



Mesa Redonda

“ESTRATÉGIAS DE GESTÃO E DE MITIGAÇÃO DOS IMPACTES DOS INCÊNDIOS NOS SOLOS”

¿QUE SABEMOS SOBRE EL IMPACTO DEL FUEGO SOBRE EL SISTEMA SUELO-PLANTA?

MONTSERRAT DÍAZ-RAVIÑA

Investigador Científico de la Misión Biológica de Galicia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC)

Presidenta de la Sección de Biología de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

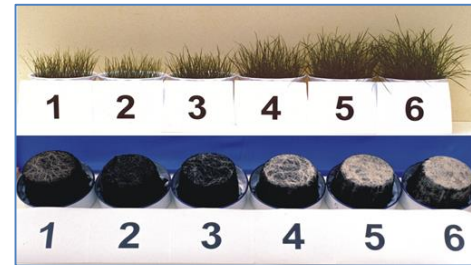
Grupo de Bioquímica y Calidad del Suelo (España)

Departamento de Suelos, Biosistemas y Ecología Agroforestal

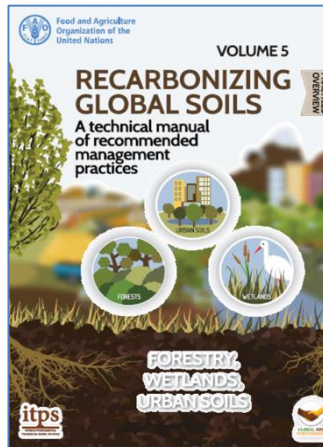
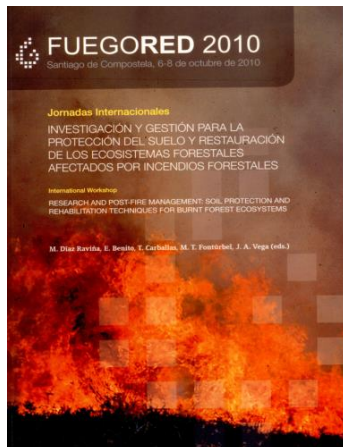
Grupo Bioquímica y Calidad del Suelo: pasado, presente y futuro

Jefas de grupo desde su creación (1980-actualidad): Dras. T. Carballas y M. Díaz-Raviña

- La lucha integral contra los incendios forestales: prevención, extinción, evaluación de impactos y restauración del sistema suelo-plantas (recuperación del suelo y regeneración de la vegetación) en la región templado húmeda (NO Península Ibérica)
- Las experiencias de laboratorio, invernadero y campo, han permitido extrapolar los resultados obtenidos a las condiciones “*in situ*” y transferir los conocimientos adquiridos a la comunidad científica y a la administración



Ayudar en la toma de decisiones sobre el manejo sostenible de ecosistemas forestales quemados



- Lucha integral contra los incendios: prevención, extinción, evaluación de impactos y restauración del ecosistema
 - El ecosistema forestal está formado por el suelo y la vegetación, dos recursos interdependientes
 - El suelo es un sistema vivo, dinámico y en continua evolución. Sin suelo no hay vida
 - El impacto de los incendios forestales debe evaluarse en el marco de la lucha integral de incendios y simultáneamente en el sistema suelo-microorganismo-planta
 - La capa de cenizas y nutrientes deben ser protegidos: son la base de la fertilidad para promover la actividad microbiana, mejorar la estructura del suelo y regenerar de la vegetación (reciclado de nutrientes antes de su pérdida por lixiviación y escorrentía)
 - Necesidad de recurrir a prácticas de protección/estabilización del suelo antes de que lleguen las primeras lluvias (mitigar erosión post-incendio)
 - Necesidad de implementar prácticas de restauración ecosistemas forestales quemados (recuperación del suelo y regeneración de la vegetación) a corto-, medio y largo plazo
- Soluciones basadas en la naturaleza

Microorganismos –Suelo-Vegetación herbácea- Vegetación arbórea

- Necesidad de estandarizar la metodología y de realizar experiencias a largo plazo en condiciones de campo
- Necesidad de elaborar protocolos de actuación basadas en la naturaleza específicos para cada territorio en la lucha integral contra el fuego e implementarlos en la gestión de ecosistemas forestales quemados

Ecosistema forestal/agrícola: suelo y vegetación

Suelo y vegetación → recursos naturales interdependientes



Los nutrientes incorporados en las cenizas, procedentes de la combustión de la vegetación y de la capa superficial de la materia orgánica del suelo, que quedan depositadas sobre la superficie del suelo en la llamada capa de cenizas, pueden ser la base de la fertilidad para la regeneración de las plantas.



Capa de cenizas y nutrientes deben ser protegidos

RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA

- Recuperación del suelo
- Regeneración de la vegetación (procesos interdependientes)

SUELO Y VEGETACIÓN: INTERDEPENDIENTES

Suelo:

- Soporte físico de la vegetación
- Almacén de agua y nutrientes

Depende:

- Restos vegetales que se depositan en su superficie

Vegetación:

- Cubierta vegetal frena el impacto de la lluvia
- Entramado de raíces fija el suelo
- Protege el suelo contra la erosión

Depende:

- Condiciones y elementos que le proporciona el suelo

Tiempo 0
Presencia
nutrientes

3 meses
Escasez nutrientes

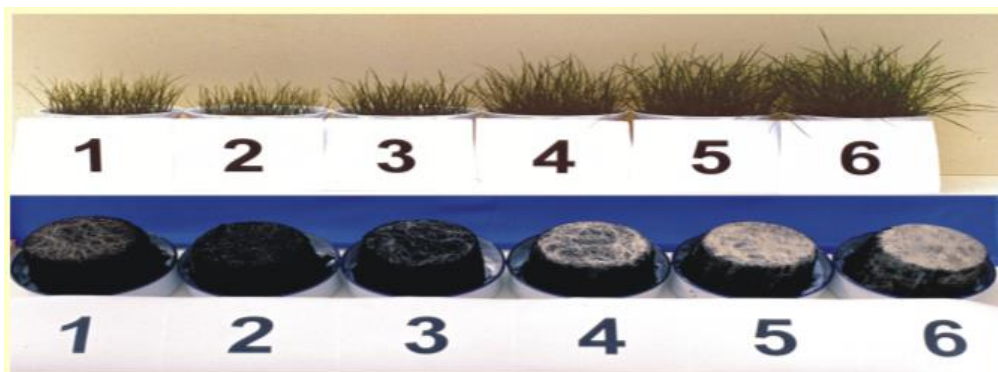


Suelos en zona llana y en pendiente

Lixiviación
de nutrientes

Contaminación
aguas

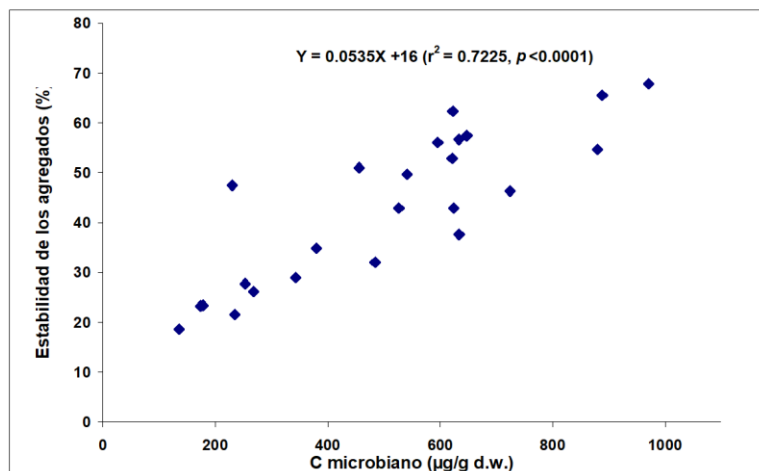
Implantación de una cubierta vegetal combinada con la incorporación de residuos orgánicos



Soluciones basadas en la naturaleza



Necesidad de restauración en **zonas llanas** afectadas por incendios severidad alta severidad



Importancia microbiota edáfica en la recuperación de la estabilidad de agregados

Reciclado de nutrientes
Cenizas/árbol

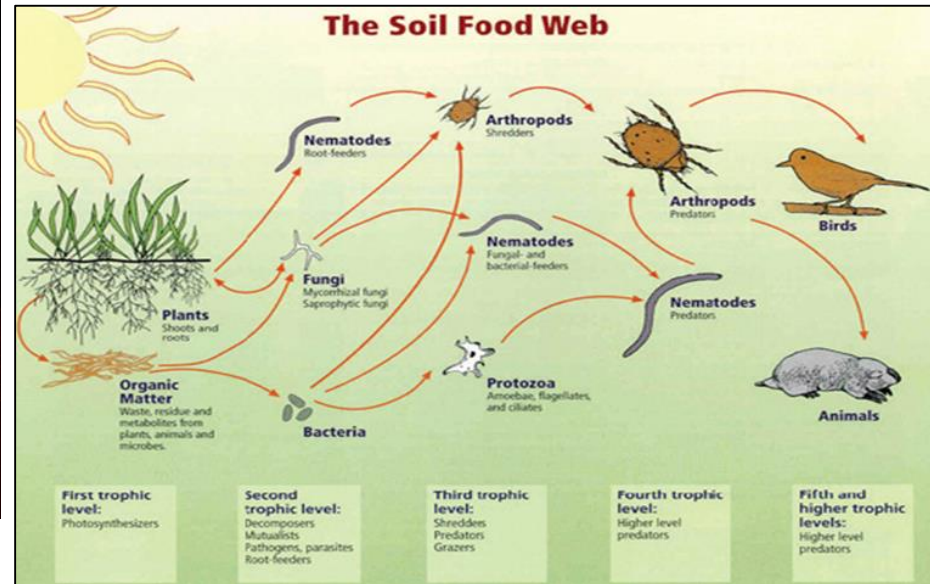


Recuperación de suelos degradados por incendios forestales
suelo → vegetación herbácea → vegetación arbórea

Hábitat biológico y reserva genética



SUELO ES UN SISTEMA VIVO

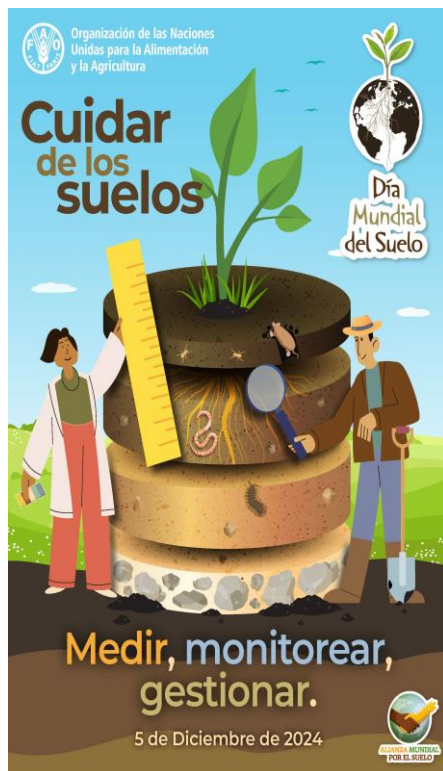


BIOMASA Y BIODIVERSIDAD

20 cm

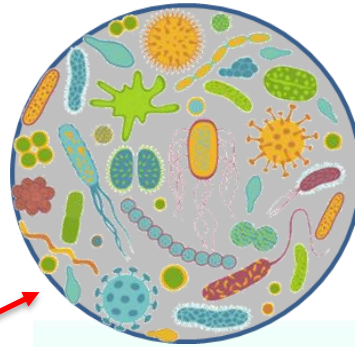
Macroorganismos vivos y raíces	15.000 kg/ha
Insectos	1.000 kg/ha
Lombrices de tierra	500 kg/ha
Nemátodos	50 kg/ha
Crustáceos	40 kg/ha
Caracoles y babosas	20 kg/ha
Roedores y culebras	20 kg/ha
Restos de macroorganismos muertos identificables	4.000 kg/ha
Bacterias	3.000 kg/ha
Hongos	3.000 kg/ha
Actinobacterias	1.500 kg/ha
Protozoos	100 kg/ha
Algas	100 kg/ha
Materiales orgánicos muertos y finamente divididos	150.000 kg/ha
Total	178.330 kg/ha

NÚMERO



Vegetación
(herbácea, arbustiva, arbórea)
Macrofauna
Mesofauna
Microfauna
Microorganismos

SUELO VIVO: IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS



Descomposición y mineralización de la materia orgánica
Liberación de nutrientes
Retención y degradación de contaminantes
Filtración del agua

Funciones del Suelo



Evaluación de impactos del fuego
Sistema suelo-microorganismo-plantas





Fracción orgánica
Fracción mineral
pH
Temperatura
Aireación
Relaciones con otros organismos
Vegetación

Impacto del fuego depende severidad, tipo de suelo, condiciones post-incendio (suelo, microbiota, planta, clima), parámetro analizado, tiempo

Impacto inmediato: microorganismos (-), estructura (-), repelencia al agua (+, 0), textura (-) pH (+,-), disponibilidad nutrientes (+), sustancia tóxicas (+), materia orgánica (contenido - y calidad, fracciones lábiles +), capacidad de campo (-)

Impacto corto, medio y largo plazo: microorganismos (+,-), nutrientes (-), disponibilidad nutrientes (-), materia orgánica (contenido -, +, calidad materia orgánica (- fracciones lábiles, + fracciones recalitrantes)...

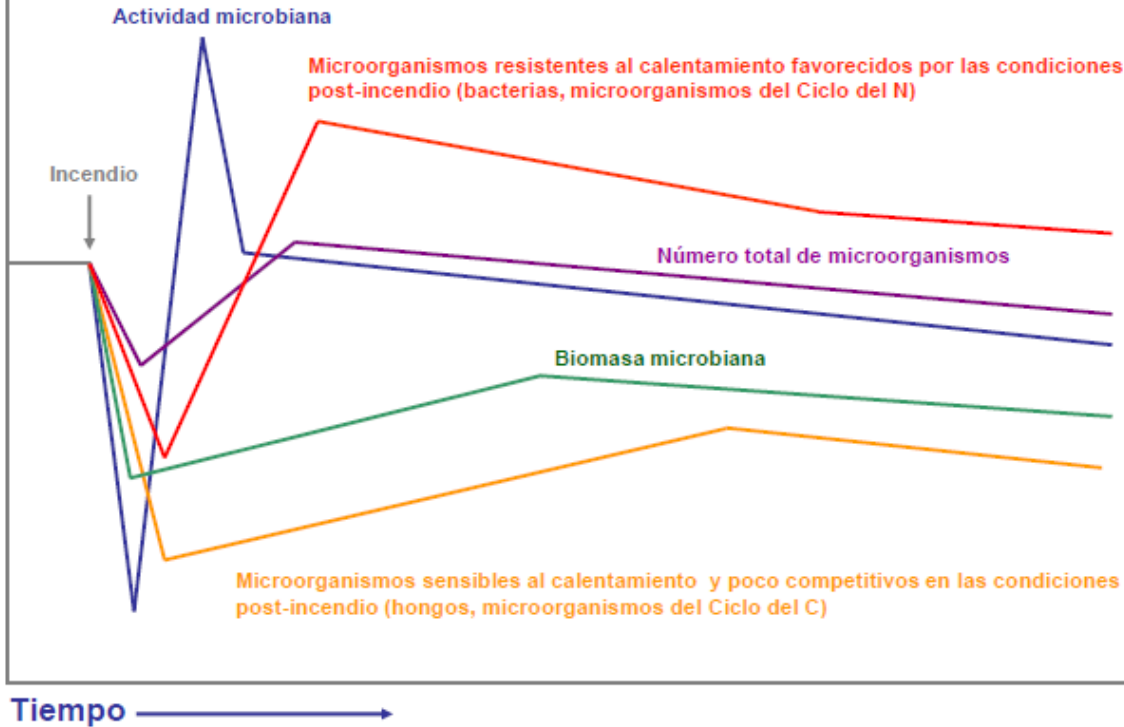
Microbiota → balance global entre influencia positiva y negativa de propiedades físicas y químicas del suelo, solución del suelo

MICROBIOTA EDÁFICA COMO BIOINDICADOR DEL IMPACTO DEL FUEGO

Impacto del incendio

Efectos directos (muerte de microorganismos)

Efectos indirectos a corto y medio plazo (cambios en el sistema suelo-plantas)



Impacto del incendio y posterior recuperación del suelo



Intensidad y duración del incendio
Susceptibilidad-Resilencia del suelo
Factores ambientales (clima, vegetación, topografía, etc.)



Necesidad de recurrir a prácticas de recuperación de suelos (incendios de moderada y alta severidad, suelos susceptibles de sufrir erosión post-incendio)

Indicadores bioquímicos y microbiológicos:

- Número, masa, actividad y diversidad de la microbiota edáfica

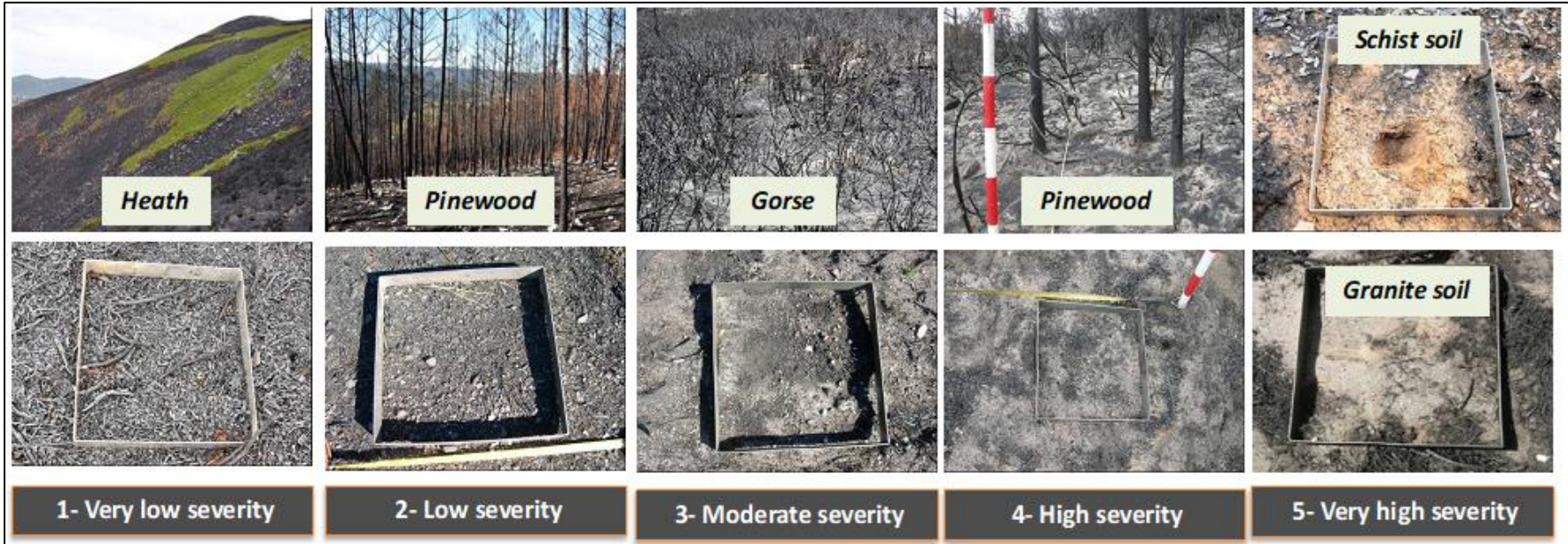
C biomasa/C total, diversidad (recuento viables, análisis de biomarcadores moleculares, PLFA)

Indicadores químicos:

- Caracterización de la fracción orgánica (fracciones de distinta degradabilidad)

Hidratos de C/C total

La **severidad** del incendio es uno de los factores más determinantes de los daños causados por los incendios forestales; por tanto, la evaluación de la severidad del incendio es un **paso crítico en la toma de decisiones para la gestión post-incendio** de áreas forestales quemadas tanto a corto como a medio y largo plazo (actuaciones de estabilización de emergencia, rehabilitación, restauración). COMPLEJIDAD



Medidas de temperatura “in situ”, profundidad

Table 1 Temperature regime during the experimental fire considering the twelve experimentally burned plots (n = 5 measurements per plot and soil depth).				
	Mineral soil surface		2 cm below mineral soil surface	
	Mean	Range	Mean	Range
Mean maximum temperature (°C)	153	48-420	34	22-43
Duration of temperatures > 60 °C (min)	23.4	0.6-93.4	0	0-0
Duration of temperatures > 100 °C (min)	11.0	0-44.0	0	0-0
Duration of temperatures > 300 °C (min)	1.4	0-10.8	0	0-0



Experiencias de laboratorio

Baja, media y alta intensidad (Chandler et al., 1983)

Table 1. Characteristics of the soil samples studied						
Sample	Treatment		pH (H ₂ O)	C (%)	N (%)	C:N
	Temperature (°C)	Time (h)				
C	Untreated		4.32	7.10	0.42	17
Cl 0.5	160	0.5	4.02	7.03	0.41	17
Cl 2	160	2	4.00	6.90	0.40	17
Cl 4	160	4	3.90	6.83	0.40	17
Cm 0.5	350	0.5	4.50	5.59	0.40	14
Cm 2	350	2	4.52	3.56	0.39	9
Cm 4	350	4	4.60	3.40	0.39	9
Ch 0.5	600	0.5	5.80	2.98	0.16	18
Ch 2	600	2	5.65	1.49	0.10	15
Ch 4	600	4	5.70	1.30	0.09	14

Los resultados de las experiencias de laboratorio no son extrapolables a las condiciones de campo

LABORATORIO: APROXIMACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA SEVERIDAD DEL INCENDIO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LOS GRADOS-HORA Y LOS CAMBIOS INDUCIDOS EN LA MICROBIOTA EDÁFICA

Objetivo: examinar, en experiencias de laboratorio y **condiciones próximas a la situación de campo**, la utilidad de los **grados-hora** como indicador de la **severidad del incendio** y la influencia de diversos factores que determinan la transmisión térmica (humedad, profundidad, suelo, recurrencia)

Diferentes experimentos (curvas de temperatura-tiempo, impactos)



Mufla

Diferente tipos de suelo (E, L)

Diferente historial del suelo frente al fuego y/o calentamiento (recurrencia)

Amplio rango de temperatura mufla (16°C, 50°C, 75°C, 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C, 300°C)

Tiempo exposición a tª y humedad constantes (15 minutos, 75% cc)

Termopares a diferente profundidad (superficie, 1 cm suelo)

Lámparas de infrarrojos

Diferentes tipos de suelo (M1, M2, M3)

Diferente contenido de humedad del suelo (0%, 25%, 50%)

Rango de temperatura termopar en superficie (100°C, 200°C, 400°C), diferentes lámparas

Tiempo de exposición a tª variable (90-150 minutos)

Termopares a diferente profundidad (1cm, 3 cm)

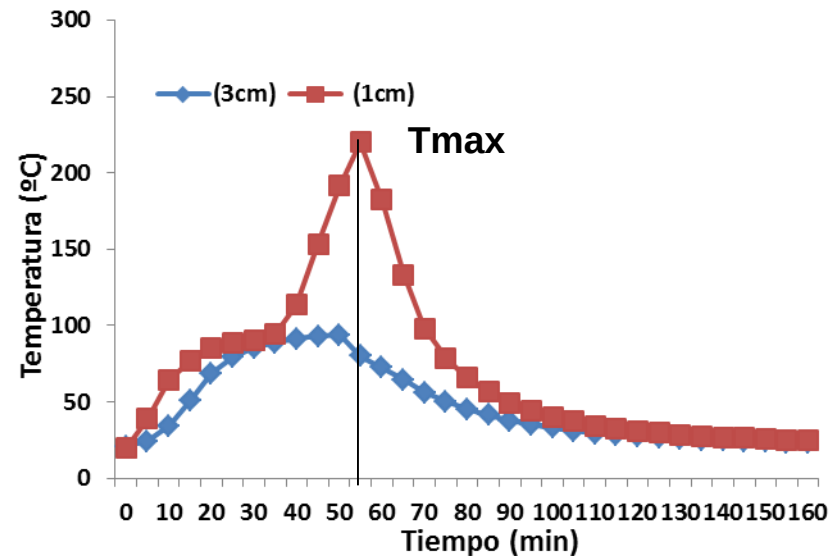
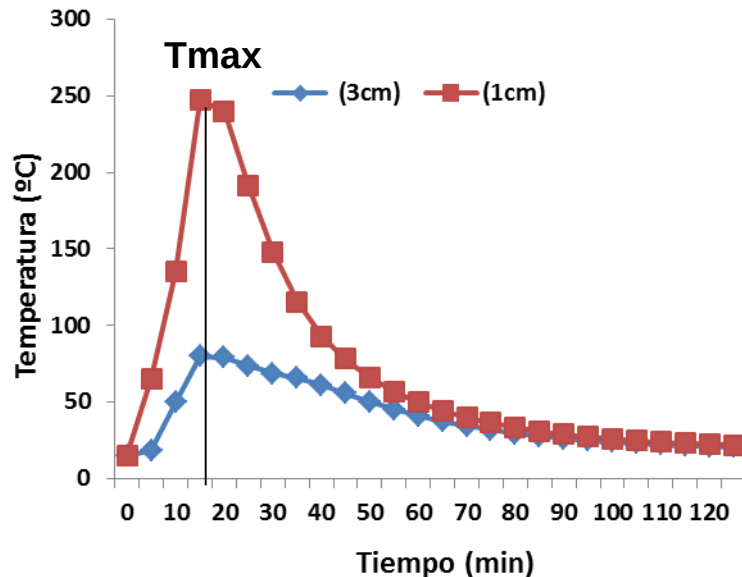
Relacionar el calentamiento del suelo (temperatura máxima, pendiente, los grados-hora) con el impacto sobre las propiedades edáficas haciendo especial hincapié en la microbiota edáfica (masa, actividad y diversidad)

Respuesta del suelo frente al calentamiento

Influencia de diversos factores que determinan la capacidad de transmisión térmica (tipo de suelo -humedad, textura, contenido en materia orgánica, recurrencia, profundidad)

Relacionar el calentamiento del suelo con los impactos sobre las propiedades edáficas

Curvas de temperatura-tiempo (laboratorio)



Grados-hora, $GH = \Sigma(T_x - T_{inicial})/60$; Temperatura máxima; pendiente (Cancelo et al., 2012)

GH $\longrightarrow$ integra el efecto acumulado del calentamiento del suelo (temperatura y tiempo de exposición)

GH, puede utilizarse como indicador de la severidad del incendio???

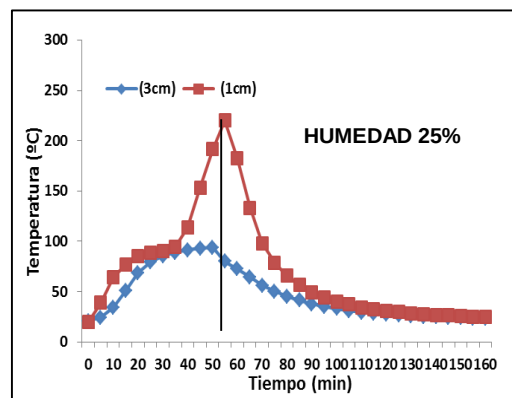
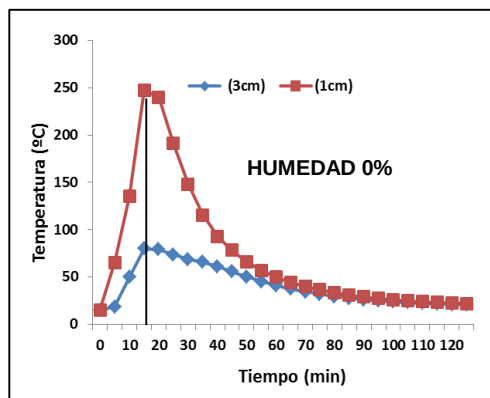
GH, puede utilizarse para cuantificar la magnitud del impacto sobre el suelo???

Los grados-hora (GH) se relacionan muy estrechamente con los cambios inducidos en las propiedades del suelo (más útiles que la T^a máxima) (GH, efecto acumulado calentamiento del suelo t^a y tiempo exposición)

Las propiedades del suelo presentan una diferente sensibilidad para detectar el impacto del calentamiento del suelo (propiedades biológicas > físicas, físico-químicas y químicas, actividades enzimáticas ciclos C, N, P > actividad microbiana > PLFA)

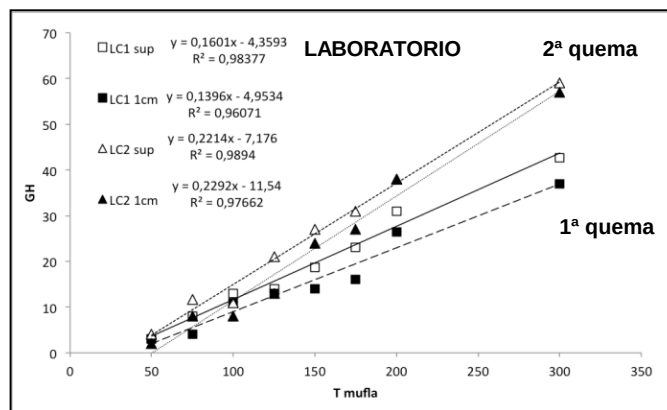
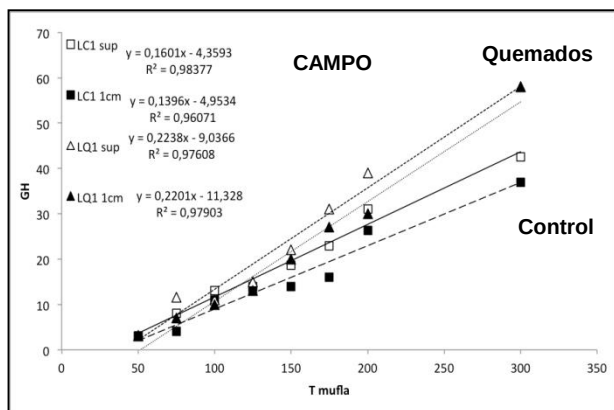
Las propiedades del suelo (ej. contenido de humedad) y el historial de incendios/calentamiento condicionan la respuesta del suelo frente al choque térmico y el grado de afección a lo largo del perfil (profundidad)

El impacto del calentamiento (GH) sobre las propiedades microbiológicas puede utilizarse como un índice de aproximación a la severidad del incendio que permite, además, cuantificar los impactos y determinar los umbrales a partir de los cuales el ecosistema puede considerarse dañado (T_{max} 75°C, 15 minutos de exposición, 10-20 GH)



Contenido de humedad previo al incendio

< T_{max} , > tiempo de exposición, > GH > grado de afección a lo largo del perfil



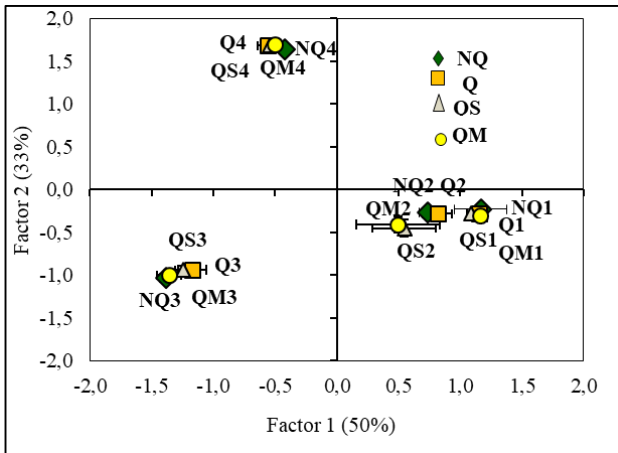
Recurrencia aumenta la susceptibilidad frente al calentamiento

> T_{max} , > GH, > grado de afección en el perfil

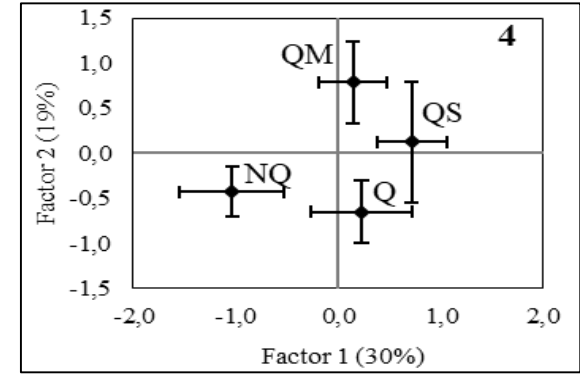
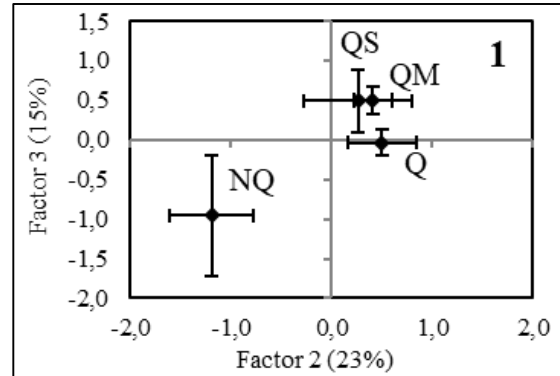
COMPLEJIDAD DE LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO

DIFICULTAD DE EXTRAPOLAR LOS DATOS DE LABORATORIO AL CAMPO

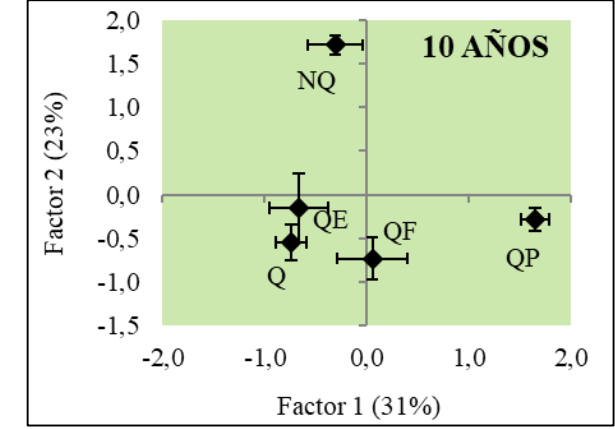
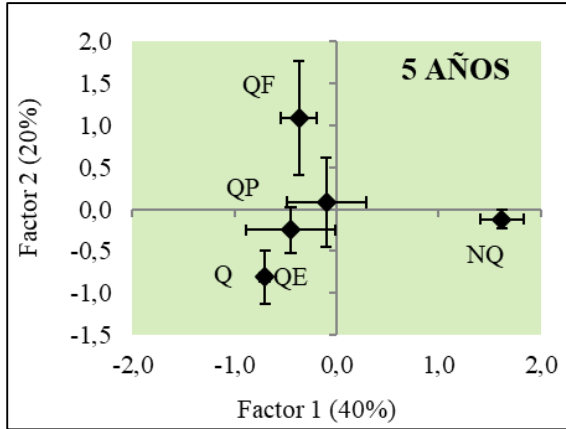
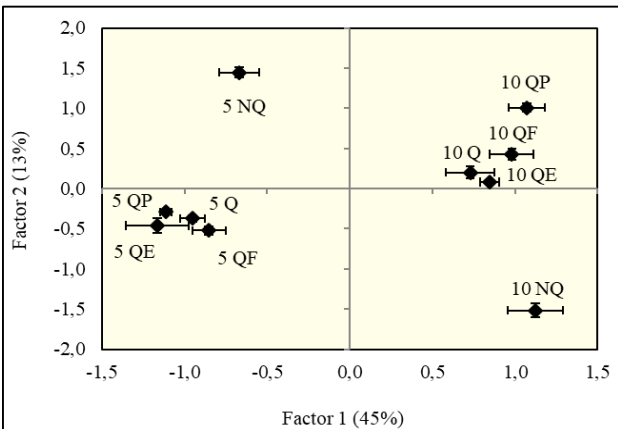
IMPACTO DE QUEMAS PRESCRITAS SOBRE EL SISTEMA SUELO-PLANTA



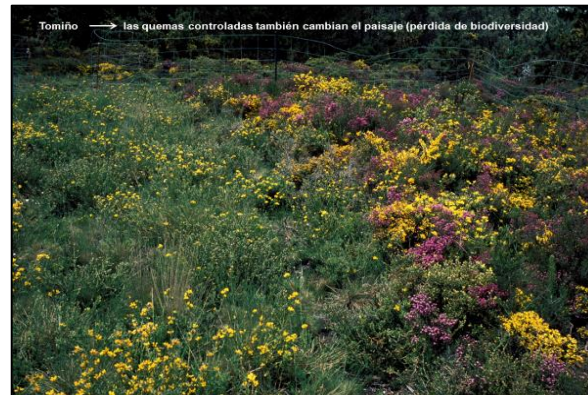
Diversidad microbiana



Evolución del impacto de la quema prescrita y de las técnicas de estabilización del suelo (mulching, siembra) tras 1, 90, 180, 365 días de su implementación



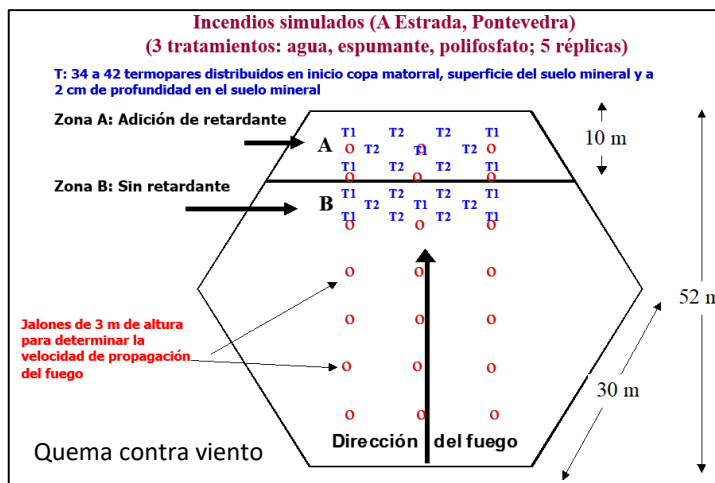
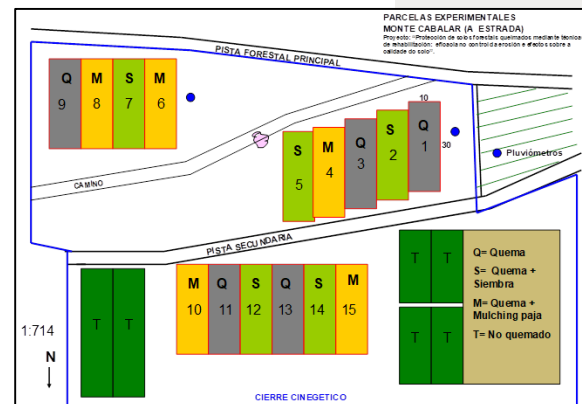
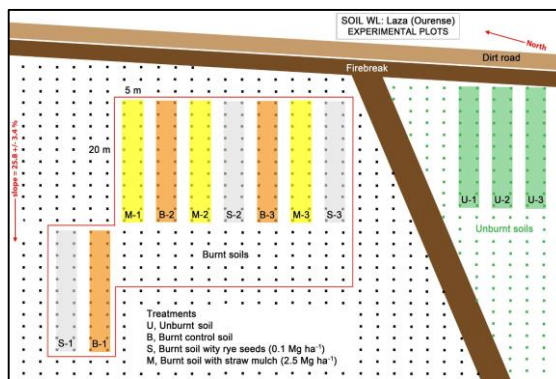
Impacto a largo plazo (5 y 10 años) de la quema prescrita y de los agentes retardantes de llama (espumante, polifosfato amónico, firesorb)



- Impacto de la quema prescrita sobre la comunidad microbiana
- Variación temporal > fuego
- Impacto persiste después de 10 años
- Impacto diversidad vegetal

PRECAUCIÓN, impacto acumulativo
Controlar periodicidad de las quemas

EXPERIENCIAS DE CAMPO: COMPLEJIDAD



Problemas derivados ensayo experimental: homogeneidad de la zona, tamaño de la parcela (ej. rectangular 5 x 20 m, 10 x 40, hexágono 30 m lado), recogida cenizas, profundidad del muestreo, representatividad de la muestra, procesado y conservación de las muestras

Necesidad de un suelo control: conocer variación espacial y temporal, especialmente propiedades bioquímicas y microbiológicas

Impacto del fuego: sistema suelo-microorganismos-plantas a corto-, -medio y largo plazo

Cenizas, capa superficial 0-2 cm
Transecto, quadrilátero



Toma de muestras:
condicionada por el
contexto de campo



Calidad del suelo y las aguas, eficacia contra la erosión post-incendio



Laboratorio
Invernadero
Campo



Suelo
Vegetación
Sedimentos



La colaboración multidisciplinar entre el Grupo del MBG-CSIC y el Grupo del CIFAL permitió abordar experimentos de laboratorio, invernadero y campo a gran escala (parcelas de erosión 5 m x 20 m, 10 m x 40 m, corto-, medio- y largo plazo)

Suelo: textura, capacidad retención agua, estabilidad agregados, repelencia al agua, conductividad eléctrica, óxidos de Fe y Al, pH, Ct, Nt, nutrientes disponibles (macro- y micronutrientes), C soluble, carbohidratos totales y solubles, C biomasa total y de grupos específicos de microorganismos, respiración, actividades enzimáticas ciclos C,N y P (glucosidasa, ureasa y fosfatasa), diversidad funcional y taxonómica (BIOLOG, PLFA pattern), actividad bacteriana y fúngica

Vegetación: crecimiento, biomasa y contenido de nutrientes en tallos y raíces, cobertura vegetal, composición y diversidad de especies

Sistema suelo-planta: reciclado de nutrientes provenientes de las cenizas suelo-vegetación herbácea-árbol (^{15}N)

Sedimentos: cantidad de sedimentos producidos, caracterización (textura, pH, Ct, Nt, macro- y micronutrientes)

Caracterización sedimentos permite evaluar los cm de suelo que se pierden

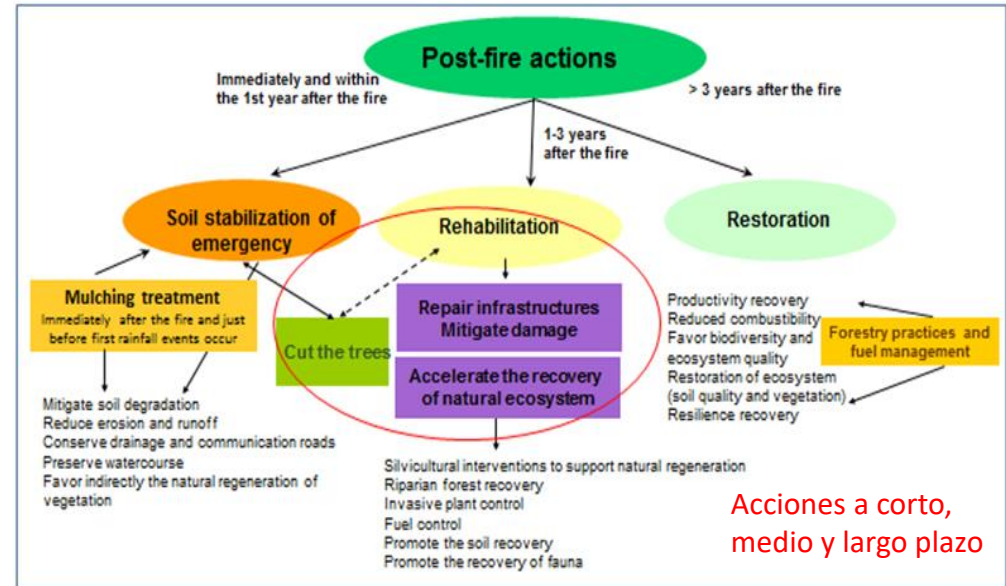
SUELOS ZONA TEMPLADO HÚMEDA (NO PENÍNSULA IBÉRICA)

(elevado contenido materia orgánica , pH ácido, baja disponibilidad nutrientes)

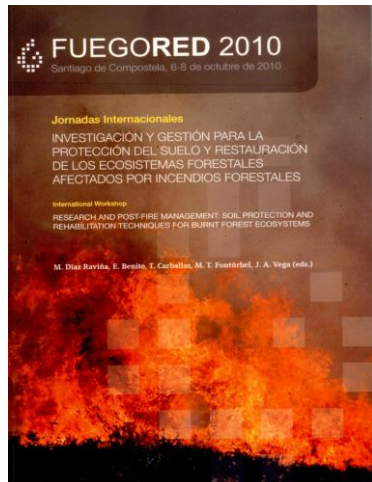
MO es la base de la fertilidad del suelo, almacenamiento de agua y actividad microbiana

LUCHA INTEGRAL CONTRA INCENDIOS FORESTALES DEBE ADAPTARSE AL TERRITORIO (ZONA TEMPLADO HÚMEDA, SEMIÁRIDA Y ÁRIDA)

- Degradación física, química y biológica del suelo (zona llana lixiviación, pendiente escorrentía)
- Grandes **perdidas de C y nutrientes por lixiviación y escorrentía**
- Sedimentos corresponden 2,5 cm del suelo quemado (22% C, 800 mg agua kg⁻¹ suelo)
- Grandes pérdidas de MO, contenido nutrientes, **capacidad almacenamiento agua**, C biomasa, actividad microbiana, fracciones lábiles MO
- No hay cambios pronunciados en repelencia al agua, pH, textura
- Erosión en los primeros 3 meses después incendio, **mecanismo de flujo por saturación**



Acciones a corto, medio y largo plazo



PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN ESPECÍFICOS



DÍAZ RAVIÑA M; FONTÚRBEL-LLITERAS MT, MARTÍN A, FERNÁNDEZ C. Rehabilitation of forest soils affected by wildfires. Recarbonizing global soils. A technical manual of management practices. Volumen 5. Forestry. Wetland. Urban soils. Practices overview. FAO and ITSP. , pp 91-109. Rome.

<https://doi.org/10.4060/cb6606en>. ISBN: 978-92-5-134900-7

Long-Term Cumulative Effects of Wildfires on Soil-Vegetation Dynamics in the “Baixa Limia–Serra do Xurés” Natural Park

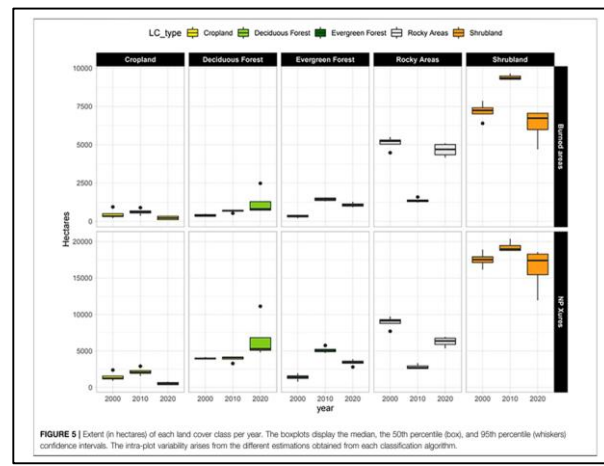
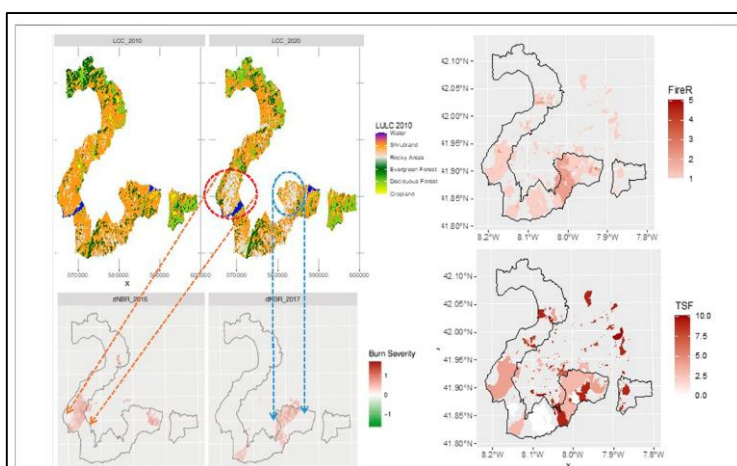
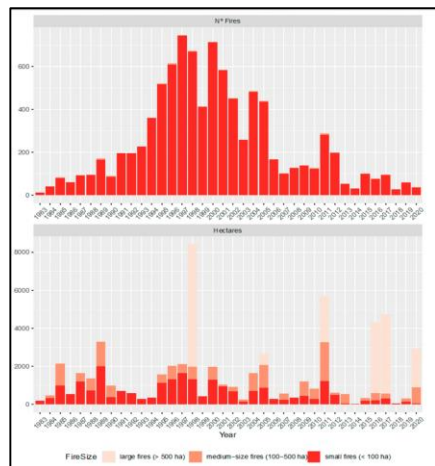
Concepción García-Redondo¹, Montserrat Díaz-Raviña² and Adrián Regos^{2,3,4,*†}



-Historial del régimen de incendios 1983-2020
(número, extensión, vegetación afectada, severidad, época del año, recurrencia, etc.)
-Teledetección, GIS
Gestión sostenible del Parque

Cambios en régimen incendios en las últimas décadas

(tamaño incendios, duración estación incendios, zonificación, recurrencia en zonas Parque con distinto nivel de protección, paisaje)



Efecto a largo plazo de los incendios: incendios recurrentes provocaron un aumento de las zonas rocosas con escasa vegetación y una disminución de la cubierta forestal y de matorrales, lo que sugiere que la erosión y la degradación del suelo son factores clave en los cambios de vegetación posteriores a los incendios

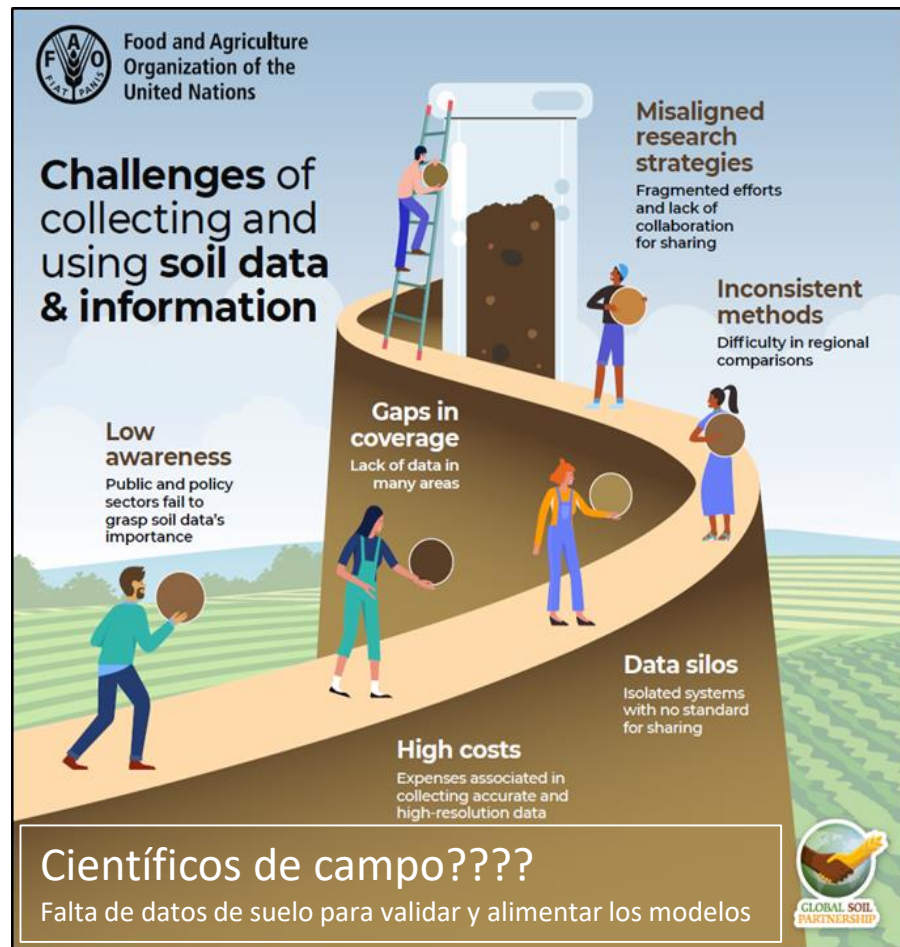
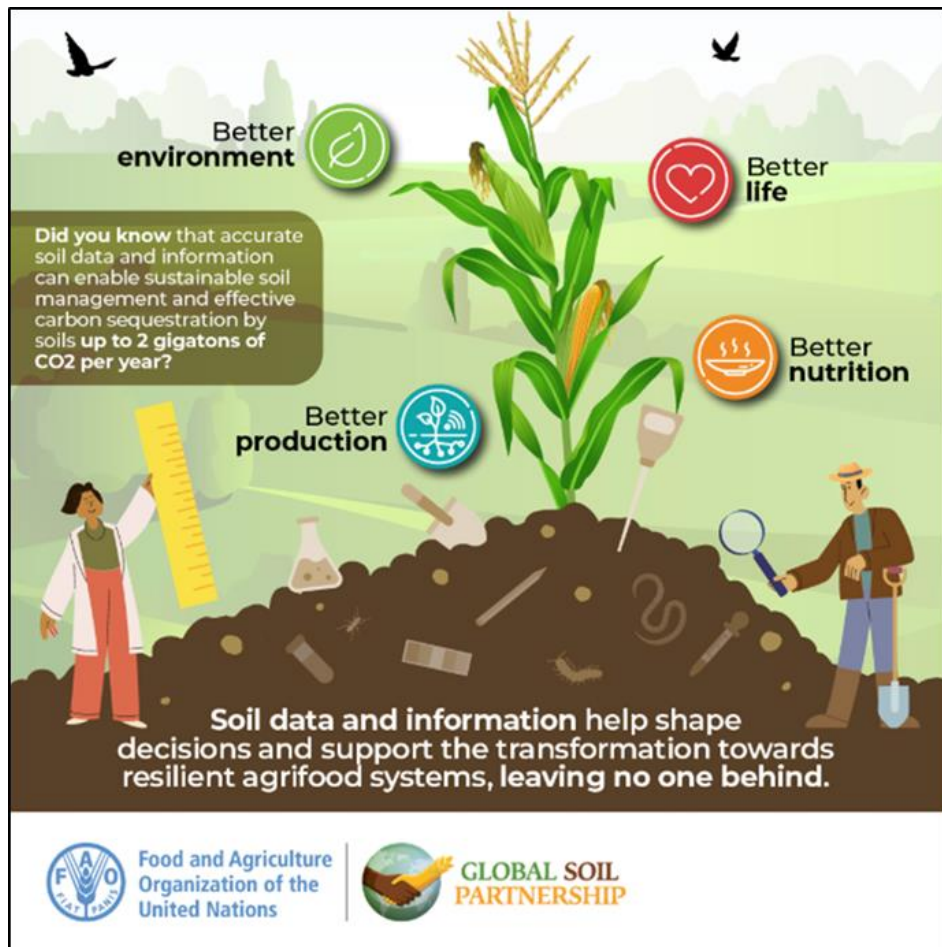
Impacto del fuego sobre el sistema suelo-planta a lo largo del tiempo

Suelo es un sistema vivo, su respuesta al impacto del fuego depende del historial previo del régimen de incendios y estos efectos son acumulativos

Estudios a escala de suelo y de paisaje

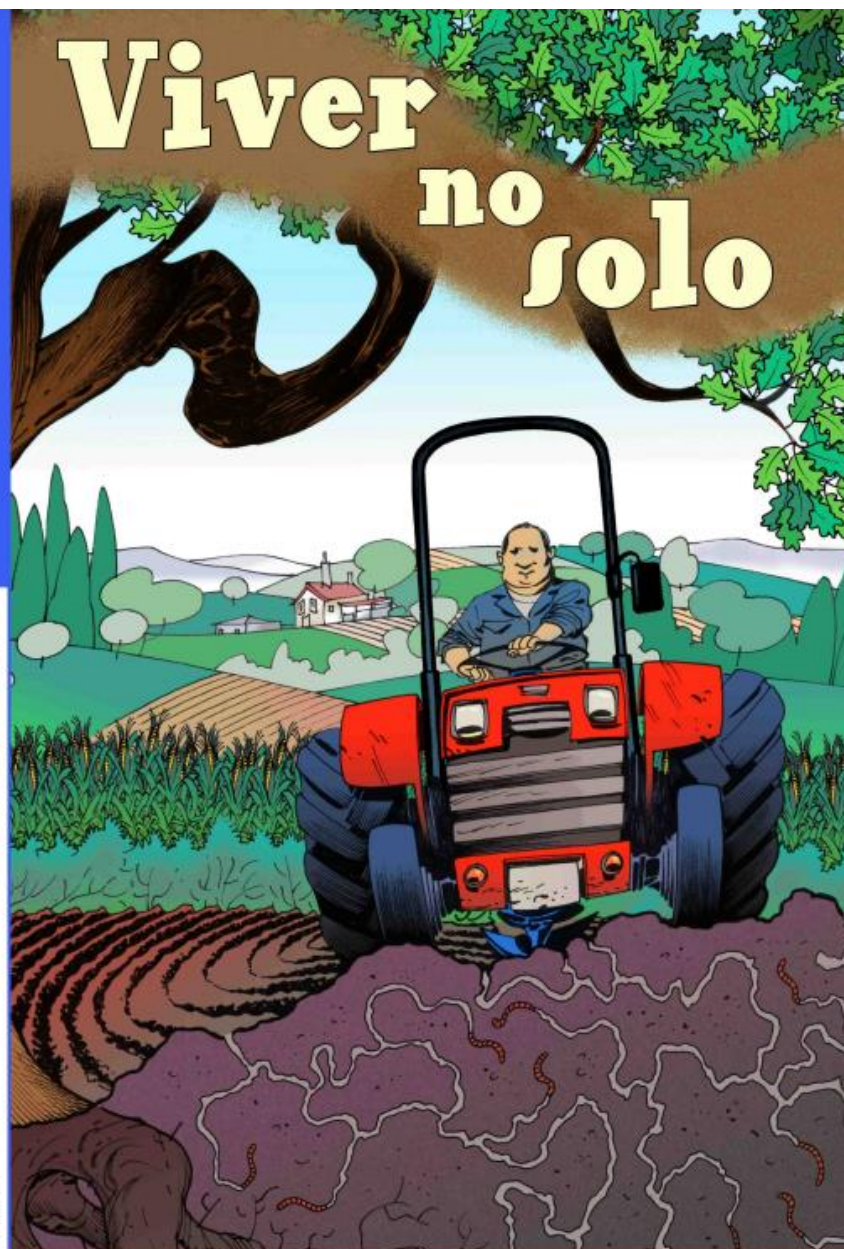
¿QUE SABEMOS SOBRE EL IMPACTO DEL FUEGO SOBRE EL SISTEMA SUELO-PLANTA?

Muy poco

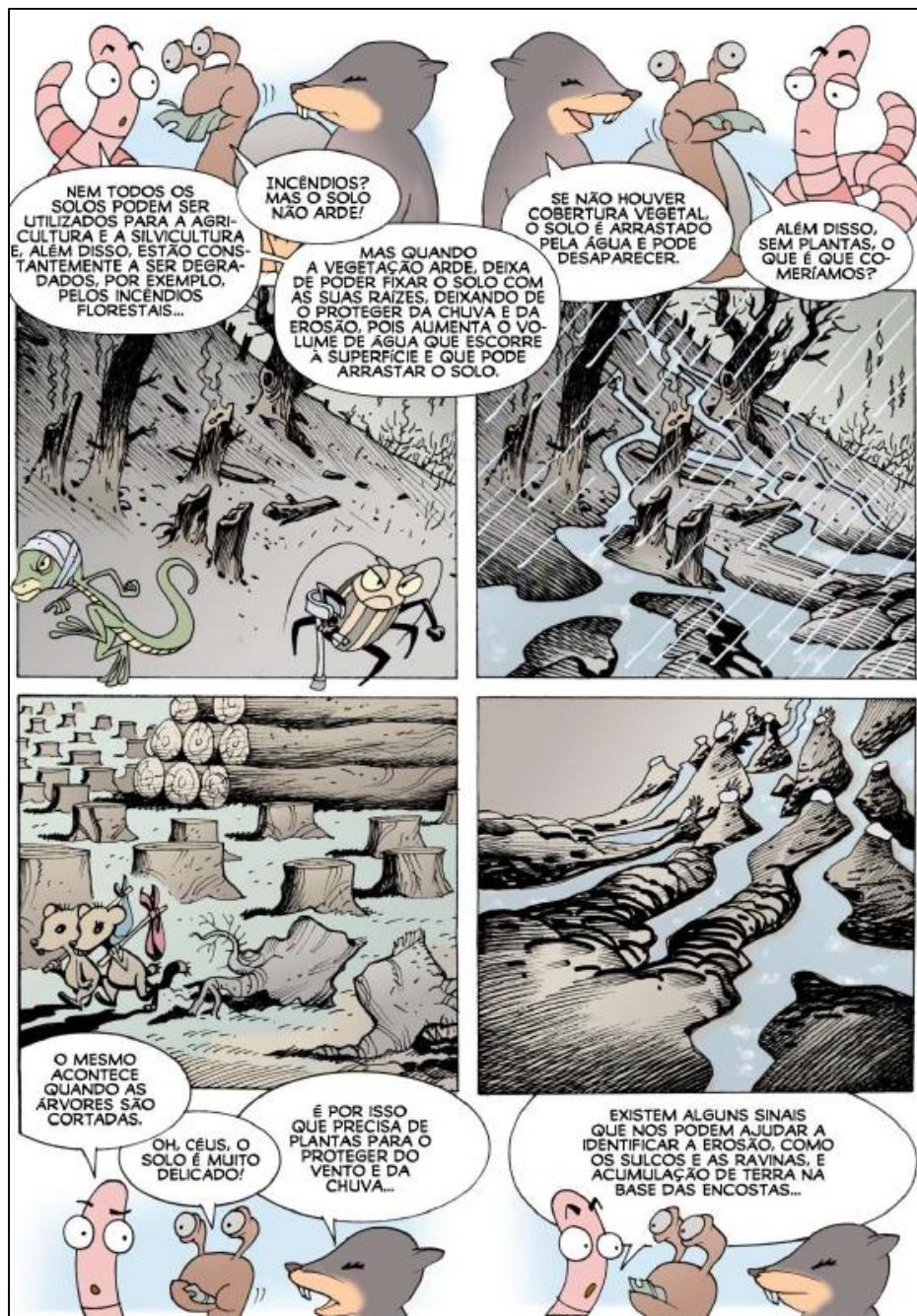


Día Mundial del Suelo 2024 Cuidando de los suelos: Medir, monitorear y gestionar

CONCIENCIACIÓN SOBRE LA PROBLEMÁTICA DE LOS INCENDIOS FORESTALES



Guião: M^a. Pilar Jiménez Aleixandre
Ilustração: Estudio Tangaraño
Documentação e assessoria científica: M. T. Barral Silva e F. Díaz-Fierros V.





O SOLO é um tapete mágico e vivo que cobre a superfície do nosso Planeta. Um solo sadio garante a produção de alimentos saudáveis, a conservação da biodiversidade, a qualidade da água e contribui para a mitigação das mudanças climáticas. Sem o solo a vida na Terra não é possível, porém ele é um recurso frágil, pois a sua formação requer milhares de anos, por isso, **a sua preservação é imprescindível.**

"FUNÇÕES DO SOLO NOS ECOSISTEMAS"



MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O solo é um sumidouro de CO₂, contribuindo para a mitigação do aquecimento global. Num solo saudável a matéria orgânica permanece estável durante milhares de anos. Contudo, uma gestão inadequada pode converter o solo num emissor de gases com efeito de estufa.



ÁGUA

O solo desempenha um papel crucial no ciclo e na qualidade da água. A água retida no solo constitui a principal reserva hídrica para as plantas. Além disso, o solo atua como um filtro, podendo reter ou degradar as substâncias tóxicas antes que elas cheguem aos aquíferos.



ALIMENTAÇÃO

Do solo provêm 95% dos alimentos que consumimos e a qualidade destes alimentos depende da saúde do solo. É fundamental preservar a qualidade do solo para a manutenção de uma produção agrícola sustentável.



BIODIVERSIDADE

Os solos albergam 25% da biodiversidade terrestre. Milhares de invertebrados e milhões de microrganismos têm no solo o seu habitat. A maior parte desses organismos ainda é desconhecida, mas eles desempenham papéis essenciais para manter a qualidade e o funcionamento dos ecossistemas terrestres.



O SOLO E A ECONOMIA CIRCULAR

Ao reciclar a água, a matéria orgânica e degradar substâncias tóxicas, o solo é o maior sistema de transformação e reutilização de recursos do planeta.



SPCS
Sociedade Portuguesa
de Ciências do Solo



MUSEO DE HISTORIA NATURAL
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



Incendios forestales: pérdida de servicios ecosistémicos



Sala Permanente del Suelo del MHN-USC
Pedión tridimensional de "suelo vivo"

¡GRACIAS
POR LA ATENCIÓN!