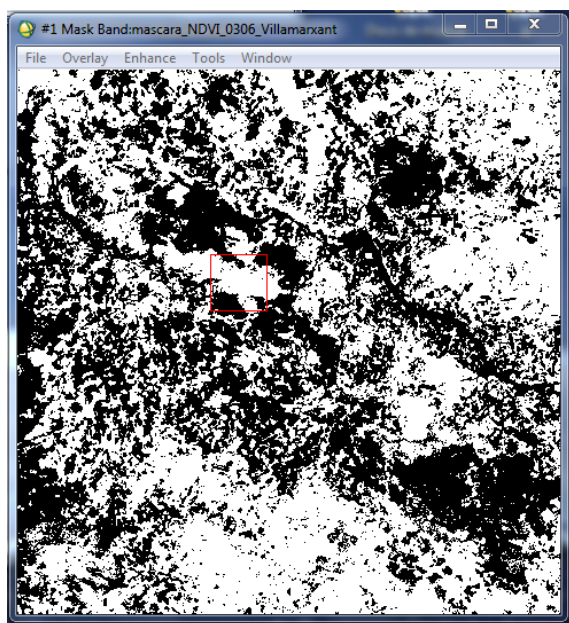


Fig 95. Máscara de resta NDVI 2003-2006

A continuación, realizaremos una segmentación de la imagen con el fin de eliminar los segmentos más pequeños de la imagen, por lo que el parámetro ‘Mínima Población’ puede variar entre 0 y 100, es decir, valores altos generarán pocos segmentos. Por lo tanto, elegiremos valores pequeños, como por ejemplo el valor 10, para extraer segmentos bien definidos, en nuestro caso, el incendio.

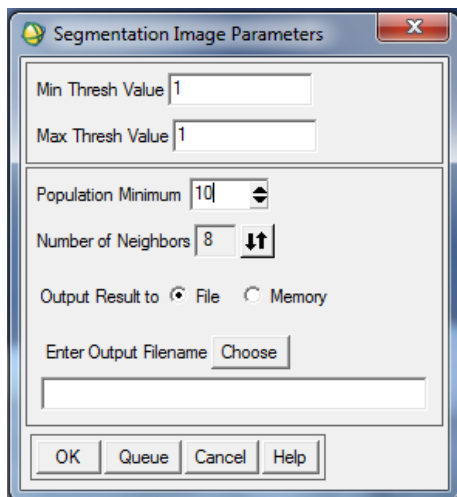


Fig 96. Ventana para la segmentación de la máscara

El resultado de la segmentación es el siguiente:

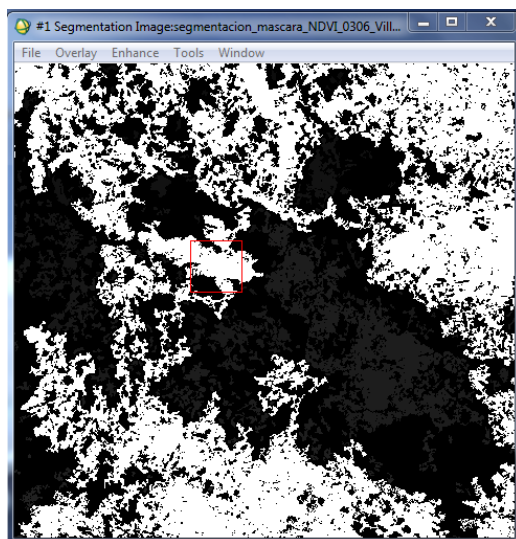


Fig 97. Segmentación de la máscara de la resta de NDVI 2003-2006

En la imagen previa podemos observar como el programa, además de detectar el incendio, también detecta las zonas de cultivo. Es un problema que lo detallaremos a continuación:

Dado que nos detectaba incorrectamente el incendio, es decir, detectaba zonas que no eran las correctas, como son las zonas de cultivo, decidimos dibujar una ROI sobre el incendio del índice NDVI de Villamarxant, para posteriormente transformarla en máscara y, por último, multiplicar esa máscara con la ROI solo del incendio de Villamarxant, por la imagen segmentada del índice NDVI de Villamarxant. Con este procedimiento conseguimos que las zonas de cultivo lleguen a tener valores 0 y los valores de los incendios serán los propios identificadores.

Realizamos la ROI para dibujar el perímetro de la zona del incendio y poder prescindir de las zonas de cultivo, como podemos observar en la siguiente imagen:

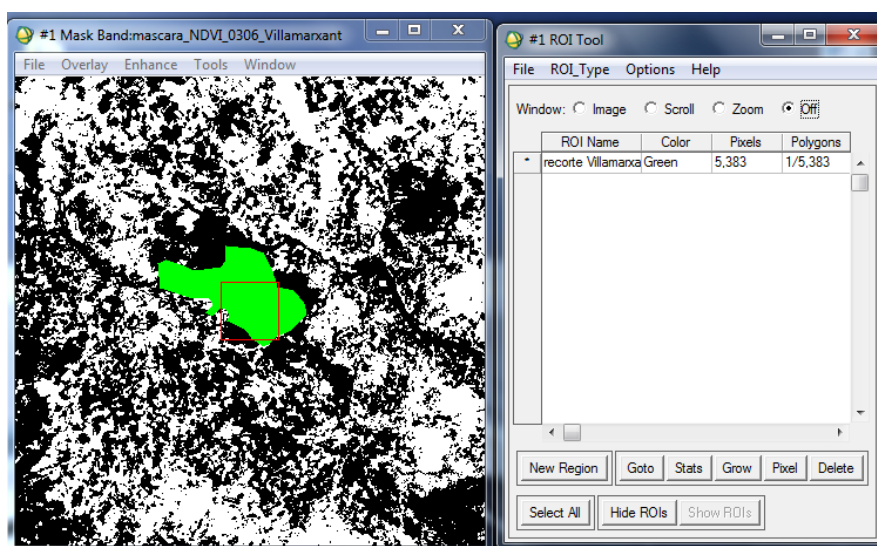


Fig 98. ROI perímetro de la zona del incendio de Villamarxant

Seguidamente, tenemos que transformar la ROI a máscara, por lo que nos dirigimos al menú Basic Tools > Statistics > Compute Statistics > elegimos la imagen donde está la ROI > Mask Options > Build Mask > Options > Import ROI > cargamos la ROI y la ROI se transforma en máscara.

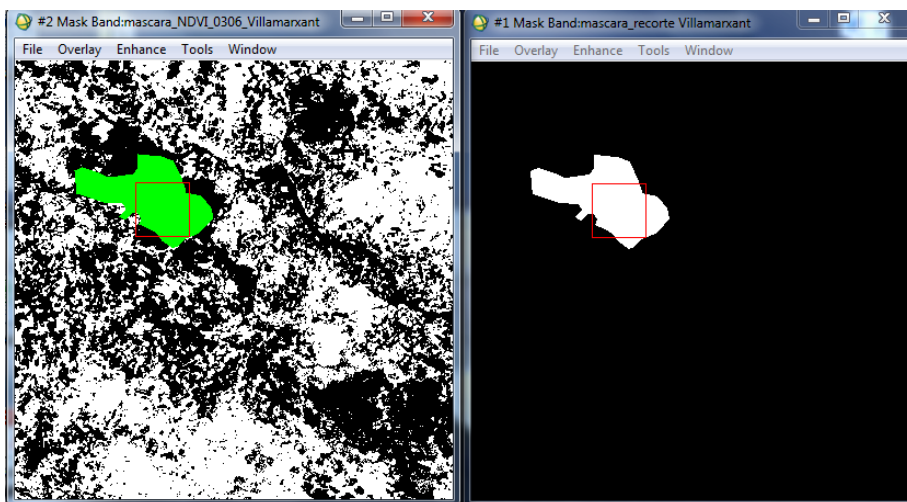


Fig 99. ROI de zona del incendio (izquierda) y máscara de zona del incendio (derecha)

Para finalizar, multiplicamos la máscara de la ROI donde hemos realizado el recorte por la imagen segmentada, con lo que conseguimos que aparezca sólo el incendio de Villamarxant sin ninguna zona de cultivo alrededor.

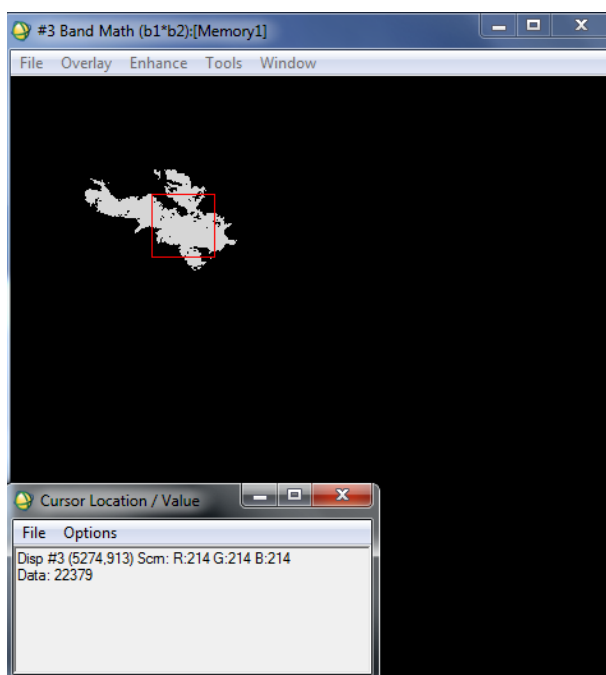


Fig 100. Incendio de Villamarxant sin zonas de cultivo.

Realizaremos el mismo proceso descrito anteriormente pero con la resta de índices NBR entre los años 2003 y 2006, por lo que abrimos la imagen de la resta de índices NBR 2003-2006 y añadimos las ROI del incendio y de las zonas limítrofes:

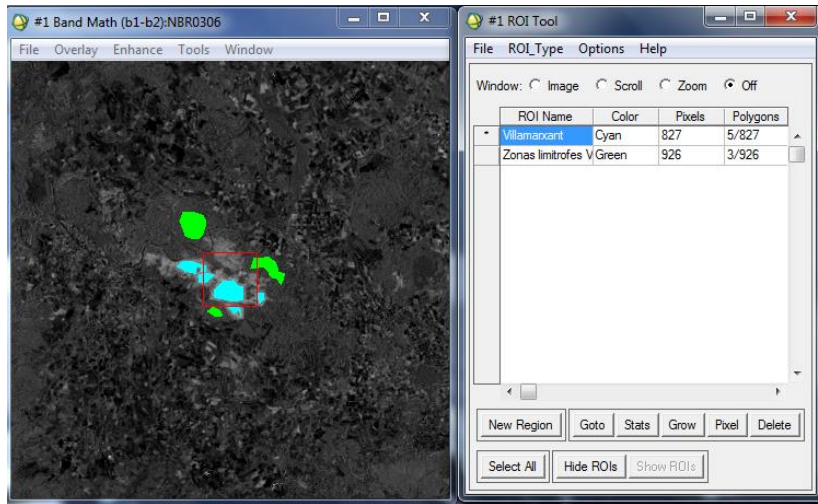


Fig 101. ROI del incendio de Villamarxant y de las zonas limítrofes en resta NBR 2003-2006

Ahora tenemos que extraer las estadísticas tanto para el caso del incendio como para el caso de las zonas limítrofes:

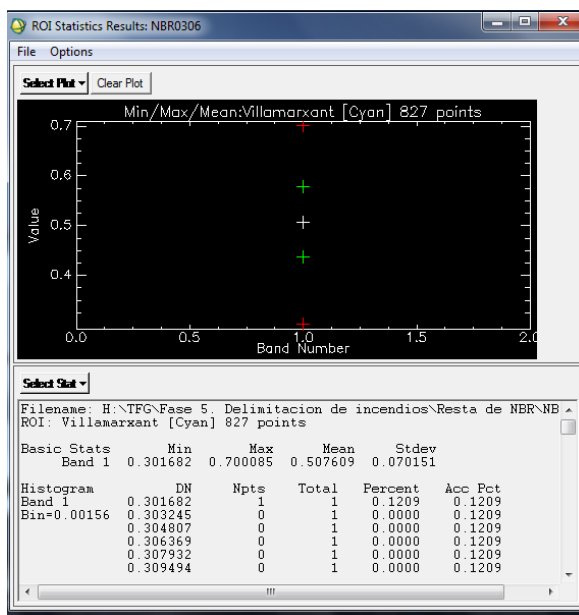


Fig 102. Estadísticas del incendio en la resta NBR 2003-2006

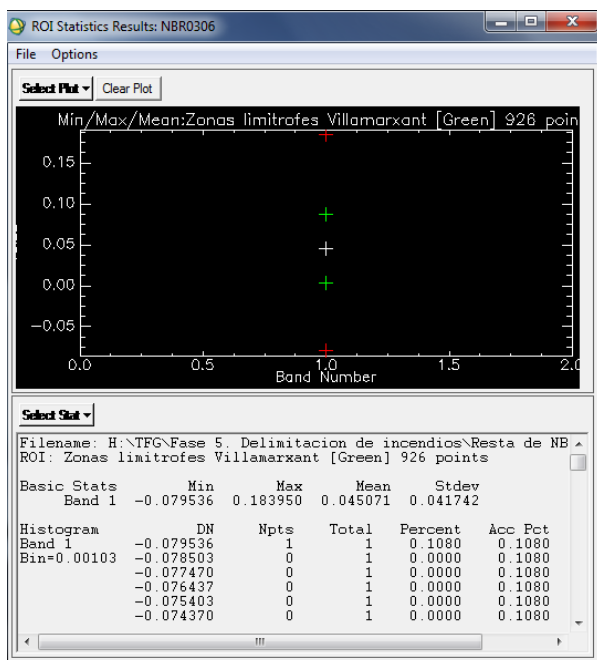


Fig 103. Estadísticas de las zonas limítrofes en la resta NBR 2003-2006

Calculamos la intersección entre ambas medias con el programa Excel especializado en calcular intersecciones de curvas Gaussianas, para ello introducimos la media y desviación típica del incendio, la media y desviación típica de las zonas limítrofes y el programa nos devuelve dos resultados (int1, int2) pero sólo uno de ellos es válido, el que se encuentra entre los dos valores de la media, por lo tanto el resultado es 0.22089612.

	Clase1	Clase 2
Media	0.507609	0.045071
Desv. Típica	0.070151	0.041742
a	185.359406	
b	77.2809074	
c	-26.1156832	
int1	0.22089612	
int2	-0.63782078	

Fig 104. Cálculo de intersección en la resta NBR 2003-2006

Realizamos una máscara con el valor de la intersección Gaussiana como valor mínimo y valor máximo de 1, para que de esta forma la máscara nos pueda identificar correctamente el incendio:

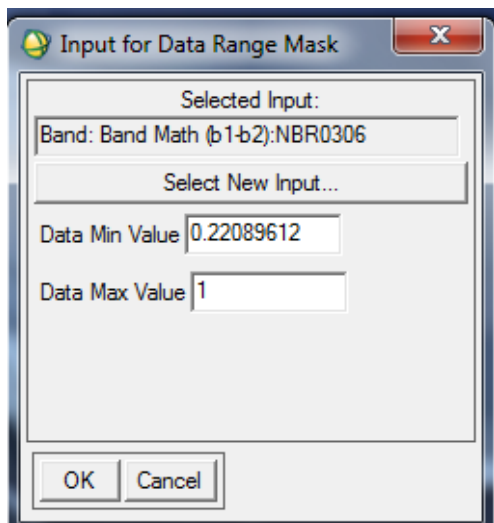


Fig 105. Máscara intersección resta NBR 2003-2006

En la imagen previa, hemos introducido el valor de la intersección gaussiana calculado anteriormente como valor mínimo y como valor máximo 1, ya que estamos interesados en los valores posteriores a 0.22089 que representan las zonas quemadas.

En base a lo anterior, la máscara resultante es la siguiente:

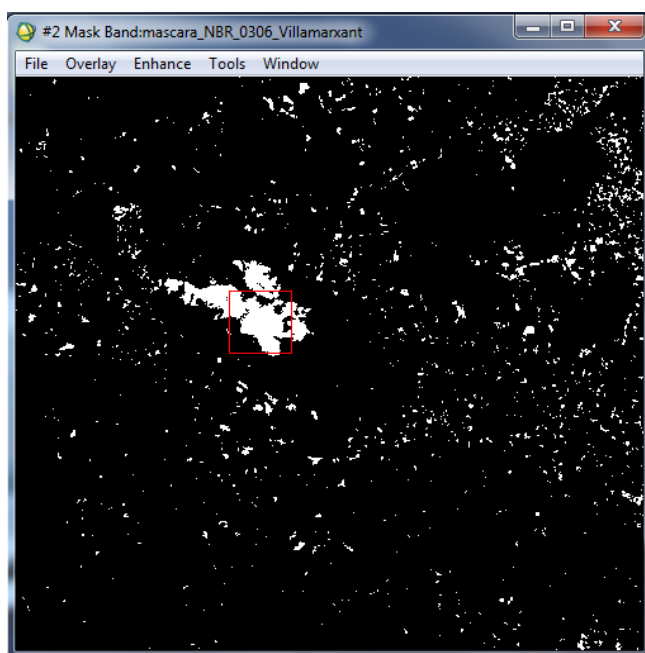


Fig 106. Máscara de resta NBR 2003-2006

En la imagen anterior, observamos como con el índice NBR detecta el incendio pero no detecta las zonas de cultivo, por lo que por ahora, el índice NBR está dando mejores resultados.

Ahora debemos de realizar una segmentación de la imagen:

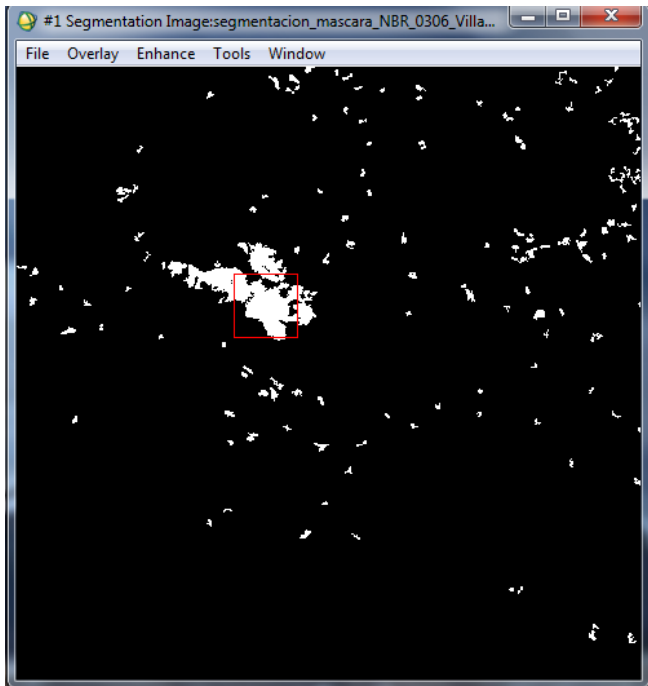


Fig 107. Segmentación de la máscara de la resta de NBR 2003-2006

Observamos como en esta imagen (Fig 107) hemos eliminado los segmentos más pequeños, y sólo nos quedan grupos de píxeles que tienen un valor superior a 10.

Cuando ya disponemos de las imágenes segmentadas, debemos de crear otra máscara, tanto para el caso del índice NDVI como para el índice NBR, pero esta vez con los identificadores de cada píxel del incendio que nos aporta la imagen segmentada, en la que cada píxel de la imagen tendrá un identificador. Debemos de observar los identificadores que estén dentro del incendio, para de esta forma crear posteriormente una máscara con el fin de trabajar sólo con el incendio. A continuación se explica paso por paso el procedimiento a seguir:

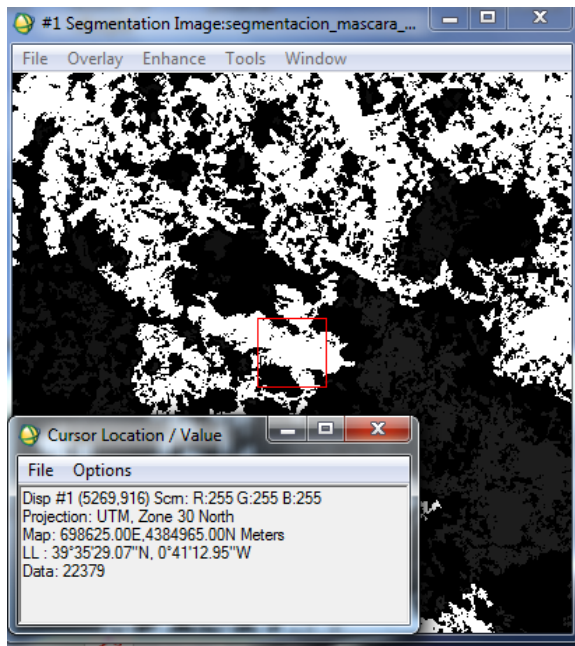


Fig 108. Imagen segmentada NDVI del incendio de Villamarxant con identificadores.

En la imagen anterior observamos el identificador en el interior del incendio, que es el 22379 para el caso del índice NDVI. Ahora debemos crear una máscara con esos valores:

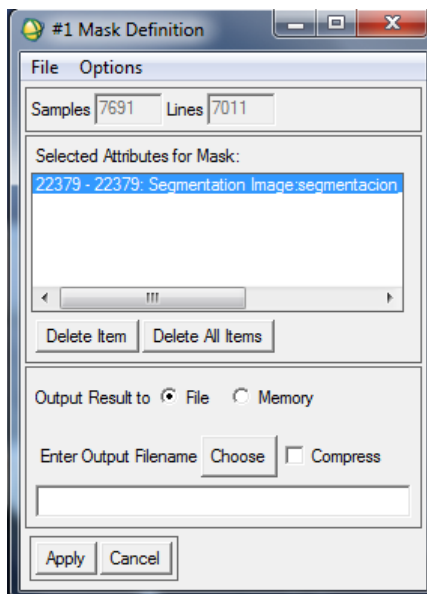


Fig 109. Creación de la máscara para el incendio de Villamarxant en el caso de NDVI

Con la creación de las máscaras conseguimos tener la zona del incendio con valores de pixel 1 (blanco) y el resto de la imagen con valores de 0 (negro), como podemos ver en la siguiente imagen:

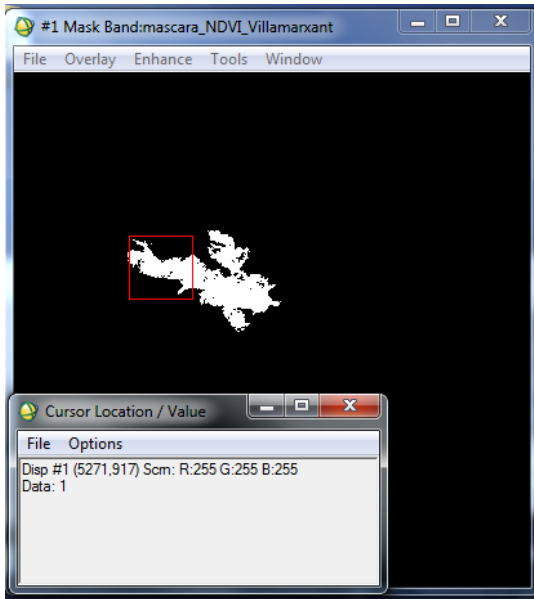


Fig 110. Máscara con valor 1 en el incendio y en el resto de imagen valor 0

En el caso del índice NBR, deberíamos aplicar la misma metodología pero los identificadores para cada pixel son diferentes, ya que los identificadores en este caso son: 1727, 1866, 1807, 1692 y 1691. A continuación se muestra el valor de identificador en el índice NBR:

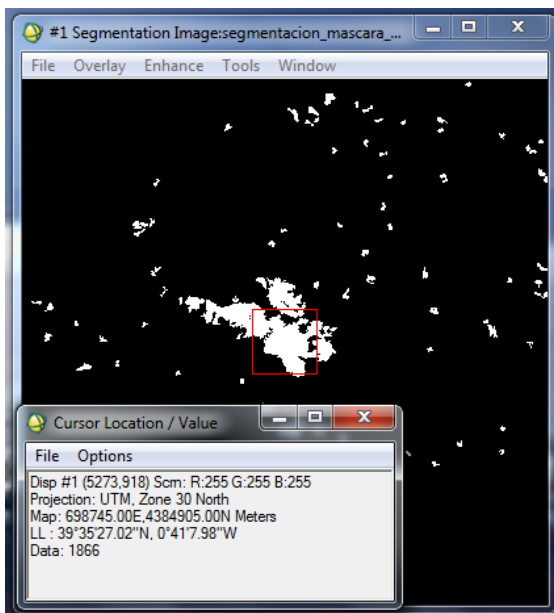


Fig 111. Máscara de incendio Villamarxant para el índice NBR

Seguidamente crearemos una máscara con todos los valores de los identificadores anteriormente citados:

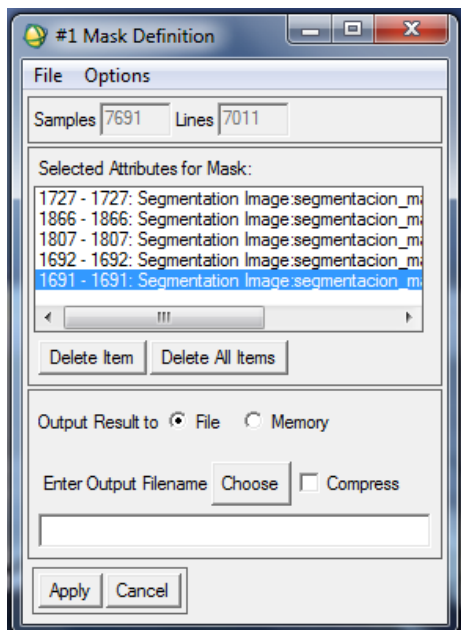


Fig 112. Creación de la máscara para el incendio de Villamarxant en el caso de NBR

Todo ello dará como resultado una nueva imagen, pero en los píxeles que antes tenían los distintos identificadores, ahora tendrán el valor 1, y los que no tenían esos valores de identificadores en la nueva imagen tendrán un valor de 0.

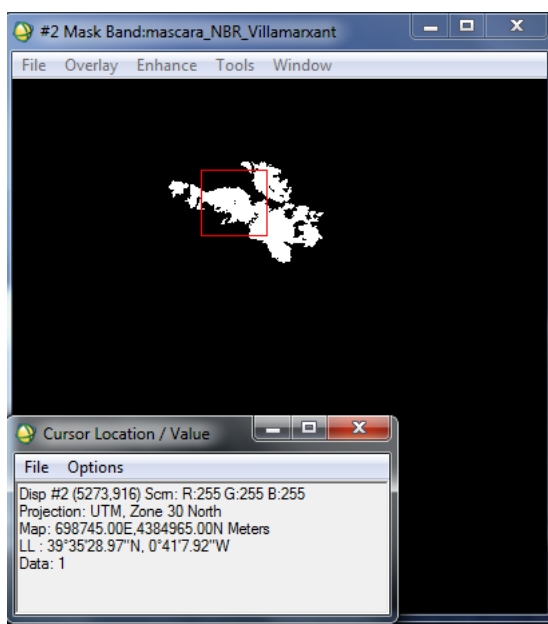


Fig 113. Máscara incendio Villamarxant con NBR

4.5. Generación de máscaras-verdad terreno

A continuación tenemos que acotar el perímetro de cada uno de los incendios que estamos estudiando. Utilizamos para ello el programa ENVI, en el menú de ROI Tool y realizamos para cada incendio su correspondiente delimitación. Seleccionamos la imagen donde mejor se aprecie el incendio, es decir, una imagen posterior al incendio para que podamos observar los píxeles negros de la zona quemada y así poder distinguirla.

Ahora veremos unas imágenes de la delimitación de varios incendios:

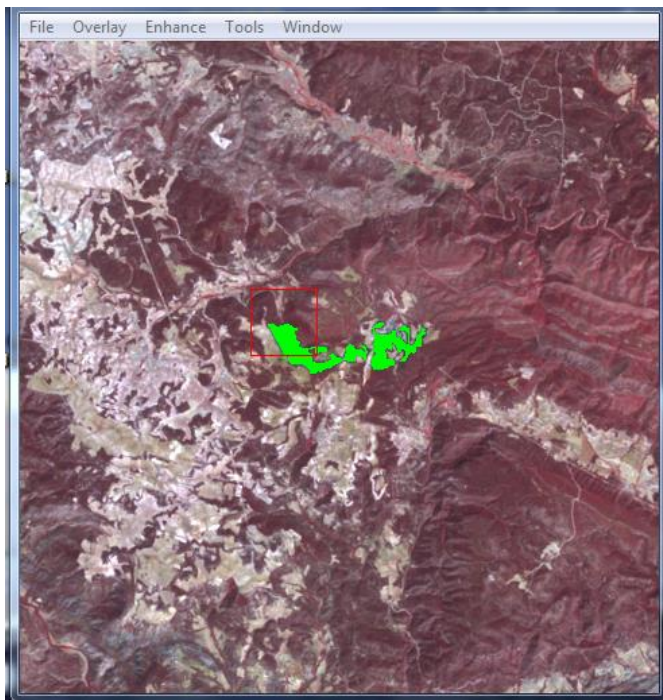


Fig 91. Delimitación incendio Los Pedrones

En la imagen anterior podemos visualizar la delimitación del incendio de Los Pedrones, dibujada con un tipo de ROI llamada Polígono y con color de relleno verde. La zona la hemos dibujado detalladamente, seleccionando todos los píxeles quemados (negros) que forman la zona del incendio, ya que posteriormente se calculará la precisión con que hemos delimitado los incendios.



Fig 92. Delimitación incendio Villamarxant año 2006

En la imagen anterior podemos visualizar la delimitación del incendio de Villamarxant, dibujada con un tipo de ROI llamada Polígono y con color de relleno verde. En el que se distinguen los píxeles del incendio, los cuales son de color negro y los de vegetación en una tonalidad de rojo.

4.6. Evaluación de índices NDVI y NBR

Con la delimitación de los incendios y con las máscaras de los incendios, aplicaremos una sencilla fórmula en el Band Math para obtener una única imagen para cada caso, por ejemplo, para el incendio de Villamarxant tendremos como resultado dos imágenes, una con la información del índice NDVI y otra con la del índice NBR, en la que observaremos qué índice detecta mejor los incendios.

Aplicaremos estas fórmulas en el Band Math:

$$2 * \text{Contorno incendio} + \text{máscara incendio NDVI}$$

Fig 114. Fórmula para crear imagen del incendio en referencia NDVI

$$2 * \text{Contorno incendio} + \text{máscara incendio NBR}$$

Fig 115. Fórmula para crear imagen del incendio en referencia NBR

El resultado del incendio con el índice NDVI en la imagen siguiente, donde podemos observar la clasificación de cada pixel dependiendo de la delimitación realizada anteriormente:

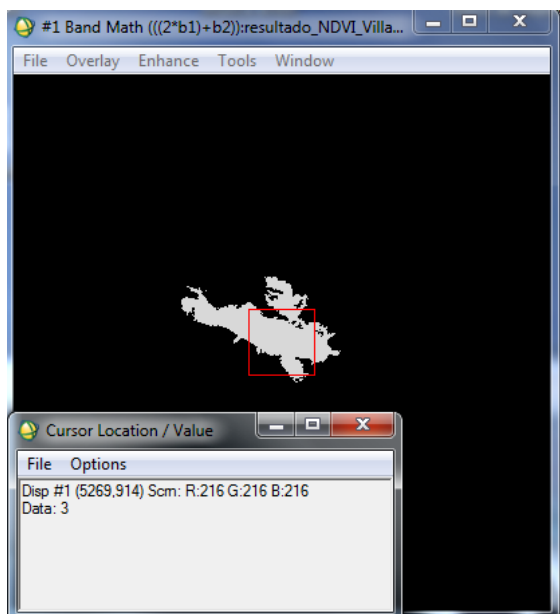


Fig 116. Resultado incendio Villamarxant con índice NDVI

El resultado del incendio con el índice NBR es el siguiente:

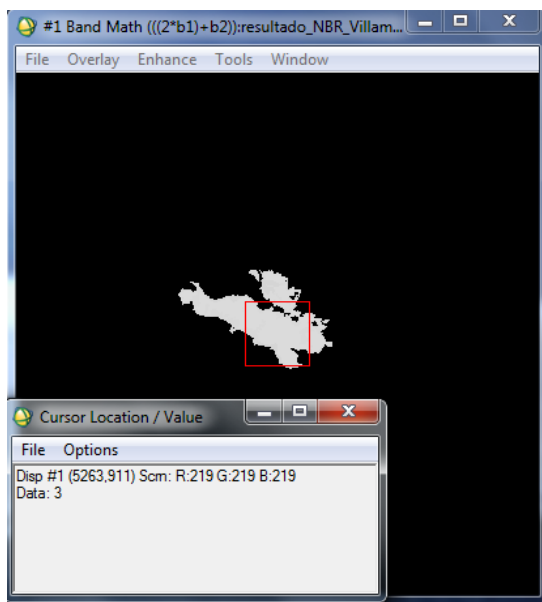


Fig 117. Resultado incendio Villamarxant con índice NBR

A continuación procederemos a comprobar la precisión de nuestra delimitación de los incendios, debido a que, aplicando las fórmulas anteriores para crear la imagen sólo del incendio, la primera variable era el contorno del incendio delimitado por nosotros y la segunda variable la imagen que contiene valor 1 en el incendio y el resto de la imagen con valor 0. Por lo tanto, hemos clasificado las imágenes para cada caso (NDVI y NBR) con valores para poder observar si la delimitación ha sido correcta o no.

Los valores de las imágenes son los siguientes:

- 3, indican un positivo verdadero (TP), es decir, píxeles de cambio que son automáticamente detectados.
- 2, señalan un falso negativo (FN), píxeles de cambio que no son detectados.
- 1, indican un falso positivo (FP), donde los píxeles son detectados como cambio pero no lo son.
- 0, indican píxeles sin información (TN).

A continuación, calculamos varios parámetros para conocer el porcentaje de acierto o de fallo en la delimitación de los incendios. Los parámetros son los siguientes:

- **FE**, factor de exceso, en el que el sistema detecta incorrectamente zonas de cambio que no lo son. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$FE = \frac{FP}{TP}$$

Fig 118. Fórmula para calcular el índice FE

- **FD**, factor de defecto, es un ratio que indica las zonas de cambio que no son detectadas automáticamente. Se calcula con esta fórmula:

$$FD = \frac{FN}{TP}$$

Fig 119. Fórmula para calcular el índice FD

- **PD**, porcentaje de detección, el porcentaje de superficie de cambio correctamente detectado por el proceso automático. Su fórmula es la siguiente:

$$PD = 100 * \frac{TP}{TP + FN}$$

Fig 120. Fórmula para calcular el índice PD

- **PC**, porcentaje de calidad, indica la calidad absoluta de la detección. Se calcula con esta fórmula:

$$PC = 100 * \frac{TP}{TP + FN + FP}$$

Fig 121. Fórmula para calcular el índice PC

Seguidamente, podemos observar la evaluación de los diferentes incendios aplicando dichos índices:

BENIFALLIM

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.14136546	0.05638554	94.6624088	83.4898069
NBR	0.1328329	0.07310705	93.1873479	82.9228687

NDVI				
TP (3)	6225		FP (1)	880
FN (2)	351		TN (0)	53914145

NBR				
TP (3)	6128		FP (1)	814
FN (2)	448		TN (0)	53914211

Fig 122. Evaluación de cambios en incendio de Benifallim

En el incendio de Benifallim tenemos muy buena precisión tanto en el índice NDVI como en el índice NBR, como se puede apreciar en el porcentaje de calidad (PC) pero observamos que hay un porcentaje de calidad absoluta de la detección superior en el índice NDVI. En cuanto al porcentaje de detección (PD), podemos decir también que ha habido un alto porcentaje de superficie correctamente detectado en ambos índices, pero ligeramente mejor con el índice NDVI. Los ratios de factor de defecto (FD) son muy bajos en ambos casos, por lo tanto, cuanto más bajos sean estos valores, mejor delimitada estará la zona. El factor de exceso (FE) también posee valores bajos, por lo que los índices no han seleccionado zonas de fuera del incendio para delimitarlo. Cabe destacar que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

LOS PEDRONES

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.20130719	0.00849673	99.1574854	82.6580227
NBR	0.43616287	0.06487233	93.9079715	66.6206897

NDVI				
TP (3)	1530		FP (1)	308
FN (2)	13		TN (0)	53919750

NBR				
TP (3)	1449		FP (1)	632
FN (2)	94		TN (0)	53919426

Fig 123. Evaluación de cambios en incendio de Los Pedrones

En el incendio de Los Pedrones tenemos también un buen porcentaje calidad (PC) en la detección tanto en el índice NDVI como en el índice NBR, pero vemos que hay un porcentaje superior en el índice NDVI, por lo que podemos deducir que el índice NDVI detecta mejor el incendio. El porcentaje de superficie correctamente detectado o porcentaje de detección (PD) es alto en los dos casos, pero mejor en el índice NDVI. El factor por defecto (FD) también posee valores bajos en ambos casos, por lo que la delimitación del incendio ha sido muy buena y en cuanto al factor de exceso (FE), observamos que en el índice NDVI el valor es un poco más bajo que en el índice NBR. Destacamos que hemos obtenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

VILLAMARXANT

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.1179972	0.04831933	95.3907816	85.740018
NBR	0.20309235	0.25114919	79.9265197	68.7643678

NDVI				
TP (3)	2856		FP (1)	337
FN (2)	138		TN (0)	53918270

NBR				
TP (3)	2393		FP (1)	486
FN (2)	601		TN (0)	53918121

Fig 124. Evaluación de cambios en incendio de Villamarxant

En el incendio de Villamarxant vemos en la columna del porcentaje de calidad (PC) un valor más alto en el índice NDVI, por lo que la calidad de la detección ha sido mejor en el índice NDVI. Mientras que en el porcentaje de detección (PD), el índice que detecta mejor el incendio es el índice NDVI. En cuanto al ratio por defecto (FD), en ambos casos los valores son muy bajos, pero en especial en el índice NDVI, lo que indica que la delimitación ha sido mejor en éste. Y el factor de exceso (FE), posee valores bajos en ambos casos, pero un valor destacado en el índice NDVI. Hemos obtenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

VALL D'ALCALA

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.14615543	0.09709338	91.1499436	80.4344222
NBR	0.15100154	0.02503852	97.5573093	85.0311169

NDVI				
TP (3)	4851		FP (1)	709
FN (2)	471		TN (0)	53915570

NBR				
TP (3)	5192		FP (1)	784
FN (2)	130		TN (0)	53915495

Fig 125. Evaluación de cambios en incendio de Vall D'Alcala

En el incendio de Vall D'Alcala observamos en el porcentaje de calidad (PC) como ambos índices poseen valores similares y valores altos, por lo que la calidad de la detección ha sido buena en ambos, pero mejor en el índice NBR. En referencia al porcentaje de detección (PD), el índice NBR ha detectado mejor la zona del incendio. En cuanto al factor de defecto (FD), ambos índices tienen valores muy pequeños, pero la delimitación ha sido mejor en el índice NBR. Por lo que se refiere al factor por exceso (FE), los dos índices tienen valores muy parecidos, pero mejor en el índice NDVI. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

RAFELGUARAF

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.27168397	0.03460208	96.6555184	76.5529116
NBR	0.18187945	0.34331711	74.4425864	65.5653198

NDVI				
TP (3)	17340		FP (1)	4711
FN (2)	600		TN (0)	53898950

NBR				
TP (3)	13355		FP (1)	2429
FN (2)	4585		TN (0)	53901232

Fig 126. Evaluación de cambios en incendio de Rafelguaraf

En el incendio de Rafelguaraf existe un porcentaje de calidad (PC) de la detección alto por parte de ambos índices, lo que indica que la calidad de la detección del incendio ha sido mejor en el índice NDVI. En referencia al porcentaje de detección (PD), el índice que más superficie ha detectado correctamente ha sido el índice NDVI. En el factor por defecto (FD), el índice que tiene el valor más bajo es el NDVI, por lo que la delimitación ha sido mejor en dicho índice. En el factor de exceso (FE), posee valores bajos, pero mejor en el índice NBR. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

ONTINYENT

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.37840395	0.02040313	98.0004838	71.4894868
NBR	0.36654516	0.6744971	59.7194227	48.994576

NDVI				
TP (3)	24310		FP (1)	9199
FN (2)	496		TN (0)	53887596

NBR				
TP (3)	14814		FP (1)	5430
FN (2)	9992		TN (0)	53891365

Fig 127. Evaluación de cambios en incendio de Ontinyent

En el incendio de Ontinyent, hemos obtenido un porcentaje de calidad (PC) en la detección del incendio mayor en el índice NDVI. Mientras que en el porcentaje de detección (PD), nos encontramos con que el índice NDVI posee un valor más alto, por lo que ha sido el índice que más superficie ha detectado correctamente. En referencia al factor por defecto (FD), el índice que tiene el valor más bajo de ambos es el NDVI, lo que indica que la delimitación ha sido mejor en este índice. Y en el factor de exceso (FE), ambos índices tienen valores muy similares, pero el índice que posee el valor más bajo es el NBR. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

CORTES DE PALLAS

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.3418345	0.00705416	99.2995251	74.1351029
NBR	0.35995436	0.01174407	98.8392249	72.9023214

NDVI				
TP (3)	237732		FP (1)	81265
FN (2)	1677		TN (0)	53600927

NBR				
TP (3)	236630		FP (1)	85176
FN (2)	2779		TN (0)	53597016

Fig 128. Evaluación de cambios en incendio de Cortes de Pallas

En el incendio de Cortes de Pallas tenemos un porcentaje de calidad (PC) de la detección parecido en ambos casos, pero un valor más alto en el índice NDVI, lo que indica que la calidad en la detección ha sido mejor en este índice. En cuanto al porcentaje de detección (PD), ambos índices tienen unos valores también muy similares, pero el que posee un valor más alto es el índice NDVI, significando que es el índice que más superficie ha detectado correctamente. En referencia al factor por defecto (FD), los dos índices tienen valores similares, pero el índice que tiene el valor más pequeño es el NDVI. Y el factor de exceso (FE), en el que observamos que ambos índices tienen unos valores muy similares, pero el valor más bajo es el del índice NDVI. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

SIERRA DE LOS DONCELES

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.20847145	0.11489871	89.6942467	75.5646474
NBR	0.16117216	0.01257799	98.7578255	85.1970075

NDVI				
TP (3)	54300		FP (1)	11320
FN (2)	6239		TN (0)	53849742

NBR				
TP (3)	59787		FP (1)	9636
FN (2)	752		TN (0)	53851426

Fig 129. Evaluación de cambios en incendio de Sierra de los Donceles

En el incendio de Sierra de los Donceles podemos observar un porcentaje de calidad (PC) de la detección del incendio en el índice NBR, indicando que detecta mejor el incendio. En cuanto al porcentaje de detección (PD), vemos como el índice NBR tiene un valor más alto, significando que es el índice que más superficie ha detectado satisfactoriamente. En referencia al factor por defecto (FD), ambos índices tienen valores bajos, pero el índice que tiene el valor más bajo de ambos es el NBR. Y el factor de exceso (FE), también tienen valores parecidos, pero el índice que tiene el valor más bajo es el NBR. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

SIERRA DE MARIOLA

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.21111318	0.02601747	97.4642275	80.8322067
NBR	0.14249037	0.0124702	98.7683391	86.5830422

NDVI				
TP (3)	5381		FP (1)	1136
FN (2)	140		TN (0)	53914944

NBR				
TP (3)	5453		FP (1)	777
FN (2)	68		TN (0)	53915303

Fig 130. Evaluación de cambios en incendio de la Sierra de Mariola

En el incendio de la Sierra de Mariola tenemos un porcentaje de calidad (PC) parecido en ambos índices, pero el índice que ha tenido mejor calidad a la hora de detectar el incendio ha sido el NBR. En cuanto al porcentaje de detección (PD), ambos índices tienen valores parecidos, pero el valor más alto es el del índice NBR, lo que indica que ha sido el índice que ha detectado más superficie correctamente. En referencia al factor por defecto (FD), los dos índices tienen valores similares, pero el NBR es el índice que tiene el valor más bajo. Y el factor de exceso (FE), también son parecidos los valores en ambos índices, pero el índice que tiene el valor más pequeño es el NBR. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos.

LLOC NOU DE SANT JERONI

	FE	FD	PD	PC
NDVI	0.23693905	0.0417783	95.9897131	78.2033654
NBR	0.2028868	0.00900097	99.1079322	82.5158916

NDVI				
TP (3)	11944		FP (1)	2830
FN (2)	499		TN (0)	53906328

NBR				
TP (3)	12332		FP (1)	2502
FN (2)	111		TN (0)	53906656

Fig 131. Evaluación de cambios en incendio de Lloc Nou de Sant Jeroni

En el incendio de Lloc Nou de Sant Jeroni podemos observar que el índice NBR tiene un porcentaje de calidad (PC) mayor que el índice NDVI, significando que tiene una calidad mayor en la detección del incendio. En cuanto al porcentaje de detección (PD), ambos índices tienen valores similares, pero el índice que tiene el valor más alto es el NBR, indicando que ha detectado más superficie satisfactoriamente que el índice NDVI. En referencia al factor por defecto (FD), los dos índices tienen unos valores muy bajos, pero el índice que tiene el valor más bajo es el NBR. Y el factor de exceso (FE), también tienen valores similares, pero el que tiene el valor más bajo es el índice NBR. Destacamos que hemos tenido más verdaderos positivos que falsos positivos. Además tenemos un porcentaje de calidad de la detección bastante alto en los índices NDVI y NBR.

4.7. Análisis de la regeneración de los incendios

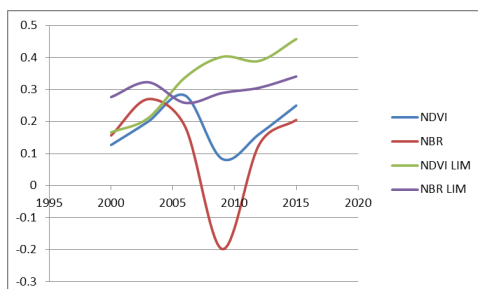
El último paso consiste en observar la evolución de la vegetación durante el transcurso del periodo de estudio, para poder ver y examinar en qué zonas se ha quemado más o menos vegetación y poder analizar los cambios que ha tenido la vegetación después del incendio.

En primer lugar, acudimos a las gráficas donde analizamos los índices NDVI y NBR tanto en las zonas de los incendios como en las zonas limítrofes a ellos. Seguidamente localizamos la fecha de un incendio, con el fin de analizar la evolución de la vegetación posterior a este incendio, ya que conocemos de antemano que en fechas anteriores al incendio, estas zonas estarán verdes porque no se ha producido ninguna perturbación en esas fechas.

Por ejemplo, observamos en la siguiente imagen la gráfica del incendio de Vall D’Alcala:

INCENDIO			
NDVI		NBR	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.126936	2000	0.156482	2000
0.199906	2003	0.270107	2003
0.281054	2006	0.183626	2006
0.083343	2009	-0.198009	2009
0.161168	2012	0.128723	2012
0.249921	2015	0.204976	2015

ZONAS LIMITROFES			
NDVI LIM		NBR LIM	
μ	AÑO	μ	AÑO
0.166334	2000	0.276311	2000
0.210646	2003	0.322566	2003
0.337831	2006	0.25829	2006
0.402021	2009	0.28914	2009
0.389159	2012	0.305424	2012
0.457447	2015	0.340739	2015



Fecha incendio	Fecha imágenes	
22/07/2009	2000	08/08/2000
	2003	13/05/2003
	2006	10/09/2006
	2009	10/09/2009
	2012	10/09/2012
	2015	19/09/2015

Fig 132. Gráfica del incendio en Vall D’Alcala

Este incendio se declaró el 22/07/2009, por lo tanto, debemos buscar las fechas posteriores al incendio, las cuales son en los años 2009, 2012 y 2015.

A continuación realizamos un simple cálculo, que consiste en seleccionar el valor del índice NDVI de las zonas limítrofes en el año 2006, 2009 y 2015, ya que queremos analizar la vegetación, y esos valores indicarán el 100% de regeneración, por lo que cada pixel que contiene el incendio tendrá un valor porcentual contemplado entre 0 y 100 y nuestro trabajo consiste en averiguar en cada pixel el valor porcentual de lo quemado o regenerado para cada periodo de estudio posterior al incendio.

Seguidamente se explica de forma detallada la metodología empleada para el incendio de Vall D'Alcala en el año 2009:

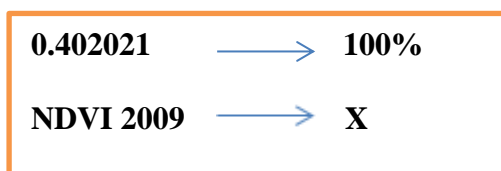


Fig 133. Fórmula para calcular el porcentaje de regeneración de cada pixel en el incendio de Vall D'Alcala.

En la imagen anterior hemos seleccionado el valor del índice NDVI de la zona limítrofe del año 2009 para el incendio de Vall D'Alcala y ese valor indica el 100% de regeneración de la vegetación y así, poder conocer los demás ratios de regeneración del resto de pixeles que conforma el incendio.

Con la operación realizada anteriormente, conseguimos una imagen que contiene todos los porcentajes de regeneración dentro del incendio, como podemos comprobar en la siguiente imagen para un pixel determinado:

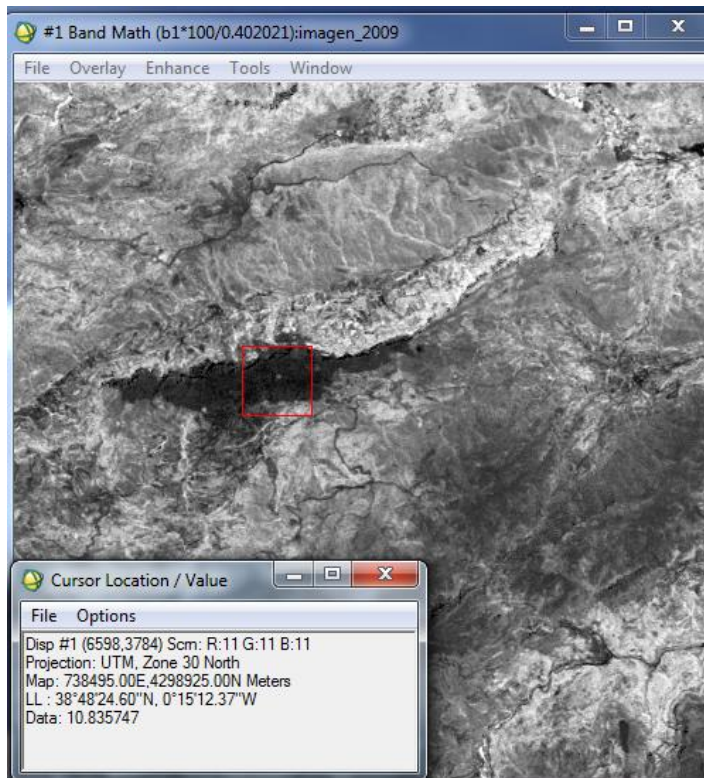


Fig 134. Imagen con porcentajes de regeneración

Debemos de aplicar a la imagen creada anteriormente la máscara NDVI del incendio de Vall D'Alcala para que sólo nos aparezca la zona del incendio con los porcentajes de regeneración de cada pixel de dicho incendio. Después de aplicarle dicha máscara, podemos observar cómo sólo hemos obtenido el incendio con cada uno de los porcentajes de cada pixel. La imagen resultante es la siguiente:

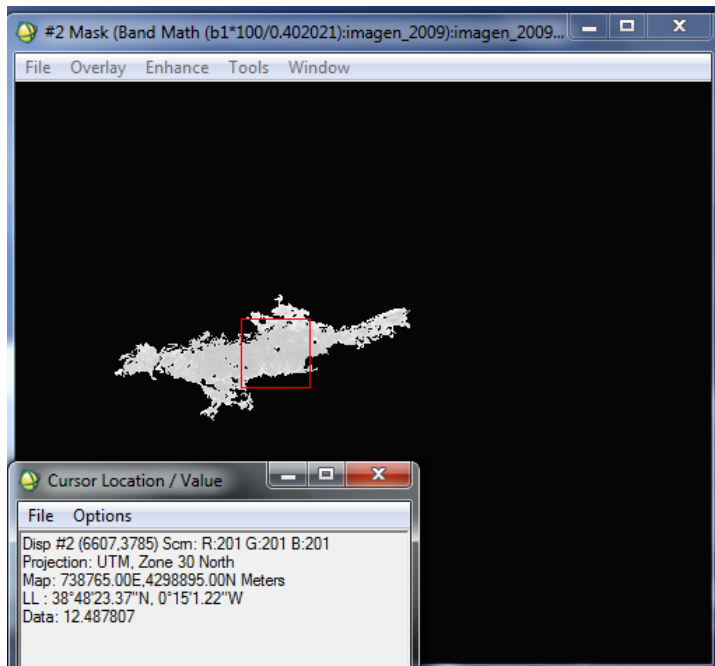


Fig 135. Imagen incendio Vall D'Alcala con porcentajes de regeneración.

Por último, realizaremos una clasificación para poder visualizar en color el grado de regeneración que ha tenido la vegetación en el año 2009, por lo que acudimos al menú de la imagen Overlay > Density Slice, creamos nuestro rango de colores para la clasificación que abarcará desde un valor 0 (muy quemado) a un valor de 100 (regenerado por completo), como podemos ver en la siguiente imagen:

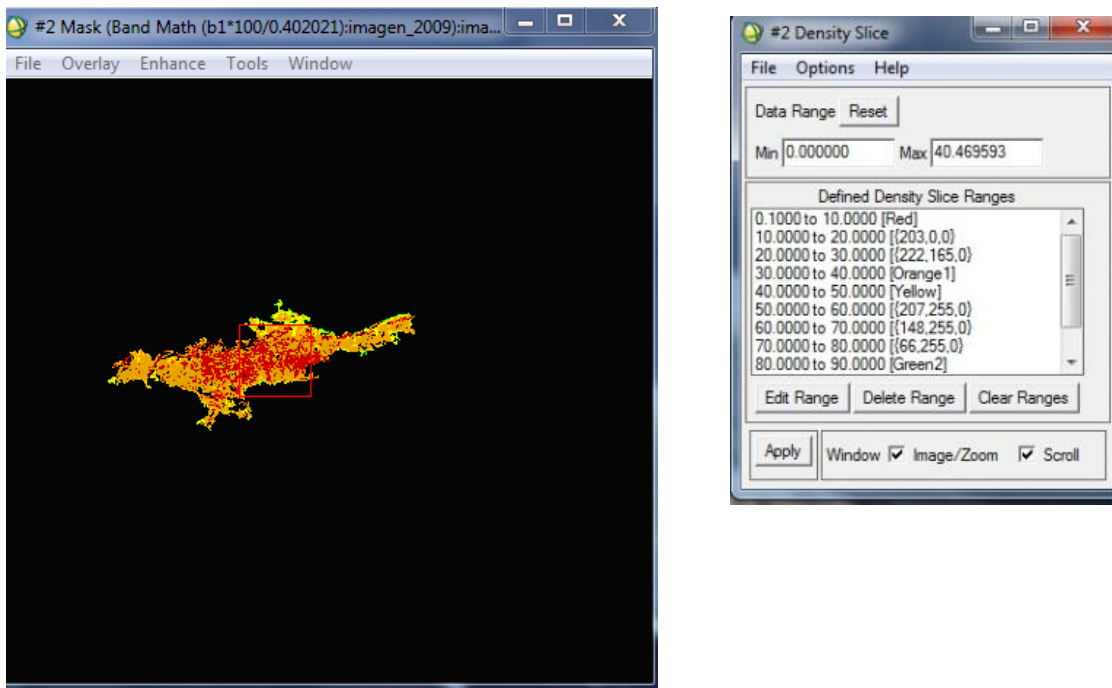


Fig 136. Clasificación del incendio

En la siguiente imagen podemos visualizar la leyenda de colores que hemos utilizado para la clasificación de los incendios:

0.000001 - 10	
10.00001 - 20	
20.00001 - 30	
30.00001 - 40	
40.00001 - 50	
50.00001 - 60	
60.00001 - 70	
70.00001 - 80	
80.00001 - 90	
90.00001 - 100	

Fig 137. Leyenda de colores para la clasificación

Seguidamente, procedemos a analizar la regeneración de la vegetación a lo largo de los años en cada uno de los incendios de estudio:

BENIFALLIM

❖ Año 2012

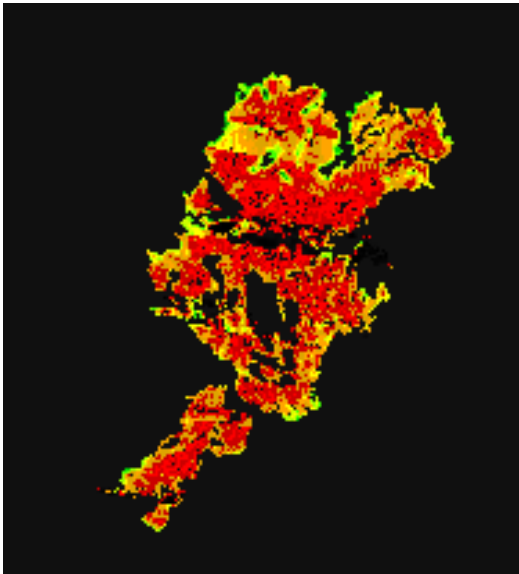


Fig 138. Evolución de la regeneración en incendio Benifallim año 2012

El incendio de Benifallim se declaró el 12/08/2012 y la imagen de satélite se tomó el 10/09/2012, por lo que el análisis de este año se produce un mes después del incendio. Podemos observar como hay más zonas quemadas por el interior del incendio, mientras que en la parte superior de la imagen hay zonas que están quemadas pero no tanto como en el interior del incendio.

❖ Año 2015

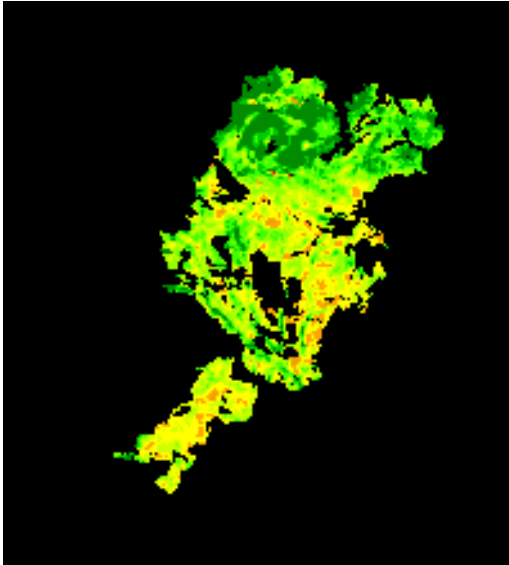


Fig 139. Evolución de la regeneración en incendio Benifallim año 2015

En la imagen anterior podemos observar el incendio transcurridos tres años después de que se produjera, vemos como se ha regenerado bastante durante los tres años, sobre todo por la zona norte de la imagen y por el interior se encuentra entre un 40%-50% regenerado. Se puede deducir que el foco del incendio fue en el interior de éste, debido a que la regeneración es más lenta en esta zona.

LOS PEDRONES

❖ Año 2006

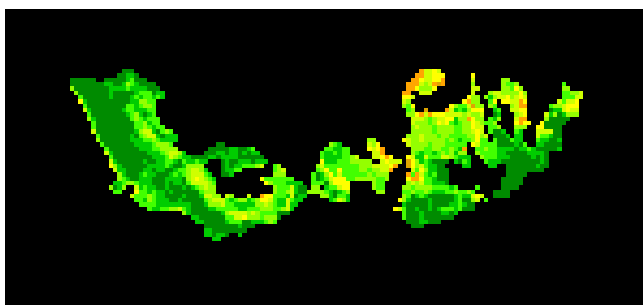


Fig 140. Evolución de la regeneración en incendio Los Pedrones año 2006

El incendio de Los Pedrones se produjo el 04/08/2000 y la imagen de satélite fue tomada el 10/09/2006, no hemos podido analizar los dos años anteriores, es decir, los años 2000 y 2003 debido a que tenían perturbaciones. Se puede apreciar como después de seis años desde que sucediera el incendio se ha regenerado bastante, sobre todo por el interior, pero aún existen zonas con un 40%-50% de regeneración.

❖ Año 2009

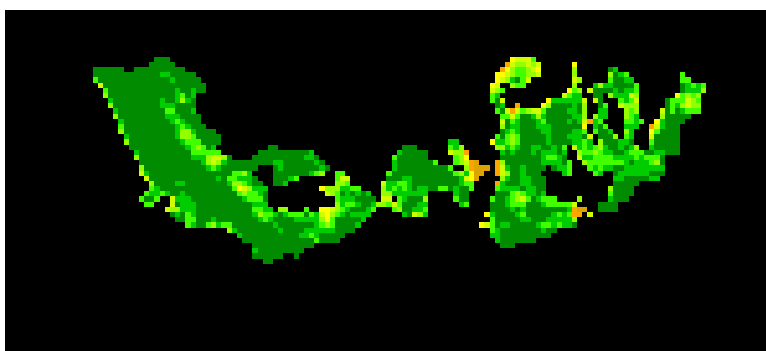


Fig 141. Evolución de la regeneración en incendio Los Pedrones año 2009

Podemos ver en la anterior imagen, después de nueve años del incendio, como casi toda la zona del incendio se ha regenerado, menos ciertas zonas aisladas, que aún se encuentran regenerándose lentamente. También podemos observar que se ha regenerado la vegetación más por el interior de la zona del incendio que por los laterales.

❖ Año 2012

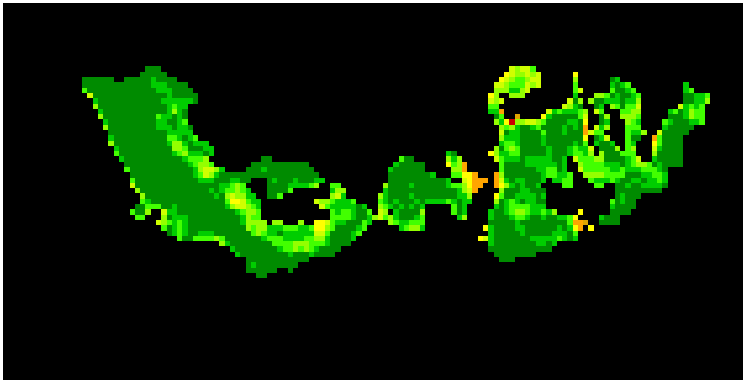


Fig 142. Evolución de la regeneración en incendio Los Pedrones año 2012

En la imagen previa, después de doce años desde que se produjera el incendio, se puede apreciar como zonas que antes tenían un porcentaje de regeneración medio, ahora poseen un porcentaje de regeneración más alto, por lo que la zona del incendio se va recuperando con el transcurso de los años. Podemos decir que el interior de la zona del incendio se está regenerando más rápido que los laterales de dicha zona.

❖ Año 2015

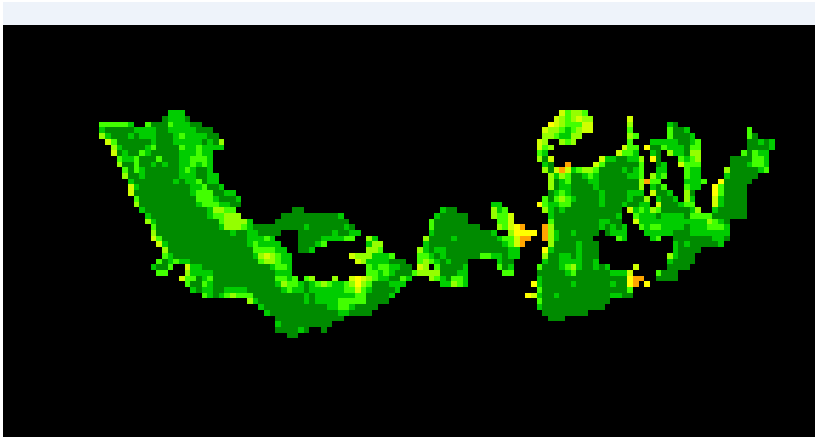


Fig 143. Evolución de la regeneración en incendio Los Pedrones año 2015

Después de quince años desde que se diera el incendio, podemos observar en esta imagen (Fig 143) cómo la zona del incendio está casi por completo regenerada, excepto pequeñas zonas en los laterales que tienen un porcentaje medio de regeneración.

VILLAMARXANT

❖ Año 2006

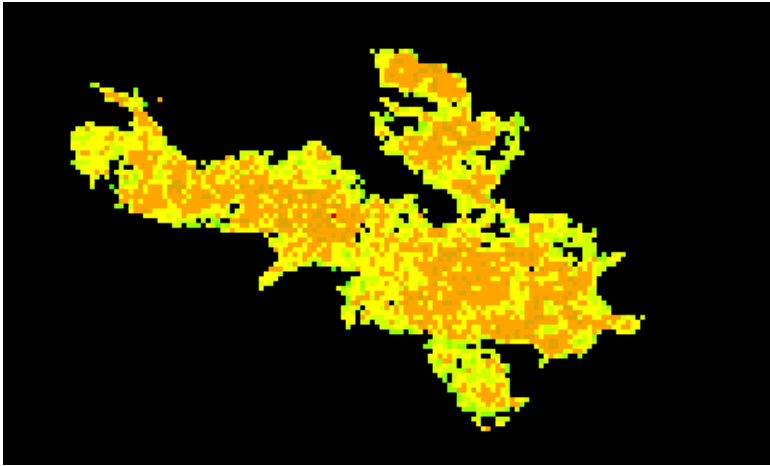


Fig 144. Evolución de la regeneración en incendio Villamarxant año 2006

El incendio de Vilamarxant se produjo el 22/07/2006 y la imagen satélite fue tomada el 10/09/2006, por lo que en el análisis de este año sólo habían transcurrido dos meses del incendio. Podemos observar como está toda la zona quemada, se observa la zona del interior del incendio más dañada por el fuego, mientras que los laterales del incendio están quemados pero no tanto como en el interior.

❖ Año 2009

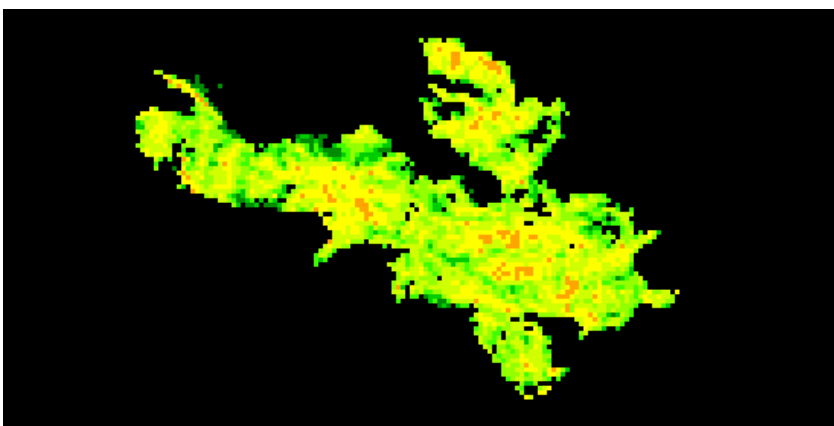


Fig 145. Evolución de la regeneración en incendio Villamarxant año 2009

En la imagen previa observamos cómo después de tres años desde que se produjera el incendio, la zona del incendio se va regenerando lentamente, un poco

más rápido las zonas de los laterales de la zona del incendio que el interior de éste. Puede ser debido a que el incendio tuvo un grado de intensidad más alto en el interior que en los laterales.

❖ Año 2012

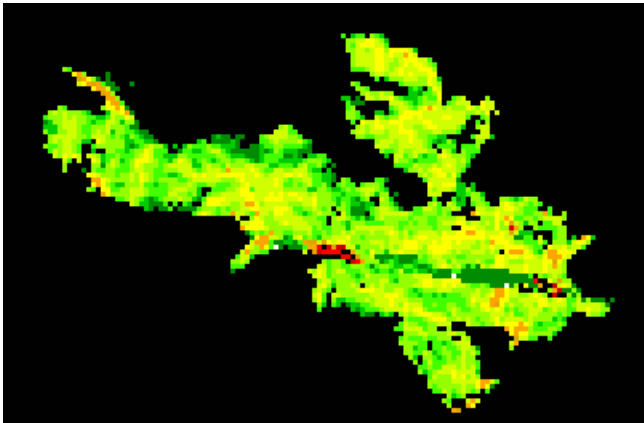


Fig 146. Evolución de la regeneración en incendio Villamarxant año 2012

En la imagen anterior, observamos que después de seis años del incendio, la zona sigue regenerándose satisfactoriamente con un porcentaje de regeneración entre el 40%- 70%. Las zonas del interior son más lentas en la regeneración que las zonas de los laterales.

❖ Año 2015

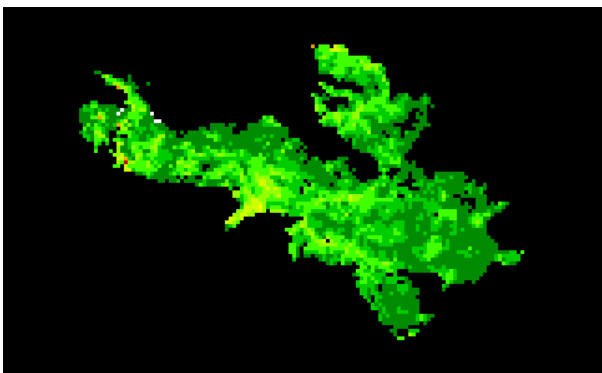


Fig 147. Evolución de la regeneración en incendio Villamarxant año 2015

En la imagen previa, podemos ver como después de nueve años transcurridos tras el incendio, la zona ha quedado completamente regenerada, también podemos decir que se ha regenerado más rápido en las zonas laterales que por el interior de la zona del incendio.

VALL D'ALCALA

❖ Año 2009

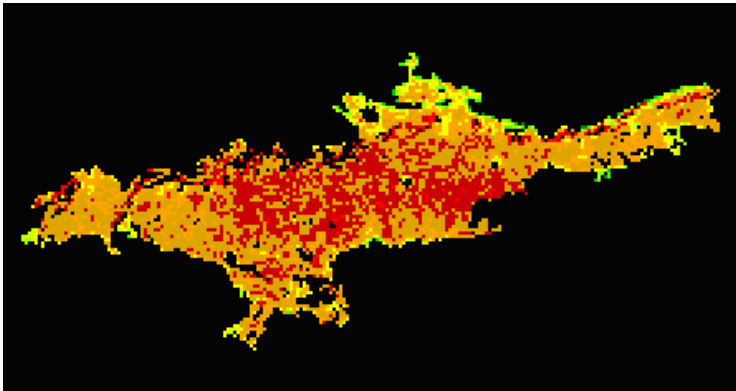


Fig 148. Evolución de la regeneración en incendio Vall D'Alcala año 2009

El incendio de Vall D'Alcala se produjo el 22/07/2009 y la imagen de satélite fue tomada el 10/09/2009, es decir, en el análisis de este año sólo habían pasado dos meses del incendio. Observamos que toda la zona del incendio está completamente quemada, pero las zonas que sufren más la intensidad del incendio son las del interior, con respecto a los laterales de la zona que sufren un menor grado de intensidad.

❖ Año 2012

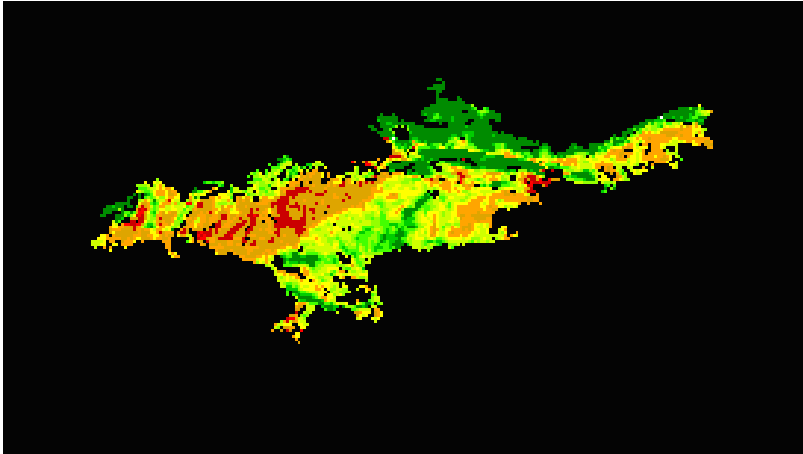


Fig 149. Evolución de la regeneración en incendio Vall D'Alcala año 2012

En el año 2012 podemos visualizar como tres años después del incendio, la vegetación se ha ido regenerando progresivamente, por los laterales se encuentra un poco más regenerada, lo que indica que la regeneración es más rápida en estas zonas que por el interior del incendio que se encuentra más quemada, significando una lenta regeneración.

❖ Año 2015

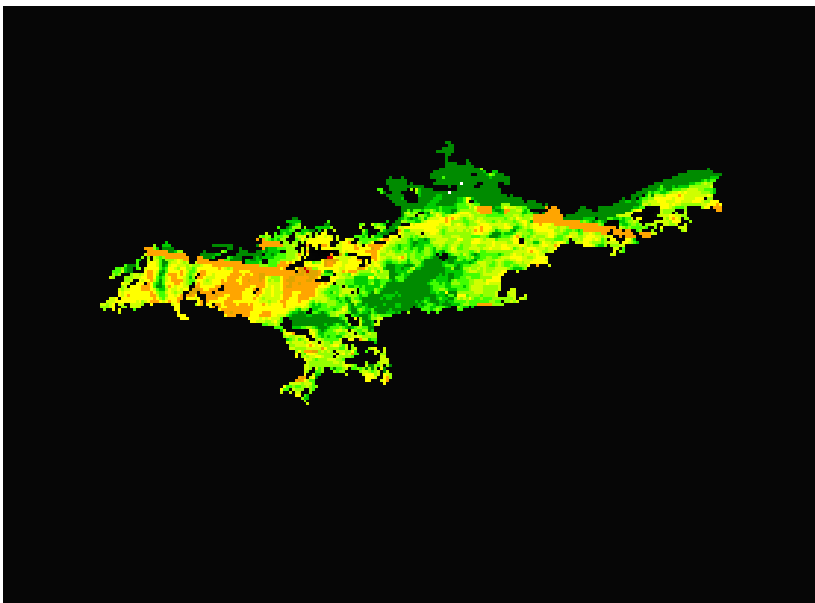


Fig 150. Evolución de la regeneración en incendio Vall D'Alcala año 2015

En el año 2015 podemos comprobar como seis años después del incendio, la vegetación se ha ido regenerando más por el interior del incendio. También podemos ver como hay zonas de la izquierda de la imagen que aún no se han regenerado del todo.

RAFELGUARAF

❖ Año 2012

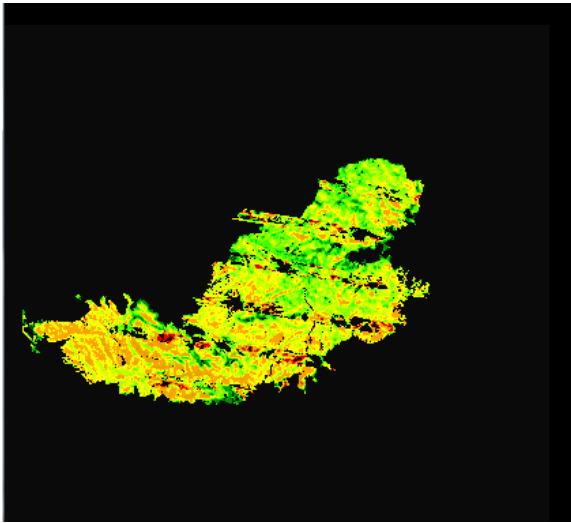


Fig 151. Evolución de la regeneración en incendio Rafelguaraf año 2012

El incendio de Rafelguaraf se declaró el 07/09/2010 y la imagen satélite es del 10/09/2012, en el análisis de este año habían transcurrido dos años desde que se produjo el incendio. Observamos como la zona del interior del incendio se ha regenerado más rápidamente que las zonas de los laterales, donde la regeneración es más lenta.

❖ Año 2015

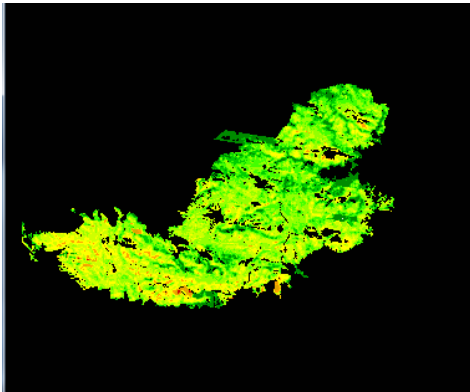


Fig 152. Evolución de la regeneración en incendio Rafelguaraf año 2015

En la imagen previa podemos visualizar como después de cinco años transcurridos del incendio, se ha producido una regeneración casi completa de la zona del incendio, exceptuando zonas de la parte inferior de la imagen que tienen un grado de regeneración más lento.

ONTINYENT

❖ Año 2012

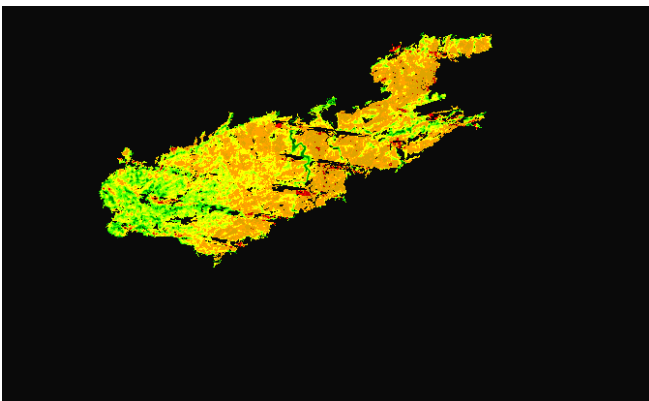


Fig 153. Evolución de la regeneración en incendio Ontinyent año 2012

El incendio de Ontinyent fue declarado el 06/09/2010 y la imagen satélite fue tomada el 10/09/2012, por lo que en el análisis de este año habían transcurrido dos años desde que se produjo el incendio. Observamos como gran parte de la zona del incendio esta quemada, excepto la parte inferior de la imagen con una regeneración bastante rápida.

❖ Año 2015

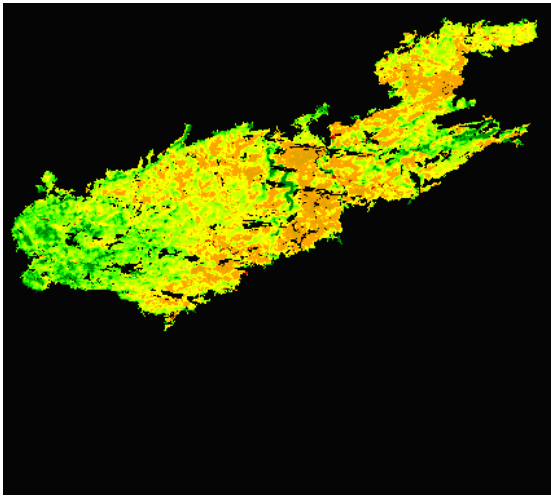


Fig 154. Evolución de la regeneración en incendio Ontinyent año 2015

En la imagen anterior vemos como después de cinco años del incendio, la zona afectada por dicho incendio se va regenerando poco a poco, con cambios significativos en el interior del incendio pero con regeneración lenta debido a que tiene un porcentaje de regeneración de 40% -50%, y la zona de la parte inferior de la imagen con una regeneración rápida.

CORTES DE PALLAS

❖ Año 2012

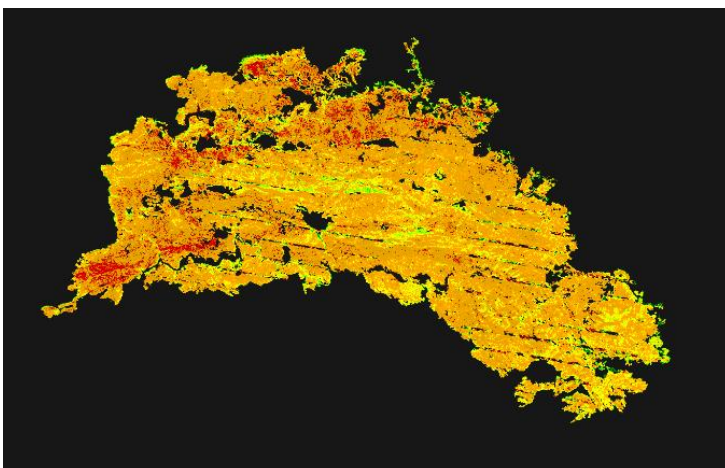


Fig 155. Evolución de la regeneración en incendio Cortes de Pallás año 2012

El incendio de Cortes de Pallás se produjo el 30/06/2012 y la imagen de satélite para este año fue tomada el 10/09/2012, por lo que en el análisis de este año transcurrieron tres meses del incendio. Observamos que la zona está totalmente quemada, tanto por el interior del incendio como por los laterales de éste.

❖ Año 2015

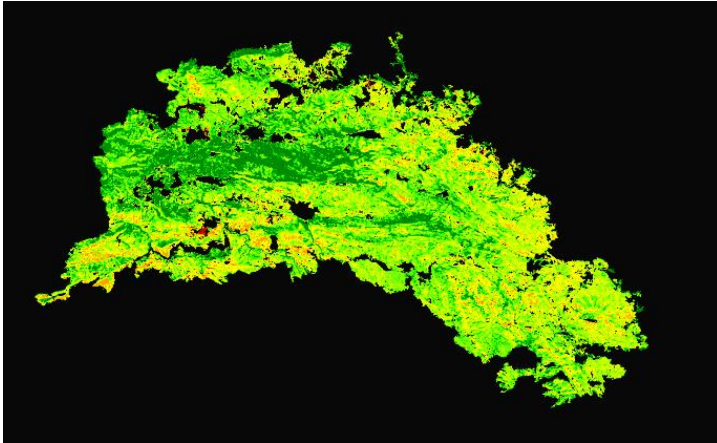


Fig 156. Evolución de la regeneración en incendio Cortes de Pallas año 2015

En la imagen anterior vemos como después de tres años del incendio, la regeneración en la zona del incendio se percibe más sobre todo en la parte izquierda de la imagen y las demás áreas tienen un grado de regeneración entre un 50%- 80%. En general se está regenerando toda la zona del incendio de forma rápida.

SIERRA DE LOS DONCELES

❖ Año 2012

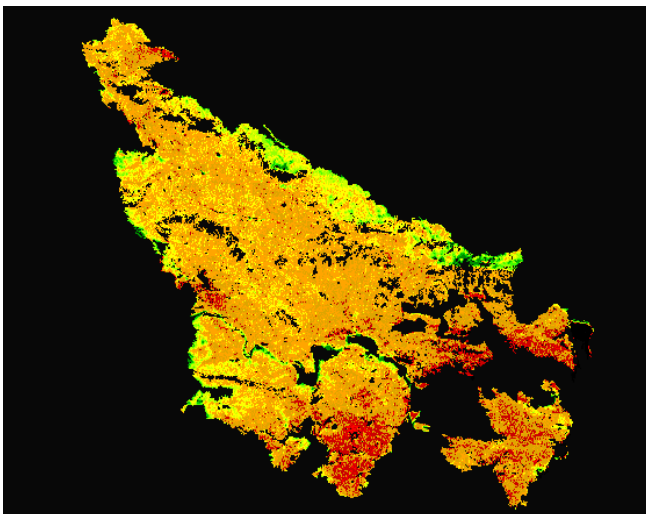


Fig 157. Evolución de la regeneración en incendio Sierra de los Donceles año 2012

El incendio en la Sierra de los Donceles fue declarado el 01/07/2012 mientras que la imagen de satélite fue tomada el 10/09/2012, por lo que han transcurrido dos meses desde que se produjo el incendio. Observamos como toda la zona del incendio se encuentra quemada, menos algunas zonas de los laterales, que comenzaron a regenerarse antes y de forma rápida.

❖ Año 2015

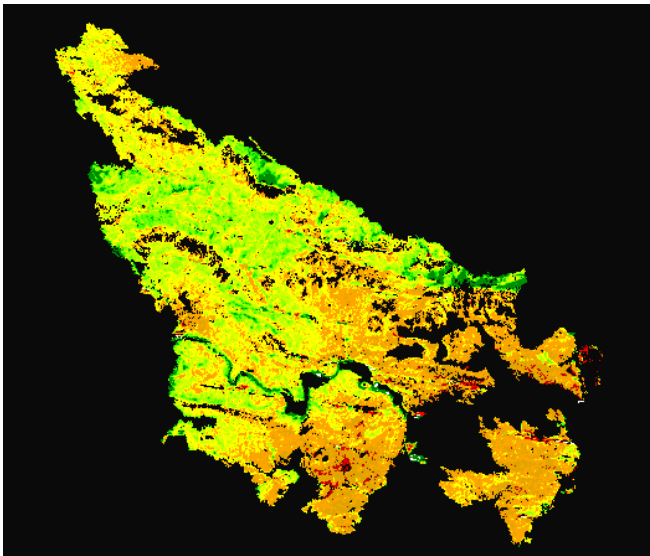


Fig 158. Evolución de la regeneración en incendio Sierra de los Donceles año 2015

En la imagen anterior, en la que han transcurrido tres años desde que se produjo el incendio, observamos que la zona de dicho incendio se ha regenerado bastante por la zona interior, alrededor de un 60% de regeneración, mientras que en la parte inferior de la imagen la regeneración es más lenta y el grado de regeneración se encuentra en torno a un 40%- 50%.

SIERRA DE MARIOLA

❖ Año 2012

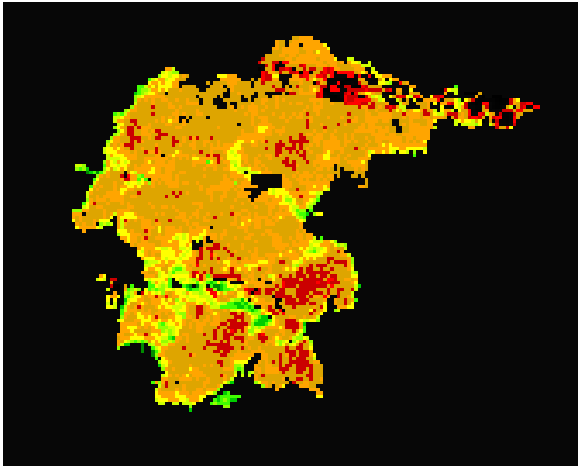


Fig 159. Evolución de la regeneración en incendio Sierra de Mariola año 2012

El incendio en la Sierra de Mariola se produjo el 13/07/2012 y la imagen de satélite fue tomada el 10/09/2012, habían transcurrido dos meses del incendio en el análisis de este año. Vemos como la zona del incendio está completamente quemada, tanto por la zona del interior como por la zona de los laterales.

❖ Año 2015

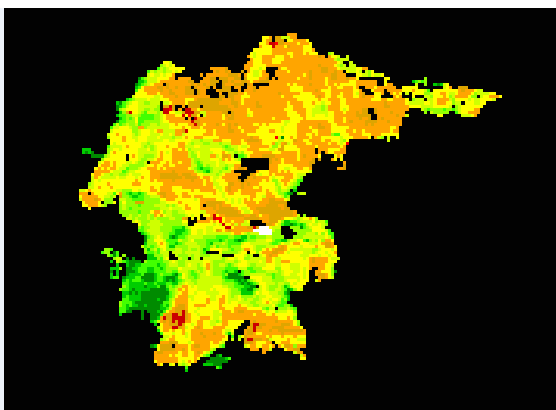


Fig 160. Evolución de la regeneración en incendio Sierra de Mariola año 2015

Transcurridos tres años desde que se declaró el incendio, la zona se está regenerando bastante rápido ya que existen zonas con una regeneración alta en la parte izquierda de la imagen y el resto del incendio tiene porcentaje de regeneración de alrededor del 50%.

LLOC NOU DE SANT JERONI

❖ Año 2012

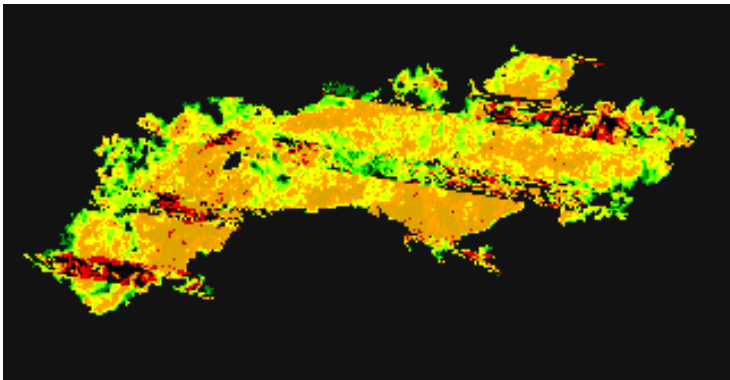


Fig 161. Evolución de la regeneración en incendio Lloc Nou de Sant Jeroni año 2012

El incendio de Lloc Nou de Sant Jeroni fue declarado el 18/06/2012 y la imagen de satélite fue tomada el 10/09/2012, habían transcurrido tres meses del incendio en este análisis. Vemos como hay más zonas quemadas en el interior del incendio que en las zonas de los laterales, por lo que se puede deducir que las zonas del interior tienen una regeneración más lenta que las zonas de los laterales.

❖ Año 2015

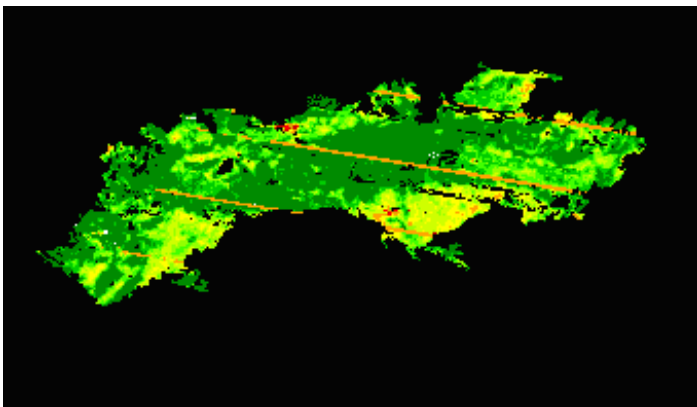


Fig 162. Evolución de la regeneración en incendio Lloc Nou de Sant Jeroni año 2015



Observamos como después de tres años posteriores al incendio la zona del incendio está casi por completo regenerada, sobre todo se ha regenerado en el interior del incendio, y las zonas aisladas que no están completamente regeneradas, tienen un porcentaje de regeneración alrededor del 50%-60%.

5. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PROYECTO FINAL DE GRADO

Salario Ingeniero Tecnico	100 h*30€	3,000 €
Programas utilizados	ENVI	500 €
	AutoCAD	200 €
	Word	20 €
	Excel	20 €
	ArcGIS	200 €
Imágenes Landsat 7	Gratuitas	
COSTE TOTAL		3,940 €

6. CONCLUSIONES

Finalmente, podemos concluir que el método de la resta entre los índices NDVI y NBR, método utilizado para la realización de este proyecto, posee índices que detectan de forma satisfactoria dos partes fundamentales de este proyecto como son la detección de la vegetación, en el que el índice NDVI es bastante fiable y efectivo. La detección de la zona de los incendios con el índice NBR, con el que podemos localizar y distinguir de forma aceptable las áreas quemadas de las áreas no quemadas, además es el índice que posee mejores resultados en la detección de un mayor número de incendios estudiados. Aunque surgieron problemas para detectar algún incendio con el índice NDVI ya que, además de seleccionar la zona del incendio, seleccionaba zonas de cultivo, se pudieron solucionar con la creación de una máscara para discriminar la zona del incendio quemada y descartar las zonas de cultivo. Por todo ello, podemos concluir que el índice que mejor nos ha funcionado para poder detectar las zonas quemadas de los incendios ha sido el índice NBR, mientras que para analizar o evaluar la regeneración de la vegetación a lo largo del periodo de estudio, el mejor índice ha sido el NDVI.

7. AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar las gracias a toda mi familia, a mi madre, por su preocupación por mis estudios y de que todo fuera por el buen camino, mi hermana, con la que siempre puedo contar cuando más lo necesito y la que me aconseja en las difíciles decisiones de la vida, pero en especial a una persona muy importante para mí, a mi padre, por su apoyo incondicional tanto en los momentos buenos como en los malos a lo largo de toda mi trayectoria universitaria y escolar y porque siempre ha tenido fe ciega en mí.

A mi tutor, Jorge Abel Recio, por su gran paciencia, dedicación, por ayudarme en todo lo que he necesitado y por guiarme en este proyecto. Gracias Jorge.

A mis amigos de la facultad, podría escribir nombres, pero seguramente me quedaría corto, en especial a mis dos amigos, Denys y Nacho por ayudarme y asesorarme lo mejor posible para que finalizara con éxito este proyecto.

A mi novia, Stefanie, por su gran apoyo durante la realización de este proyecto y por darme siempre ánimos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- CHENGQUAN, H., GOWARD, S., MASEK J., THOMAS N., ZHU Z. y VOGELMANN, J. (2010). *An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks*. Universidad de Maryland: Departamento de Geografía.

<<https://pdfs.semanticscholar.org/ca50/71f6cbdeb4fb915759995b60cb449d201eaf.pdf>> [Consulta: 05 de Diciembre 2016]

- Fernández-Coppel, I. (2001). *El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ -satélite Landsat*. Proyecto Final de carrera. Palencia. Universidad de Valladolid.

- Department of the interior U.S. Geological Survey. *Landsat 4-7 Surface Reflectance Product*.
<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/ledaps_product_guide.pdf> [Consulta: 10 de enero 2017]

- *Índice de vegetación diferencial normalizado*.
<<http://www.dpa.gov.ar/clima/informes/NDVI.pdf>> [Consulta: 28 de Marzo 2017]

- Department of the interior U.S. Geological Survey. *Landsat 8 surface reflectance code product*.
<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/lasrc_product_guide.pdf> [Consulta: 28 de Marzo 2017]

- Rodríguez Ramos N. (2009). *Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+*. Proyecto final de carrera. La Habana. Universidad de la Habana.
<<https://es.scribd.com/document/87421521/Articulo-slc-off-proyect-7-07-Relleno-de-Las-Lineas-Negras-Landsat>>

- Universidad de Chile. Familiarización con el programa ENVI.
<<http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Tutorial%20ENVI%20GUIA%20Lab%20.pdf>> [Consulta: 20 de Abril 2017]



- YOUTUBE, “ Introducción a las herramientas básicas de ENVI: (III) Aplicación de filtros) en YOUTUBE < <https://www.youtube.com/watch?v=Xzd-dDmRvgw>> [Consulta: 19 de enero 2017]



9. ANEJOS





