

## Grupo de trabajo de Monitorización

### Resumen del cuestionario

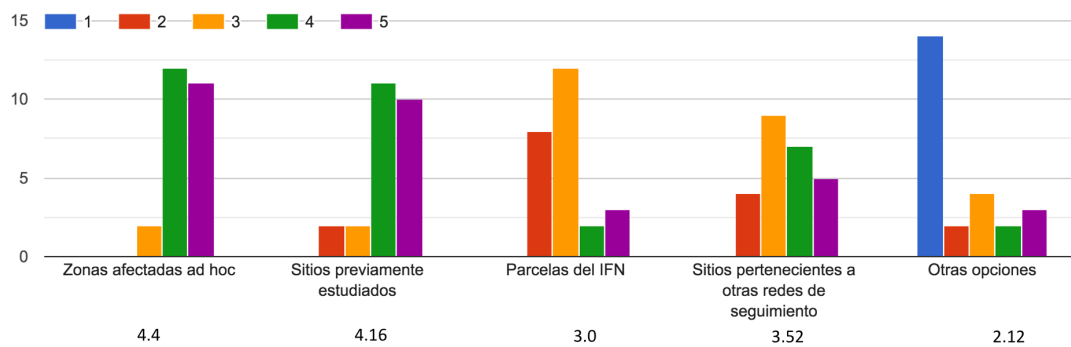
Encuestados: miembros de ReDeC. Fecha: octubre 2025. Número de respuestas: 25.  
Valores: puntuaciones promedio.

#### 1- Objetivos de la monitorización

Conocer las causas y determinar señales de alerta temprana (early warning signals) serían los principales objetivos, seguido por conocer las consecuencias. En menor medida, aparece testar actuaciones (pero véase el resultado de la pregunta 3) y calibrar modelos.

#### 2- Localización, atendiendo al sistema de seguimiento

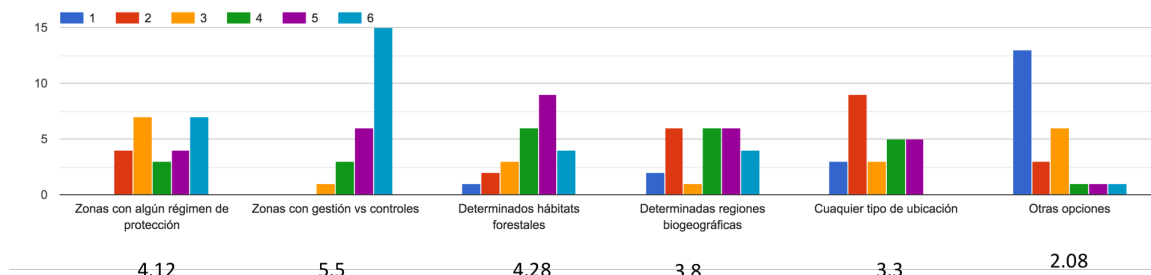
¿Dónde monitorizar, atendiendo al sistema de seguimiento? Ordena las opciones puntuándolas de 1 a 5, indicando el 5 la máxima prioridad y el 1 la mínima prioridad (sólo se admite una puntuación por opción)



Se apuesta por buscar sitios con información de la existencia de decaimiento, en la medida de lo posible (pero no exclusivamente) en lugares previamente estudiados. Otras redes de seguimiento pueden tenerse en cuenta, pero no parece esencial; el IFN no parece una fuente particularmente interesante.

### 3- Localización, atendiendo a las características de los bosques

¿Dónde monitorizar, atendiendo a la ubicación del bosque? Ordena las opciones puntuándolas de 1 a 6, indicando el 6 la máxima prioridad y el 1 la mínima prioridad (sólo se admite una puntuación por opción)



Hay un gran interés en monitorizar zonas con gestión vs controles (aunque no se refleja en los objetivos principales de la monitorización). Parece importante considerar determinados hábitats forestales, pero no tanto estratificar por regiones biogeográficas. Se valora que los sitios estén en áreas con algún tipo de protección.

### 4- Variables fisiológicas

Se han propuesto diversas variables que se han agrupado en categorías relacionadas con el estado/balance hídrico, fotosíntesis, estructura, bioquímica y temperatura. Las variables que más aparecen están relacionadas con: 1) **estado hídrico**; 2) **fotosíntesis**; 3) **arquitectura/estructura**; 4) **bioquímica** y 5) **temperatura**.

Alguna respuesta incluía variables relacionadas con teledetección (NDVI, reflectancia) o la temporalidad de muestreo, que no se han incluido en este resumen puesto que no son variables fisiológicas *per se*.

Grupo funcional	Categoría	Variables propuestas
Hidráulica y balance hídrico	Estado hídrico	Potencial hídrico (incl. al amanecer/predawn); Contenido de agua de planta/hoja/tronco (RWC); Relaciones hídricas; plant water content; water potential
	Flujo de savia y transpiración	Flujo de savia (tasa; sensores permanentes); Transpiración/flujo de agua; sap flow
	Propiedades hidráulicas	Conductividad hidráulica
Estado funcional del aparato fotosintético	Fotosíntesis e intercambio gaseoso	Tasa/actividad/capacidad fotosintética; Conductancia estomática; Intercambio gaseoso; Respiración; Parámetros y cinética de fluorescencia de clorofila (ChlF)

	Pigmentos y óptica foliar (in situ)	Contenido de clorofila (SPAD); Pigmentos (carotenoides, etc.)
Arquitectura y dinámica estructural	Fenología y defoliación	Fenología foliar; Grado de defoliación; Coloración de hojas
	Rasgos y estructura foliar/canopy	LAI (Índice de Área Foliar); LMA (masa por área de hoja); Tamaño de hojas del año; Índice de Huber (arquitectura hidráulica hoja–madera)
	Crecimiento y dinámica del tronco	Crecimiento (resolución diaria/sub-diaria); Crecimiento secundario con dendrómetros; Variaciones de diámetro del tronco
Estado térmico y balance energético	Temperatura foliar	Temperatura de la hoja (leaf temperature)
Indicadores bioquímicos y trazadores	Isótopos y marcadores bioquímicos	Isótopos C–O–N; Prolina en hoja; Carbohidratos

## 5 - Variables demográficas

Corresponde a un conjunto de variables demográficas y sanitarias que evalúen la pérdida de vitalidad de los individuos y la capacidad de recuperación del ecosistema.

Entre las variables que se han considerado esenciales destaca, en primer lugar, **la mortalidad**, cuya cuantificación y seguimiento temporal se considera el indicador más directo del avance del decaimiento. En segundo lugar, la **regeneración y el reclutamiento**—incluyendo la presencia/ausencia, densidad y supervivencia del regenerado—, se consideran fundamentales para valorar la capacidad de reposición generacional y la resiliencia del rodal. En tercera posición, el **crecimiento** de los individuos, medido mediante incrementos en diámetro o altura, se considera clave para aportar información adicional sobre el estado fisiológico y las respuestas al estrés. Seguidamente, la **densidad y estructura del rodal**, junto con el **esfuerzo reproductivo** (fructificación y germinación), se indican como importantes para anticipar posibles cambios en la composición del bosque. Finalmente, y aunque no puede considerarse una variable demográfica, el **estado sanitario**, evaluado mediante indicadores como defoliación, transparencia de copa o presencia de patógenos, proporciona claves para interpretar las causas y manifestaciones del decaimiento

Categoría	Variables clave
Mortalidad	Mortalidad total; Tasa de mortalidad por clases de edad
Regeneración y reclutamiento	Presencia/ausencia de regenerado; Densidad de plántulas y brinzales; Supervivencia del regenerado
Crecimiento	Incremento radial; Crecimiento en altura; Indicadores de vigor
Densidad y estructura del rodal	Número de pies; Distribución diamétrica; Composición específica
Producción reproductiva	Fructificación; Producción de semilla; Capacidad de germinación
Estado sanitario y daño visible	Defoliación/transparencia de copa; % de pies afectados; Presencia de patógenos o muérdago; Intensidad del daño

## 6 - Variables dendrológicas

Las variables dendrocronológicas se han agrupado en 5 grupos relacionados con: 1) **crecimiento radial**; 2) **estructura** del árbol; 3) **propiedades hidráulicas**; 4) la **resiliencia** a eventos extremos; y 5) **indicadores bioquímicos**.

Grupo funcional	Categoría	Variables propuestas
Crecimiento radial y acumulación de biomasa	Crecimiento diametral y anillos	cambios en diámetro de xilema; cambios en diámetro de xilema+floema; variables derivadas; DBH; BAI; TRW; ancho de anillos; crecimiento anual; crecimiento secundario; crecimiento diametral; crecimiento con dendrómetros
Arquitectura y estructura del árbol	Dimensiones del árbol	altura del árbol; volumen de copa; transparencia de copa; área basal; biomasa; diámetro copa viva; superficie de copa; densidad de pies/ha
Anatomía y propiedades hidráulicas	Rasgos anatómicos	grosor de paredes de traqueidas; tamaño de traqueidas/vasos; densidad de la madera; conductividad hidráulica (a partir de anatomía); producción de conductos resiníferos
Resiliencia y respuesta a eventos extremos	Métricas de resiliencia	BAI pre-tratamiento; BAI post-tratamiento; BAI en años de sequía; resistencia; recuperación; resiliencia
Indicadores bioquímicos y edad	Otros indicadores	isótopos; edad; alometrías; longitud de acículas del año en curso

## 7- Integración de teledetección y monitorización en campo

Cabe destacar la importancia de (1) una **geolocalización** precisa, (2) una buena correspondencia de la **resolución** entre medidas de campo y de teledetección, (3) una adecuación de la **escala** (árbol, rodal, monte) y de las **medidas de teledetección** a los procesos evaluados.

Categoría	Consideraciones clave
Localización	Coordenadas precisas, topografía
Tiempo	Sincronización en las medidas de campo y teledetección. Estacionalidad. Centralización de la información.
Resolución	Tamaño de parcela equivalente al pixel
Escala	Árbol, parcela, paisaje. Integración funcional de diferentes escalas que consideren diferentes procesos ecológicos
Medidas de teledetección	Multiespectral, hiperespectral, térmico, LiDAR, SAR, espectroradiometría, fotogrametría, acorde con los procesos evaluados

## 8- Agentes bióticos

Se han agrupado las respuestas en cinco grandes grupos relacionados con: 1) **diagnóstico**; 2) **diseño** de muestreo; 3) **microbiota y patógenos**; 4) **planificación/gobernanza**; y 5) otras consideraciones.

Categoría	Variables propuestas
Diagnóstico y caracterización	Buena caracterización de sintomatología y patrones; presencia/ausencia y actividad; identificar agentes primarios y secundarios; métodos de detección y diagnóstico; Analizar presencia/ausencia en lugares con decaimiento; diferencias entre presencia de patógenos y afectación real
Diseño del muestreo	Distribución espacial de los árboles; análisis a nivel de parcela sobre incidencia de patógenos; Realizar muestreos periódicos; Evaluaciones en las 4 estaciones; Monitoreos intensivos en fases claves; sincronizar con toma de datos fisiológicos y ambientales; Muestrear todas las partes del árbol (vuelo y suelo); definir épocas del año a muestrear
Microbiota y patógenos del suelo	Estudiar microbiota del suelo y raíces: diversidad, funcionalidad, organización; evaluar posibles patógenos descritos y su título
Planificación y gobernanza	Disponer de expertos que guíen la toma de datos; Estudios previos e incluir colaboradores; Expertos que evalúen; Trabajo coordinado con patólogos y entomólogos; Formación y protocolos de muestreo adecuados; requisitos, diseño y estrategia; técnicas de muestreo; considerar dificultades de aislamiento y tiempos; Gestión previa del monte/parcelas
Otras consideraciones	Complejidad de la dinámica del patógeno; escala temporal

## 9- Datos ambientales

Se identifican tres grandes grupos de variables cuya medición resulta fundamental. En primer lugar, las **variables climáticas atmosféricas** —incluyendo temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, radiación solar y el déficit de presión de vapor (VPD)— constituyen la base para evaluar el estrés hídrico y térmico que afecta directamente al funcionamiento fisiológico de los árboles. En segundo lugar, las variables relacionadas con el **agua en el suelo** —contenido de humedad, potencial hídrico, temperatura del suelo y dinámica del flujo de agua— son esenciales para determinar la disponibilidad real de agua para las raíces, uno de los factores más determinantes en episodios de decaimiento. Su complementariedad con indicadores hidrometeorológicos, como la evapotranspiración o índices climáticos integradores (ej. SPEI), permite interpretar la intensidad y frecuencia de eventos de sequía. Finalmente, variables de **contexto edáfico, topográfico y microclimático** aportan información clave para comprender la heterogeneidad espacial del decaimiento. Características como textura, pH, materia orgánica, profundidad efectiva del suelo o la topografía condicionan la capacidad de retención hídrica y las condiciones microclimáticas locales, modulando la vulnerabilidad del bosque.

Categoría	Variables clave
Clima atmosférico	Temperatura del aire; Humedad relativa; Déficit de presión de vapor (VPD); Radiación solar/PAR; Velocidad del viento
Hidrometeorología	Precipitación; Evapotranspiración; Índices climáticos (SPEI)
Suelo – contenido y dinámica del agua	Humedad del suelo; Potencial hídrico del suelo; Temperatura del suelo; Flujo de humedad en suelo
Características edáficas (medición puntual)	Textura; pH; Materia orgánica; Relación C/N; Profundidad del suelo; Capacidad de retención de agua
Microclima y topografía	Variables microclimáticas locales; Condiciones topográficas

## 10- Frecuencia y duración de la monitorización

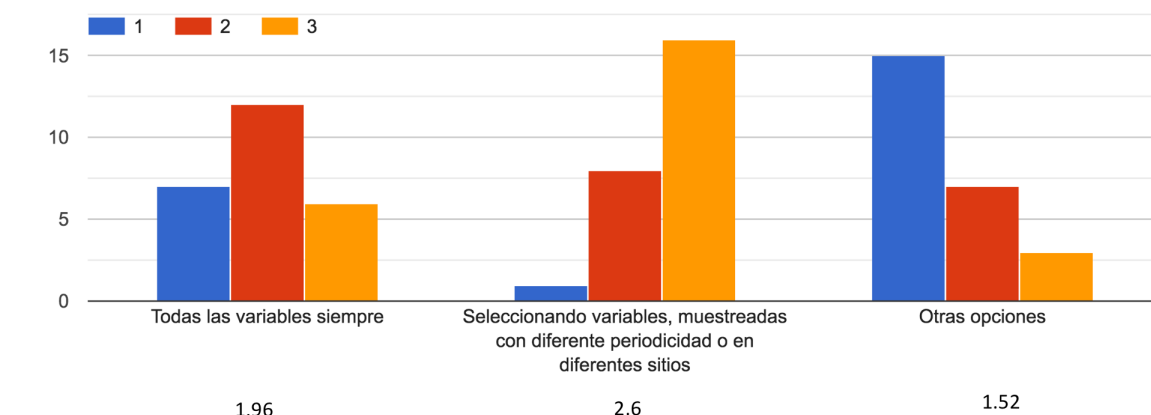
Las respuestas recogidas indican un amplio consenso en que la frecuencia y la duración de la monitorización deben adaptarse al tipo de variables evaluadas, combinando mediciones frecuentes para procesos rápidos con intervalos más amplios para cambios demográficos o estructurales. En términos generales, las **variables fisiológicas y ambientales requieren mediciones frecuentes** (desde continuo mediante sensores automáticos, hasta periodicidades estacionales o mensuales), debido a su alta variabilidad temporal y su sensibilidad al estrés hídrico o térmico. Por el contrario, las **variables demográficas, dendrométricas o estructurales pueden monitorizarse con menor frecuencia (anual o incluso cada 3–5 años)**, dada su mayor estabilidad. Existe un acuerdo claro respecto a la necesidad de mantener las series temporales durante largos periodos, con **duraciones mínimas recomendadas de 5–10 años** para capturar episodios de sequía y tendencias emergentes, y plazos ideales que se extienden a varias décadas para analizar patrones de legados ecológicos y cambios poblacionales a largo plazo. De forma operativa, la monitorización estacional (primavera, verano en pico de estrés, otoño tras lluvias significativas) aparece como un esquema óptimo para integrar la dinámica ambiental y la respuesta fisiológica, mientras que un muestreo anual resulta suficiente para la mayoría de variables demográficas.

Tipo de variable	Frecuencia y duración recomendada
Variables fisiológicas	Alta frecuencia: continuo, semanal o estacional. Duración mínima 5–10 años.
Variables ambientales	Continuo o estacional. Duración ideal >10 años.
Variables demográficas	Periodicidad anual. Duración 10–15 años o más.
Variables dendrométricas	Cada 3–5 años. Duración pluridecadal cuando sea posible.
Variables bióticas (patógenos, plagas)	Variable según agente; al menos anual. Duración 5–10 años.
Esquemas estacionales	Final de primavera, pico de estrés estival, otoño tras lluvias.



## 11- Selección de variables

¿Qué estrategia de medidas seguirías? Ordena las opciones puntuándolas de 1 a 3, indicando el 3 la máxima prioridad y el 1 la mínima prioridad (sólo se admite una puntuación por opción)



Existe consenso en establecer una jerarquía de variables muestreadas, con diferente periodicidad atendiendo a sus características e importancia.

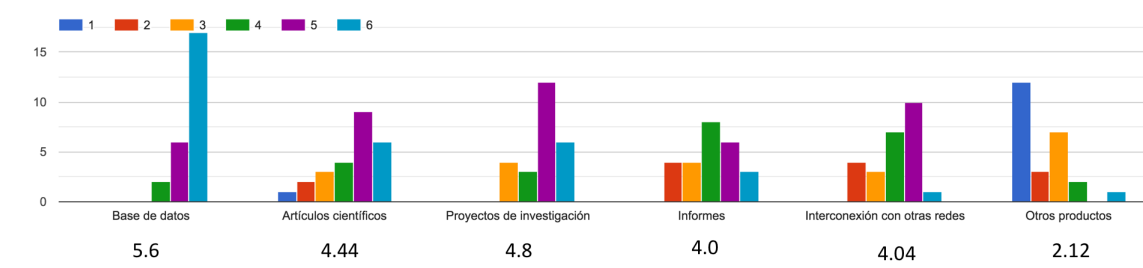
## 12- Gestión de la información

Es un aspecto que requiere particular atención, tanto por la propia complejidad de los datos como de las connotaciones de uso. Aparecen muchos aspectos a considerar (ver cuadro resumen) que requerirán un gran esfuerzo para su puesta en marcha y requiere una planificación previa. Se pueden identificar tres líneas de trabajo: Primero, asegurar la continuidad en la recopilación y almacenaje de información con la capacidad de implementar mejoras. Ello requiere (1) un centro de referencia que asegure la estabilidad y (2) un grupo con capacidad de mantener la información e implementar mejoras en su gestión. Idealmente convendría tener recursos específicos para la gestión de la información, pero hay que pensar escenarios alternativos. Segundo, constituir un grupo de trabajo específico sobre aspectos técnicos (metadatos, formato, estandarización). Tercero, constituir un grupo de trabajo sobre la gobernanza de los datos que incluya reglas de acceso y uso, y un plan de publicaciones ligado a objetivos.

Proceso	Elementos clave
Recopilación/Ingreso	Armonización de variables y formatos. Estandarización (manuales, fichas). Coordinación de la recopilación. Automatización. Control de calidad y depuración. Buenos metadatos, según normativa). Trazabilidad.
Custodia	Almacenamiento estable a largo plazo. Centralizado
Procesamiento	Automatización. Scripts. Calidad. Revisión continuada
Uso	Reglas de acceso, análisis, trazabilidad, publicación, disponibilidad, autoría, embargo Restringido a Participantes (acceso, productos) vs Acceso Abierto Plan de publicaciones Documentos de síntesis o parciales Integración con otros datos

### 13- Productos de la monitorización

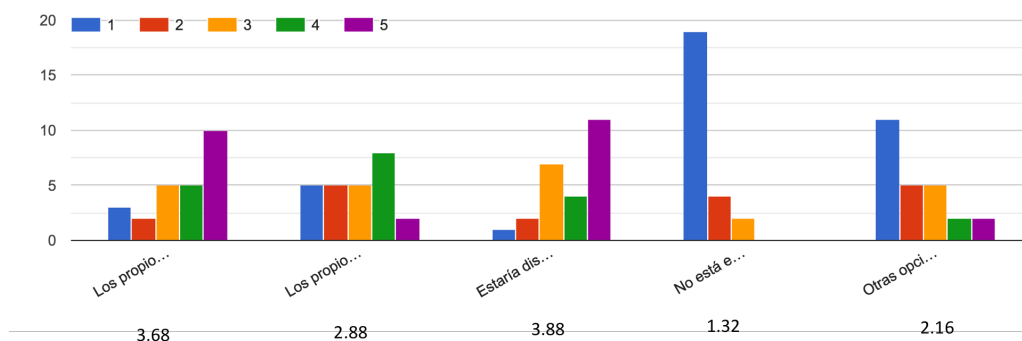
¿Qué productos consideras más interesantes como resultado de la red de monitorización? Ordena las opciones puntuándolas de 1 a 6, indicando el 6 la máxima prioridad y el 1 la mínima prioridad (sólo se admite una puntuación por opción)



Se pone en valor la generación de una base de datos compartida y que la red de monitorización sirva para desarrollar proyectos de investigación.

## 14- Recursos para la monitorización

¿Con qué recursos cuentas para llevar a cabo la monitorización? Ordena las opciones puntuándolas de 1 a 5, indicando el 5 la máxima prioridad y el 1 la mínima prioridad (sólo se admite una puntuación por opción)



Aunque la primera opción es conseguir recursos específicos para la monitorización, existe una cierta capacidad de los grupos, o algunos de ellos, para implementarla en 1-2 años. No obstante, se reconoce un apreciable nivel de incerteza en este sentido. Cabe destacar la muy baja valoración de descartar la realización de la monitorización.

## 15- Grupos interesados

13 muestras de interés, 6 grupos de investigación, 9 centros, 1 administración autónoma, 3 investigadores sin compromiso institucional

- UPV/EHE: Raquel Esteban, Asier Herrero
- CREAM: Josep M. Espelta, Jordi Martínez Vilalta, Rafael Poyatos, Francisco Lloret
- EEZ-CSIC: Manuel Fernández López, Ana Lasa
- Universidad Pablo Olavide: Raul Sanchez Salguero, Juan C. Linares, Jose A. Carreira
- Rut Aspizua Cantón (Junta de Andalucía)
- UEX: Grupo de Investigación Forestal / INDEHESA: G. Moreno
- ICIFOR: Grupo de Dinámica, modelización y gestión: Carmen Romeralo, Jorge Aldea, Marta Pardos, Rafael Calama, Miren del Río
- Grupo de Ecología Funcional de Especies Forestales (INIA-CSIC): Guillermo Gea Izquierdo
- Grupo UPM-Montes FORESCENT: Rosana Lopez, Martin Venturas, Jesús Rodríguez, Roberto Salomón
- Universidad de Alcalá: Enrique Andivia
- CTFC: Álvaro Cortés Molino
- Cristina Acosta-Muñoz
- Julen Astigarraga