

Estimación de severidad y radiometría de campo

Análisis de severidad y regeneración con SAR

GEOFOREST
Procesos geo-ambientales
en espacios forestales



<http://geoforest.unizar.es/>

Juan de la Riva y Fernando Pérez-Cabello

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza



GEOFOREST_

**Procesos geo-ambientales
en espacios forestales**



<http://geoforest.unizar.es/>

**Grupo de Investigación Excelencia E-68 "GEOMORFOLOGÍA Y
CAMBIO GLOBAL" (BOA 54, 15 de mayo de 2006) del Instituto
Pirenaico de Ecología (IPE, CSIC) y la Universidad de Zaragoza (UZ).**

**Red temática nacional
Efectos de los incendios
forestales
Sobre el suelo**



**Instituto Universitario de
Investigación en Ciencias
Ambientales de Aragón**



GEOFOREST_

Procesos geo-ambientales
en espacios forestales



<http://geoforest.unizar.es/>

Líneas de investigación: Incendios/Teledetección

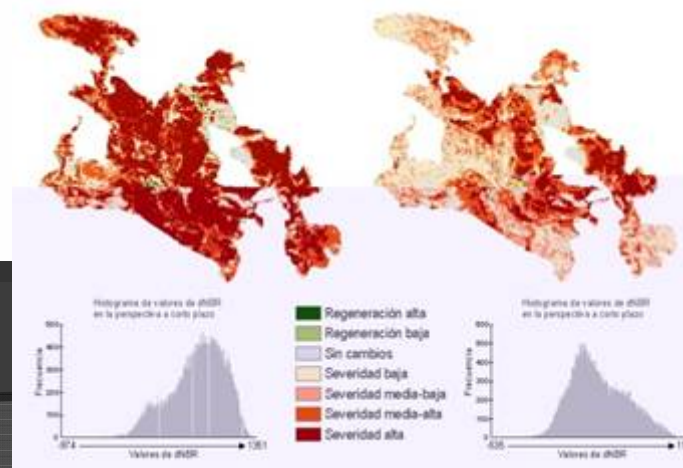
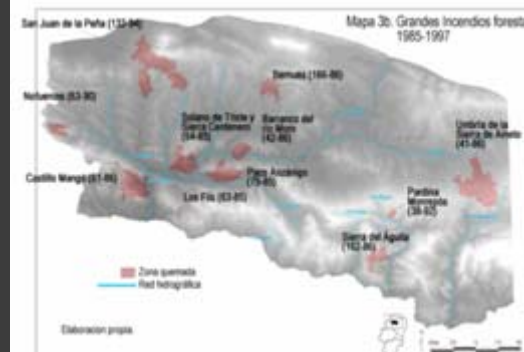
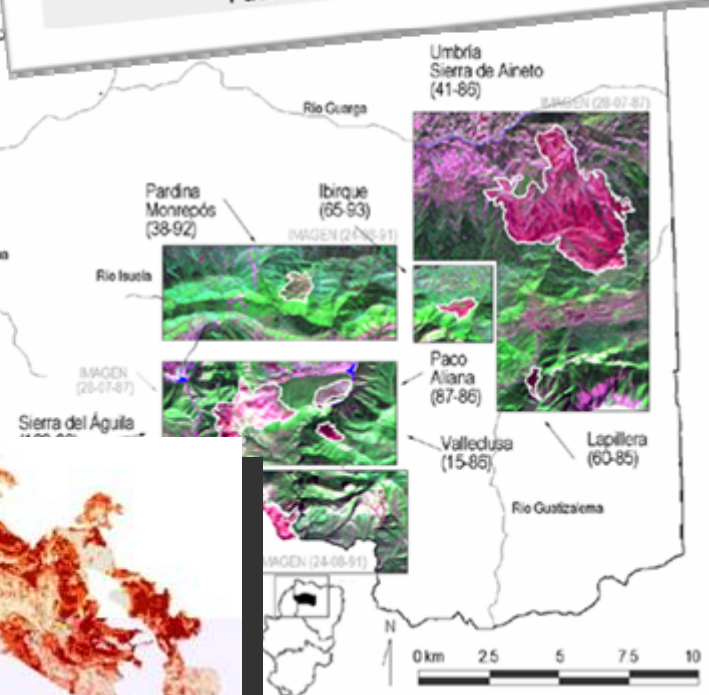
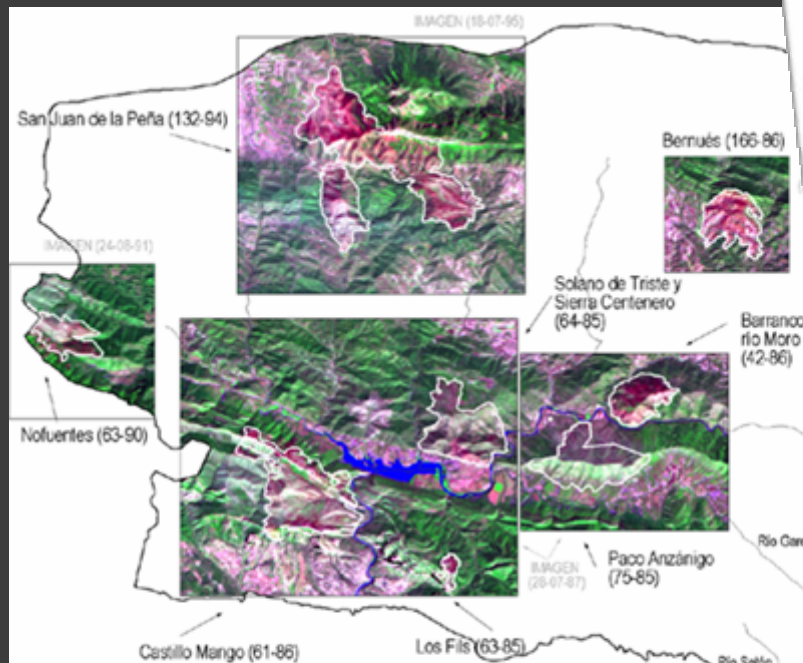
- ⊙ Análisis de Riesgo (UA, IEGD-CSIC)
- ⊙ Cartografía y análisis de procesos ambientales postincendio
 - Teledetección espacial y SIG para
 - La detección de incendios
 - El seguimiento multitemporal
 - La modelización de la vulnerabilidad ecológica
 - Modelización de zonas susceptibles a la erosión
 - Relaciones biomasa residual-severidad
 - El diseño de nuevas metodologías para el análisis de los efectos inmediatos del fuego y la determinación de la severidad (espectro-radiometría de campo, FDARE, SAR).

Cartografía y análisis de severidad Inventario niveles de afección por tipos de paisaje

Tabla 1. Número de incendios y hectáreas quemadas (1974-1999).

	Nº incendios	Superficie afectada (ha)
España	288.058	5.228.563
Aragón	4.753	172.688
Huesca	1.899	44.804
Prep. oscense	365	24.002

Fuente: D. G. A., elaboración propia.



Modelización de la capacidad de reconstrucción (vulnerabilidad ecológica)

Modelo hipotético deductivo

Diferenciación y selección de variables

ESTRUCTURALES

relieve

litología

clima

vegetación

◁ Severidad ▷

COYUNTURALES

Actuaciones antrópicas

Condiciones atmosféricas

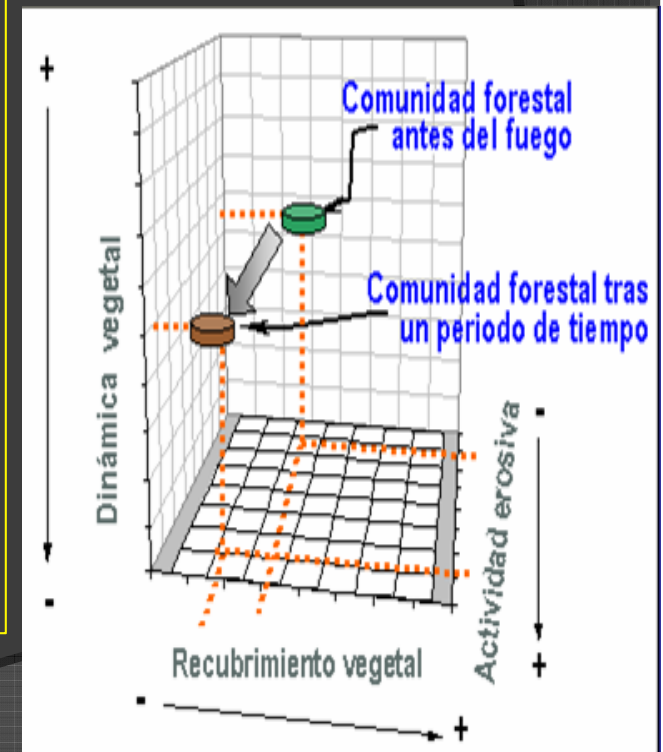
Capacidad edáfica ↔ Susceptibilidad a la erosión ↔ Capacidad climática

Capacidad de reconstrucción postincendio

TIPOLOGÍA
UNIDADES
AMBIENTALES

Comunidades forestales

DINÁMICA
AMBIENTAL



Análisis sintético de los factores estructurales Técnica multicriterio (asignación de pesos)

NDVI	Baremo
< 0'32	Muy bajo
0'33 to 0'45	Bajo
0'46 to 0'59	Medio
0'60 to 0'72	Alto
0'73 to 1	Muy alto

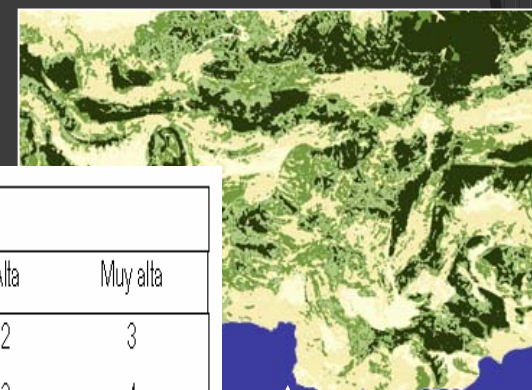


Densidad de la vegetación



Talla de la vegetación

Talla de las formaciones	Baremo
Bosques de talla mayor de 7 m	Muy alto
Reforestación reciente en terrazas	Bajo
Repoblaciones integradas	Medio
Repoblaciones poco integradas	Bajo
Matorral arbustivo entre 3 y 7 m	Alto
Matorral subarbustivo entre 1'5 y 3m	Medio
Matorral medio entre 0'5 y 1'5 m	Bajo
Matorral bajo entre 5 y 50 cm	Bajo
Matorral medio entre 0'5 y 1'5 m con herbáceas vivaces	Bajo
Matorral bajo entre 5 y 50 cm con herbáceas vivaces	Bajo
Pastizales	Muy bajo

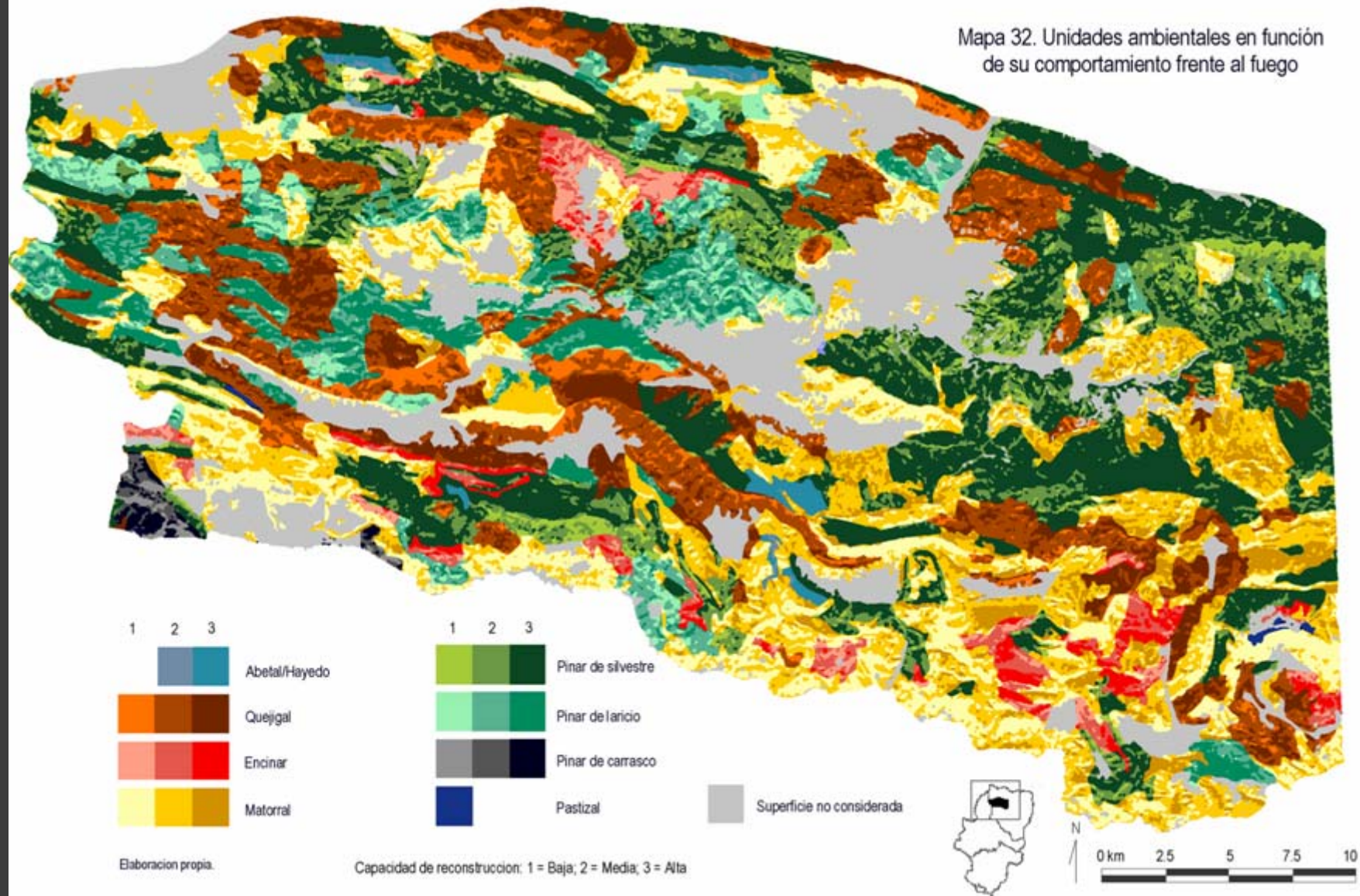


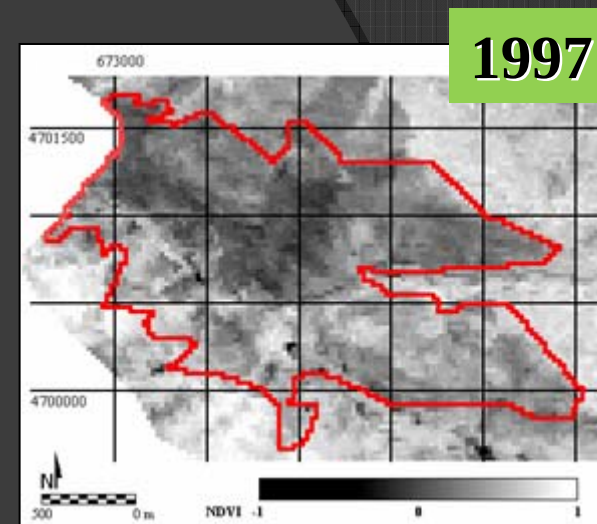
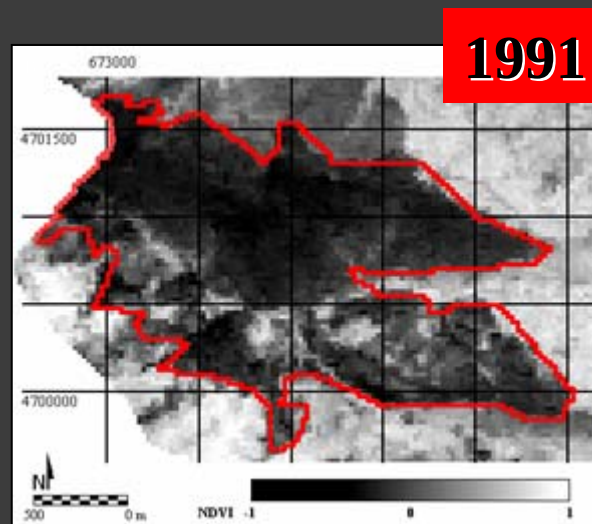
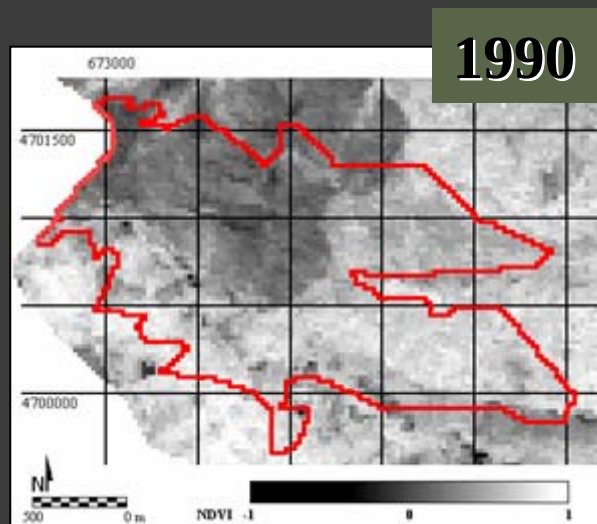
Potencial vegetación

Talla	Densidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	1	1	2	2	3
Baja	1	2	2	3	4
Media	1	2	3	4	4
Alta	1	2	3	4	5
Muy alta	1	3	4	5	5

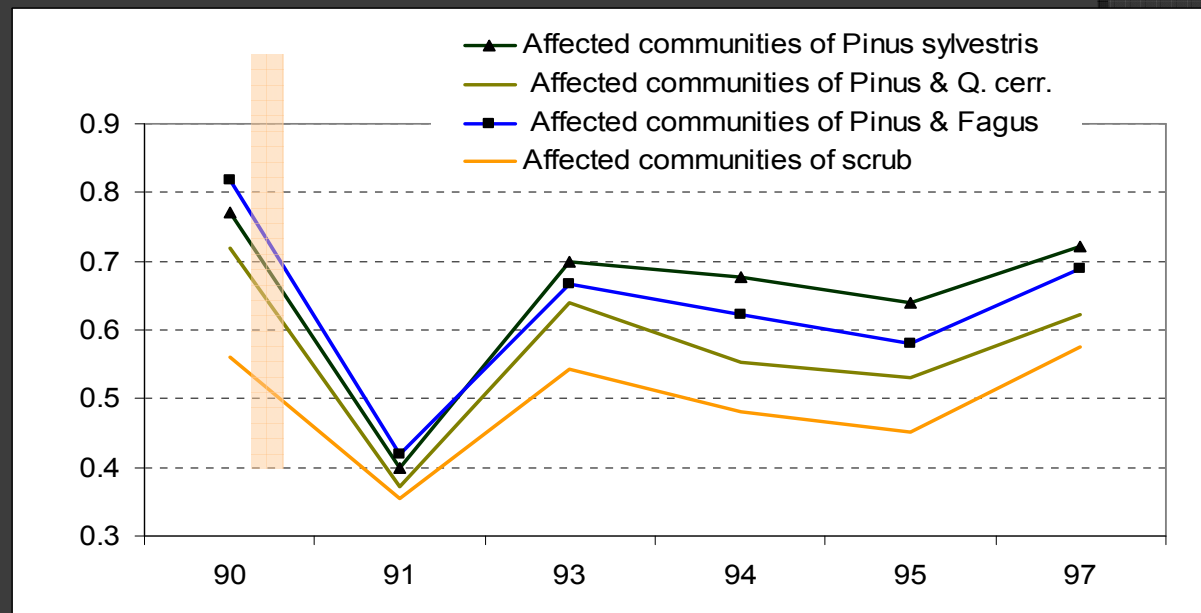
1: Muy bajo. 2: Bajo. 3: Medio. 4: Alto. 5: Muy alto.

Mapa 32. Unidades ambientales en función de su comportamiento frente al fuego





- i. Proceso de corrección geométrica de tipo no orbital (polinomio de orden 2), (*Nearest Neighbour*); malla geo-referenciada con píxeles de 25 m.
- ii. Homogenización de las imágenes mediante la conversión a medidas de reflectividad espectral.
- iii. Generación de NDVIs.



Verdad Terreno (protocolo de diagnóstico ambiental en zonas quemadas)

● Ficha-diagnóstico consecuencias a medio plazo

● El diseño de los indicadores

○ Regeneración vegetal

- Recubrimiento de los sectores control [veg_t] y quemados [veg_q].
- La cantidad de vegetación relativa [rec_veg].
- Diferencias taxonómicas [dif_tax].
- Diferencias fisionómicas [dif_fis].

○ Actividad geomorfológica

- Actividad erosiva en los sectores control [ero_t] y quemados [ero_q].
- Incremento de la actividad erosiva [iae].

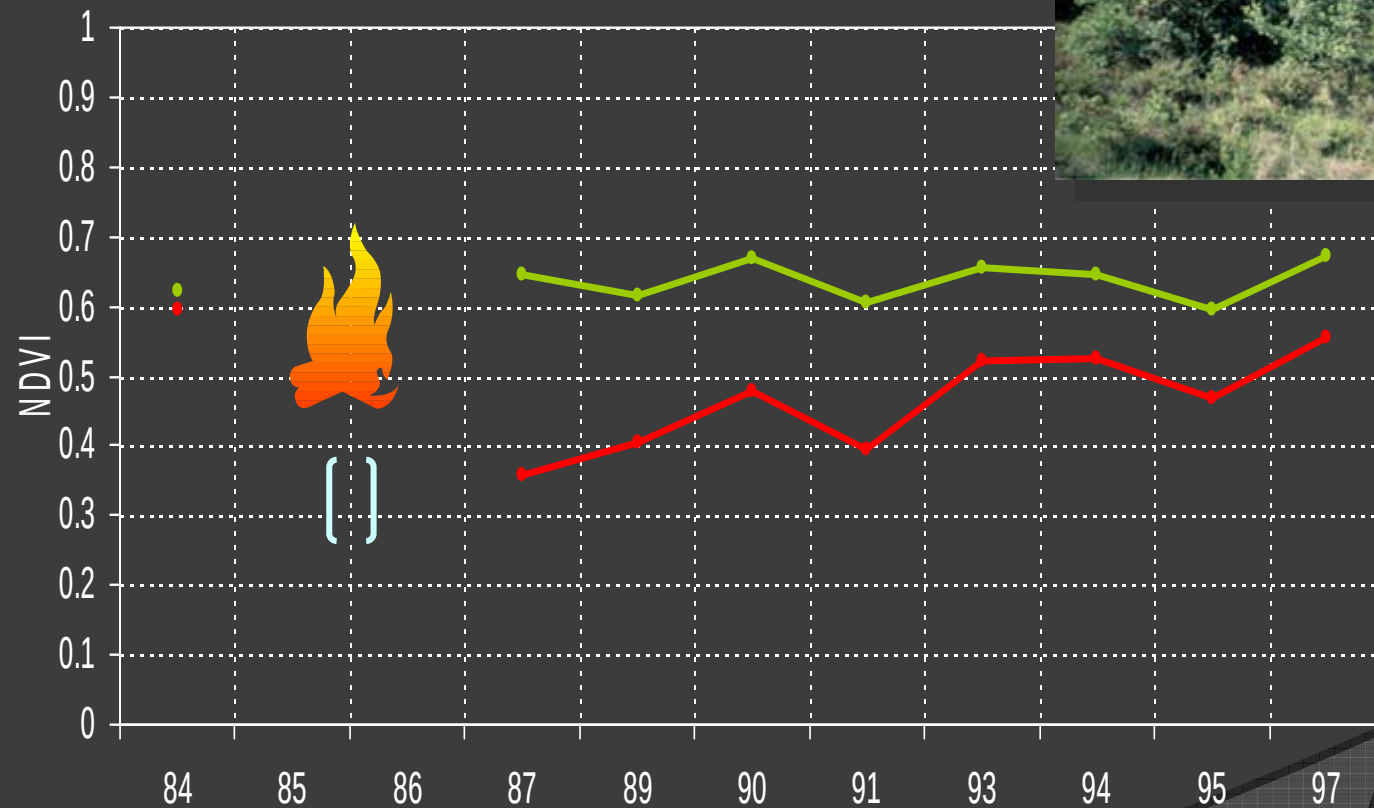
○ Degradación edáfica

- Materia orgánica, estructura, textura, pH,...

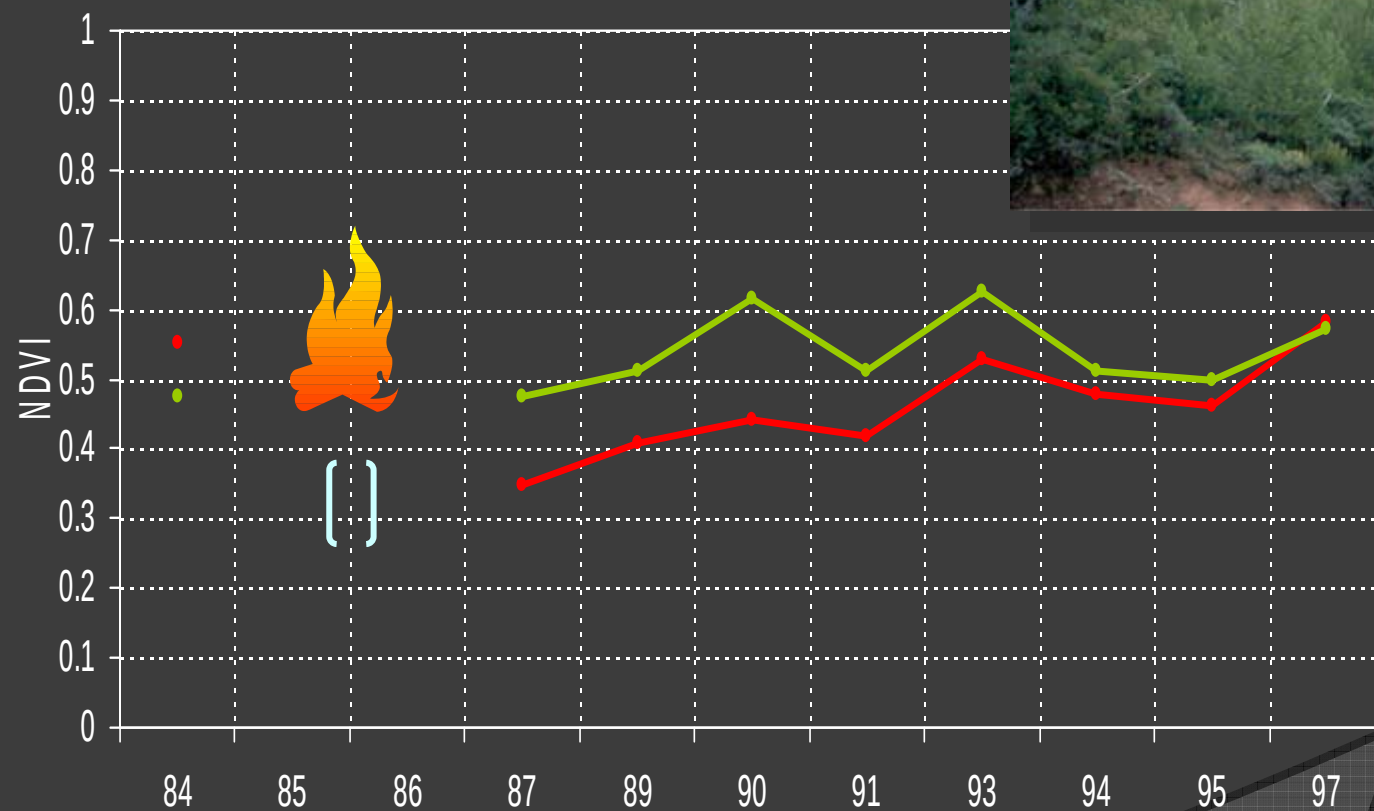
— Pérez-Cabello, F.; Ibarra, P.; Echeverría, M.; de la Riva, J. (2009). Post-fire land degradation of *Pinus sylvestris* L. woodlands after 14 years. *Land Degradation & Development* (LDD-08-0133) doi: 10.1002/ldr.925

		FEATURES	METHODS
I N D I C A T O R T Y P E S	SOIL LOSS	Material over roots and branches Scars Erosion pavements Erosion pedestal Exposed roots Rills	Methodology for the evaluation of soil degradation (FAO, 1980). Perceptual spatial incidence (visual criteria).
	PEDOLOGIC PARAMETERS	O horizons Ph Carbonates Shape Size Structure degree Consistence Sands Silts Clays Organic Matter	FAO guide for soil profile descriptions (FAO, 2006) - pH meter, - Bernard calcimeter, - Robison pipette, - Oxidation with potassium dichromate in a sulfuric acid medium
	VEGETATION REGENERATION	Floristic composition Vegetation structure	Floristic inventories Braun-Blanquet (1979) & Bertrand (1966)

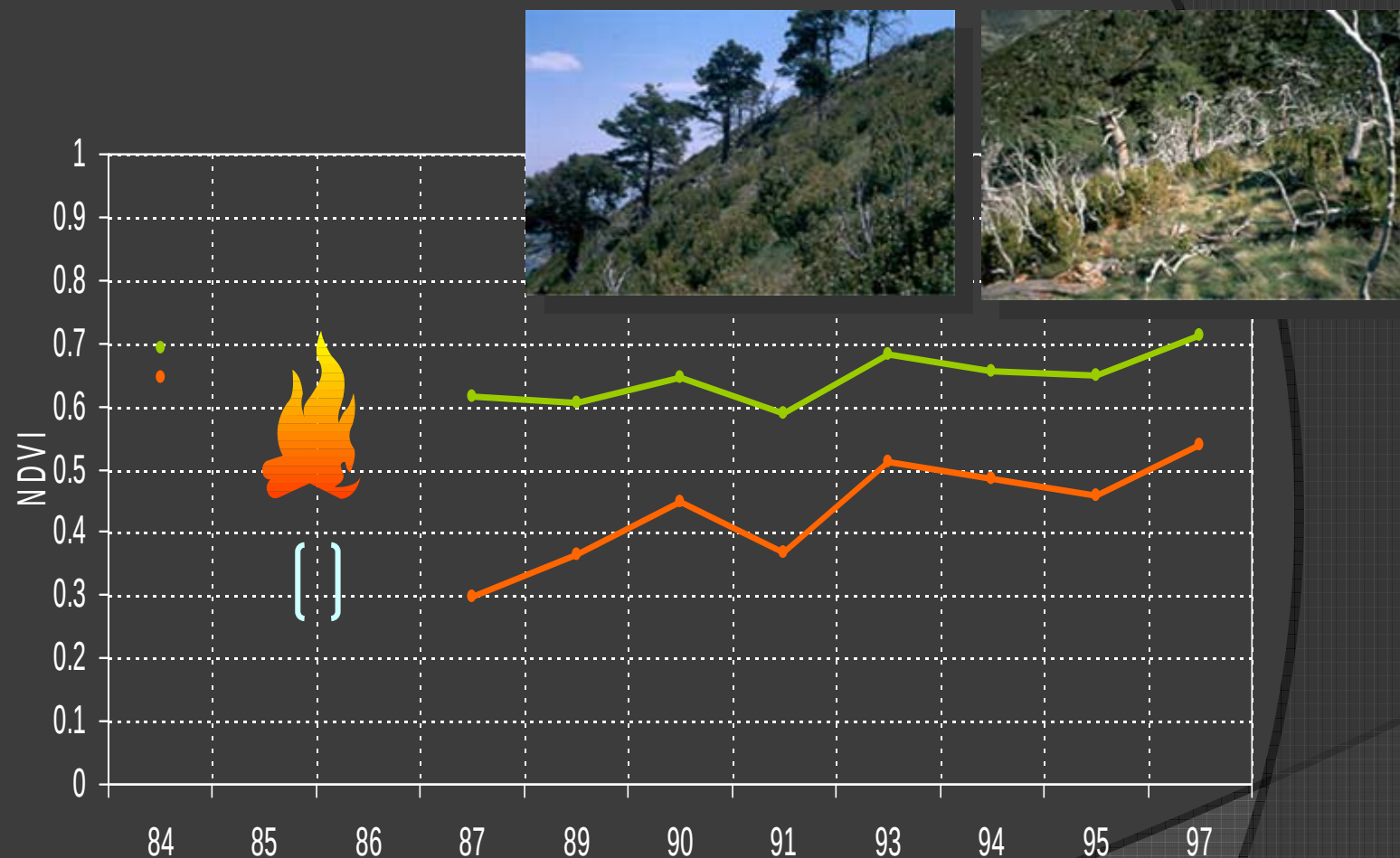
Seguimiento multitemporal de la recuperación de *Quercus rotundifolia*.



Seguimiento multitemporal de la recuperación de *Pinus halepensis*



Seguimiento multitemporal de la recuperación de *Pinus sylvestris*.





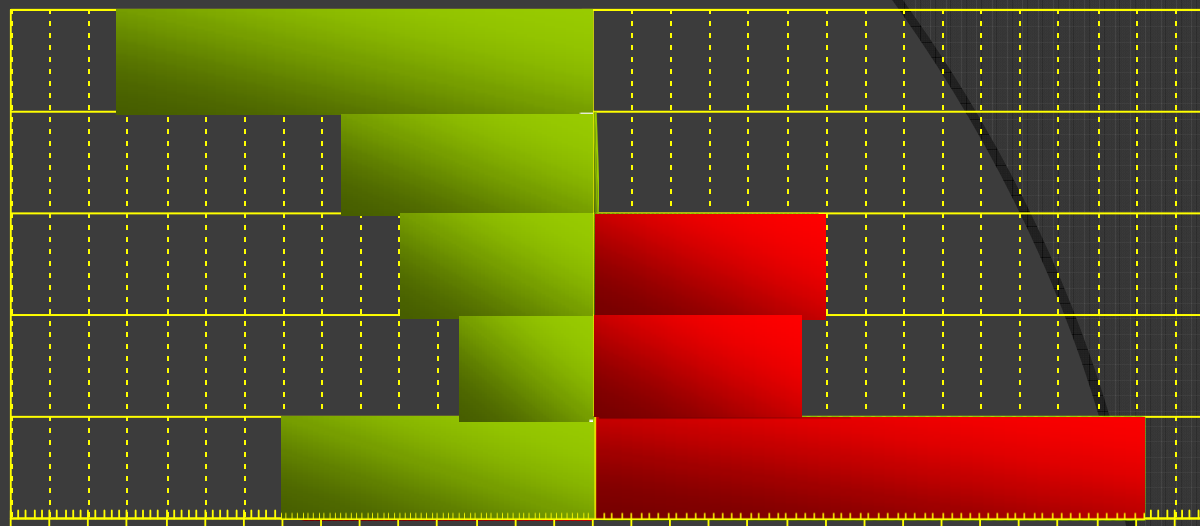
Estrato 5

Estrato 4

Estrato 3

Estrato 2

Estrato 1



herbáceas

otros matorrales

aliaga

enebro

tomillo

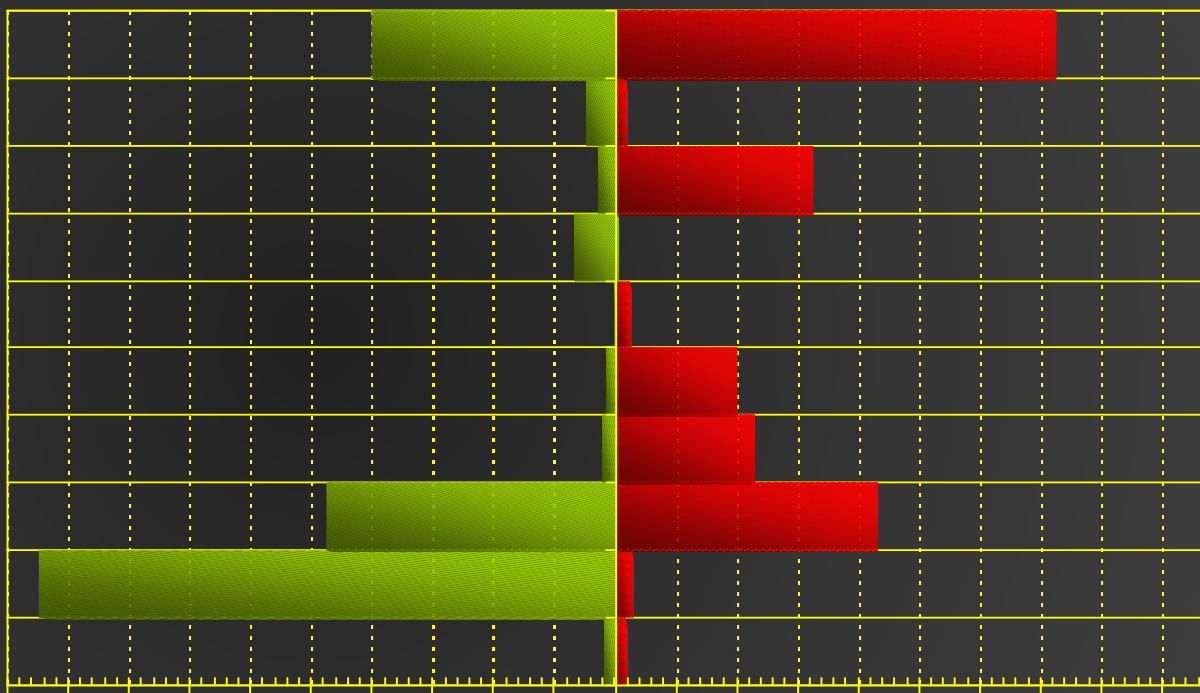
espinosas

erizón

boj

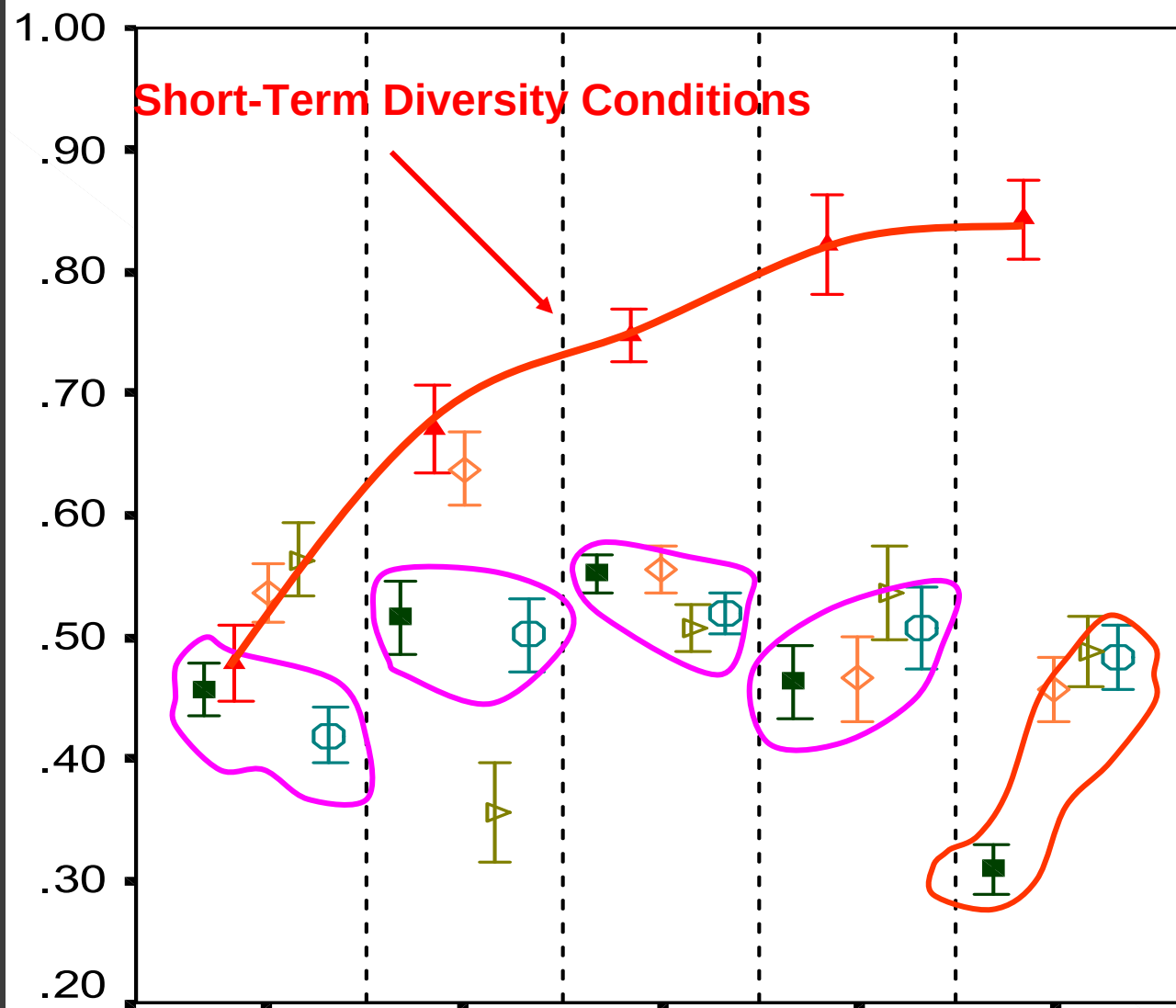
p. silvestre

quejigo



Pinares de silvestre:
porcentajes de
recubrimiento por
estrato y especie
correspondientes a los
sectores control y
quemados

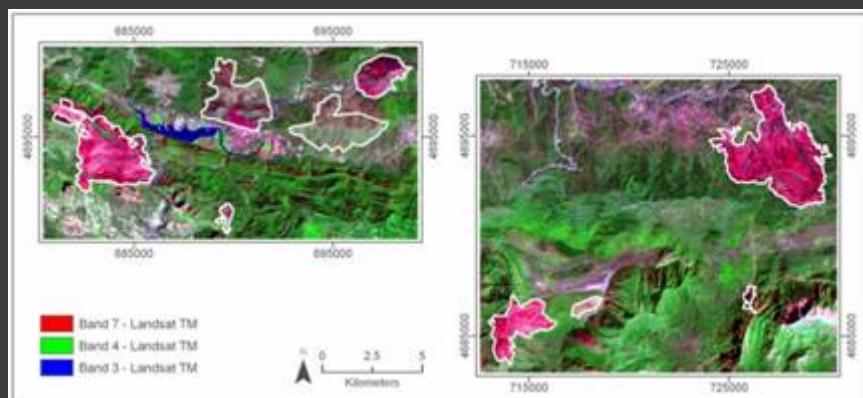
Shannon (H') -SDI.-



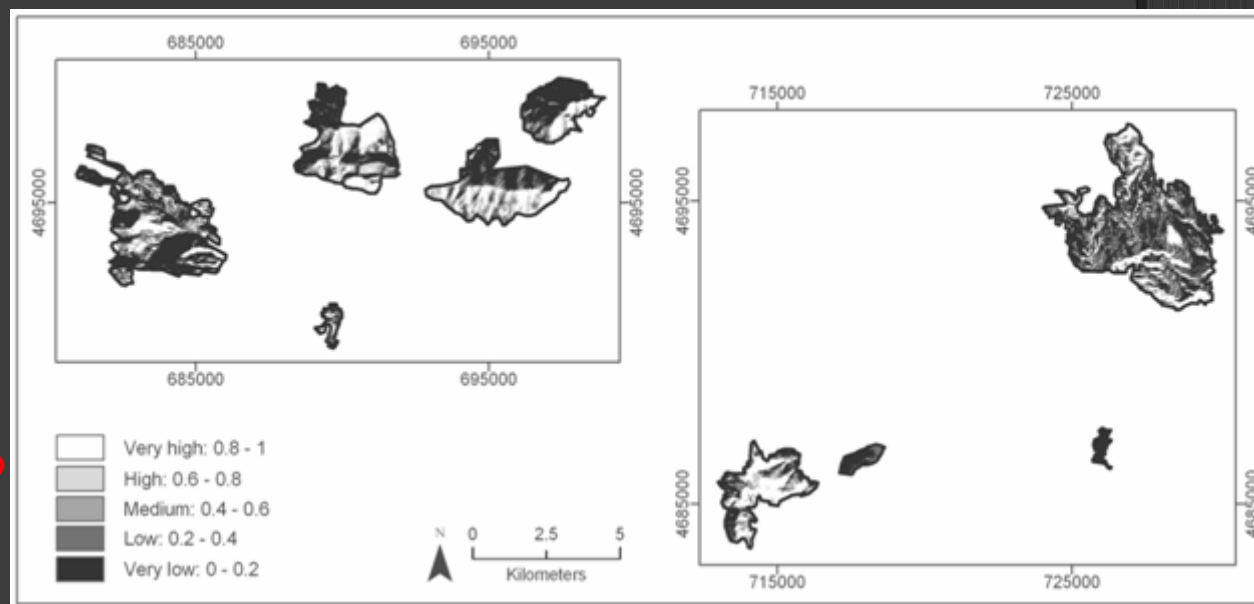
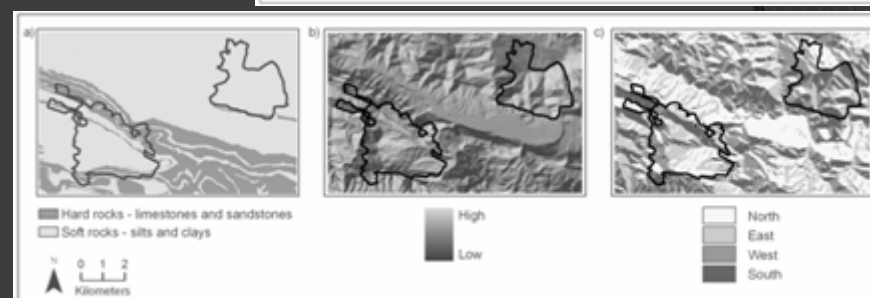
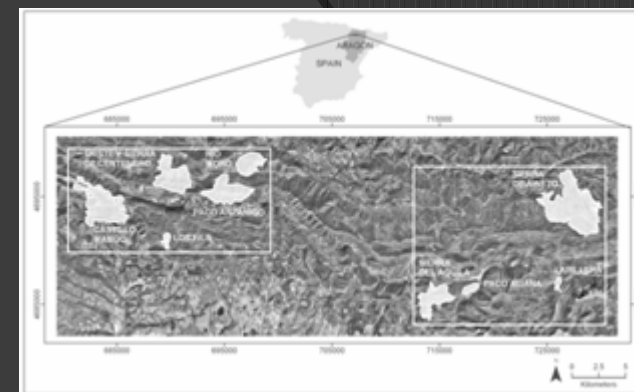
- pre_H'
- I H_91'
- I H_93'
- ◇ H_93'
- I H_94'
- ▷ H_94'
- I H_97'
- H_97'

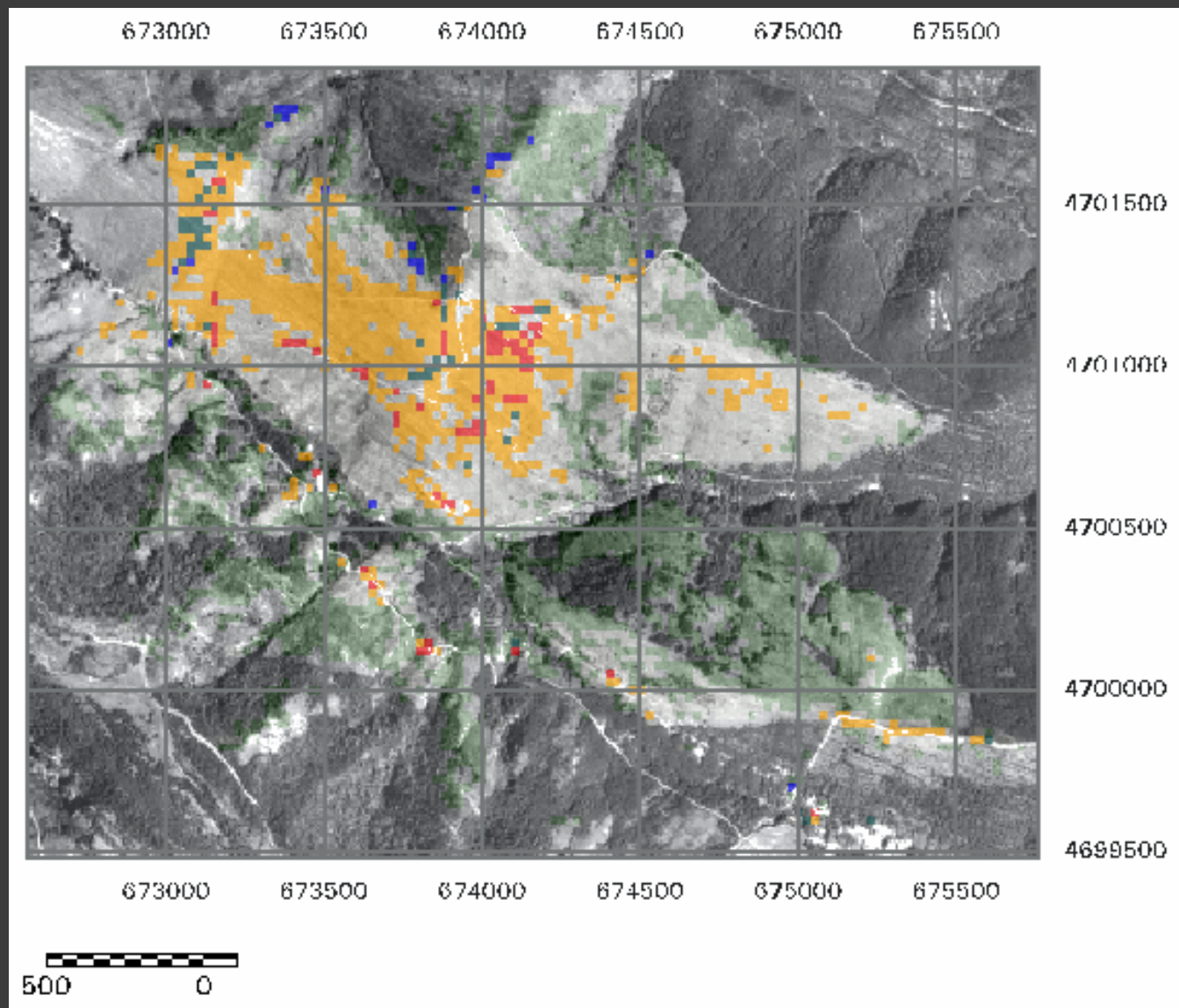
Scarce veget. Herbs/Shrubs Shrubs_Bs Oak forest Pine forest

- Pérez-Cabello, F.; de la Riva, J.; Montorio, R.; García-Martín, A. (2006). Mapping erosion-sensitive areas after wildfires using fieldwork, remote sensing, and geographic information systems techniques on a regional scale. *Journal of Geophysical Research*, 111.



Fire Years	Variables	b (estimated coefficient)
1985	Aspect	2.971
	NDVI	-7.345
	Constant	2.807
1986	ΔNBR	0.006
	Elevation	0.003
	Illumination	0.086
	Aspect	3.052
	NDVI	-9.765
	TM band_7	0.034
	Constant	-10.271





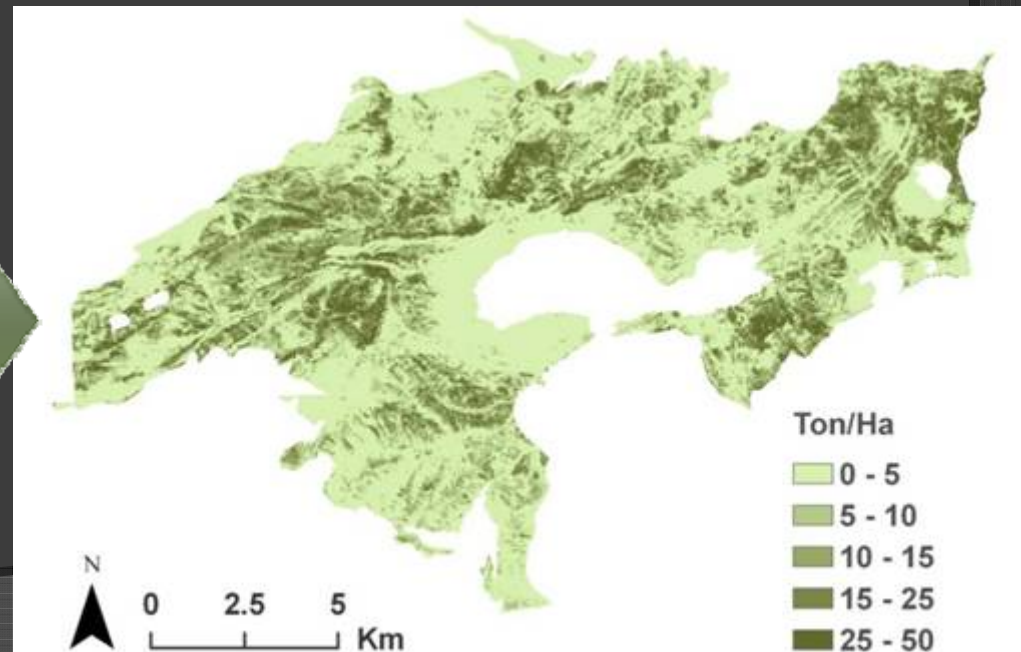
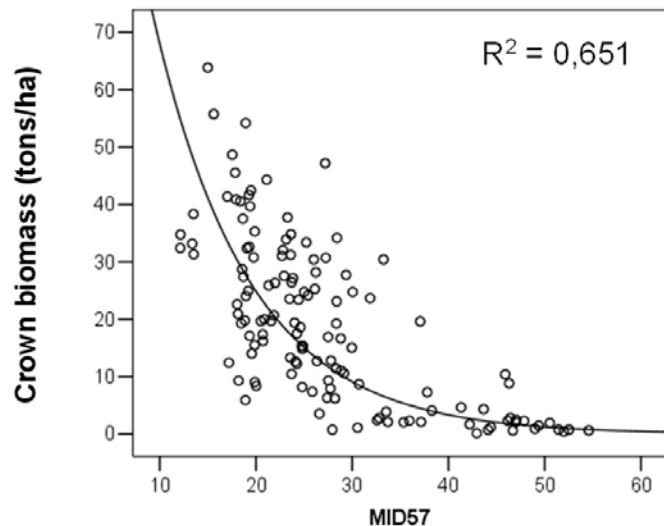
Estudio de las relaciones entre biomasa residual forestal y severidad

1. Estimación de biomasa de las copas

Biomasa de las copas: hojas, ramas y rabeón (20% de la biomasa total)

Metodología:

- 1- Estimación de la biomasa de copas en parcelas del IFN-2 mediante ecuaciones creadas a partir de muestreo destructivo → 482 parcelas
- 2- Tratamiento de una imagen Landsat 5 TM registrada durante las tareas de campo del IFN-2 y un mes antes del incendio estudiado (junio de 1994)
- 3- Ensayo de distintos métodos de extracción de la información para mitigar el efecto de la heterogeneidad de los bosques mediterráneos en el establecimiento de modelos

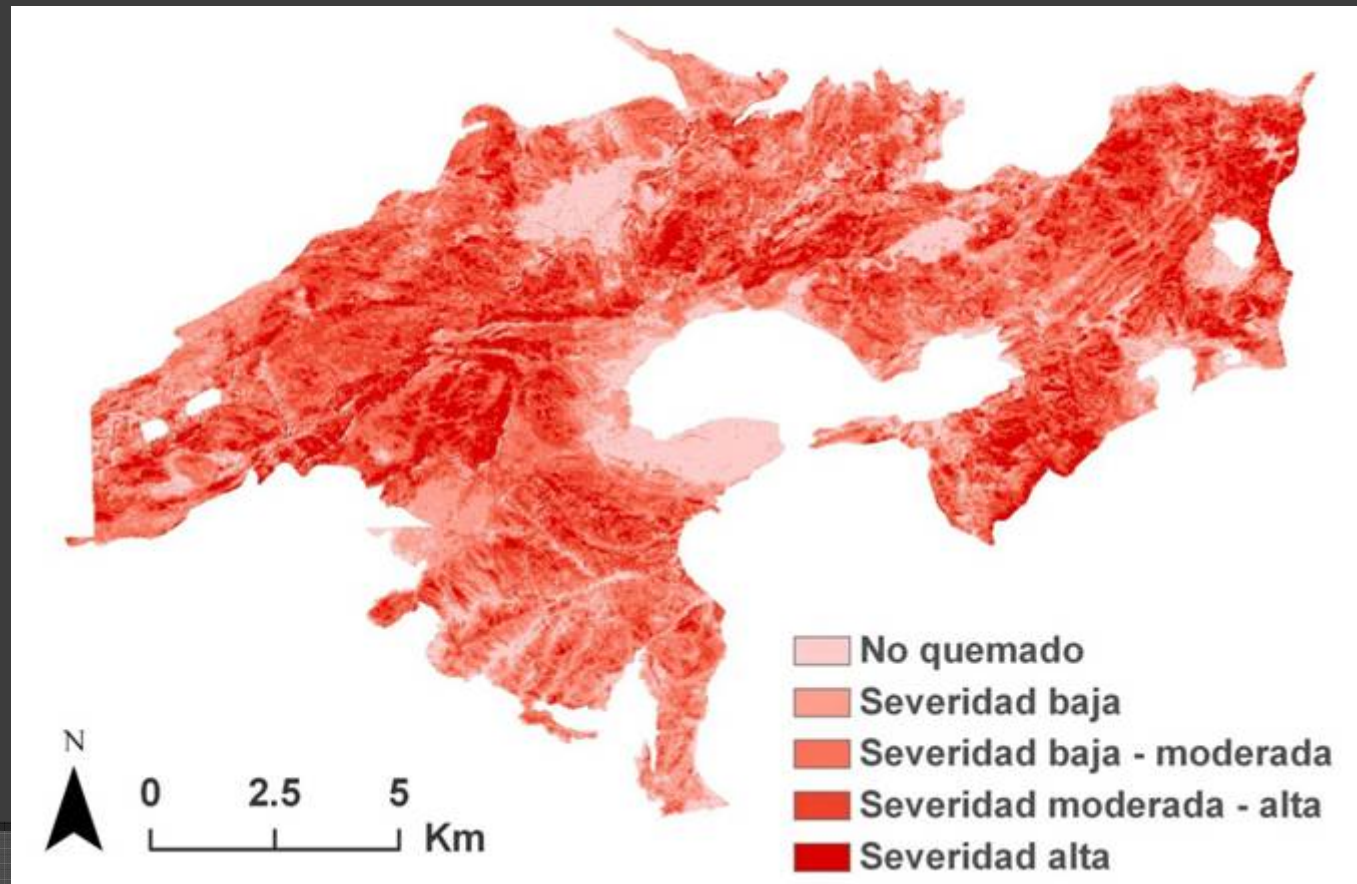


2. Estimación de la severidad del incendio del Maestrazgo

Metodología

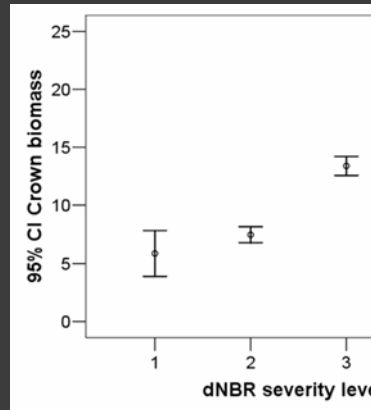
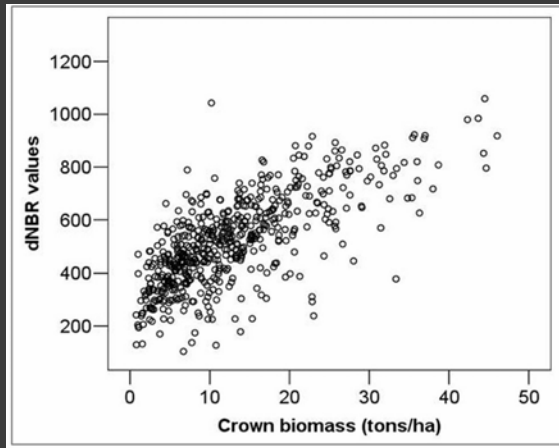
Cálculo del *Normalized Burn Ratio (NBR)* en la imagen Landsat 5 TM de junio de 1994 y en una imagen Landsat 5 TM registrada unos días después del incendio (agosto de 1994)

Sustracción de ambas para obtener la imagen de cambio (*dNBR*) (Key y Benson, 2006)



3. Resultados

Análisis de las relaciones



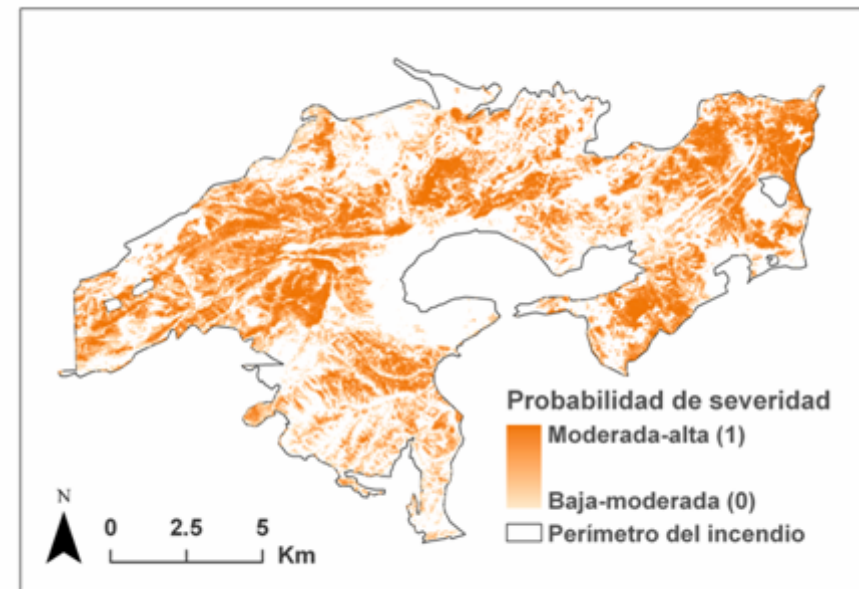
ANOVA Biomasa - dNBR

Relación dNBR - Biomasa

- Ajuste de modelos de probabilidad de ocurrencia

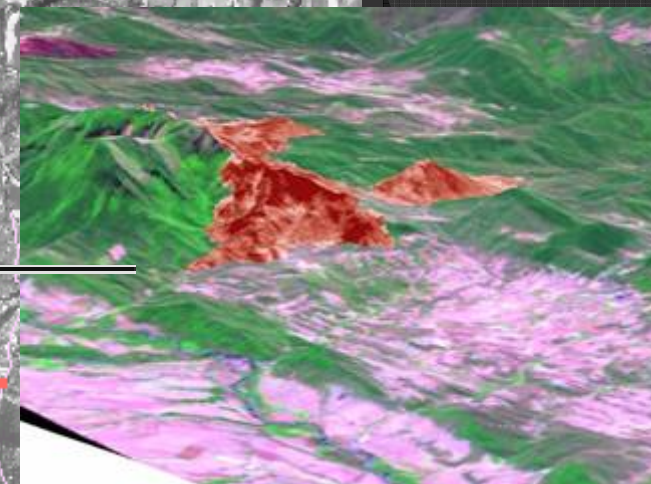
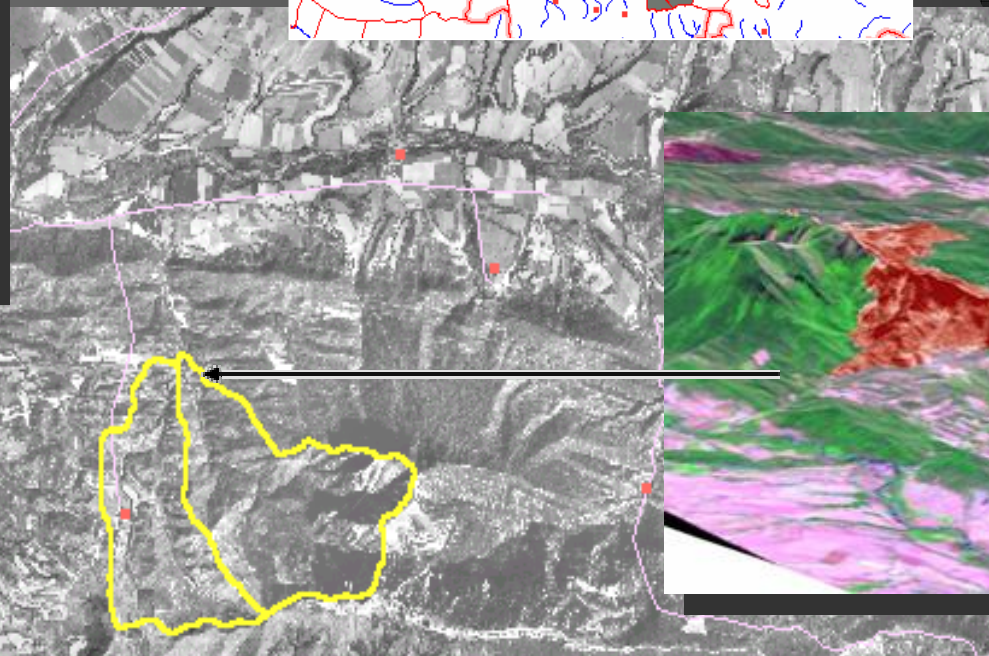
	B	Std. Error	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Crown biomass	0.255	0.029	77.150	1	0.000	1.291
Constant	-2.232	0.294	57.535	1	0.000	0.107

Modelo de regresión logística usando los niveles de dNBR agrupados en 2 categorías (baja -0- y alta -1-)



Embalse de Yesa

Río Aragón



	sup. (km ²)	sup. (ha)	altura máx. (m)	altura mín. (m)	altura media (m)	lutitas- areniscas (%)	congl. (%)	pend. max. (%)	pend. media (%)	Área quemada (%)
REAL	5,6	558,6	1.500	698	1.024	36,3	63,7	70	19,9	32,9
ALASTUEY	3,9	392,9	1.204	698	864	88,9	11,1	42	10,3	75

Kompsat 2 Satélite VHR Korea

Res. espacial:

1m en Pancromático

4m en Multiespectral

Bandas:

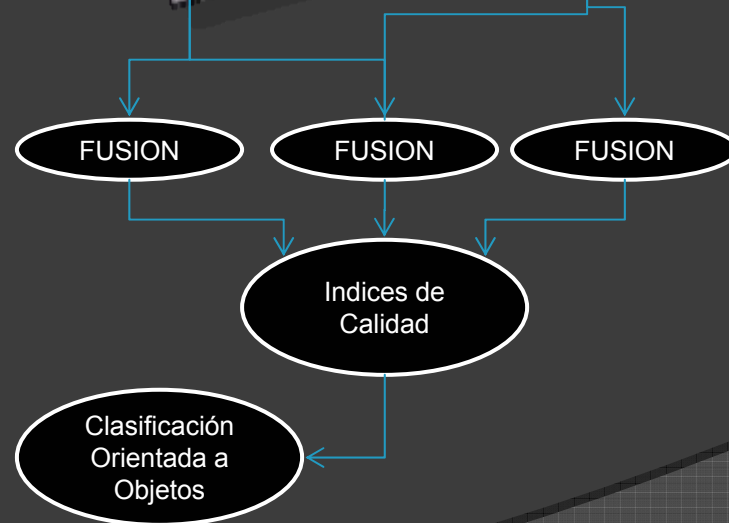
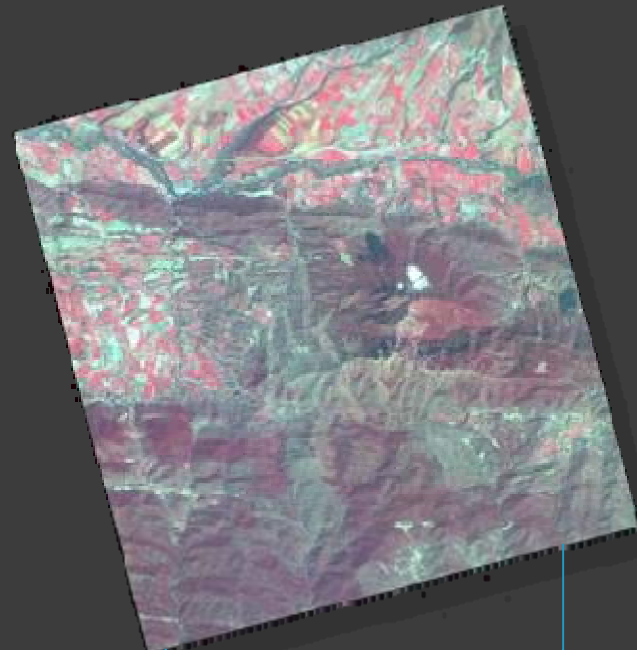
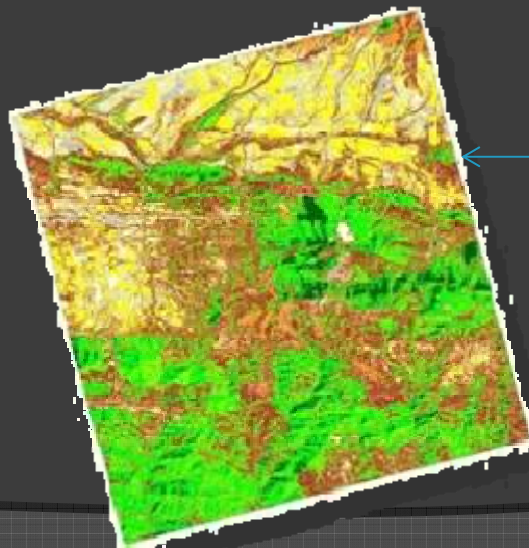
0,45-0,52 μm Azul

0,52-0,60 μm Verde

0,63-0,69 μm Rojo

0,76-0,90 μm IR

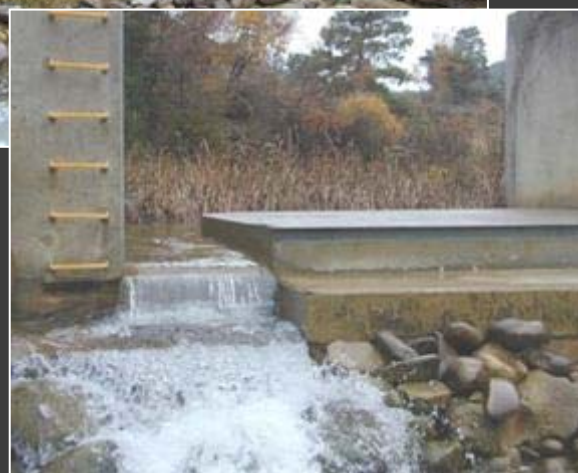
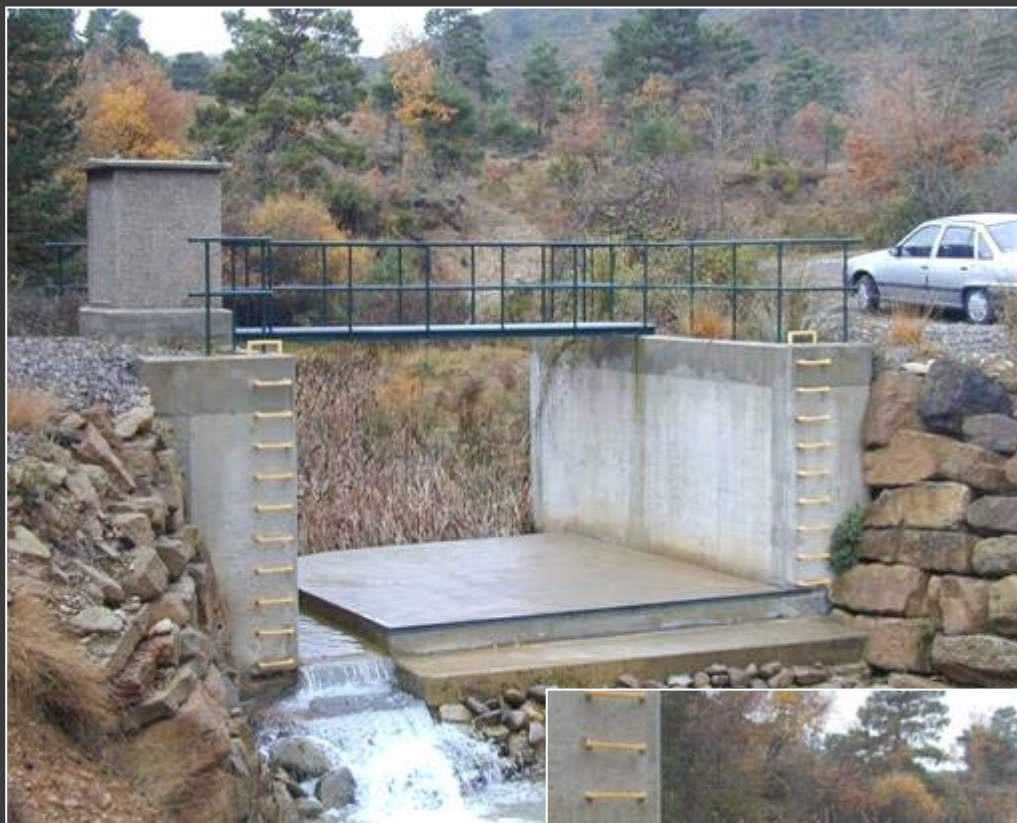
0,50-0,90 Pancromático



- *Limnigramas*: desde octubre de 1997.
- *Datos pluviométricos*: desde agosto de 1997.
- *Datos de sedimento en suspensión y solución*: en cada avenida desde 1997 a 1999.
- *Datos de carga de fondo*: grandes avenidas desde 1997 a 1999.



Barranco de Alastuey



GEOFOREST_

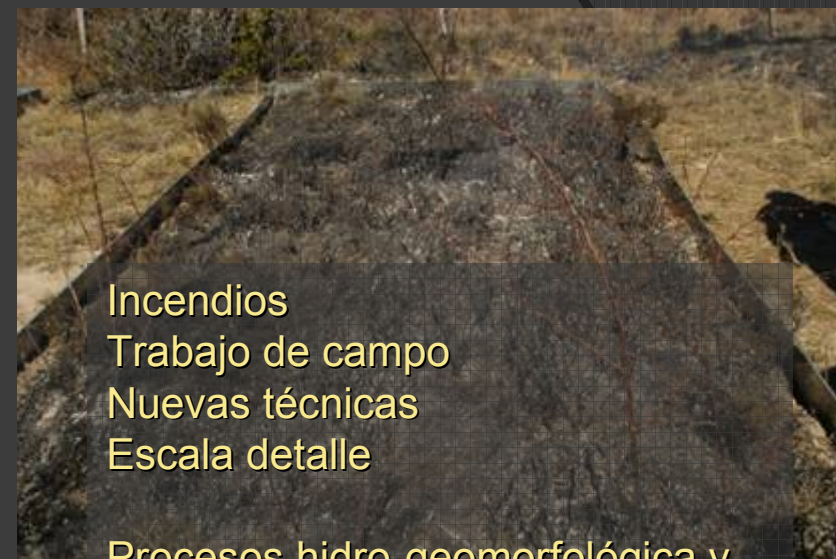
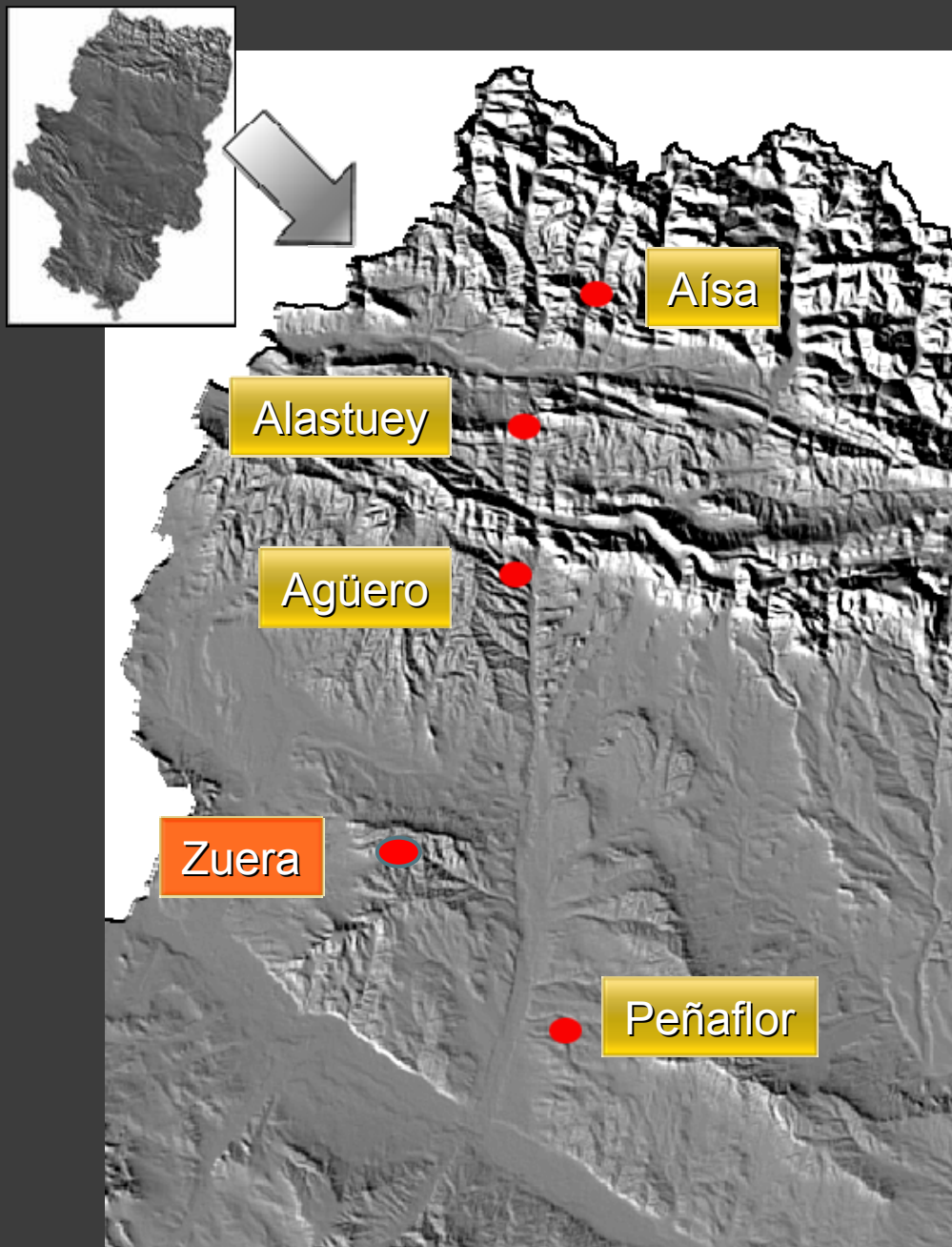
Procesos geo-ambientales
en espacios forestales



<http://geoforest.unizar.es/>

Líneas de Investigación en relación con Incendios/Teledetección

- ◉ Análisis de Riesgo (UA, IEGD-CSIC)
- ◉ Cartografía y análisis de procesos ambientales postincendio
 - Teledetección espacial y SIG para
 - La detección de incendios
 - El seguimiento multitemporal
 - La modelización de la vulnerabilidad ecológica
 - Modelización de zonas susceptibles a la erosión
 - El diseño de nuevas metodologías para el análisis de los efectos inmediatos del fuego y la determinación de la severidad (espectro-radiometría de campo, FDARE, SAR).



Incendios
Trabajo de campo
Nuevas técnicas
Escala detalle

Procesos hidro-geomorfológica y
de regeneración vegetal
Respuesta espectral de los
productos de combustion

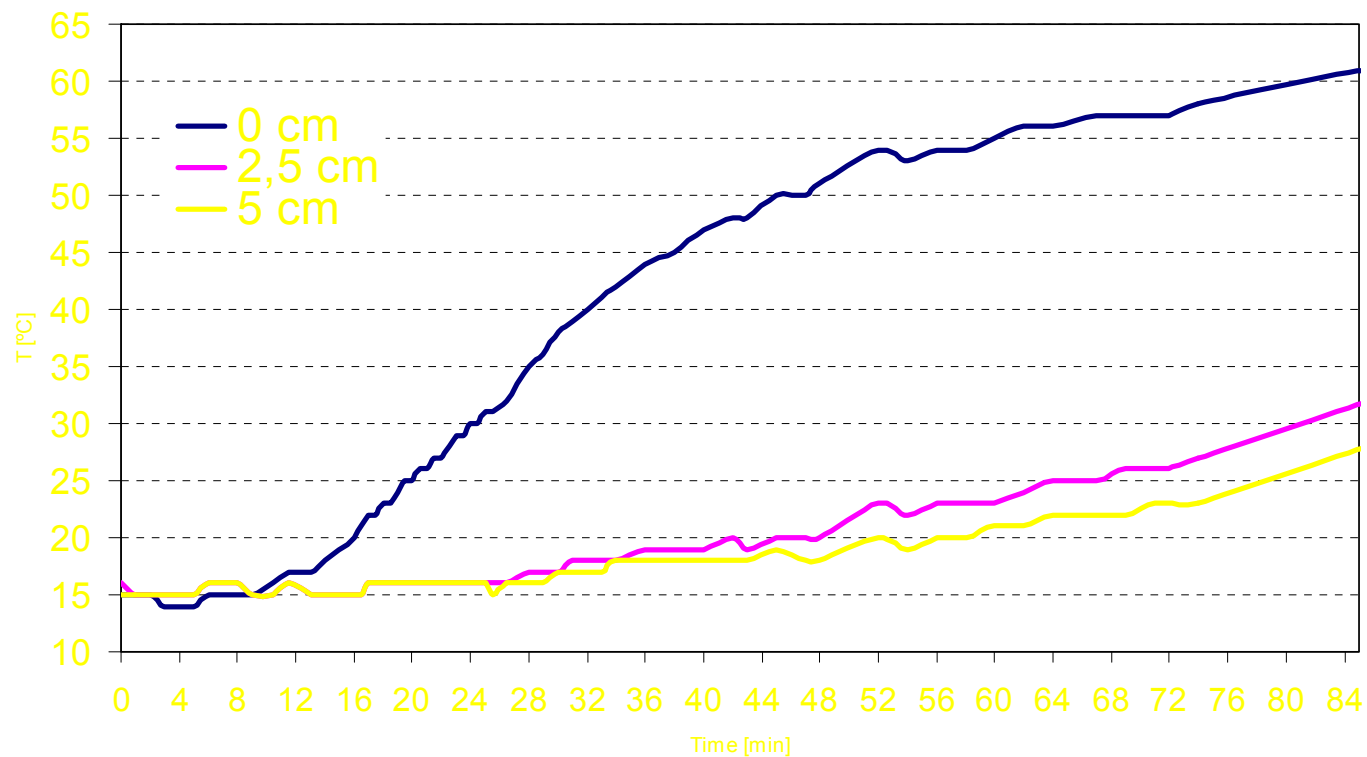






*Moderately intense fire (50-60°C top of the soil)
Flame temperature range from 200 to 700° C.*

Temperature evolution



- Plots were burnt at the end of the 2004 dry season.
- 12 a.m. local time
- NW wind direction with high speed.
- Fires were lit at the bottom side of the plot and left to burn.

Fotografía digital de alta resolución espacial (FDARE)

Análisis multitemporal de la respuesta ambiental y la severidad



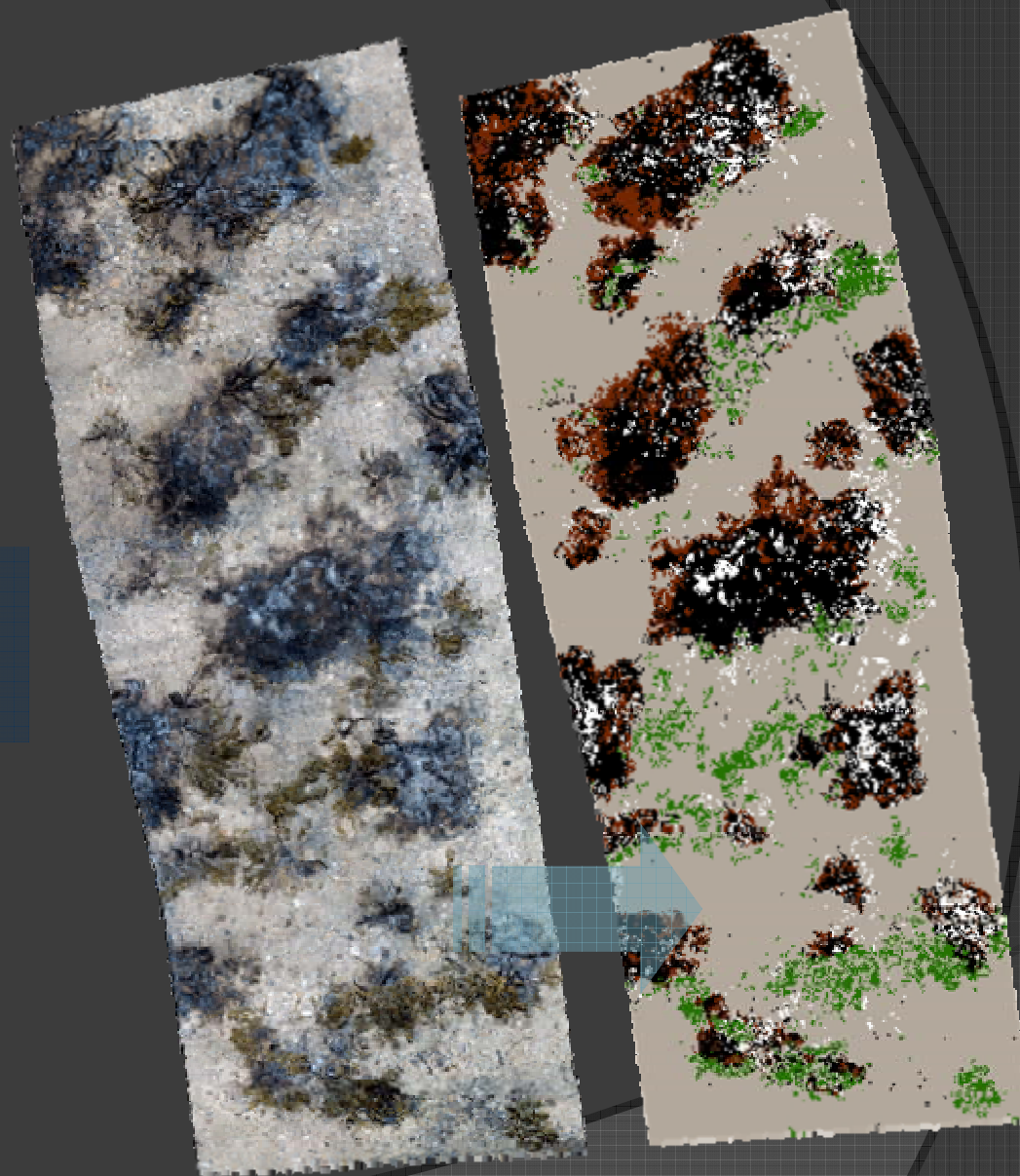
- Reflex Nikon D100 digital camera
- Metallic structure (3x3x2 m size)

1. Geometric correction

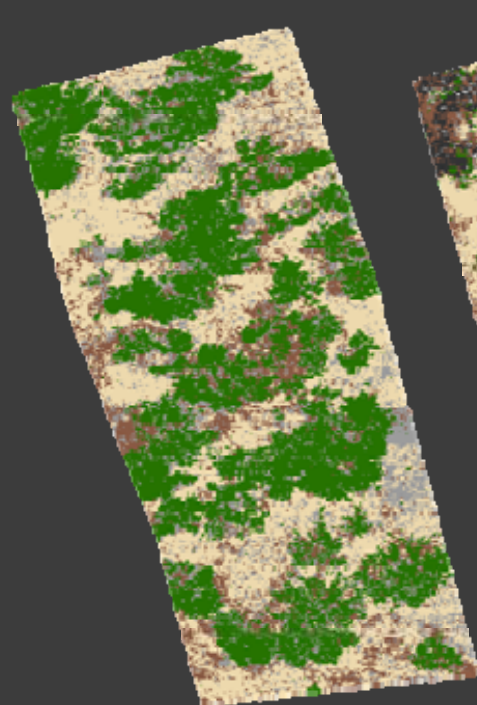
- 30 Ground Control Points (GCPs) of millimetre precision were taken with a Leica GPS500.
- Images were re-projected with an estimated RMSE of 2 cm.
- A nearest neighbour re-sampling technique was used to minimize changes in the radiometric values.

2. Supervised classification process

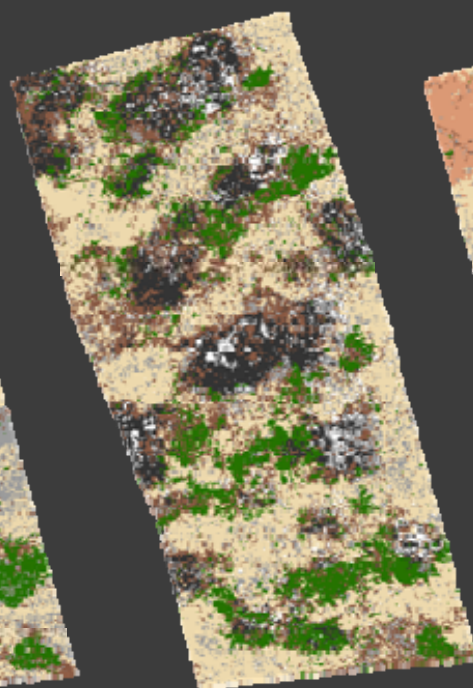
- Maximum-likelihood method



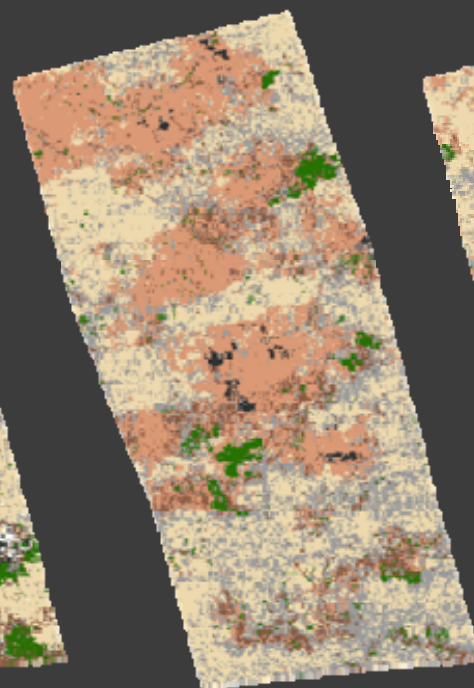
Clasificación digital



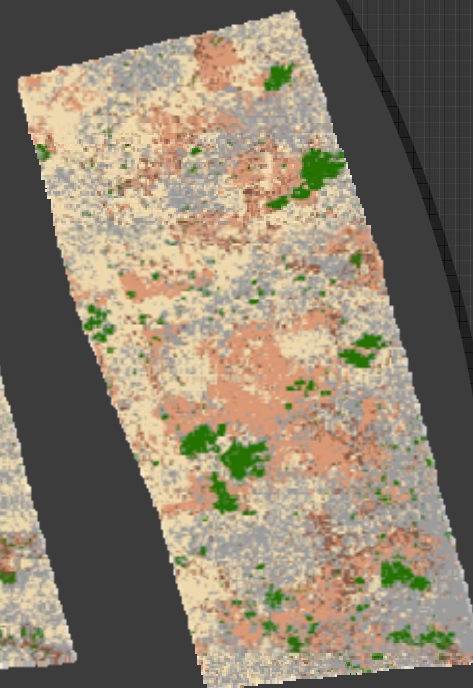
12/07/04



16/10/05

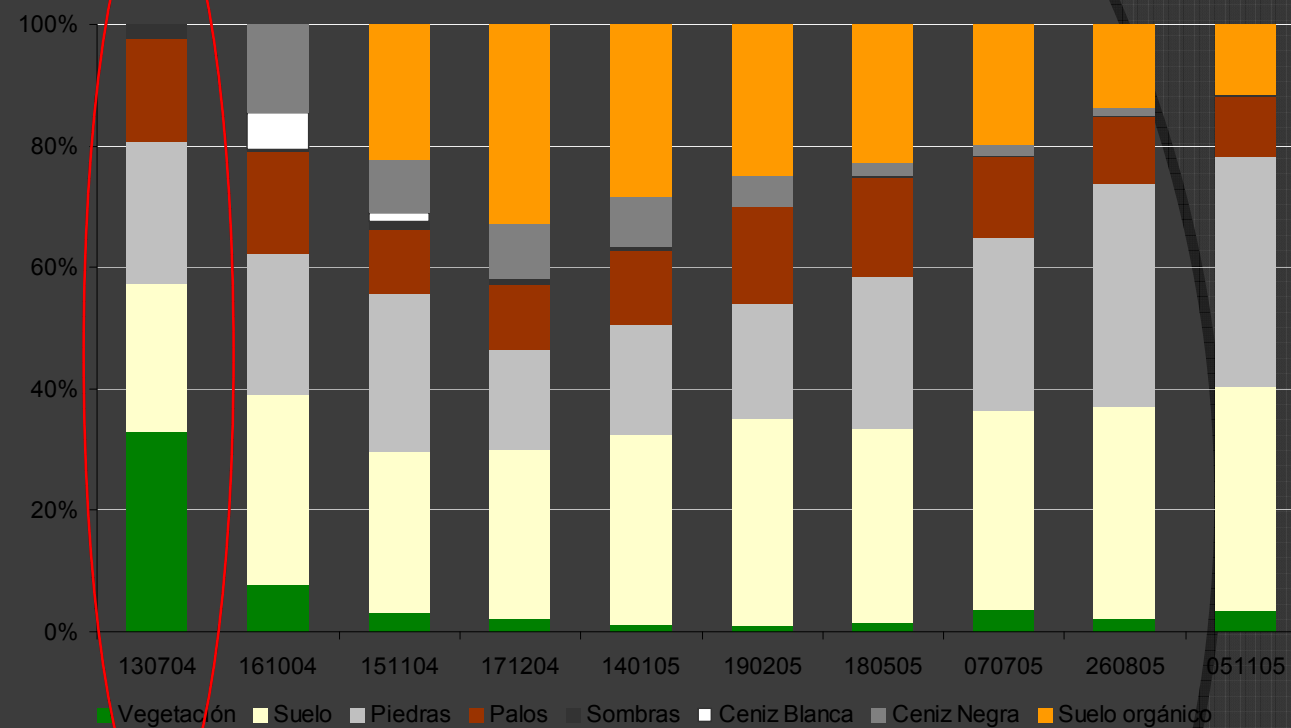


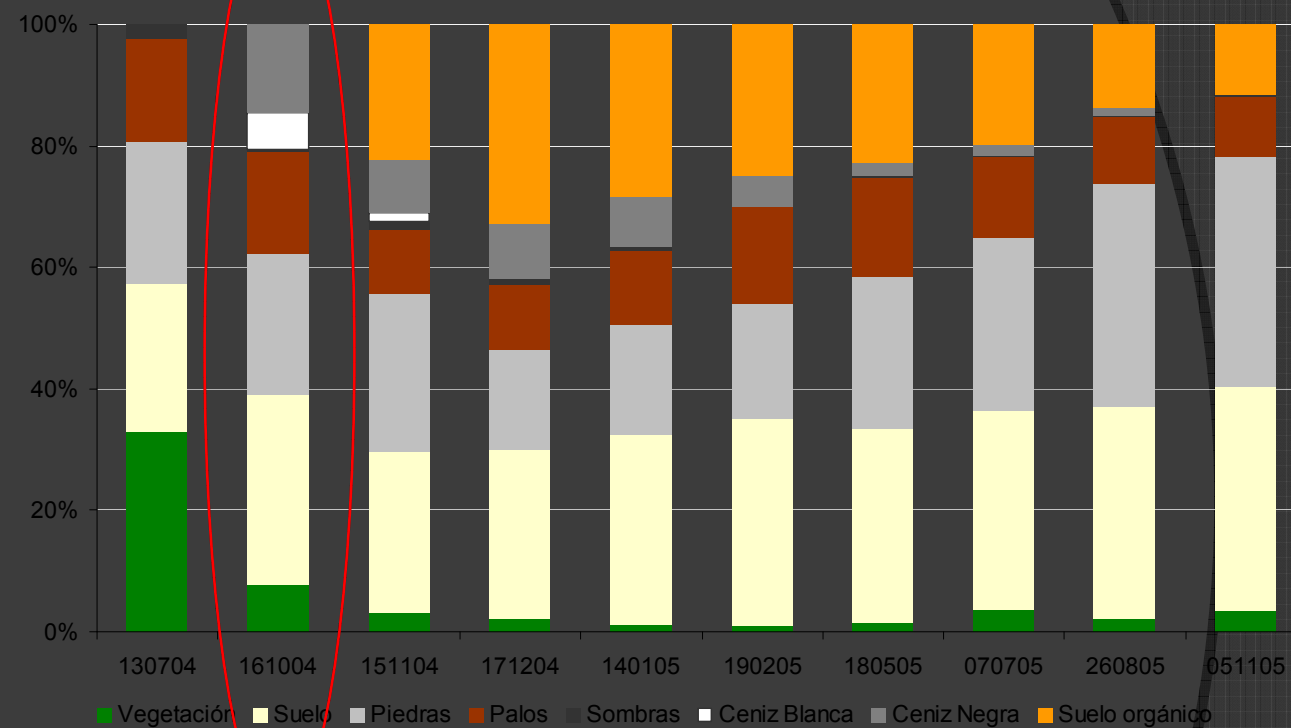
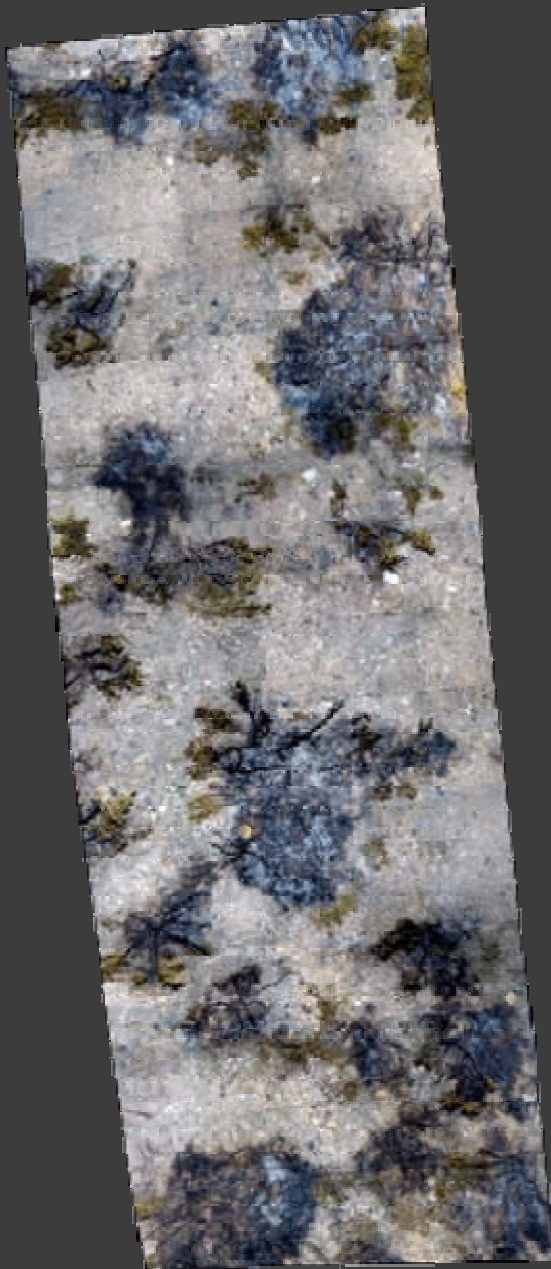
18/05/05

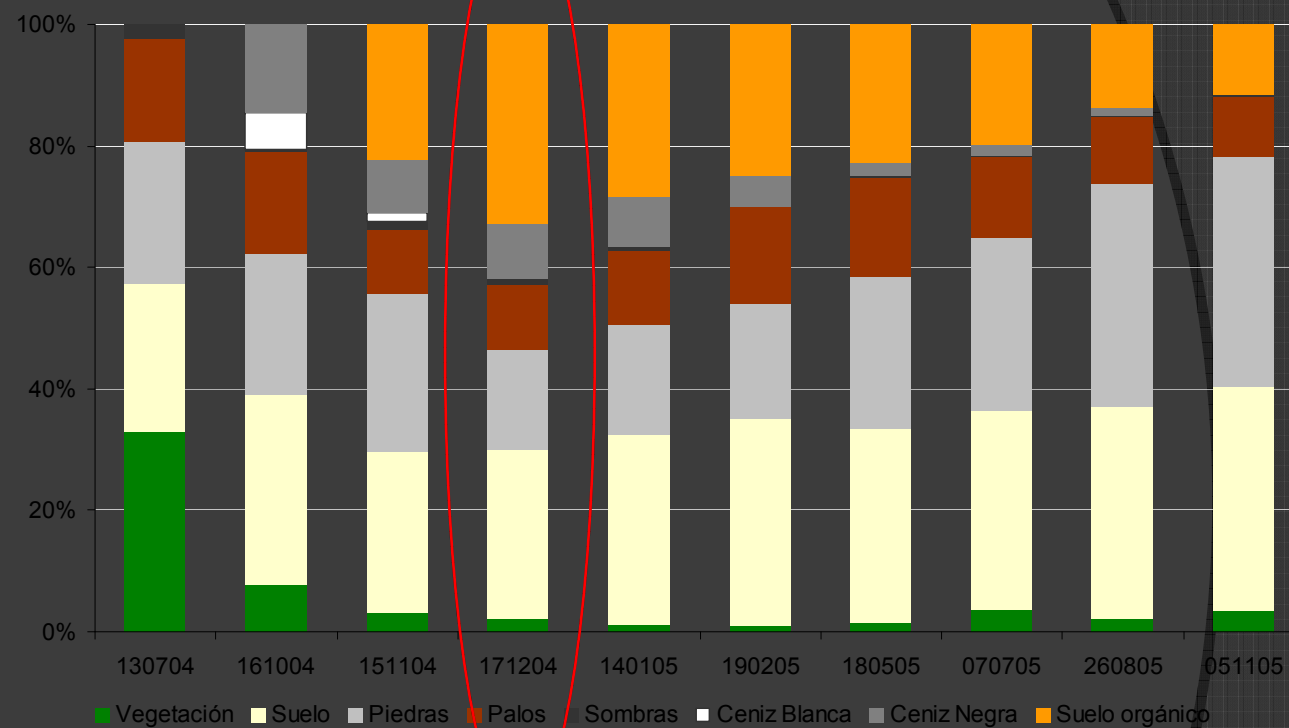


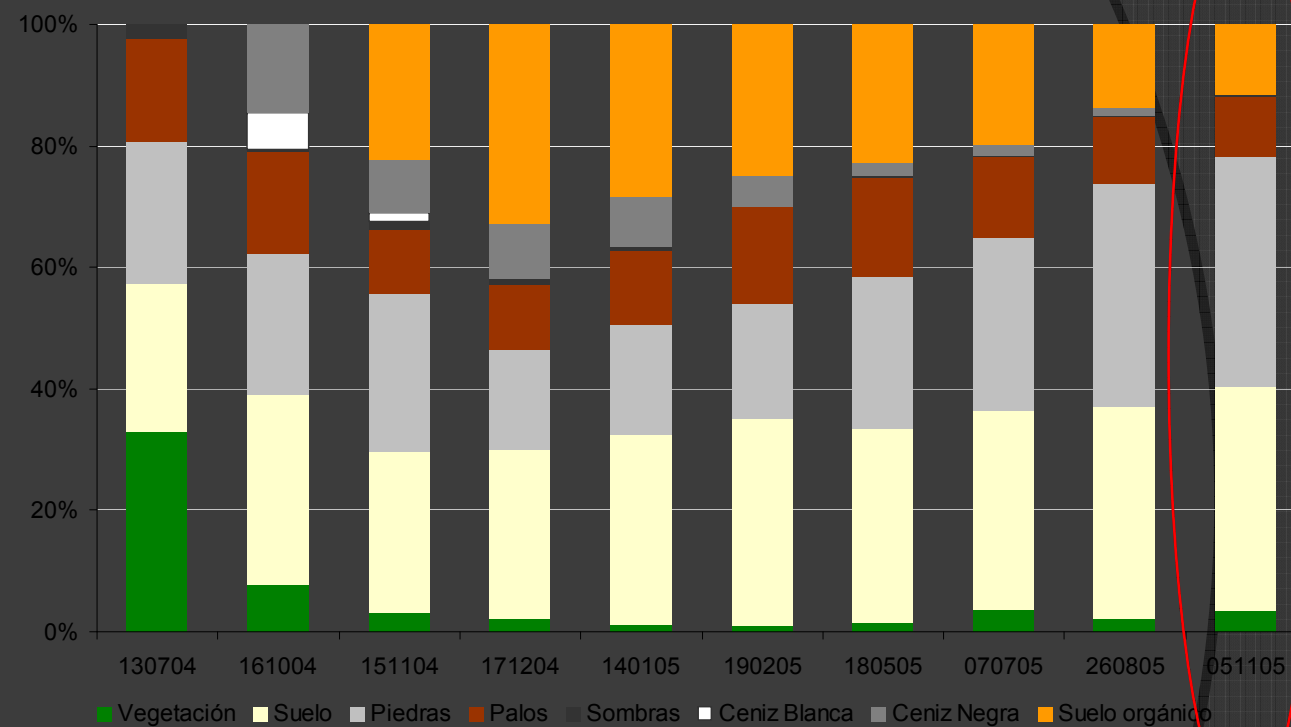
05/11/05

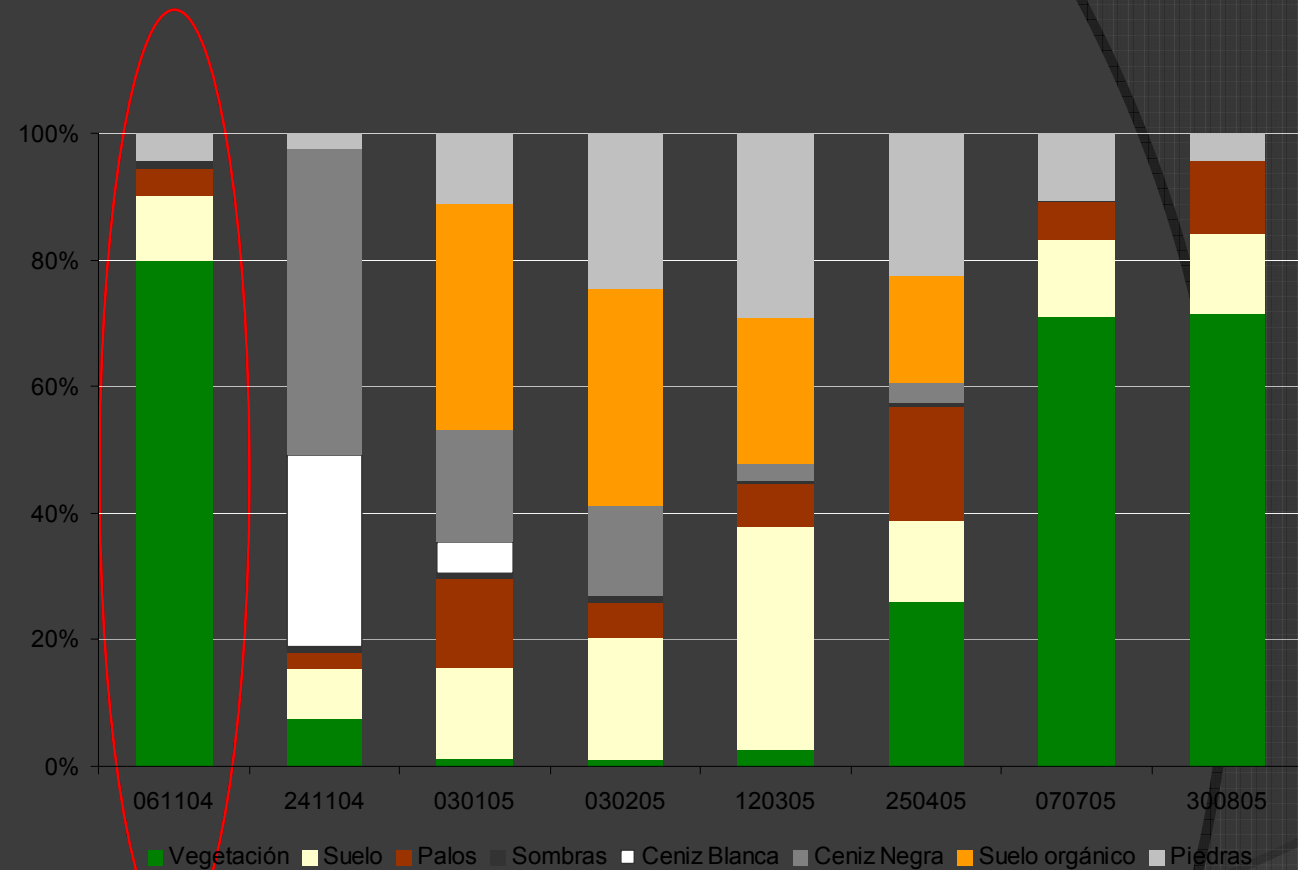
-  Vegetación
-  Suelo desnudo
-  Enlosados
-  Fracción leñosa
-  Ceniza blanca
-  Ceniza negra
-  Acumulaciones

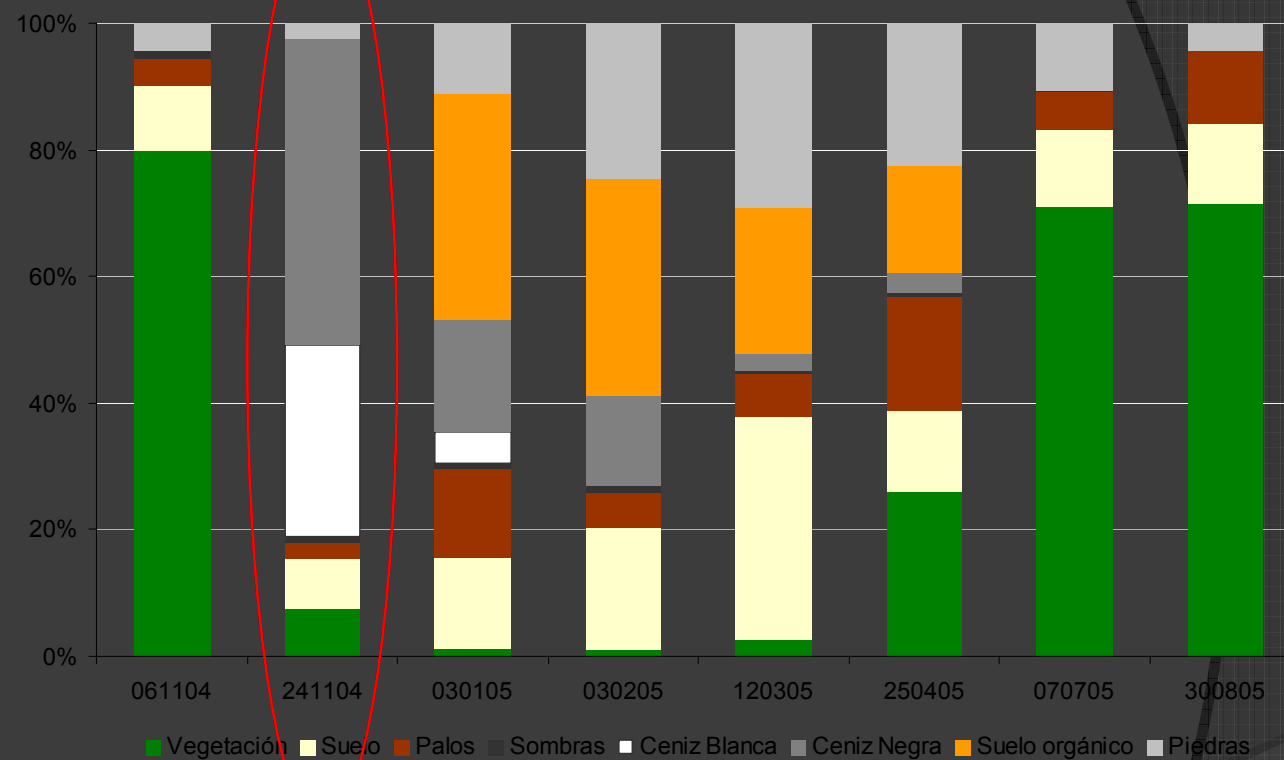


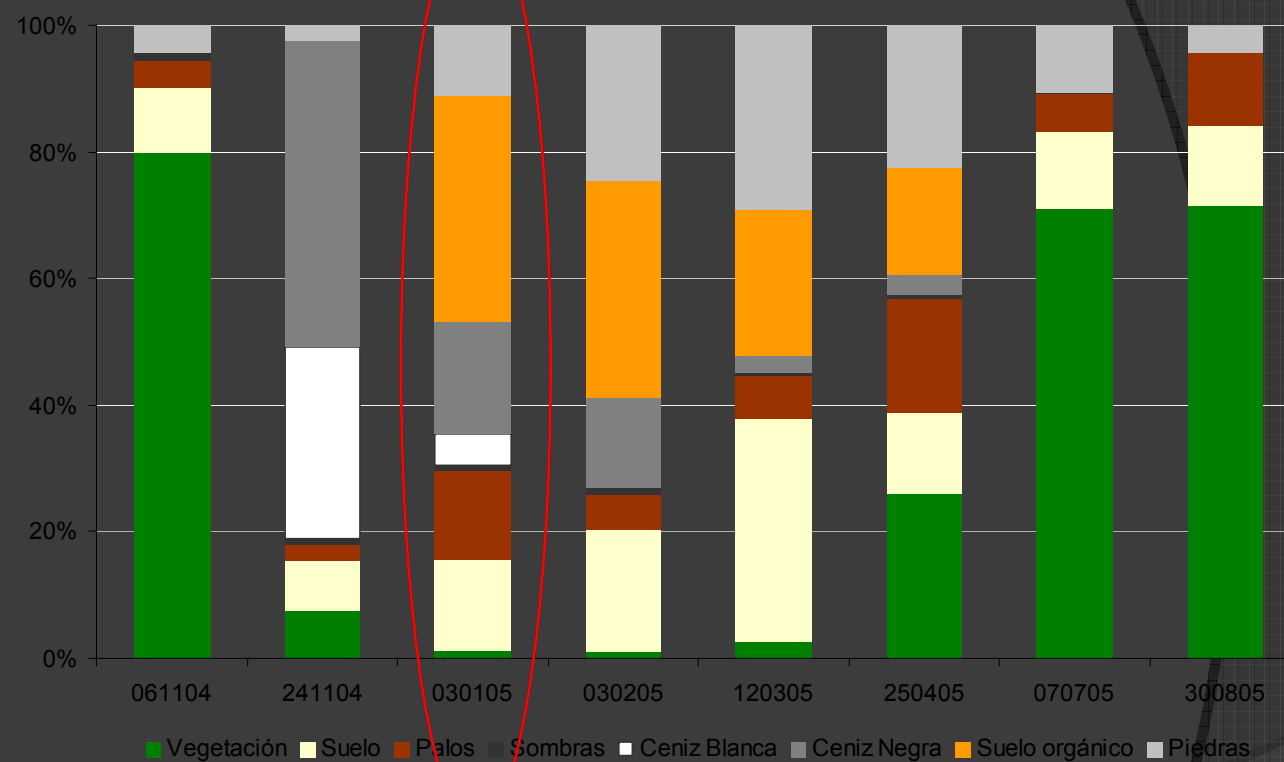












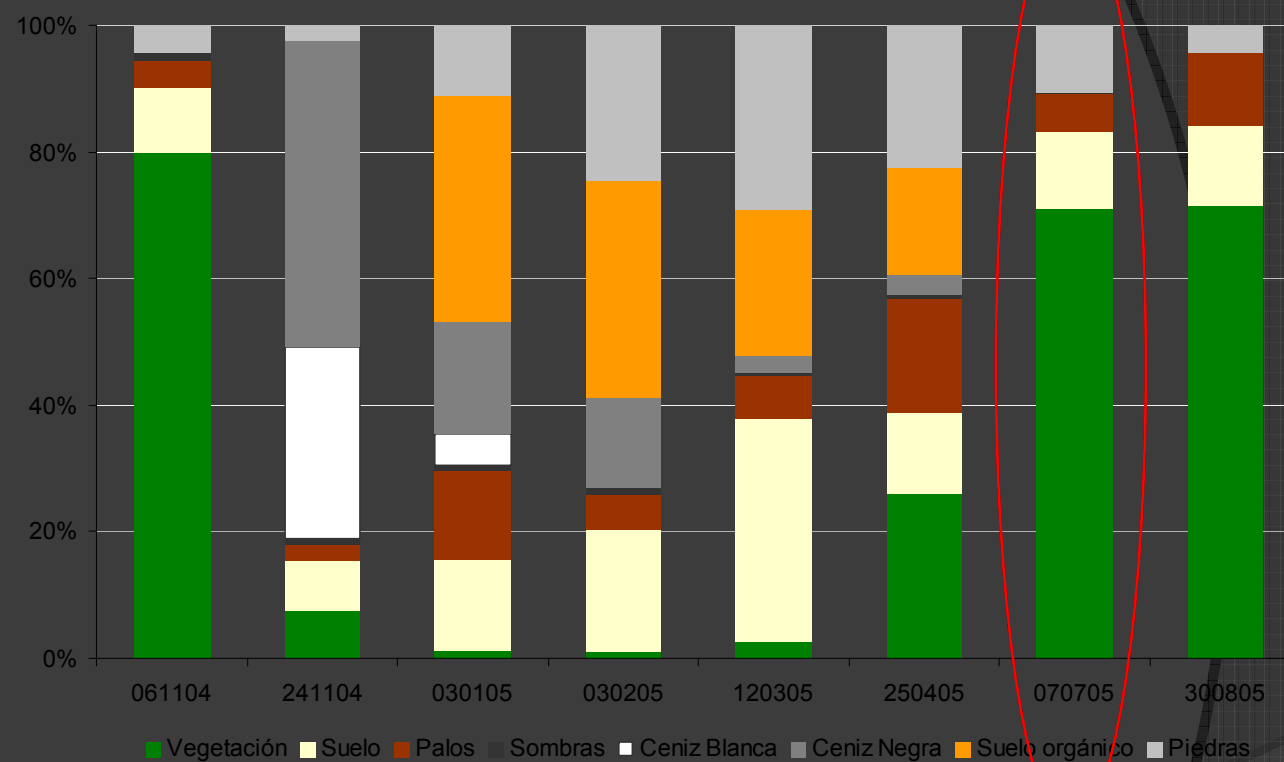


Gráfico de cambios en la vegetación (%)

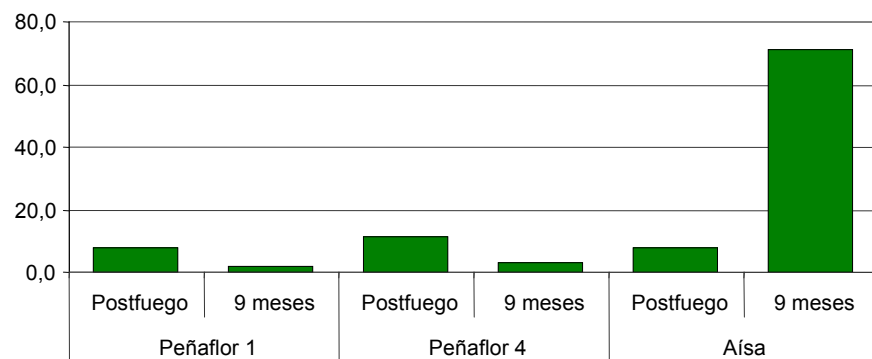
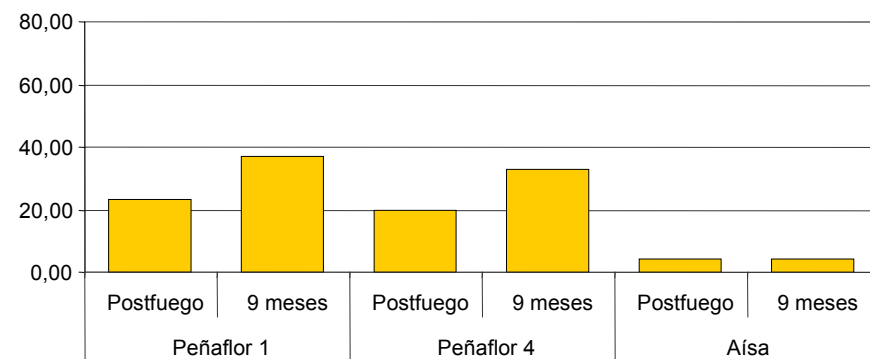


Gráfico de cambios en la pedregosidad (%)



Coef. esc.
Sólidos en susp.
(mg/l)

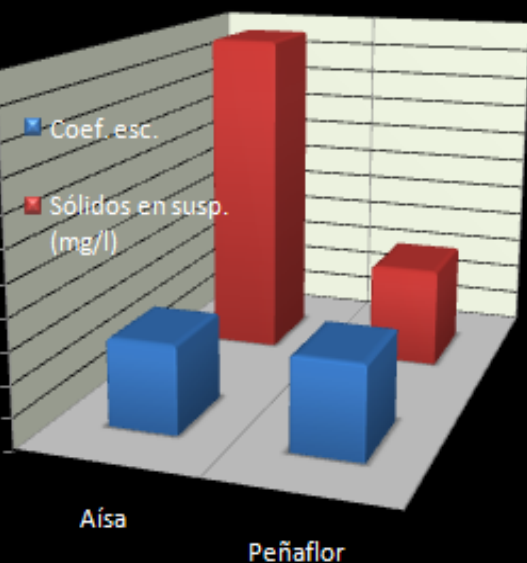
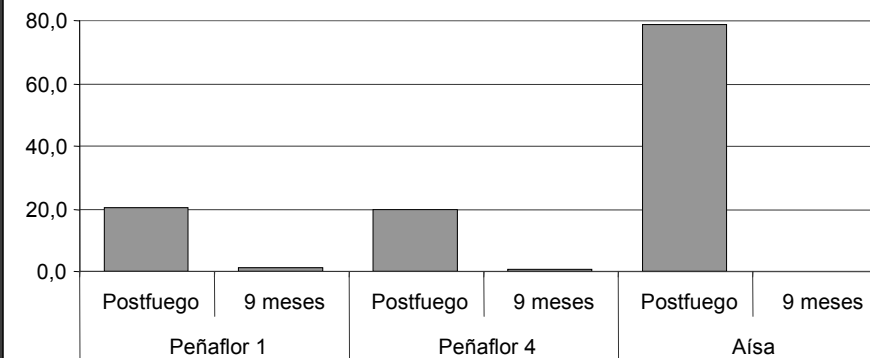
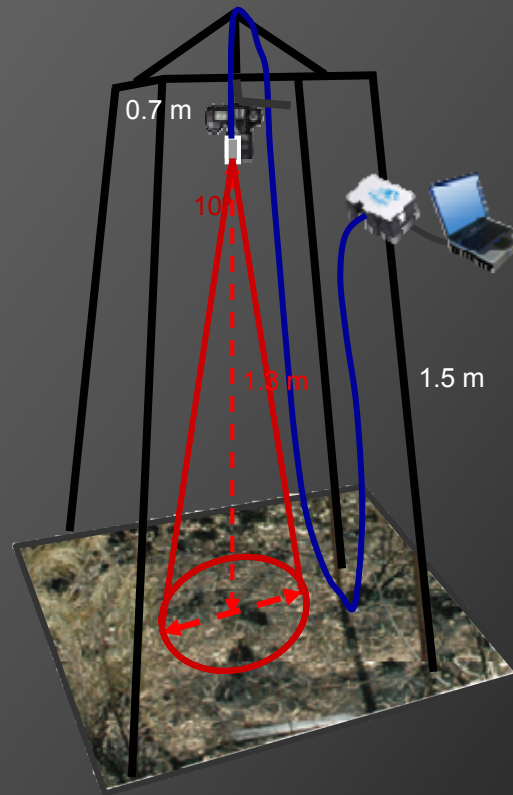
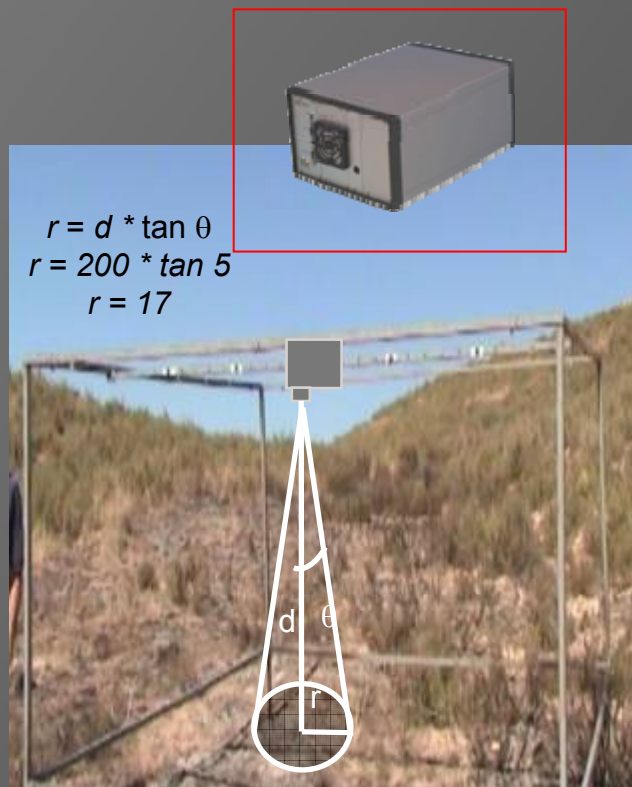


Gráfico de cambios en las cenizas (%)



Espectrometría de campo

- Evaluar la respuesta espectral de los productos de combustión
- Identificar los rangos espectrales más adecuados para la estimación de estos productos
- Determinar de manera más precisa la variable severidad a escala de detalle.



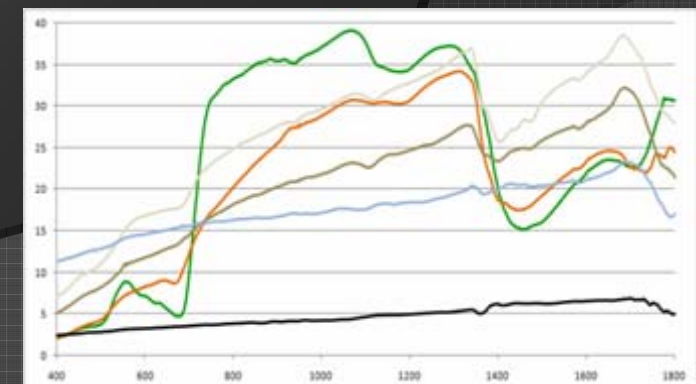
Espectrómetro Avantes AvaSpec
Software AvaSoft Versión 7.0.9 Full

AvaSpec-2048

Rango espectral: 300-1100 nm
Resolución espectral: 2.4 nm FWHM
Intervalo de muestreo: 0.57 nm

AvaSpec-NIR256-1.7

Rango espectral: 900-1750 nm
Resolución espectral: 6 nm FWHM
Intervalo de muestreo: 3.54 nm

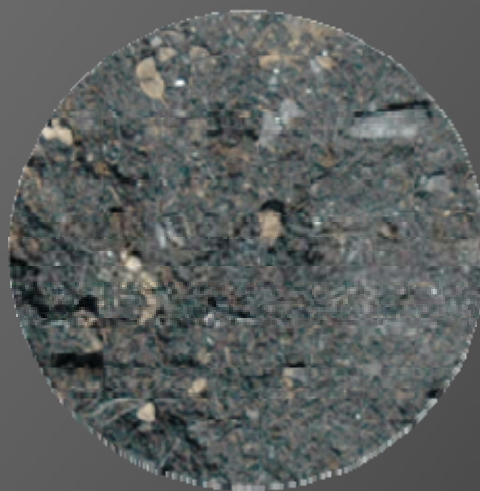




Ceniza

Proceso de combustión completo

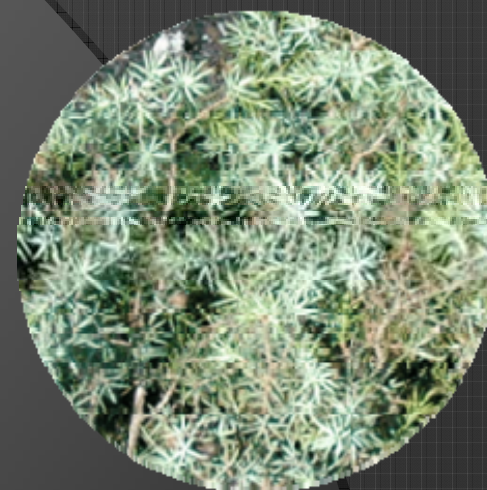
Severidad alta



Carbón

Restos de combustible

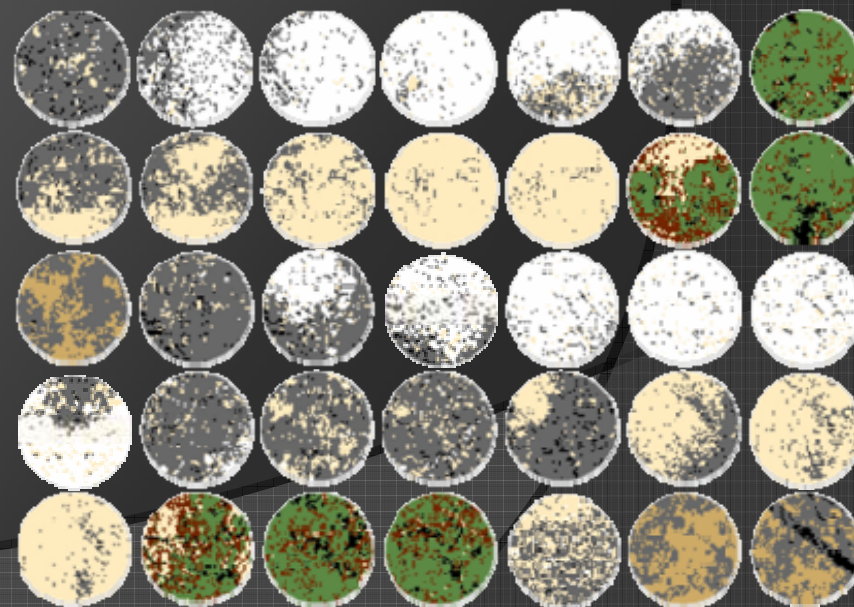
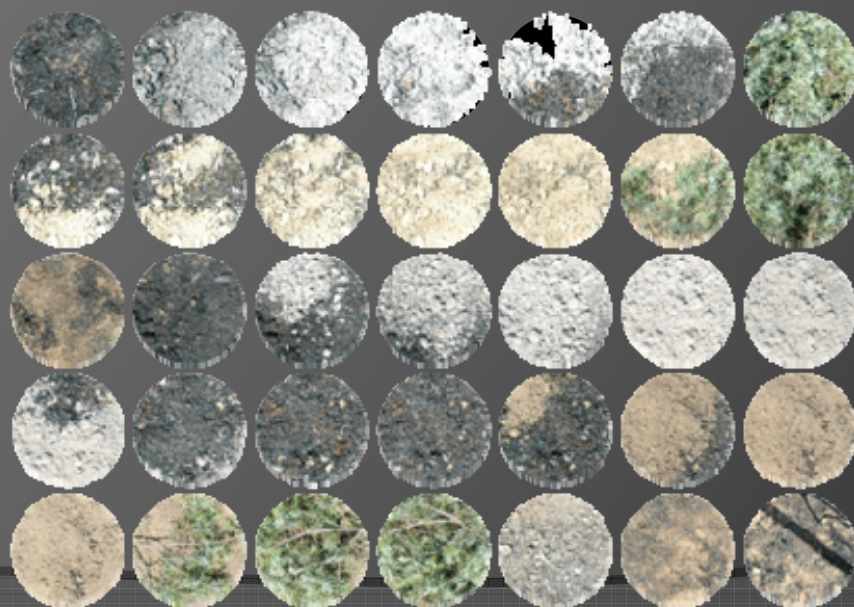
Severidad media



Vegetación

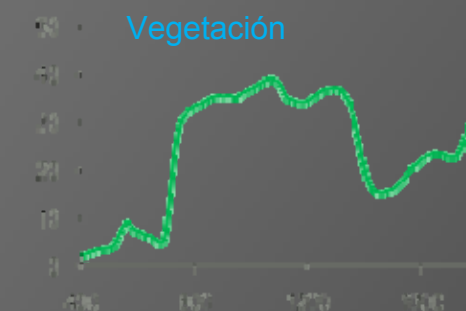
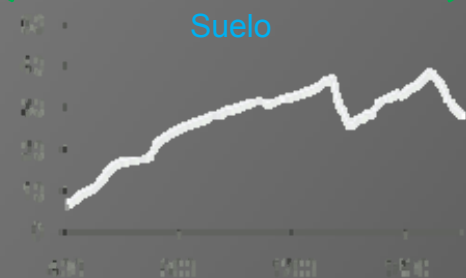
Área no afectada por el fuego

Severidad nula

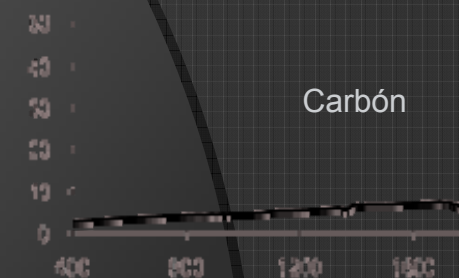


Los productos de combustión

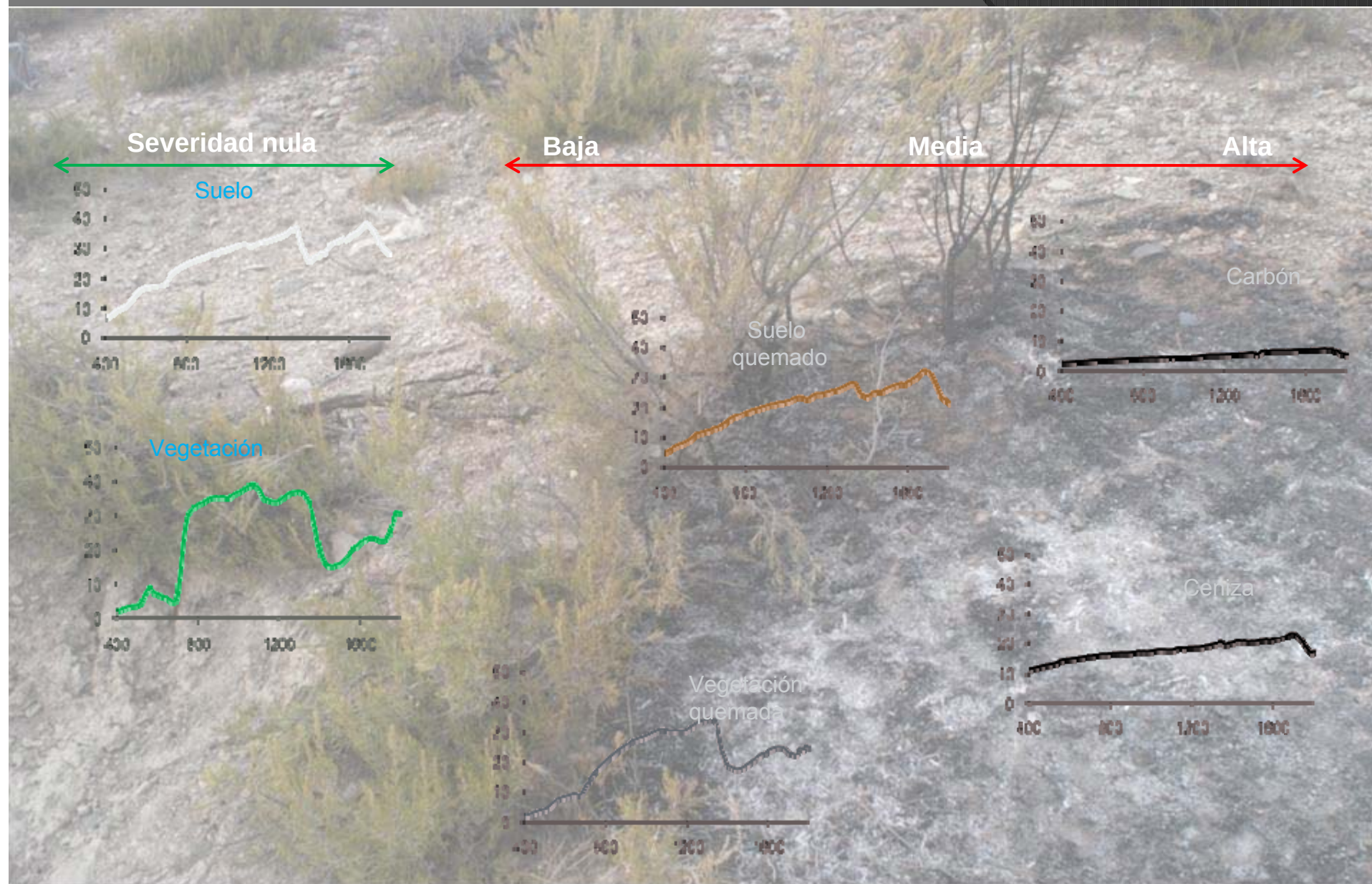
Severidad nula



Baja Media Alta



Los productos de combustión



Primera Derivada de la Reflectividad (PDR)

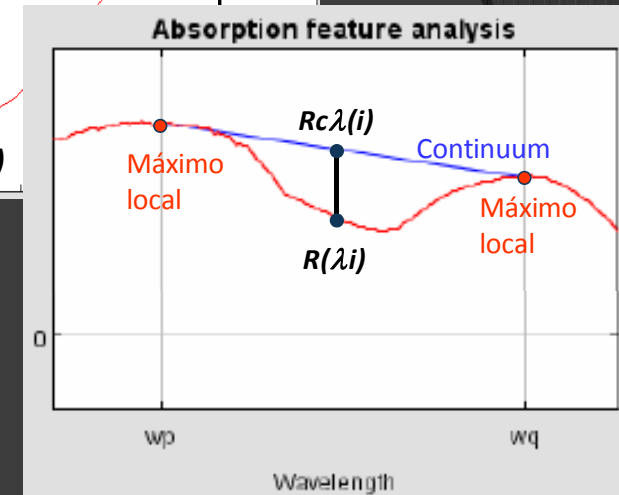
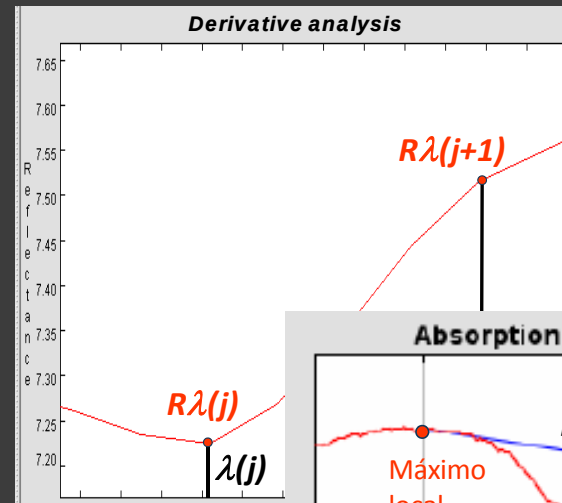
$$PDR_{\lambda(j)} = (R_{\lambda(j+1)} - R_{\lambda(j)}) / (\lambda_{(j+1)} - \lambda_{(j)})$$

R es el valor de reflectividad;
 (j) y $(j+1)$ son las longitudes de onda.

Absorción Diferencial frente a la Tendencia (ADFT)

$$R'_{\lambda(i)} = R_{\lambda(i)} / Rc_{\lambda(i)}$$

$R'(\lambda i)$ es la absorción diferencial en cada longitud de onda;
 $R(\lambda i)$ es la reflectividad original en cada longitud de onda;
 $Rc(\lambda i)$ es la reflectividad del continuo en cada longitud de onda.



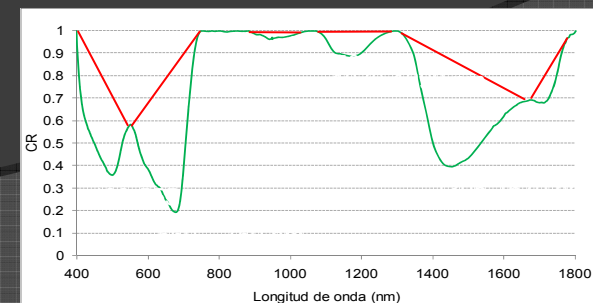
Profundidad de Banda
 Cociente Normalizado de la PB
 Normalización por el Área
 Índice Normalizado de la PB

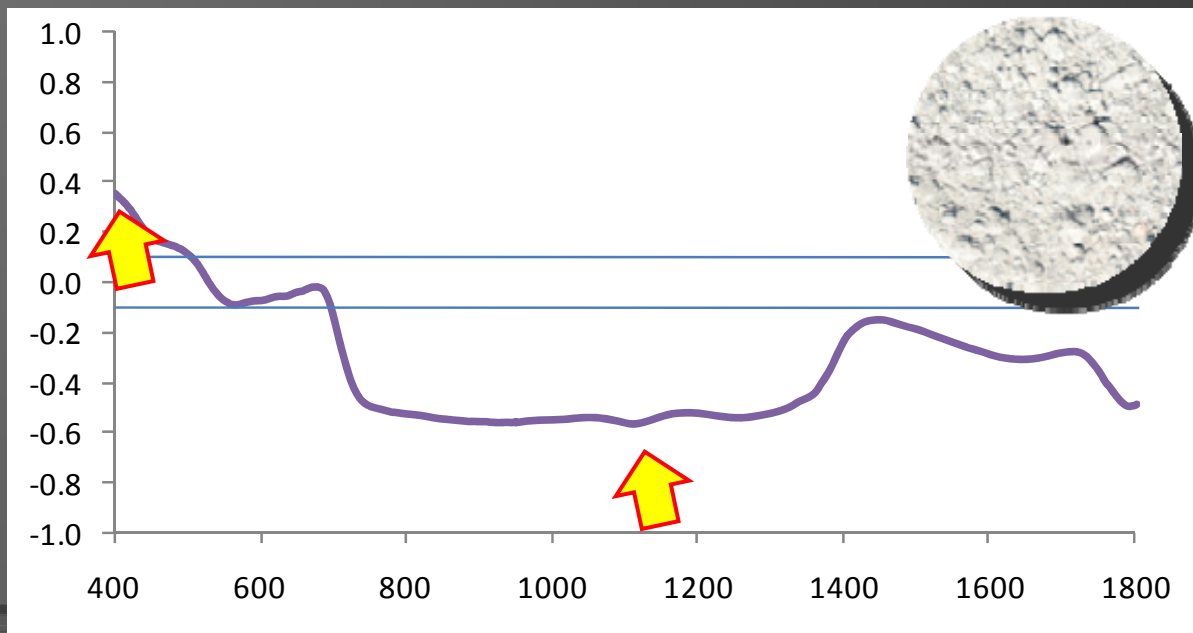
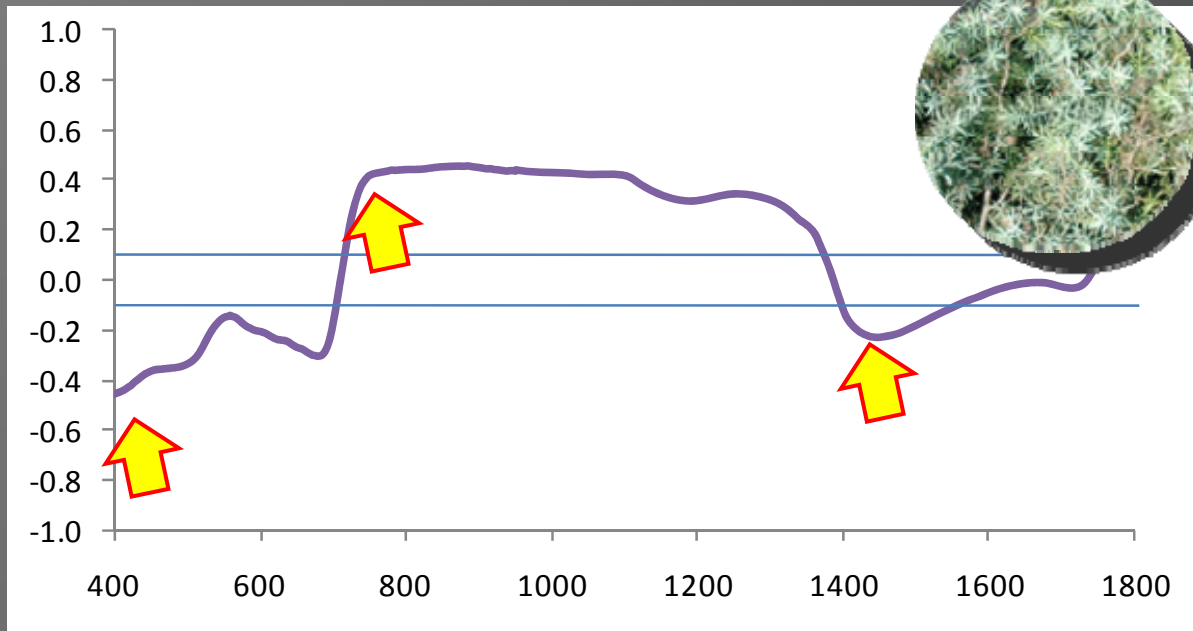
$$PB = 1 - R'$$

$$CNPB = PB_{\lambda} / PB_{\lambda_{central}}$$

$$PBA = PB_{\lambda} / A$$

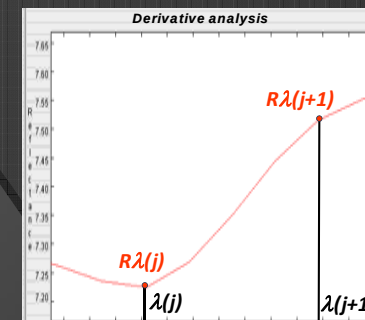
$$INPB = (PB_{\lambda} - PB_{\lambda_{central}}) / (PB_{\lambda} + PB_{\lambda_{central}})$$





	Variables	B	Error estándar	R2 ajustado
Ceniza	constante	23.369	1.607	0.671
	1110.72	-1.549	0.069	
	400.24	4.33	0.24	
Vegetación	constante	8.895	1.296	0.82
	400.24	-1.986	0.305	
	755.35	3.33	0.407	
	1427.83	-2.118	0.124	

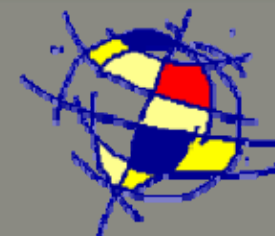
Análisis de regresión lineal múltiple por pasos sucesivos



Longitudes de onda		R ²
Reflectividad		
Vegetación	400.24 (-), 755.35 (+), 1427.83 (-)	0.82
Carbón	915.38 (-), 1733.71 (+)	0.585
Ceniza	1110.72 (-), 400.24 (+)	0.671
Primera Derivada de la Reflectividad		
Vegetación	744.59 (+), 592.35 (-), 1543.07 (+), 1330.88 (-), 773.44 (-)	0.864
Carbón	1567.06 (-), 526.82 (-), 862.64 (-), 951 (+), 1587.49 (-), 534.97 (-)	0.753
Ceniza	755.92 (-), 1076.13 (-), 484.23 (-), 1546.51 (-), 438.51 (-), 459.64 (+)	0.746
Profundidad de Absorción		
Vegetación	1459.6 (+), 707.09 (+), 1710.86 (-)	0.82
Carbón	1287.03 (+), 1424.08 (-), 921.06 (+), 444.97 (+)	0.626
Ceniza	1424.28 (-)	0.463



Universidad de Zaragoza
Geografía y Ordenación del Territorio



Análisis de severidad y regeneración con SAR

- potencial de la retrodifusión y la coherencia
interferométrica para el estudio de áreas quemadas -



Mihai Tanase
Juan de la Riva
Fernando Pérez-Cabello

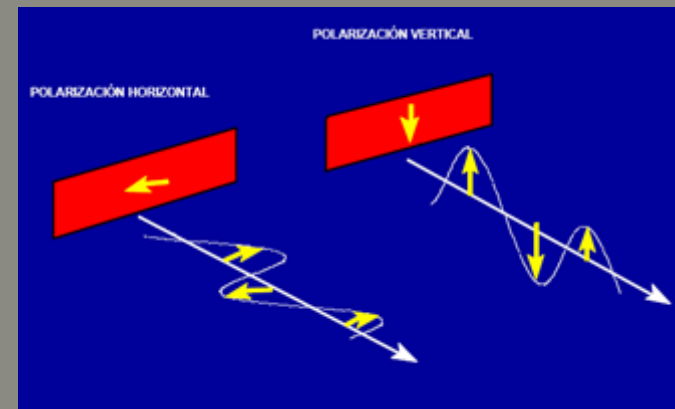
<http://geoforest.unizar.es/>

Resumen

- El radar de apertura sintética (SAR)
- El área de estudio
- Sensibilidad del SAR a la de severidad del incendio
 - La retro difusión
 - La coherencia interferométrica
- Seguimiento de la regeneración post-fuego
- Conclusiones

El radar de apertura sintética – conceptos

- Sistema activo: emite pulsos EM y recibe la energía reflejada en su dirección (retro difusión)
- Emite y registra diferentes polarizaciones
 - HH VV, co-polarizadas
 - HV, VH cruzadas
- Tiene su propia fuente de energía
 - no depende del sol
 - registra día y noche
- Dada la longitud de onda no está afectado por la nubosidad
- El contenido de información de la imagen se relaciona con la fuerza de dispersión de los objetos



El radar de apertura sintética – retro difusión

Factores que afectan a la retro difusión

- Parámetros del sensor
 - frecuencia / longitud de onda
 - polarización
 - ángulo de incidencia
- Parámetros del objetivo
 - rugosidad de la superficie
 - constante dieléctrica (varía con la humedad ambiental)
 - características de la vegetación
- Otros factores
 - reflectores tipo esquina
 - grandes estructura y estructuras lineales
 - relieve

El radar de apertura sintética – retro difusión

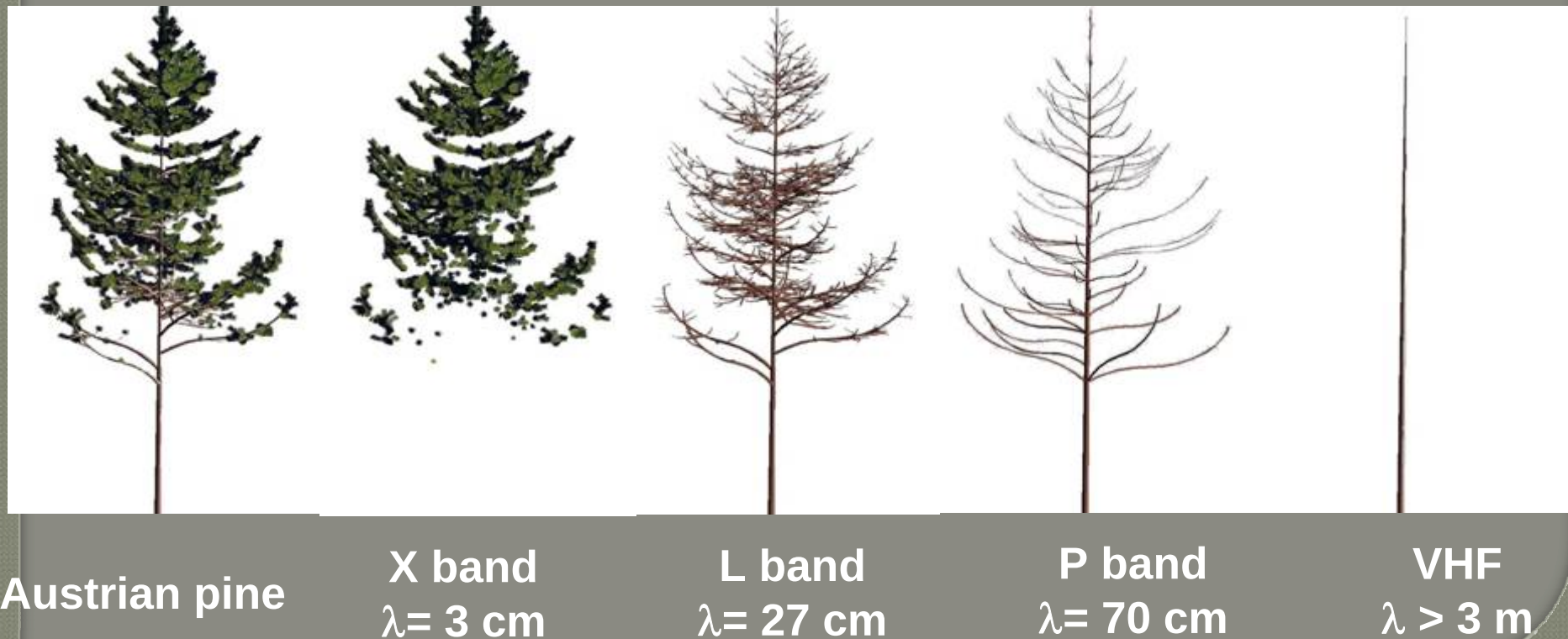
Factores que afectan a la retro difusión

- Parámetros del sensor
 - frecuencia / longitud de onda
- Bandas utilizadas por los sistemas espaciales:
 - Banda **X**: 2.4 a 3.75 cm (12.5 a 8 GHz): TerraSAR-X, SkyMed
 - Banda **C**: 3.75 a 7.5 cm (8 a 4GHz): ERS 1& 2, Radarsat 1&2
 - Banda **S**: de 7.5 a 15 cm (4 a 2 GHz): ALMAZ
 - Banda **L**: 15 a 30 cm (2 a 1 GHz): JERS-1, ALOS PALSAR,
 - Banda **P**: de 30 a 100cm (1 a 0.3 GHz): misión futura

El radar de apertura sintética – retro difusión

Factores que afectan a la retro difusión

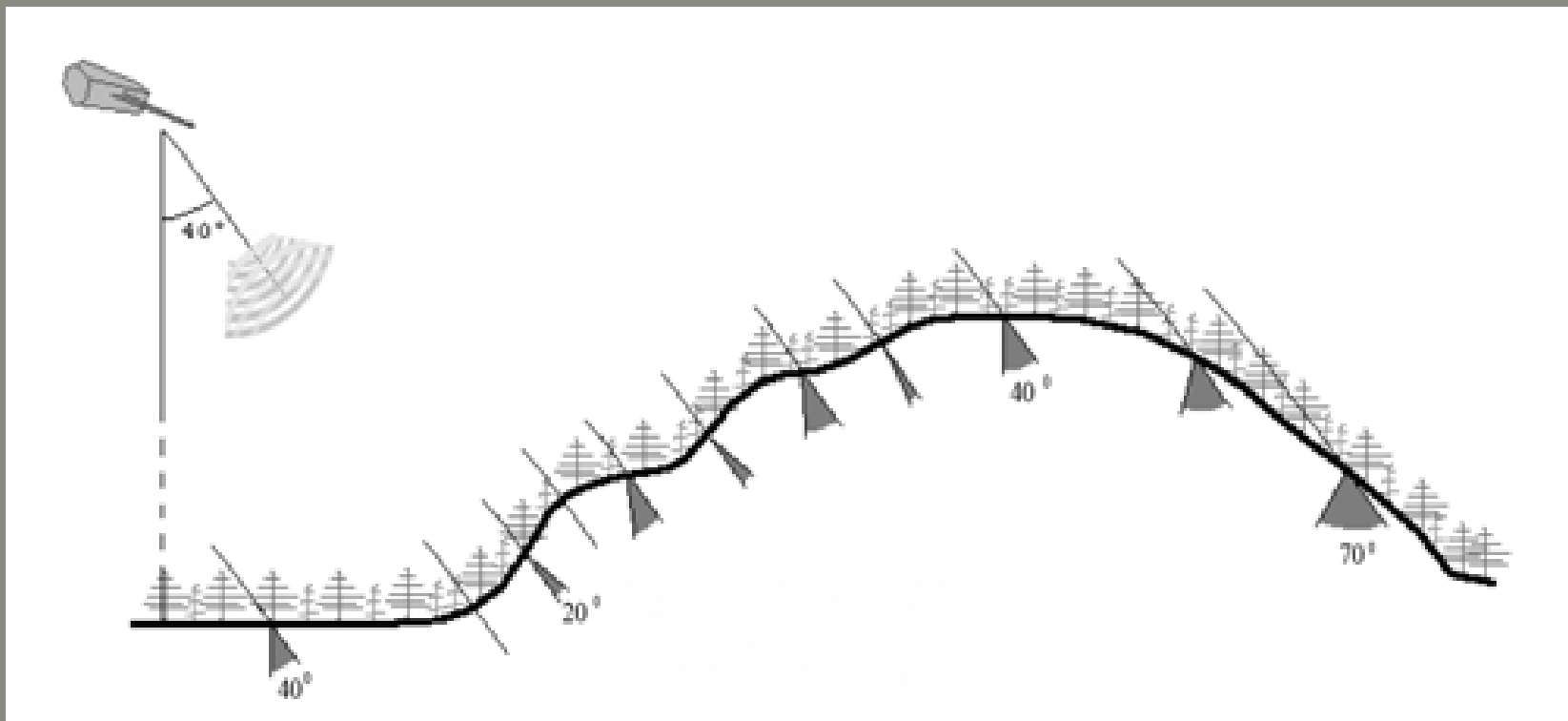
- Parámetros del sensor
 - frecuencia / longitud de onda



El radar de apertura sintética – retro difusión

Factores que afectan a la retro difusión

- Parámetros del sensor
 - ángulo de incidencia



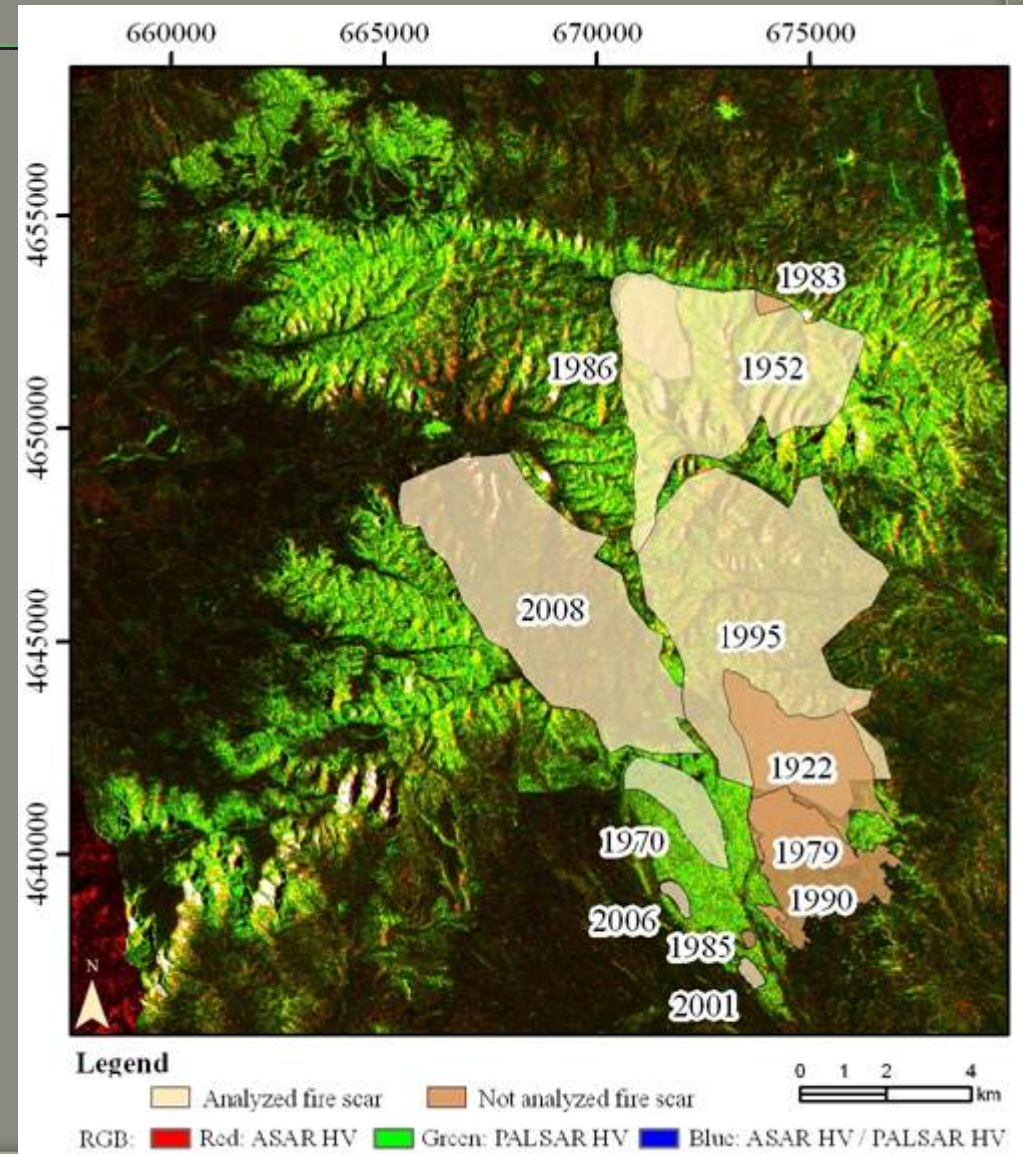
El radar de apertura sintética – inteferometria

- Imágenes SAR de la misma región desde dos órbitas
- Productos interferométricos:
 - Diferencias de la fase > Interferograma : información sobre la altura y/o movimiento de la superficie
 - Combinación de las amplitudes > Coherencia: información sobre las propiedades bio-geofísicas de la superficie

Área de estudio – los montes de Zuera

Incendios del ultimo siglo

Año	Área quemada (ha)	Edad del bosque
1922	1030	87
1952	2000	57
1970	272	39
1979	680	30
1983	25	26
1985	10	24
1986	303	23
1990	23	19
1995	3100	14
2001	26	8
2006	31	3
2008	2200	0.5



Área de estudio – los montes de Zuera

La retro difusión - incendio de Zuera 2008

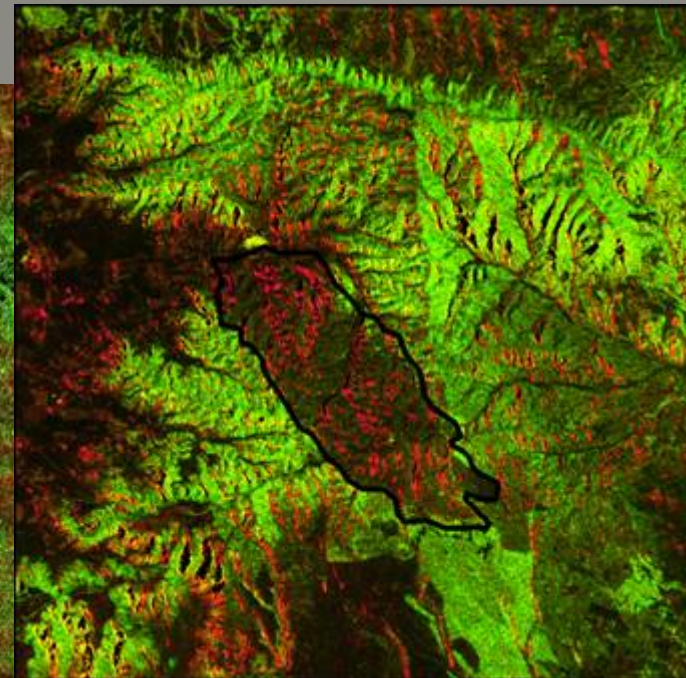
Banda X 24.12.2008



Banda C
19.03.2009



Banda L 28.04.2009



R: HH **G:** HV **B:** HH/HV

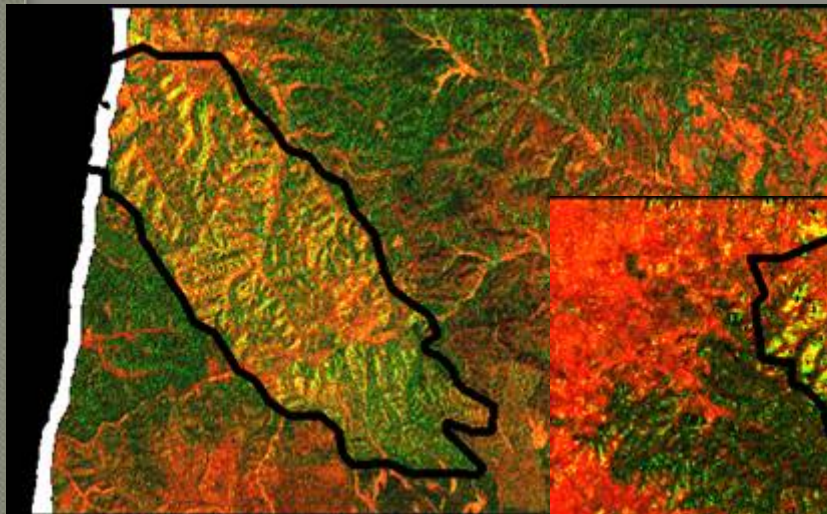


Perímetro del incendio

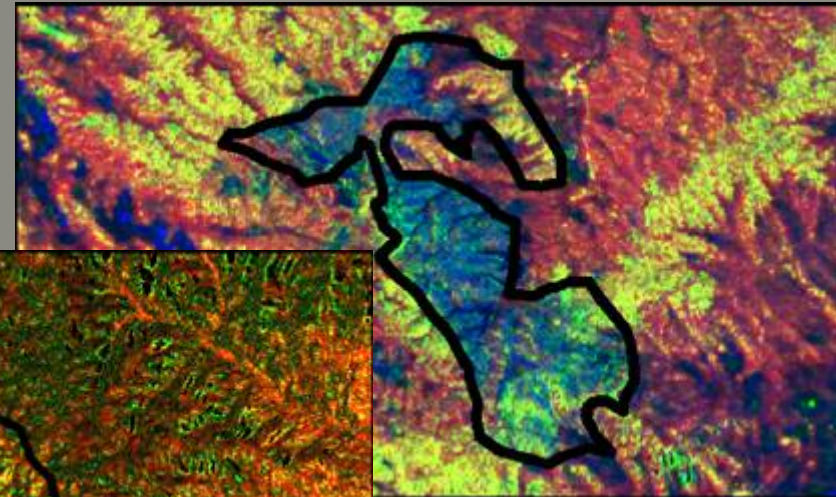
Área de estudio – los montes de Zuera

► Coherencia - incendios de Zuera 2008 y Jaulin 2009

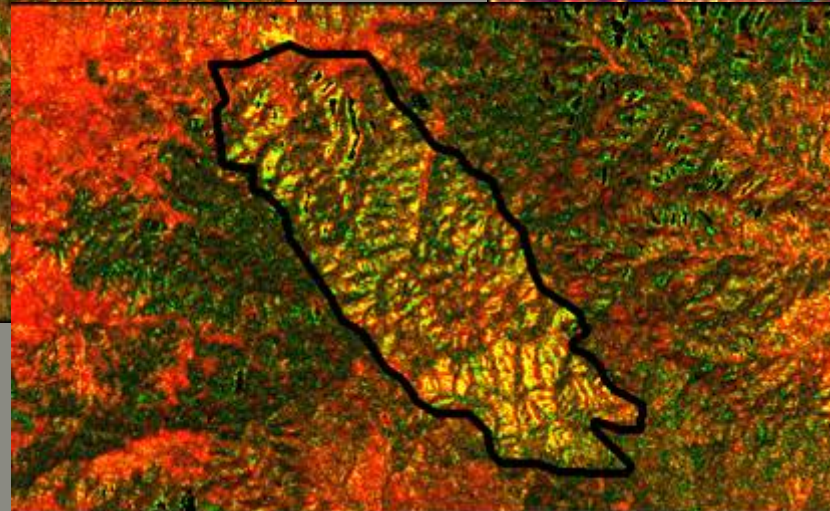
Banda X - HH
12.02.2009 / 23.02.2009



Banda L - HH
20.08.2009 / 15.10.2009



Banda C - HH
8.01.2009 / 12.02.2009



R: Coherencia

G: Retro difusión

B: Ratio de la retro difusión



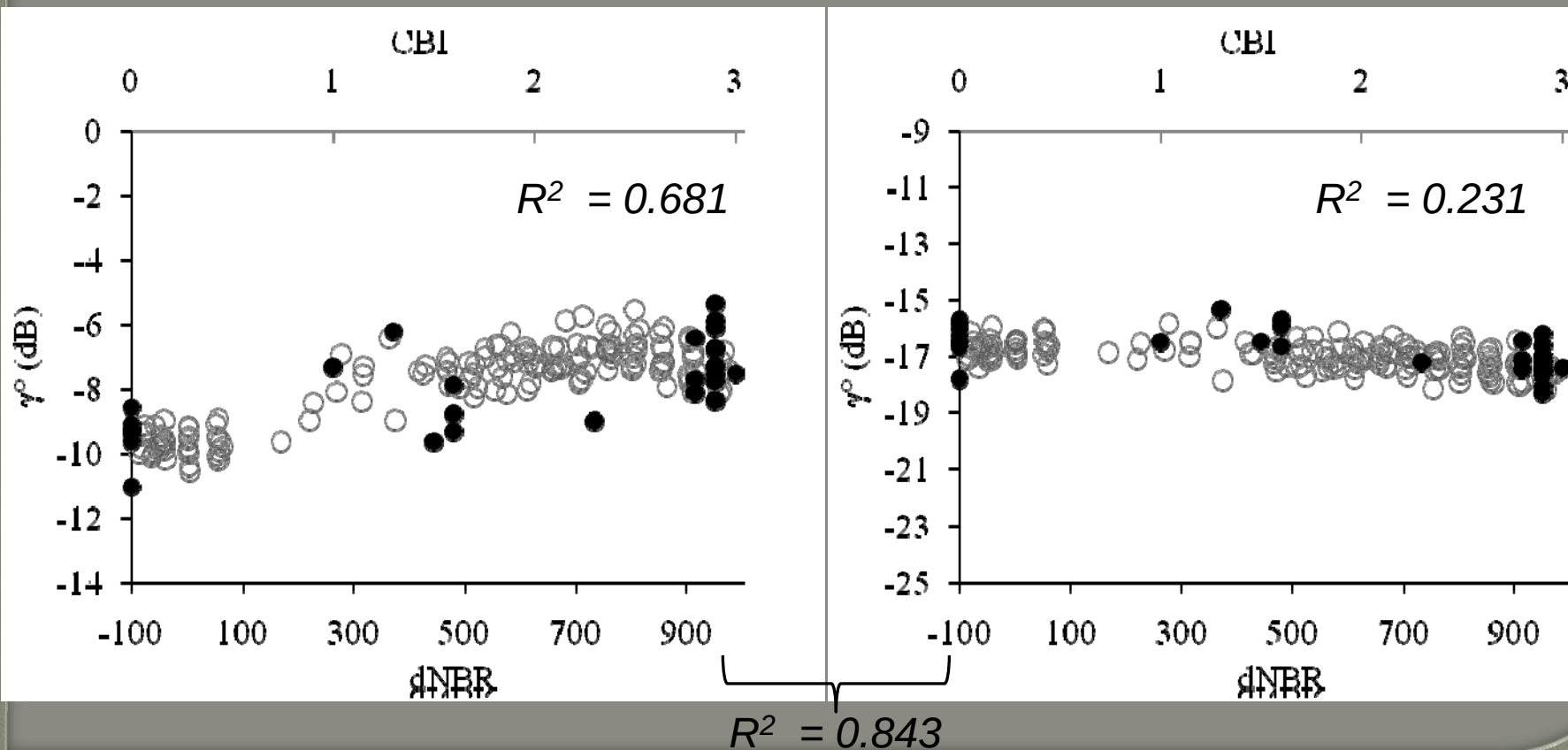
Perímetro del incendio

Sensibilidad del SAR a la severidad

- ▶ Retro difusión en función de la severidad del incendio:
banda X

polarización HH

polarización HV

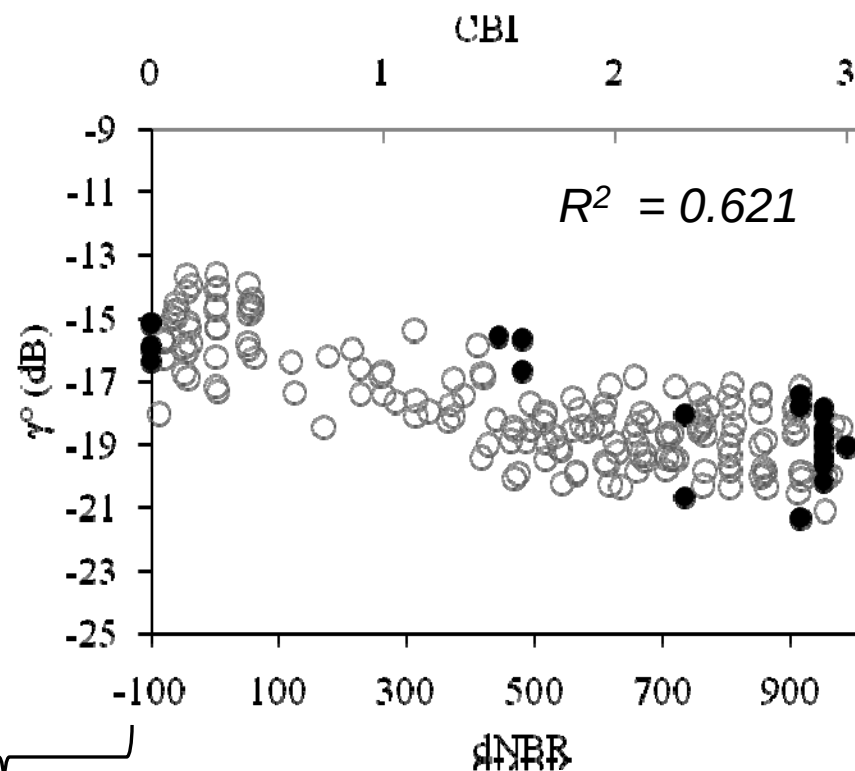
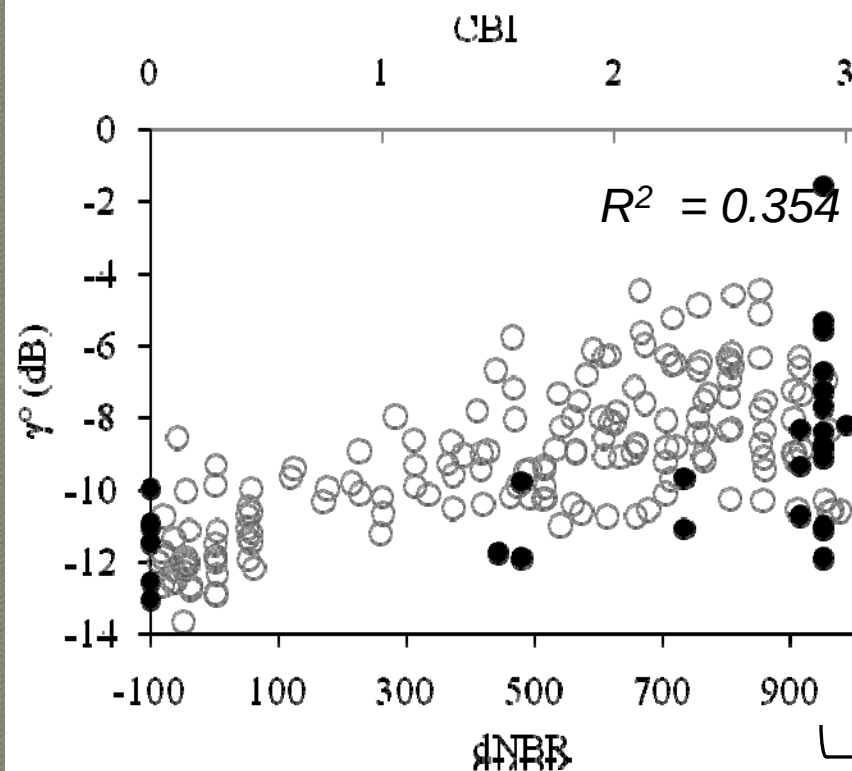


Sensibilidad del SAR a la severidad

- ▶ Retro difusión en función de la severidad del incendio:
banda C

polarización HH

polarización HV



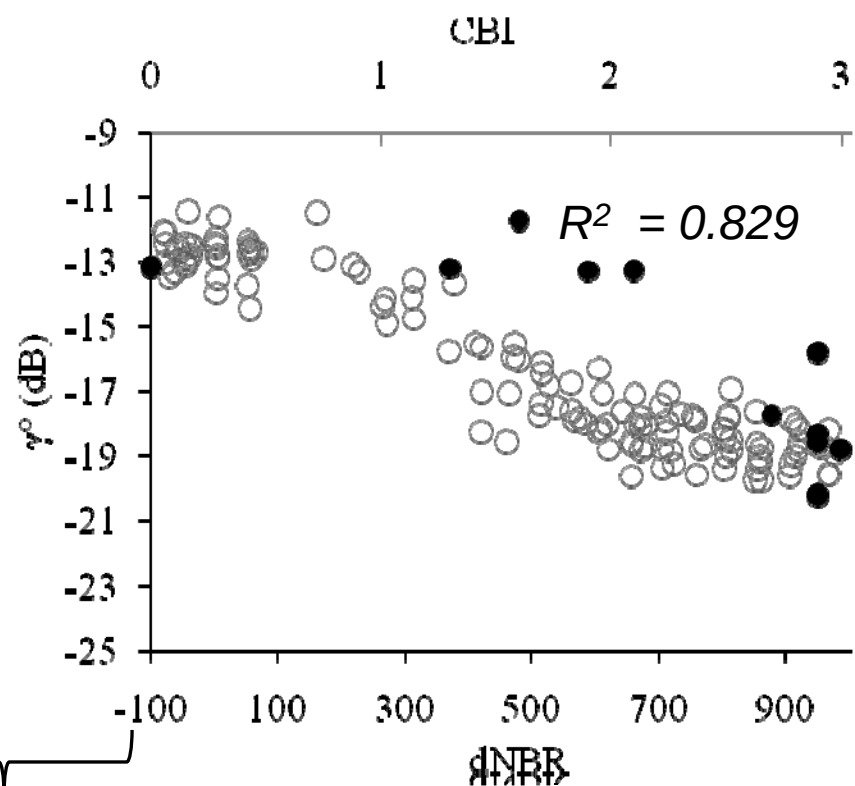
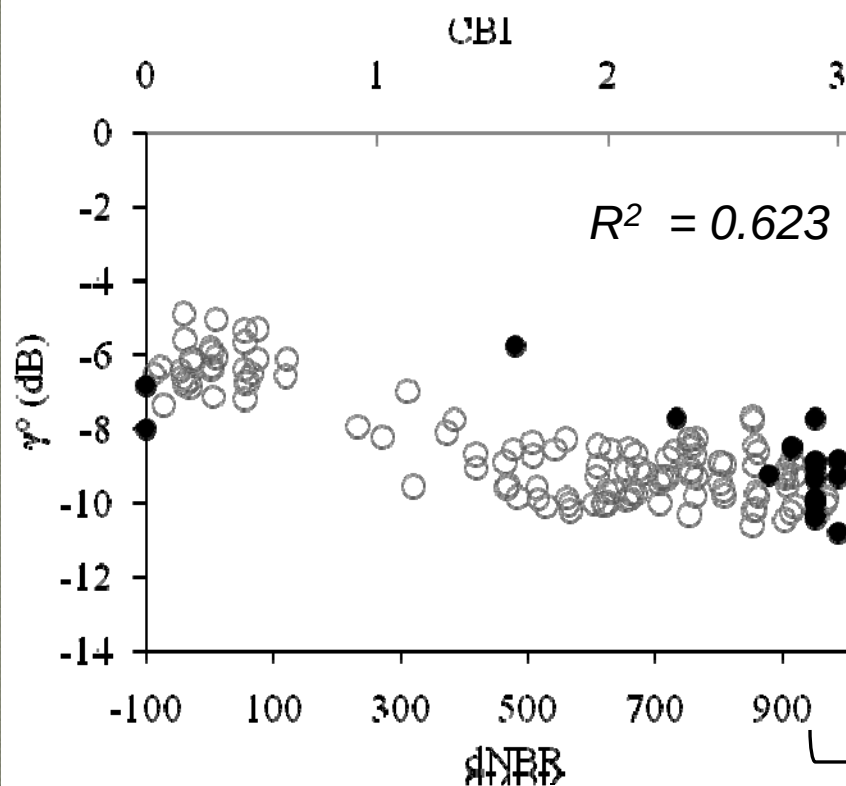
$R^2 = 0.684$

Sensibilidad del SAR a la severidad

- ▶ Retro difusión en función de la severidad del incendio:
banda L

polarización HH

polarización HV



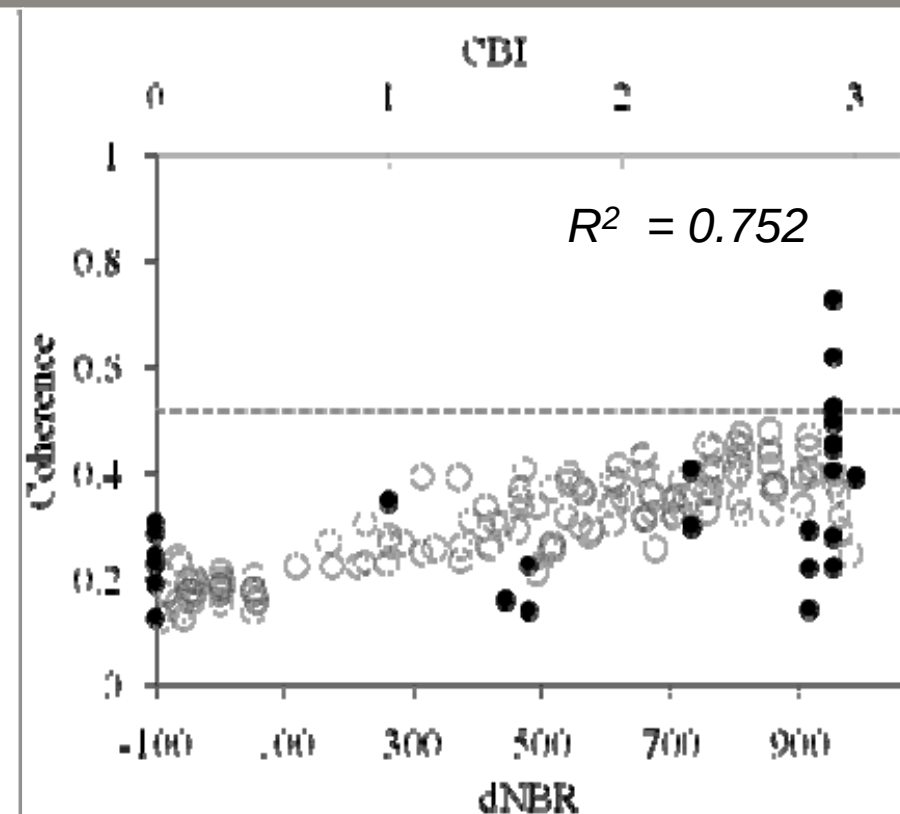
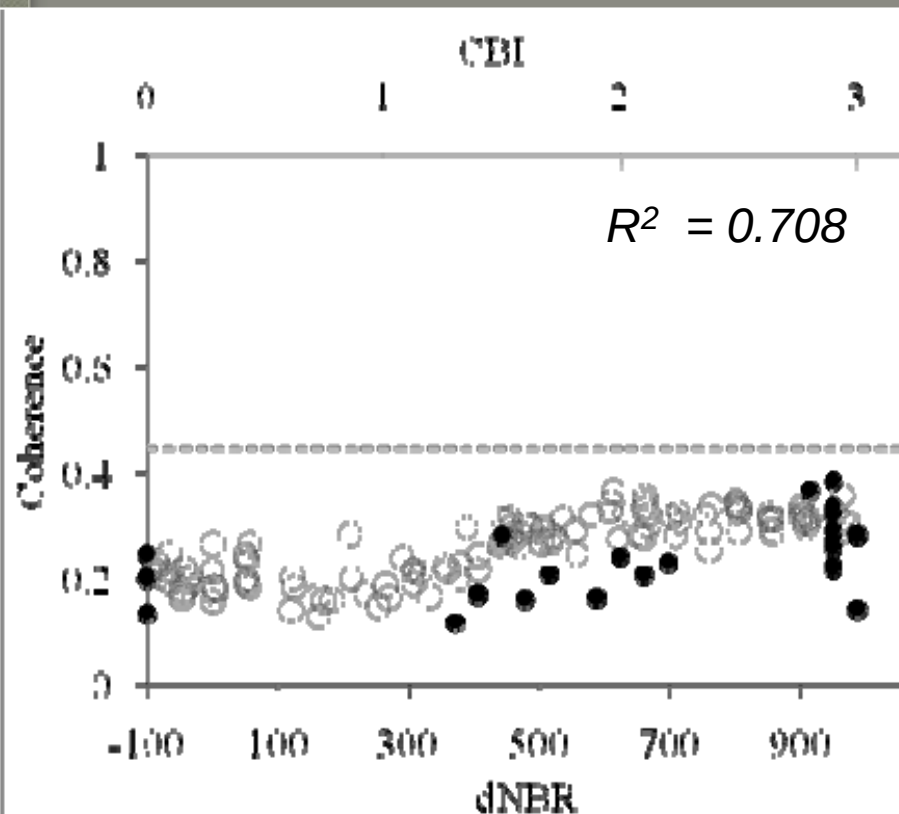
$R^2 = 0.829$

Sensibilidad del SAR a la severidad

- Coherencia en función de la severidad del incendio:
bandas X y C

banda X polarización HH

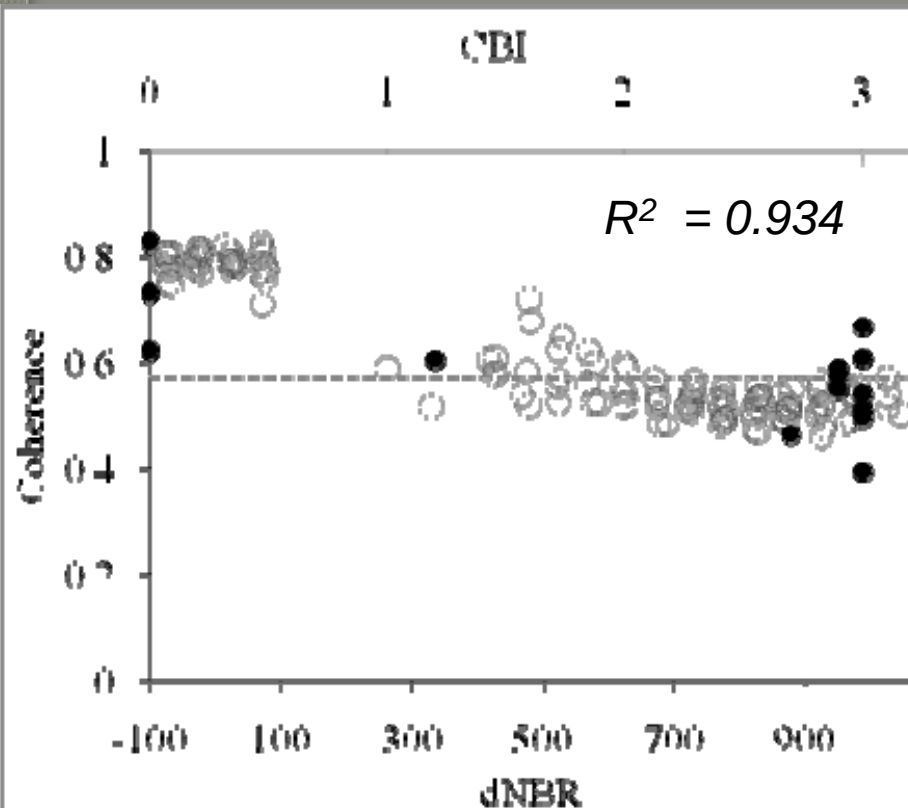
banda C polarización HH



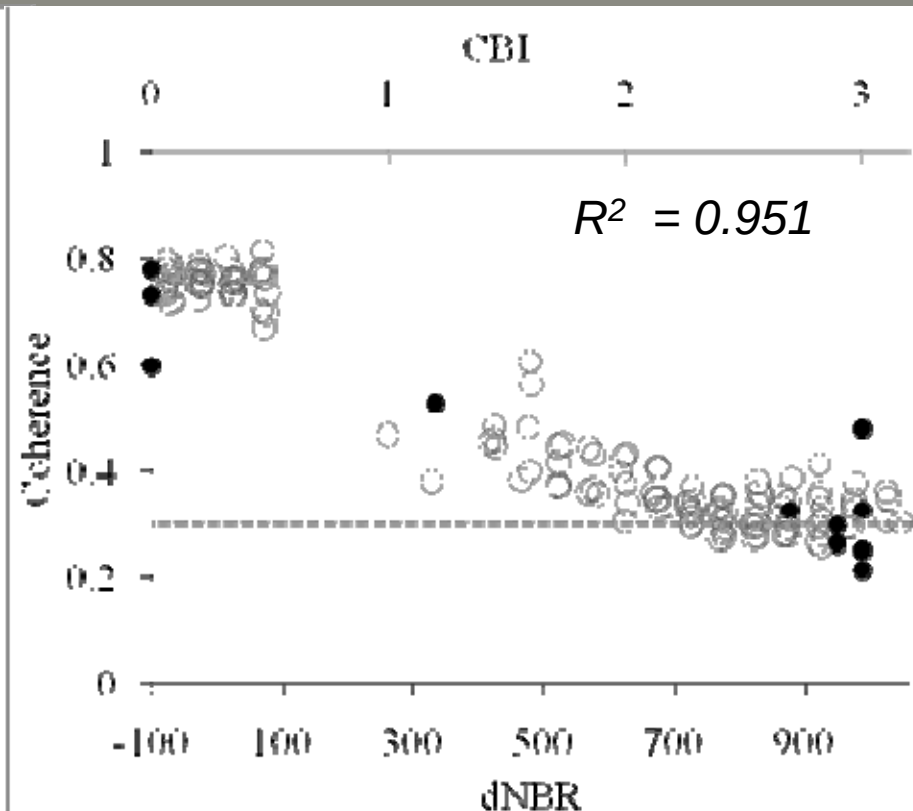
Sensibilidad del SAR a la severidad

- Coherencia en función de la severidad del incendio:
banda L

polarización HH

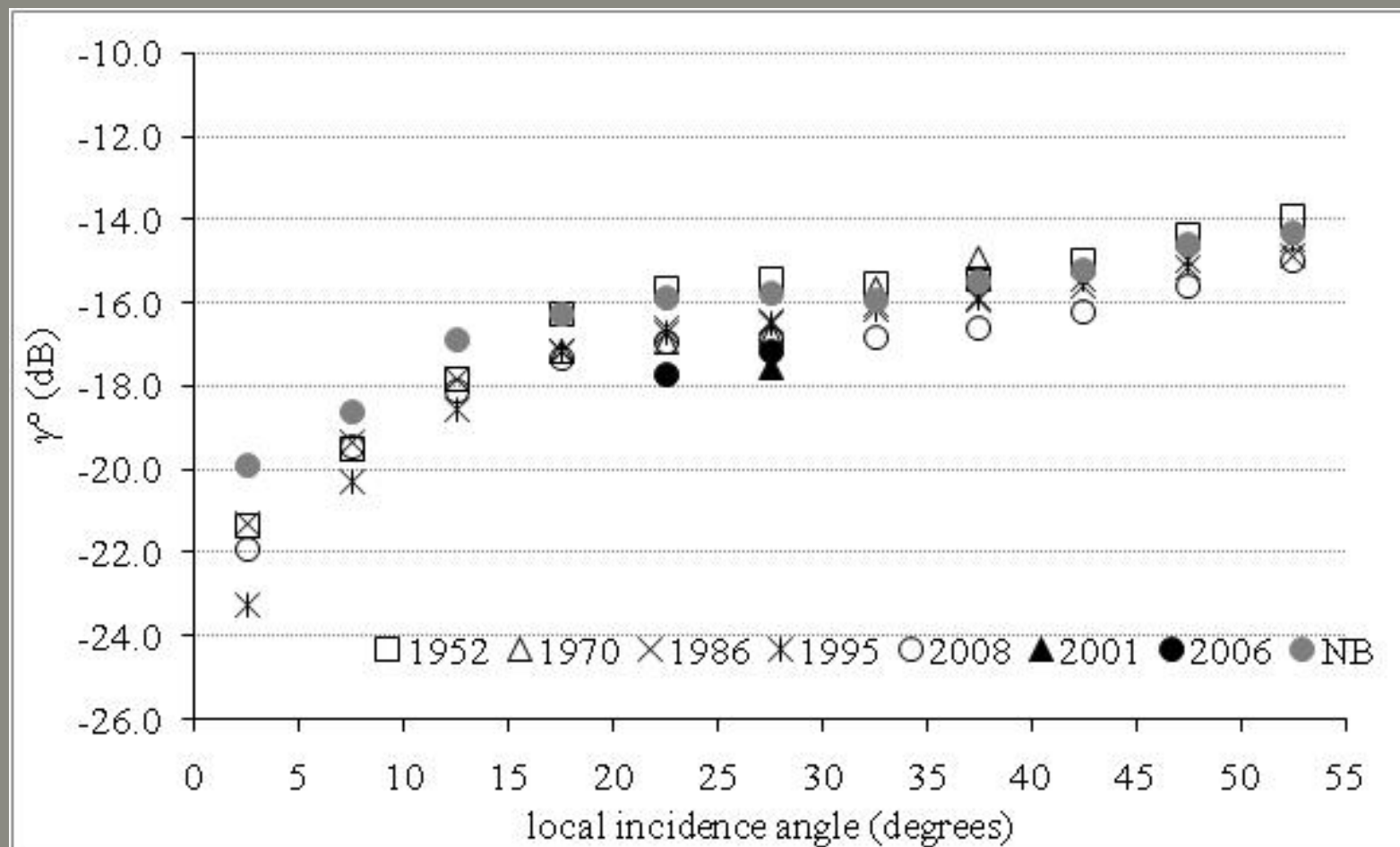


polarización HV



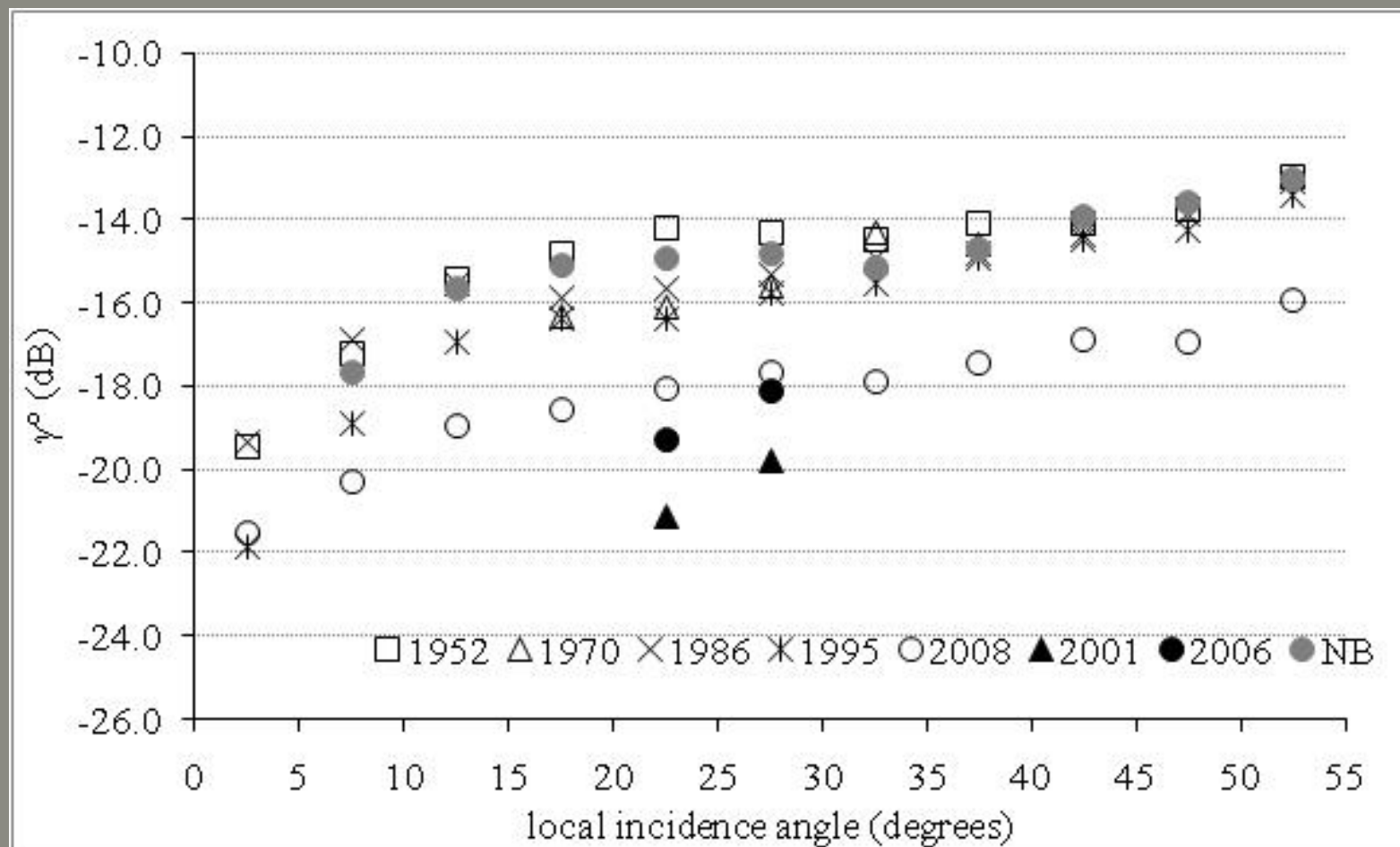
Seguimiento de la regeneración post-fuego

- Retro difusión: banda X , polarización HV



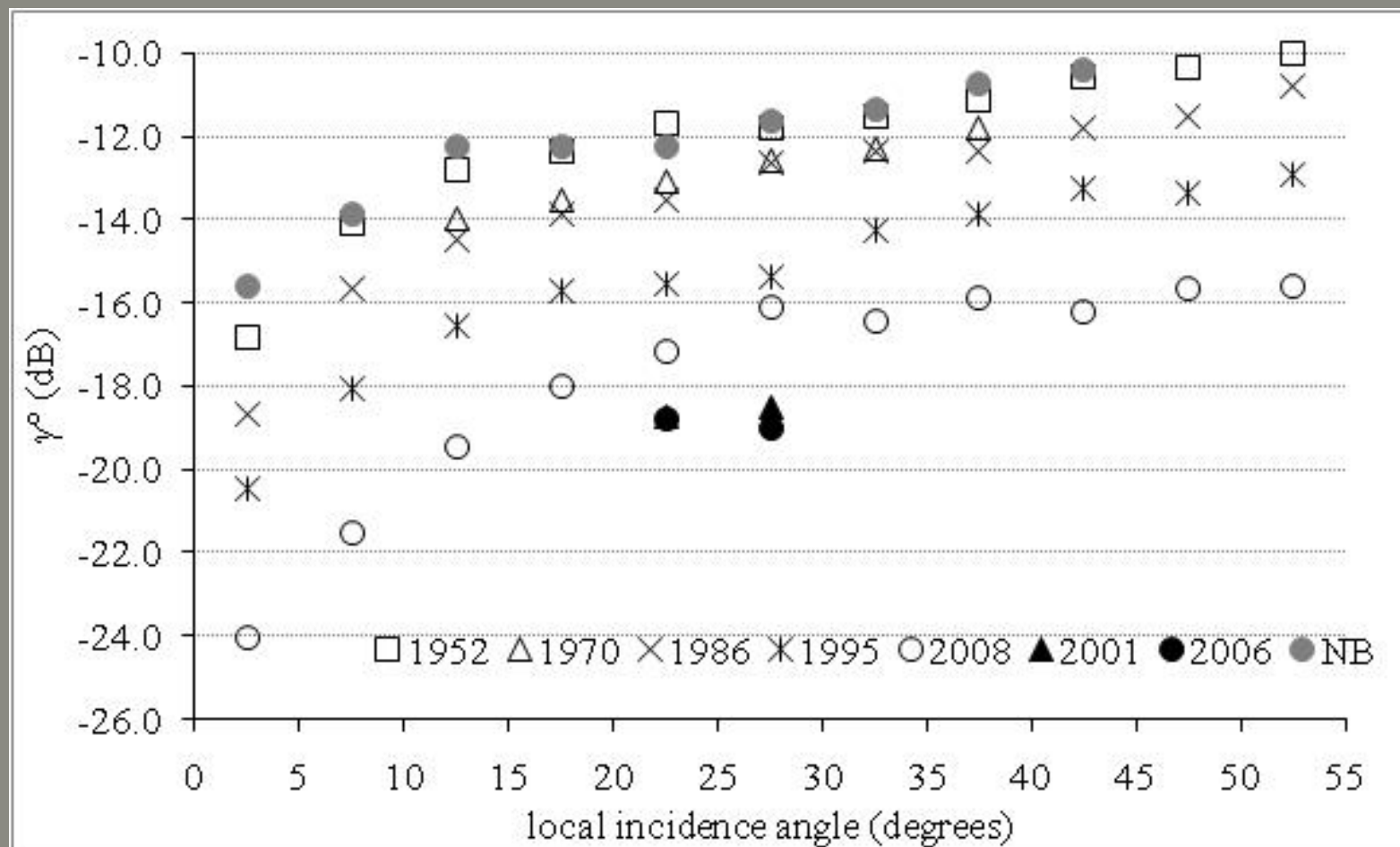
Seguimiento de la regeneración post-fuego

- Retro difusión: banda C , polarización HV



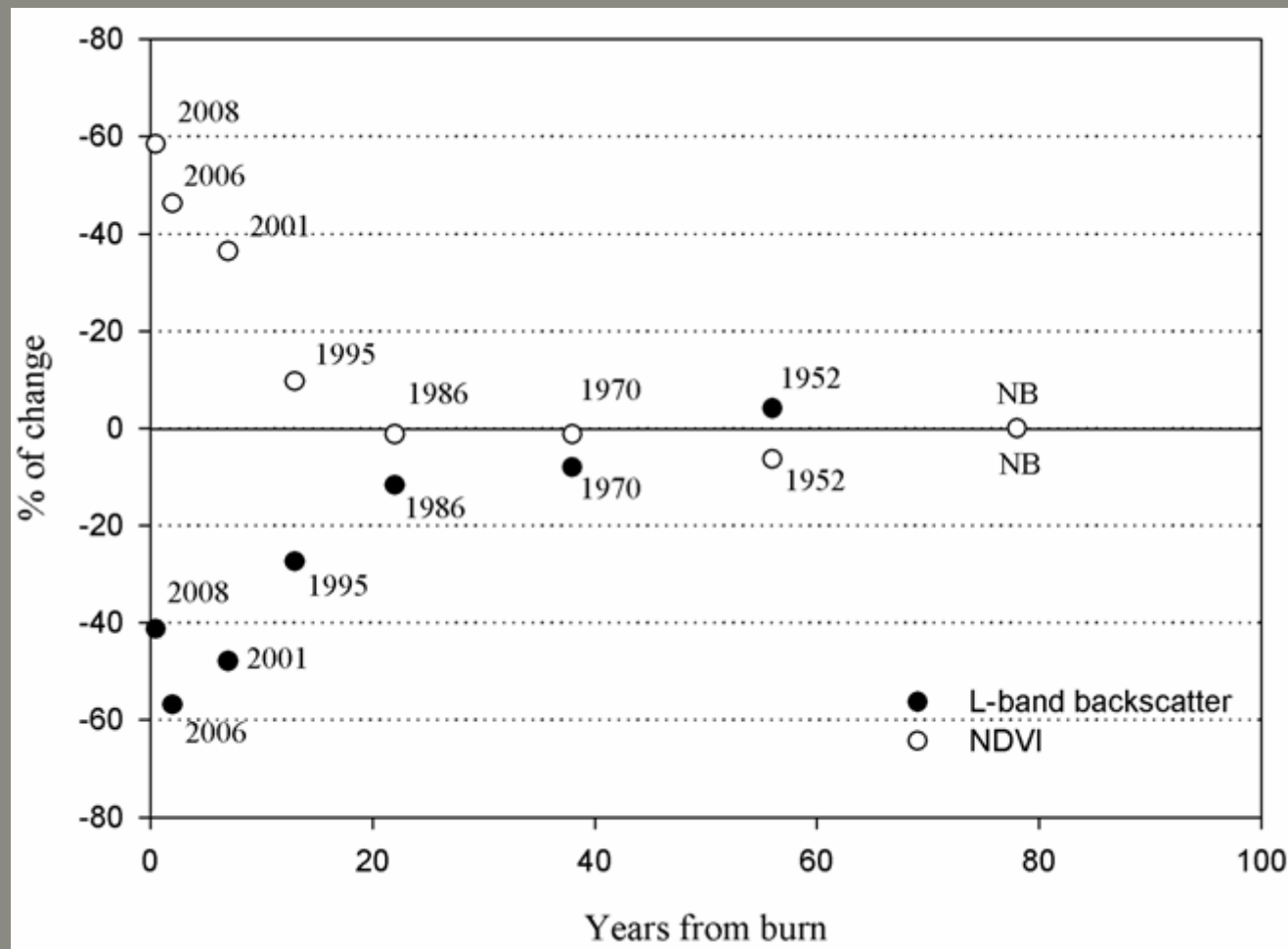
Seguimiento de la regeneración post-fuego

- Retro difusión: banda L , polarización HV



Seguimiento de la regeneración tras incendios

- Tendencia temporal: banda L - HV vs. NDVI



Conclusiones

- La utilidad del SAR para el estudio de los incendios disminuye con el incremento de la frecuencia.
- La retro difusión en polarizaciones cruzadas (HV y VH) muestra mayor sensibilidad para el estudio de la severidad que las ondas co-polarizadas (HH y VV).
- La coherencia de las ondas co-polarizadas (HH y VV) es mas útil para la estimación de la severidad que la coherencia de las polarizaciones cruzadas.
- La mejor banda para el seguimiento de la regeneración es L, diferenciándose entre etapas de crecimiento hasta 60 años.
- ...mientras NDVI se satura entre 15 y 20 años después del incendio.

Bibliografía propia sobre el tema

- M. Tanase, F. Pérez-Cabello, J. de la Riva, and M. Santoro, "TerraSAR-X data for burn severity evaluation in Mediterranean forests on sloped terrain," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, pp. 917-929, 2010.
- M. Tanase, J. de la Riva, F. Pérez-Cabello, and M. Santoro, "Sensitivity of X-, C- and L- band SAR backscatter to fire severity in a Mediterranean pine forests," in *Advances in RS and GIS Applications in Forest Fire Management Towards an Operational Use of Remote Sensing in Forest Fire management*. Matera, Italy: EARSeL, 2009.
- M. Tanase, M. Santoro, J. de la Riva, and F. Pérez-Cabello, "Backscatter properties of multitemporal TerraSAR-X data and the effects of influencing factors on burn severity evaluation, in a Mediterranean pine forest," in *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS09* Cape Town, South Africa, 2009.
- M. Tanase, J. de la Riva, M. Santoro, T. L. Toan, and F. Pérez-Cabello, "Sensitivity of X-, C- and L-band SAR backscatter to fire severity in a Mediterranean pine forest," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, aceptado
- M. Tanase, M. Santoro, U. Wegmüller, J. de la Riva, and F. Pérez-Cabello, "Properties of X-, C- and L-band repeat-pass interferometric SAR coherence in Mediterranean pine forests affected by fires," *Remote Sensing of Environment*, en revision.