MINISTERIO
DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA

LABORATORIO DE INCENDIOS FORESTALES CIFOR-INIA

Carmen Hernando, Mercedes Guijarro, Carmen Díez, Jesús San Martín y Javier Madrigal

INCENDIOS FORESTALES: MEDIDAS PREVENTIVAS

" La prevención de Incendios es el conjunto de actividades que tienen por objeto reducir o anular la probabilidad de que se inicie un fuego, así como limitar sus efectos si éste se produce"

- Actuaciones sobre los agentes causantes

- Actuaciones sobre el territorio
  - Infraestructuras de protección
  - Selvicultura preventiva

SELVICULTURA PREVENTIVA: Definición

" Conjunto de reglas que se incluya dentro de la selvicultura general, con la finalidad de conseguir estructuras de masa con menor grado de combustibilidad, o lo que es lo mismo, con mayor resistencia a la propagación del fuego"

ORDENACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

- REDUCCIÓN: Disminuir la carga de combustible disponible
- CONVERSIÓN: Reemplazar ciertos combustibles por otros menos peligrosos
- AISLAMIENTO: Rotura en la continuidad de grandes superficies de combustible

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: OBJETIVOS

- **Aparición** del fuego
- Condiciones precisas para su **propagación inicial**
- Factores del medio que influyen en su progresión generalizada, transformando el **fuego incipiente en un incendio**

DATOS BÁSICOS para la PREVENCIÓN y EXTINCIÓN de los incendios

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES FORESTALES
- COMPORTAMIENTO DEL FUEGO Y RÉGIMEN TÉRMICO
    - USO DEL FUEGO PRESCRITO
    - EFECTOS DEL FUEGO EN LOS TRONCOS DE LOS ÁRBOLES
- REGENERACIÓN POST-INCENDIO Y MEDIDAS SELVÍCOLAS PARA FAVORECERLA
- CONOCIMIENTO Y MODELIZACIÓN DE LOS "SALTOS" DE FUEGO
- OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN INFRARROJA
- MODELIZACIÓN DEL FUEGO EN LA INTERFAZ URBANO-FORESTAL
- CARACTERÍSTICAS Y EFICACIA DE LOS PRODUCTOS "RETARDANTES" DEL FUEGO

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

- Cantidad
- Estructura
  * Relación Superficie/Volumen
  * Compactación
- Composición química
- Humedad
- Poder Calorífico

- INFLAMABILIDAD

- COMBUSTIBILIDAD

Características de los combustibles

Inflamabilidad
Combustibilidad

Relación Superficie/Volumen

Poder Calorífico

CIFOR-INIA

INFLAMABILIDAD: *Anderson, 1970*

- "**Ignitabilidad**": facilidad con la que un material entra en ignición, se describe por el tiempo transcurrido hasta que tiene lugar la ignición

- "**Sostenibilidad**": describe la propiedad de un combustible para continuar quemándose

- "**Combustibilidad**": está relacionada con la velocidad a la que se quema un combustible

Martin, define un cuarto elemento "**Consumibilidad**": describela cantidad de combustible que se quema

INFLAMABILIDAD: UTILIDAD (Valette, 1990)

- Seguir la evolución del riesgo de inicio de incendio que presentan las principales especies teniendo en cuenta su papel en las distintas formaciones forestales

- Clasificar las especies según este criterio

- Integrar el criterio de inflamabilidad en los índices de riesgo de incendios

- Establecer mapas de riesgo a partir de los mapas de vegetación

- Orientar operaciones selvícolas

- Adaptar los aprovechamientos al uso múltiple del monte mediterráneo

CONDICIONES QUE RIGEN LA INFLAMABILIDAD

CALOR → COMBUSTIBLE → DEGRADACIÓN TÉRMICA

PUNTO DE INFLAMACIÓN:

"Temperatura a la cual un combustible es capaz de emitir gases que provoquen llama al ponerse en contacto con un foco térmico"

Combustible Forestal: Tª 275 - 360 °C

PUNTO DE INFLAMACIÓN

* CALOR ABSORBIDO POR EL AGUA CONTENIDA EN EL COMBUSTIBLE HASTA ALCANZAR 100 °C

* CALOR DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA

* CALOR DE CALENTAMIENTO DE LA MATERIA SECA

FACTORES QUE RIGEN LA INFLAMABILIDAD

- Humedad
- Composición química
- Relación superficie/volumen

INFLAMABILIDAD: CLASIFICACIÓN

Especies muy inflamables todo el año

Calluna vulgaris
Erica arborea
Erica australis
Erica herbácea
Erica scoparia
Eucalyptus globulus
Phillyrea angustifolia
Pinus halepensis
Quercus ilex
Thymus vulgaris

Especies muy inflamables en verano

Anthyllis cytisoides
Brachypodium ramosum
Cistus ladanifer
Lavandula stoehas
Pinus pinaster
Quercus suber
Rosmarinus officinalis
Stipa tenacissima
Ulex europaea
Ulex parviflorus

Especies moderadamente o poco inflamables

Arbutus unedo
Atriplex halimus
Buxus sempervirens
Cistus albidus
Cistus laurifolius
Cistus salvifolius
Halimium sp.
Juniperus oxycedrus
Olea europaea
Pinus sylvestris
Pistacia lentiscus
Quercus coccifera

PODER CALORÍFICO

* "CALOR LIBERADO EN LA COMBUSTIÓN DE UN CUERPO"

* OBJETIVOS:
  - Clasificación de especies
  - Detectar las variaciones estacionales
  - Deducir el balance energético de un incendio I= PCxVxM

* Función de la COMPOSICIÓN QUÍMICA

PODER CALORÍFICO: CLASIFICACIÓN

Especies con PC alto (>5000 kcal/kg)

Arbutus unedo
Calluna vulgaris
Erica arborea
Erica australis
Erica multiflora
Eucalyptus globulus
Pinus halepensis
Pinus pinaster
Rosmarinus officinalis

Especies con PC medio (5000-4500 kcal/kg)

Cistus ladanifer
Juniperus communis
Pinus pinea
Pinus sylvestris
Quercus ilex
Quercus pyrenaica
Quercus suber

Especies con PC bajo (<4500 kcal/kg)

Anthyllis cytisoides
Atriplex halimus
Buxus sempervirens.
Pteridium aquilinum
Populus sp
Rubia peregrina
Rubus sp.
Salix sp.

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

* "Qué hace el fuego" => fenómenos que tienen lugar en el desarrollo de un incendio (*Trabaud*)

* Término amplio, por gran variabilidad en un incendio y diferencias entre incendios, debido a la variabilidad de los factores que lo determinan

    * Características de los combustibles
    * Condiciones atmosféricas
    * Topografía

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

COMBUSTIBLES

- Cantidad
- Estructura
  - * Relación Superficie/Volumen
  - * Compactación
  - * Continuidad y homogeneidad
- Composición química
- Humedad
- Poder Calorífico
- INFLAMABILIDAD
- COMBUSTIBILIDAD

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

* Triple incidencia: inicio, comportamiento y capacidad de control
    * Tiempo previo como factor de riesgo => secado de los combustibles
    * Causa desencadenante => rayos
    * Durante el incendio: favorable (vientos) o adverso (lluvia)

* Influyen:
    - temperatura
    - precipitaciones
    - viento

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

TOPOGRAFÍA

- Para una zona dada, es el factor más constante e influye sobre los combustibles y el tiempo local
- Pendiente: favorece el propagación por transmisión de calor (radiación, convección) y continuidad vertical del combustible
- Clima local: aumento de precipitaciones con la altitud, umbría más húmedas que solanas, vientos locales
- Efecto Foehn: propicia incendios a sotavento de las cordilleras

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

El comportamiento del fuego se caracteriza y cuantifica mediante las VARIABLES DE COMPORTAMIENTO

* Velocidad de propagación
  - <- velocidad del viento
  - <- humedad del combustible
* Intensidad del fuego
* Características de las llamas
  - -> Efectos en el ecosistema
  - -> Posibilidad de control y medios de extinción

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO

* Planificación de medidas preventivas y medios de extinción
* Aumento de la eficacia de la extinción y seguridad del personal
* Evaluación de los efectos del fuego sobre el ecosistema

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

MODELOS DE PREDICCIÓN

- ✓MODELOS FÍSICOS, basados en las leyes universales de la física y de la química
- ✓MODELOS EMPÍRICOS, basados en el análisis estadístico de datos obtenidos en fuegos experimentales o en incendios
- ✓MODELOS MIXTOS, conjugan la teoría física y química con los datos empíricos

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

MODELOS EMPÍRICOS

- Ventajas
  - las características del complejo de combustible están implícitas en el modelo
  - mayor aproximación a la realidad
- Inconvenientes
  - sólo son aplicables en las condiciones en que se han obtenido los datos
  - dificultad de obtener datos precisos y que cubran un amplio rango de condiciones

- Se han desarrollado sobre todo en Canadá y en Australia y, en Europa, en España, Portugal y Francia

Modelos para matorral en Galicia

Vega et al.

(1998, *3rd Int. Conf. For. Fire Res.*)

Tipos de vegetación incluidos:

Ulex

Ericáceas (*Erica* spp., *Calluna vulgaris*)

Chamaespartium tridentatum

Velocidad de propagación

(m/min)

$$R = 0.249\ U^{1.19}\ h^{0.66} \exp(1.09\ s)$$

Siendo U = velocidad del viento (m/s)

h = altura de la vegetación (cm)

s = tangente de la pendiente del terreno + 0.1

Longitud de las llamas (m)

$$L = 0.087\ I_B^{0.49}$$

Siendo I_B = intensidad lineal del fuego (kW/m)

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

MODELOS MIXTOS O SEMI-EMPÍRICOS:

EL SISTEMA BEHAVE

✓ Permite predecir el COMPORTAMIENTO DEL FUEGO a partir de la velocidad del viento, la pendiente del terreno y las características y humedad de los combustible

✓ 13 modelos de combustible estándar organizados en 4 grupos, según qué combustible es el principal propagador del fuego: pastos, matorral, hojarasca bajo arbolado o restos de corta y operaciones selvícolas

✓Modelos de combustible específicos

RÉGIMEN TÉRMICO

- Expresa la distribución espacial y temporal de las temperaturas alcanzadas como consecuencia de fuego

- Está directamente relacionado con el comportamiento del fuego

- Incide sobre:
  - la propagación (trasmisión de calor)
  - la extinción (dificultad agravada por las temperaturas)
  - los efectos del fuego (valores máximos de temperaturas y duración)

RÉGIMEN TÉRMICO

- Se cuantifica mediante:
  - las temperaturas máximas
  - los tiempos durante los cuales se superan diversas temperaturas críticas
    - 60 °C, temperatura letal para los tejidos vivos
    - 300 °C, refleja la fase de llamas de la combustión

- Variable según las características de la vegetación y posición de medición (en matorrales, restos de corta se suelen superar los 800 °C sobre el suelo y en el interior del combustible)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

- Seguimiento difícil de incendios (dificultad medición, seguridad...)

- Dos vías de estudio experimental:
  - en campo: mediante fuegos experimentales en parcelas generalmente < 1 ha
  - en laboratorio: ensayos en instalaciones de distintas dimensiones, en interior o al aire libre

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

- EN CAMPO
  - Ventajas
    - mayor acercamiento a la realidad
  - Inconvenientes
    - dificultad de conseguir parcelas (permisos)
    - laboriosidad instalación dispositivos de medición
    - condiciones climáticas difícilmente controlables

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

- EN LABORATORIO
  - Ventajas
    - medición precisa de las variables y parámetros
    - selección y reproducción de condiciones
    - ensayos menos laboriosos
  - Inconvenientes
    - reproducir las condiciones meteorológicas y de combustible reales
    - valores extremos de comportamiento
    - pequeña escala

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Dispositivo experimental del INIA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Proyecto FIRESTAR

SISTEMA PARA TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE COMBUSTIBLE EN LA INTERFAZ URBANO-FORESTAL

- Hábitat disperso
- Urbanizaciones en zona forestal

Implican:

- medio natural
- personas
- edificaciones

=> Técnicas de prevención y lucha diferentes

Proyecto FIRESTAR

* Problema desde hace años en EE.UU., Canadá y Australia, más recientemente en Europa, por aumento de la demanda de residencias en áreas forestales

* Financiación de dos Proyectos de Investigación por la Comisión Europea en el V Programa Marco

Proyecto FIRESTAR

Consorcio participante (16 equipos)
FRANCIA, ESPAÑA, PORTUGAL
FINLANDIA, AUSTRALIA y EE.UU.

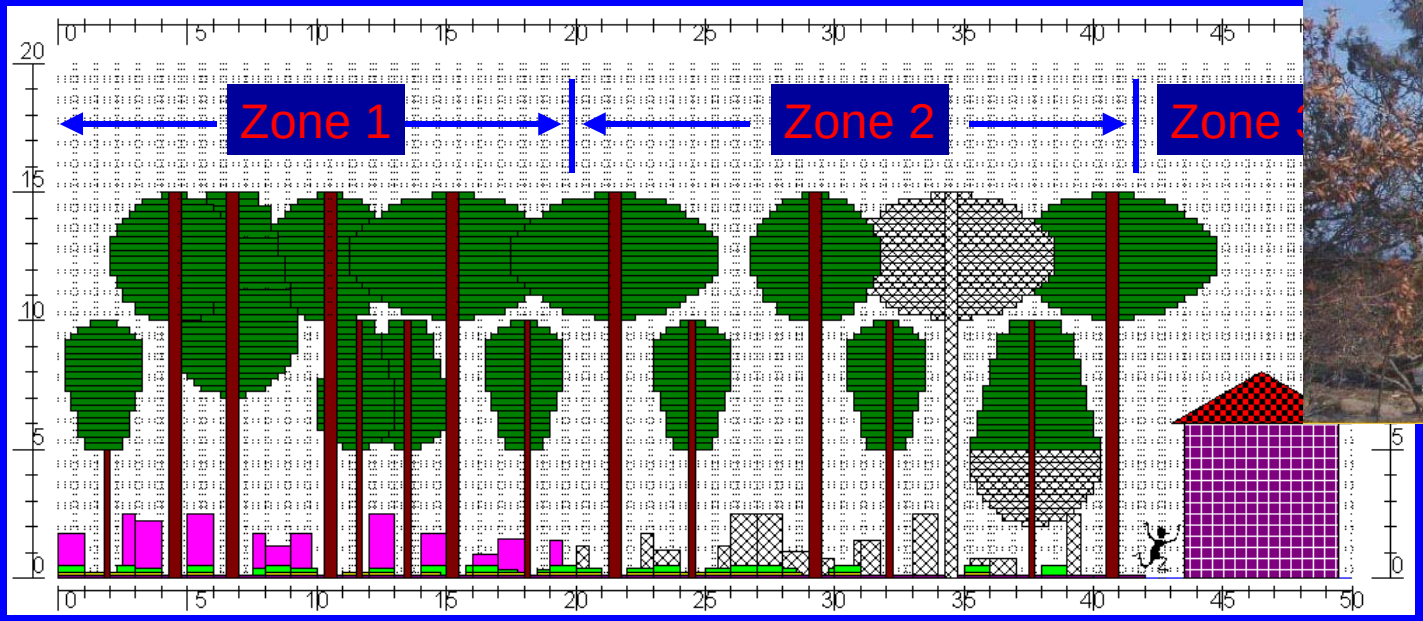
Tres años de duración

Objetivo final

- Desarrollar un Sistema para:
  - Analizar la eficacia preventiva del tratamiento del combustible forestal en la interfaz
  - Valorar los efectos de los incendios forestales sobre la población y los edificios

Proyecto FIRESTAR

* Tres zonas en la interfaz

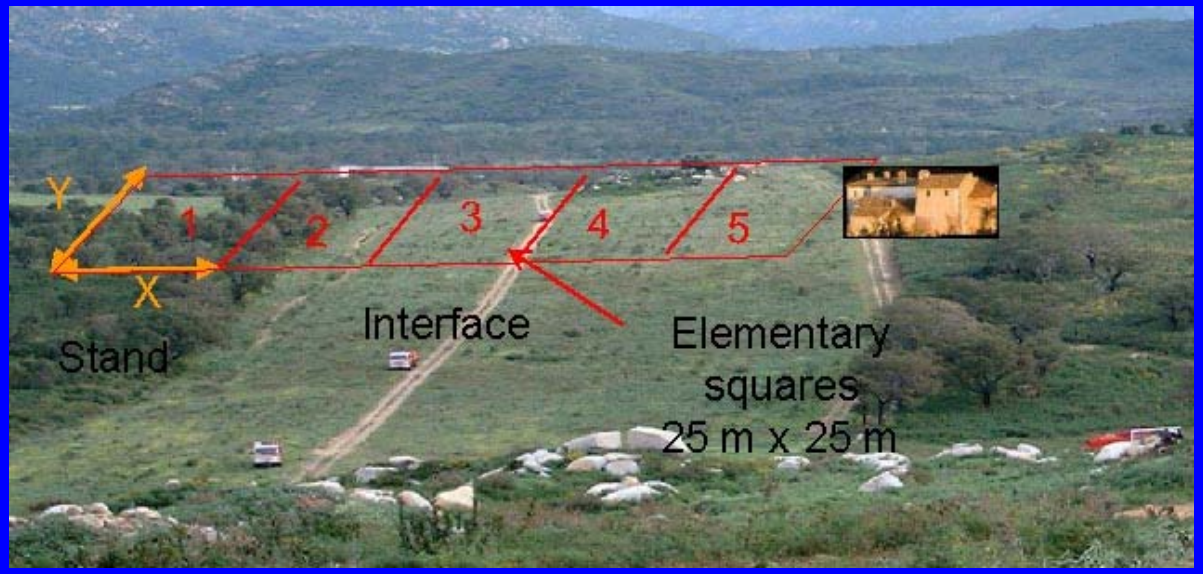


Modelo de predicción de comportamiento del fuego, de base física

Estudio de los efectos del fuego sobre:

- Personas
- Edificios

Proyecto FIRESTAR



Descripción y modelización del combustible

Modelo de predicción de comportamiento del fuego

Datos experimentales

- de laboratorio
- de campo

Proyecto FIRESTAR

- Estudio del comportamiento del fuego
- Ensayos para mejorar los sistemas de medición
- Quemas en España, Portugal y Francia

Proyecto FIRESTAR

Ecosistemas estudiados (identificados en colaboración con los usuarios finales)

- Matorral < 1 m (*Quercus coccifera*)
- Matorral 1 – 2 m con árboles dispersos (*Ulex*, *Erica*, 10 % de *Pinus pinaster*)
- Pinar adulto mixto (*Pinus halepensis* y *Quercus coccifera*)
- Pinar adulto puro (*Pinus pinaster*)
- Pinar bajo y denso (*Pinus pinaster*)
- Monte bajo (*Quercus ilex*)

Proyecto Saltus

MODELIZACIÓN DE SALTOS DE FUEGO

- Proyecto de Investigación Europeo
- Participantes: 10 equipos de 5 países del Sur de la UE: España, Portugal, Francia, Italia y Grecia.
- Objetivos:
  - Adquirir conocimientos sobre el fenómeno y los mecanismos implicados en los saltos de fuego
  - Desarrollar modelos de predicción de los saltos de fuego

SALTUS

SALTUS

* SALTOS DE FUEGO: proyecciones de partículas inflamadas o incandescentes (pavesas) por delante del frente de llamas, que pueden originar FOCOS SECUNDARIOS fuera del perímetro del incendio.

SALTUS

* Tienen importantes consecuencias sobre las estrategias de prevención y de extinción.

SALTUS

ESTUDIO Y SEGUIMIENTO DE INCENDIOS

Obtención de datos sobre:

* El fuego: modo y velocidad de propagación, características de las llamas, corrientes de convección y humo

* Las características de la vegetación en los lugares de emisión y de recepción de las pavesas

* Las características de las pavesas

* La topografía

* Las condiciones atmosféricas: temperatura y humedad relativa, velocidad y dirección del viento

Enfoque experimental

Seguimiento de incendios reales

SALTUS

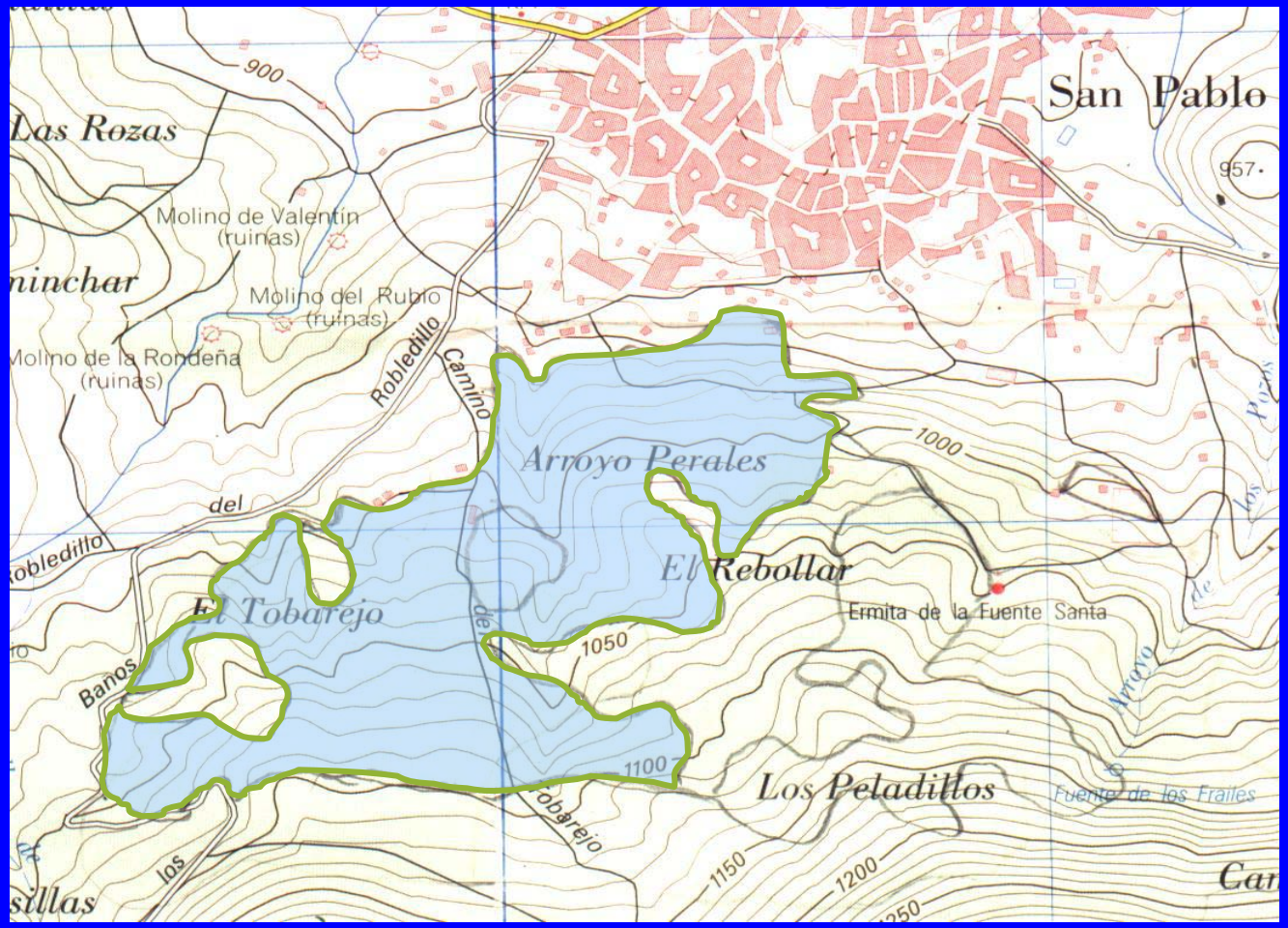
Aportación de CIFOR-INIA

Enfoque estadístico

Ejemplo de reconstrucción de salto

SALTUS

Aportación de CIFOR-INIA



1 km

SAN PABLO - 1 (Toledo)

02/08/99

Nº: 23-99

- **Inicio del incendio**
- **Dirección del viento**
- **Punto de emisión**
- **Punto de recepción**
- ***Pinus pinaster***
- ***Quercus pyrenaica* con matorral de *Cytisus multiflorus* y *Rubus* sp.**
- **Pasto con matorral de *Cytisus multiflorus* y *Rubus* sp.**

ESCALA ORIGINAL : 1/25.000

ENFOQUE EXPERIMENTAL

Inflamabilidad de diferentes cubiertas

Capacidad de iniciar un fuego como consecuencia de la caída de una pavesa inflamada

- humedad
- compactación

Capacidad de las pavesas para producir la ignición de diversas cubiertas

- pavesas inflamadas
- pavesas incandescentes

SALTUS

RESULTADOS GENERALES (1)

- Distancia media observada 228 m; máxima 2400 m
- Elevada cantidad de biomasa favorece la emisión de pavesas. Lo mismo ocurre con los fuegos de copas
- Pinares originan proyección de fragmentos de corteza, masas desarboladas favorables a la eclosión de focos secundarios

SALTUS

RESULTADOS GENERALES (2)

- Ráfagas de viento favorecen la emisión y el transporte de pavesas y la eclosión de focos secundarios
- Zonas de relieve abrupto son favorables a saltos a gran distancia
- Saltos más frecuentes durante el día, más largos, en general, durante la tarde
- Saltos largos más frecuentes cuando la superficie quemada es > de 10 ha, pero también en fuegos pequeños

EFECTOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

PAPEL ECOLÓGICO DEL FUEGO

- Composición y estructura de los bosques
- Selección y evolución de las especies
- Mantenimiento de la biodiversidad
- Regeneración de especies
- Movilización de nutrientes

EFECTOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

FACTORES IMPLICADOS

- FACTORES INTRÍNSECOS
  * INTENSIDAD
  * FRECUENCIA
  * MOMENTO DE PRODUCIRSE EL INCENDIO
  * TAMAÑO Y FORMA DEL INCENDIO

- FACTORES EXTRÍNSECOS (Condiciones locales)
  * ESTACIÓN (Clima, topografía, suelo..)
  * VEGETACIÓN (Estructura, composición florística, fenología...)
  * TIPO DE APROVECHAMIENTO

EFECTOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

- Efectos sobre la vegetación
  - Efectos directos
  - Dinámica post-incendio
- Alteraciones microclimáticas (Ausencia de vegetación → aumento de: iluminación, amplitud térmica, desecación...)
- Efectos en el suelo: mineralización de la MO (liberación rápida de nutrientes; aumento de pH; disminución de la porosidad..)
- Influencia sobre la fauna

EFECTOS DEL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

ESTRATEGIAS DE PERPETUACIÓN DE LAS ESPECIES

- Estrategia resistente: "bancos vegetativos"
  * adaptaciones que permiten a las especies sobrevivir al fuego anulando sus efectos nocivos: Cortezas gruesas, protección yemas apicales, rebrote..
- Estrategia resiliente: "bancos de semillas"
  * estimulación de la germinación: banco edáfico
  * estimulación de la dispersión: banco aéreo

Regeneración de *P.pinaster* tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla

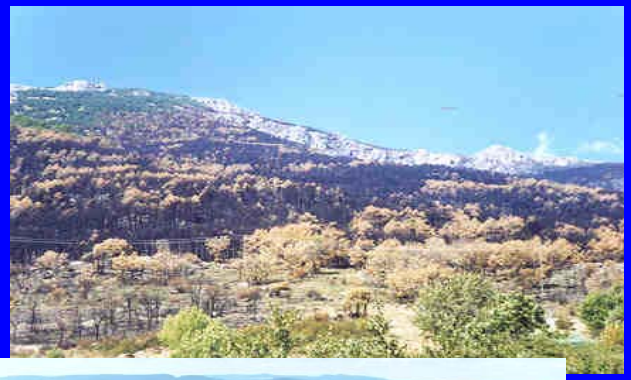
1.- Evaluar la situación actual de diversas regeneraciones post-incendio en distintos hábitats de esta especie, afectados por el fuego en períodos de tiempo diferentes ⇒ Cuantificar el papel de algunas variables ambientales sobre el proceso

2.- Obtener información cuantitativa sobre los factores más determinantes en el proceso de regeneración inmediatamente después del incendio

3.- Determinar la viabilidad de diferentes actuaciones selvícolas que favorezcan la regeneración.

Regeneración de *P.pinaster* tras incendios forestales

Línea 1
Caracterización del regenerado post-incendio y factores influyentes



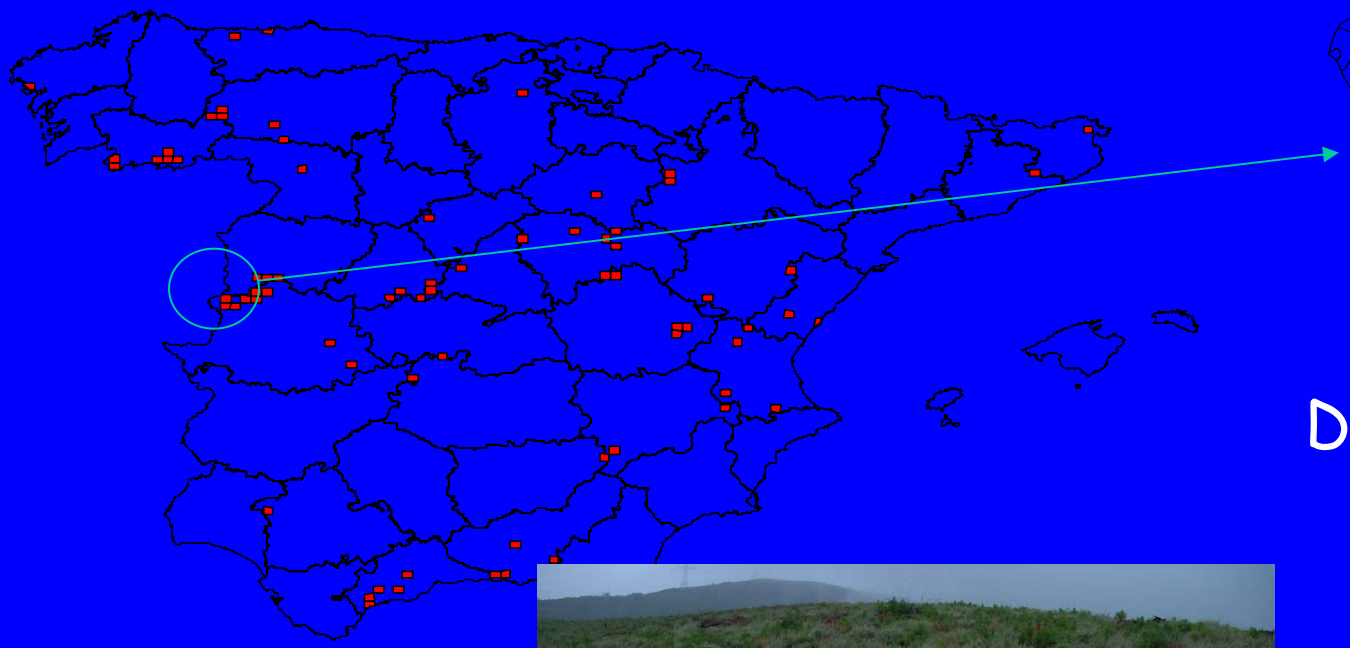
Línea 2
Influencia de la Intensidad del fuego en la regeneración

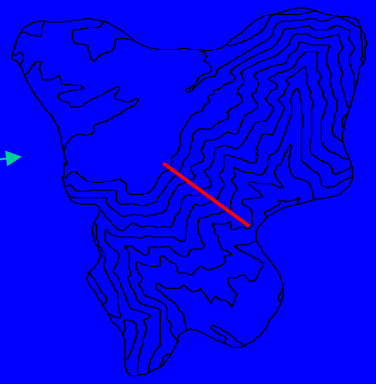
Línea 3
Medidas selvícolas más efectivas para apoyo al regenerado

CIFOR-INIA
CIF-LOURIZÁN

Línea 1: Caracterización de la regeneración post-incendio de *P. pinaster*. Estudio de grandes incendios

CIFOR-INIA

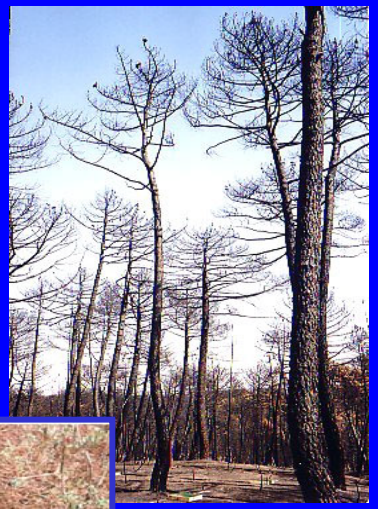


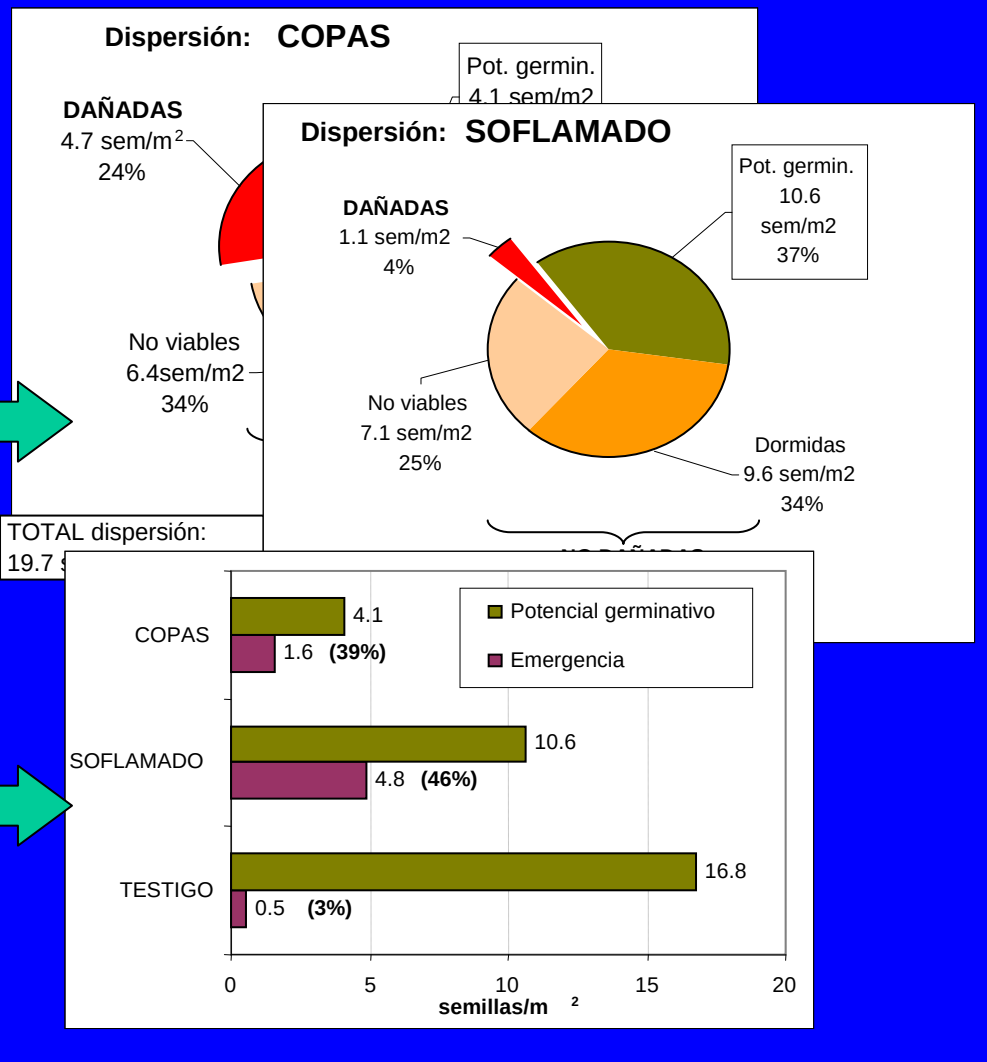


Descargamaría

Línea 2: Influencia de la intensidad en el regenerado inicial: banco de semillas y daños al suelo

INCENDIOS REALES

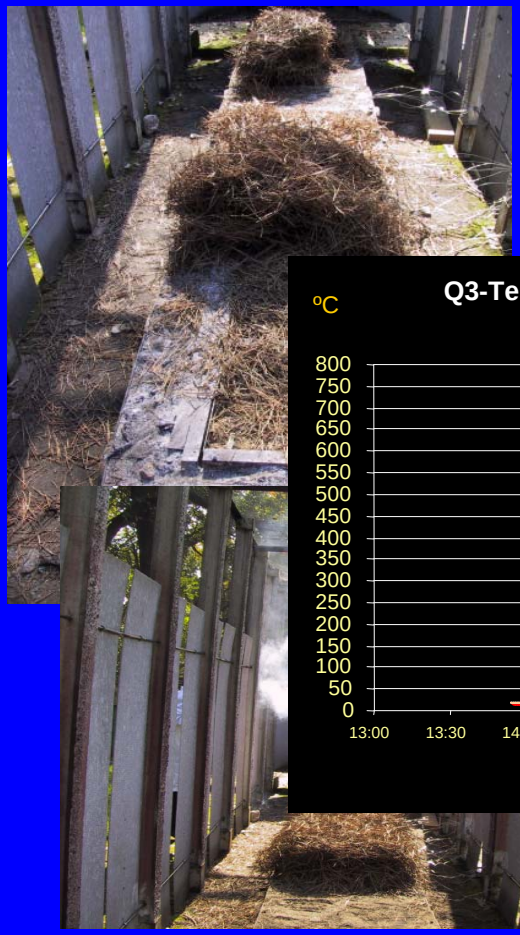


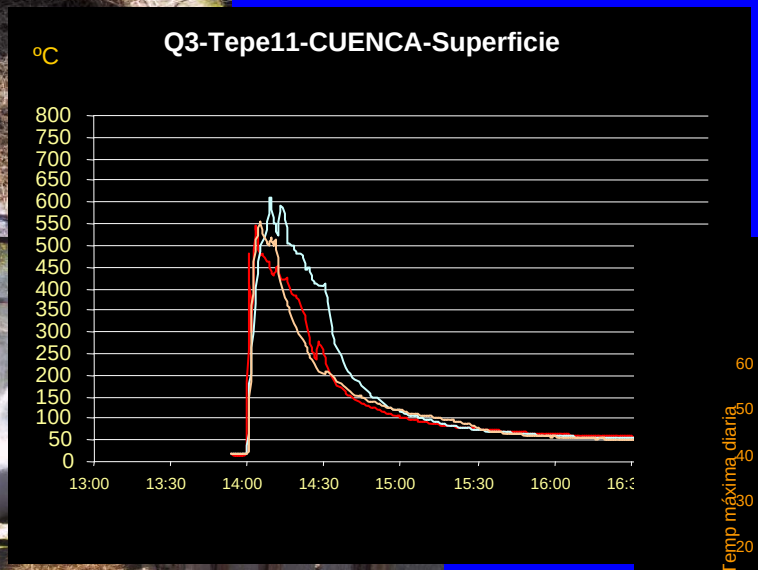


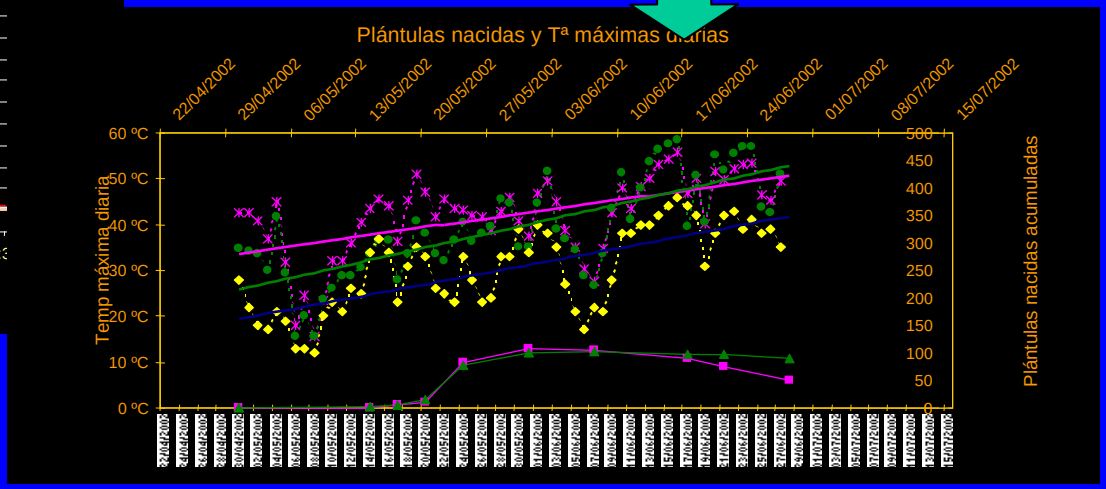
CIFOR-INIA

Línea 2: Influencia de la intensidad en el regenerado inicial: banco de semillas y daños al suelo

ENSAYOS EN LABORATORIO







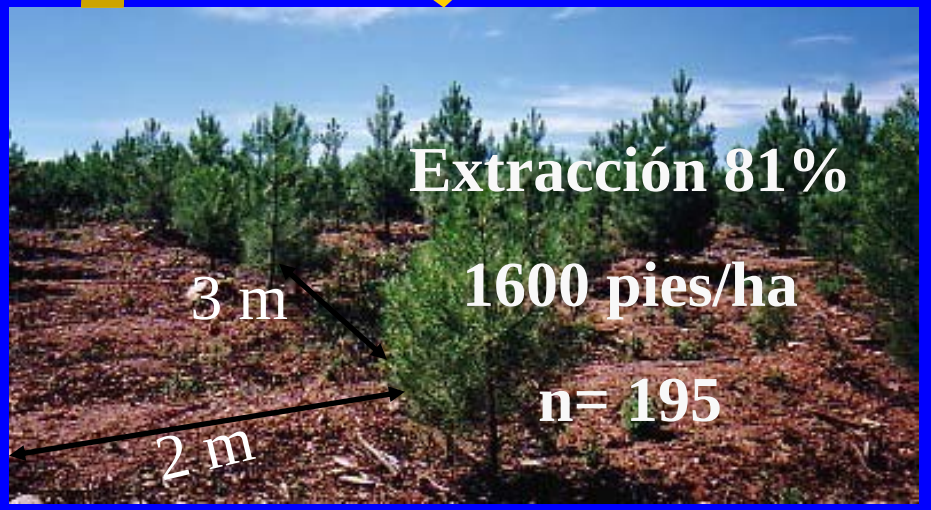
CIFOR-INIA

Línea 3: Respuesta a distintas intensidades de tratamiento en masas de *P.pinaster* con abundante regeneración

CIFOR-INIA

A

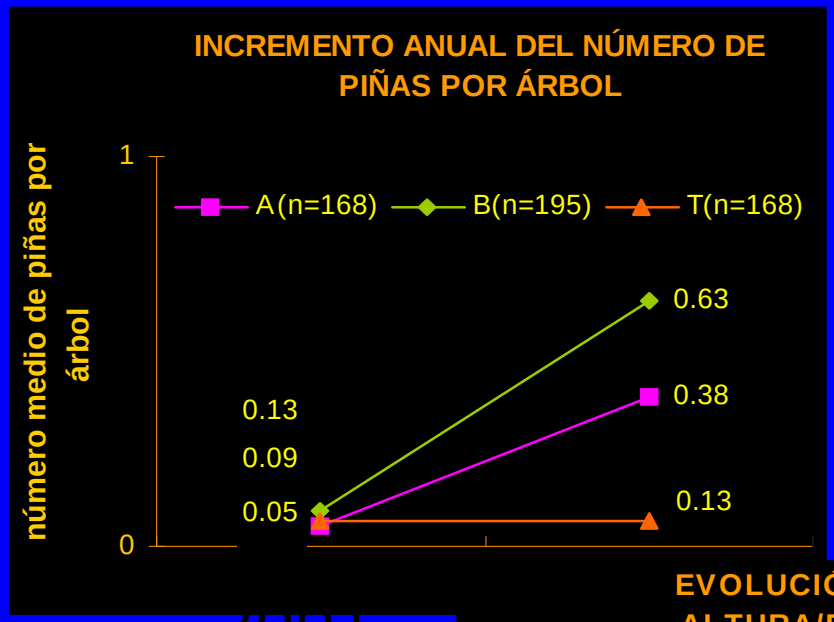
B

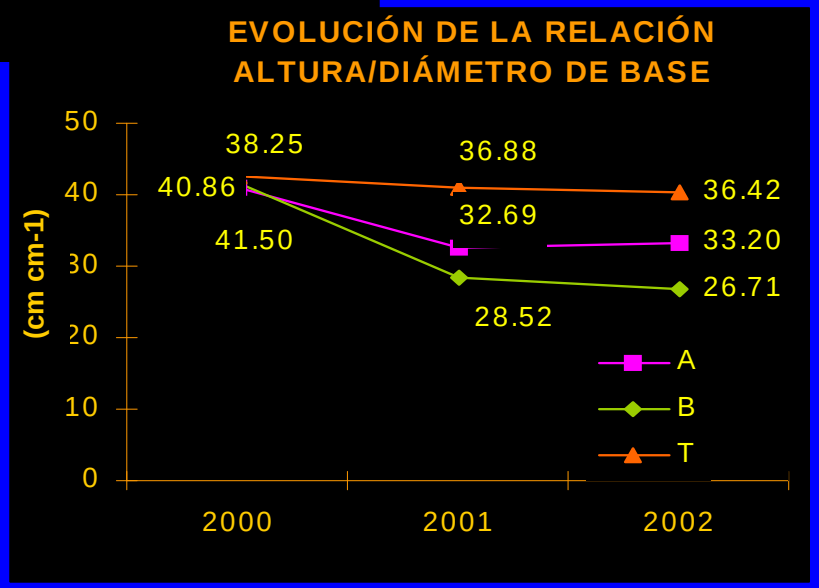


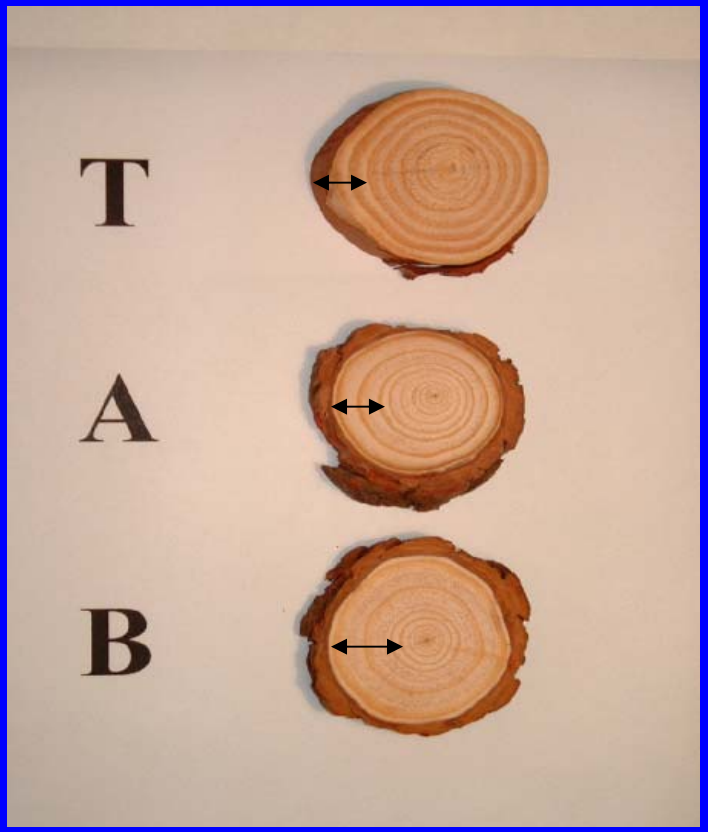
Línea 3: Respuesta a distintas intensidades de tratamiento en masas de *P.pinaster* con abundante regeneración

CIFOR-INIA

Resultados preliminares







Optimización de sistemas de detección infrarroja

Participantes
CIFOR-INIA
UNIVERSIDAD CARLOS III
Financiación: Comunidad de Madrid

OBJETIVOS:

- Mejorar y optimizar los sistemas de detección infrarroja para su uso en detección de incendios forestales
- Obtener sistemas de fácil manejo y bajo coste de mantenimiento
- Introducir nuevas tecnologías que sirvan de herramienta en las labores de control y extinción de incendios forestales

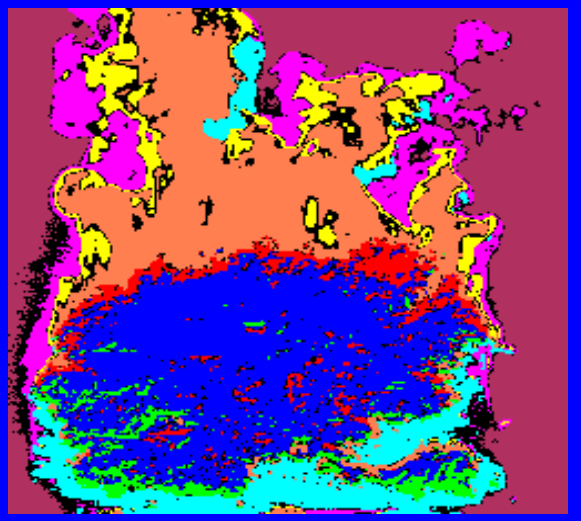
Optimización de sistemas de detección infrarroja

Epirradiador y
espectrorradiómetro

Mesa de quemas y
cámaras IR y visible

Optimización de sistemas detección infrarroja

CÁMARAS
- MIR
- TIR
- VISIBLE



CIFOR-INIA

EUFIRELAB

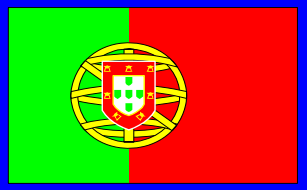
Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory : un laboratorio sin- paredes para las Ciencias y Tecnologías sobre los Fuegos Forestales en la Región Euro-Mediterránea

EUFIRELAB: Resumen

- Este "laboratorio" surge con el objetivo de crear un eficaz "Área de Investigación Europea en el ámbito de los fuegos forestales" que mejore el estado de la ciencia y la tecnología en este campo, y una rápida y sistemática transferencia hasta los usuarios finales.
- EUFIRELAB se estructura en 10 unidades para
  - reforzar la cooperación entre equipos o grupos Euro-Mediterráneos,
  - activar amplios intercambios tanto de conocimiento como de saber hacer (know-how),
  - desarrollar conceptos, "lenguajes" y enfoques comunes entre equipos,
  - fomentar el uso en común de medios de investigación y / o desarrollos tecnológicos

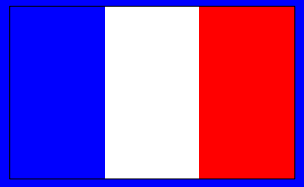
http://www.eufirelab.org

EUFIRELAB Consorcio

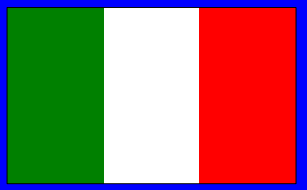


IST.DEM
ADAI.LEIF
UAVR.DAO
UTMAD.DF

USEV.DISA
TYPSA.DEF
CEAM
INIA.CIF
UCAR.DF
XG.CAGM.CIFL
UCLM.CMA.DMA
UALH.DG
ULLEIDA.PV
CREAF
CSIC.IEGA
UCOR.IF

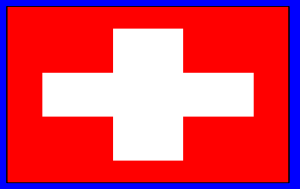


INRA.AV.PIF
UAM1.IUSTI
ARMINES.M.PS
ARMINES.A.EI
CGREF.AP.FM
EIPFI.CEREN
EPHE.SSV.LBEV
UNICE.GVE
CNRS.LEMTA
ENSMP.PS
ENSTIMA.LGEI
CNRS.IUSTI
CNRS.GVE

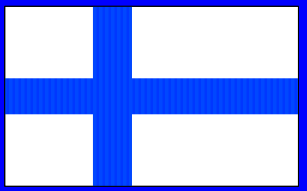


UTRN.DAST
CNR.IES.SCS
CNR.IATAA

ALGOSYS.AR
UAT.DES
MAIC.DEM
UTHESS.FN.FM
NARF.IMFE



UZUR.DG.GIS



FFRI.VRC

CIFOR-INIA

Muchas gracias

Más información:

http//www.inia.es

Carmen Hernando: fuego@inia.es
Mercedes Guijarro: guijarro@inia.es
Javier Madrigal: incendio@inia.es