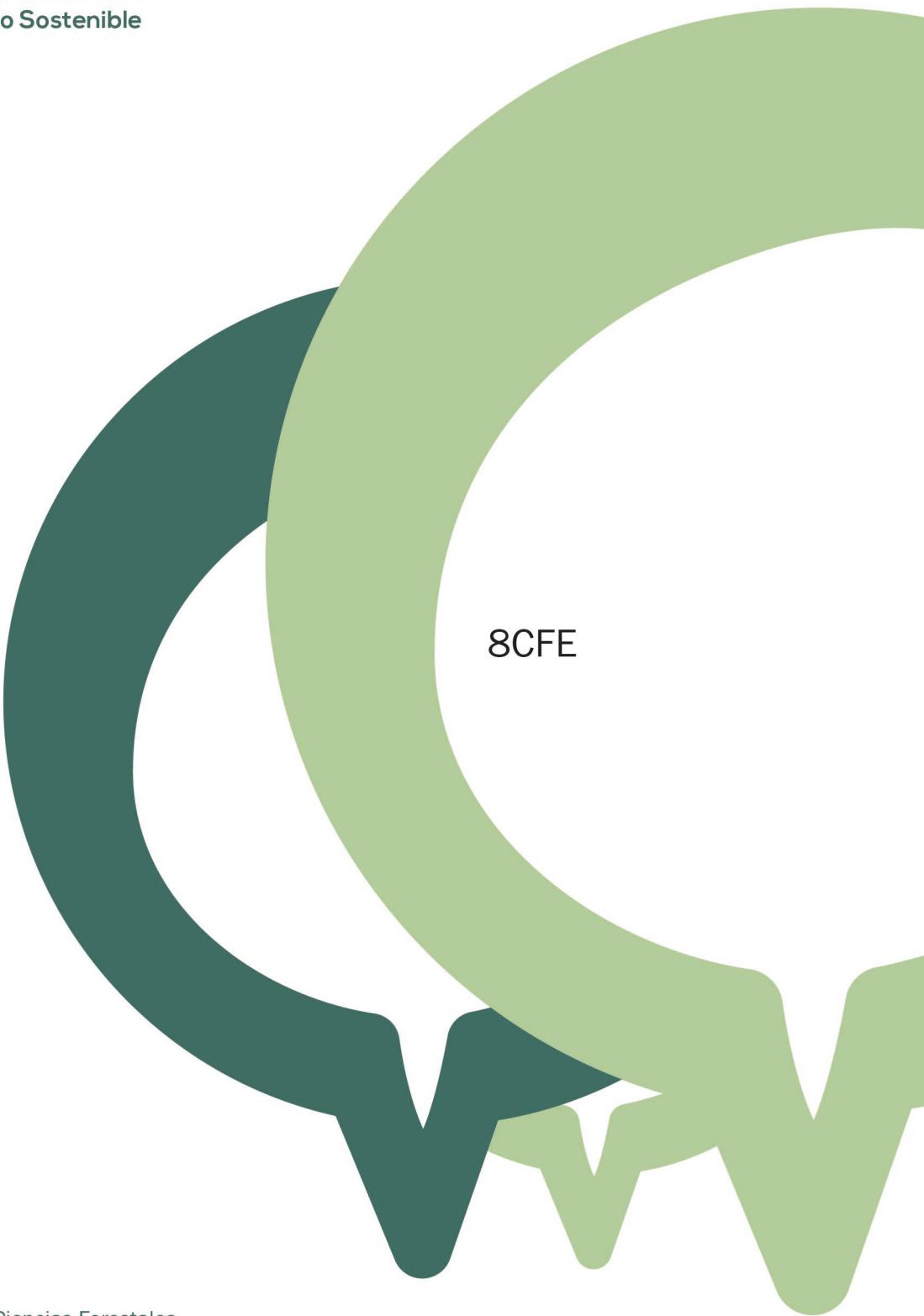




8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

---

Organiza



## Variación de la humedad del suelo en diversos entornos forestales del País Vasco

CANTERO AMIANO, A.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Fundación HAZI Fundazioa. Granja Modelo s/n. 01192 Arkaute (Álava). [acantero@hazi.eus](mailto:acantero@hazi.eus)

### Resumen

El suelo forestal es un factor decisivo en el crecimiento de los árboles y en la aparición de problemas de decaimiento, dependiendo de su textura, profundidad, contenido en nutrientes y dinámica de la humedad edáfica. La medición de esos factores edáficos es una tarea costosa, aunque la aparición de estaciones automatizadas de medición continua de la humedad del suelo permite instalar sensores de humedad del suelo y emitir esos datos vía tarjeta SIM, por lo que pueden ser consultados y descargados en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado.

Recientes proyectos forestales, como POCTEFA Acclimafor (2019-2022), han permitido a HAZI instalar y mantener este tipo de estaciones automatizadas en diversos puntos del País Vasco. Desde 2012, se dispone de los datos correspondientes a varios años de medición para conocer la variación de la humedad edáfica, a diversas profundidades (15 y 30 cm) y bajo una plantación de abeto Douglas, hayedo y desarbolado.

El objetivo, además de conocer la dinámica de la humedad del suelo en zonas con decaimiento forestal, es relacionar esa dinámica con el crecimiento forestal y con la disponibilidad de recursos hídricos con y sin cubierta arbolada. Los datos recogidos son confrontados con los datos de estaciones meteorológicas próximas.

### Palabras clave

Sensores de humedad, tensión hídrica, profundidad, abeto Douglas, hayedo.

### 1. Introducción

Conocer la dinámica de la humedad del suelo en diversos entornos forestales no es una tarea sencilla. Diversos factores climatológicos (precipitación, temperaturas, humedad ambiental) van variando a lo largo del año, lo mismo que la demanda de agua por parte de las raíces de los árboles y del sotobosque, en una dinámica que depende también de otros factores que intervienen localmente, como el tipo de suelo (textura, profundidad) o de ladera (pendiente, exposición). Todos esos factores pueden aumentar o limitar el contenido de agua en el suelo y, por tanto, el crecimiento de los árboles.

Aunque en el País Vasco se cuenta con la extensa red de estaciones meteorológicas de la red Euskalmet, se echan en falta datos sobre la dinámica de la humedad edáfica en entornos forestales.

A través de diversos proyectos europeos, HAZI ha dispuesto de una serie de estaciones automatizadas para conocer la dinámica de la humedad edáfica en algunas parcelas forestales. Teniendo en cuenta la gran variabilidad de situaciones de partida antes descrita, estas herramientas sirven para dar una serie de pautas que aumenten el conocimiento sobre la dinámica de la humedad del suelo forestal en el País Vasco.

### 2. Objetivos

Conocer la dinámica de la humedad del suelo en diversas parcelas de especies forestales representativas del País Vasco.

### 3. Metodología

En el marco del proyecto Arco Atlántico REINFFORCE (2009-2013) se instaló una primera estación en el monte Maroto, de Leintz-Gatzaga (Gipuzkoa). Posteriormente, gracias al proyecto POCTEFA Canopée (2016-2019), HAZI adquirió e instaló una nueva estación en la finca de Iturrieta (Álava). Diversas sustracciones de material en la primera parcela ha ido aconsejando elegir zonas forestales valladas y vigiladas para instalar futuras parcelas.

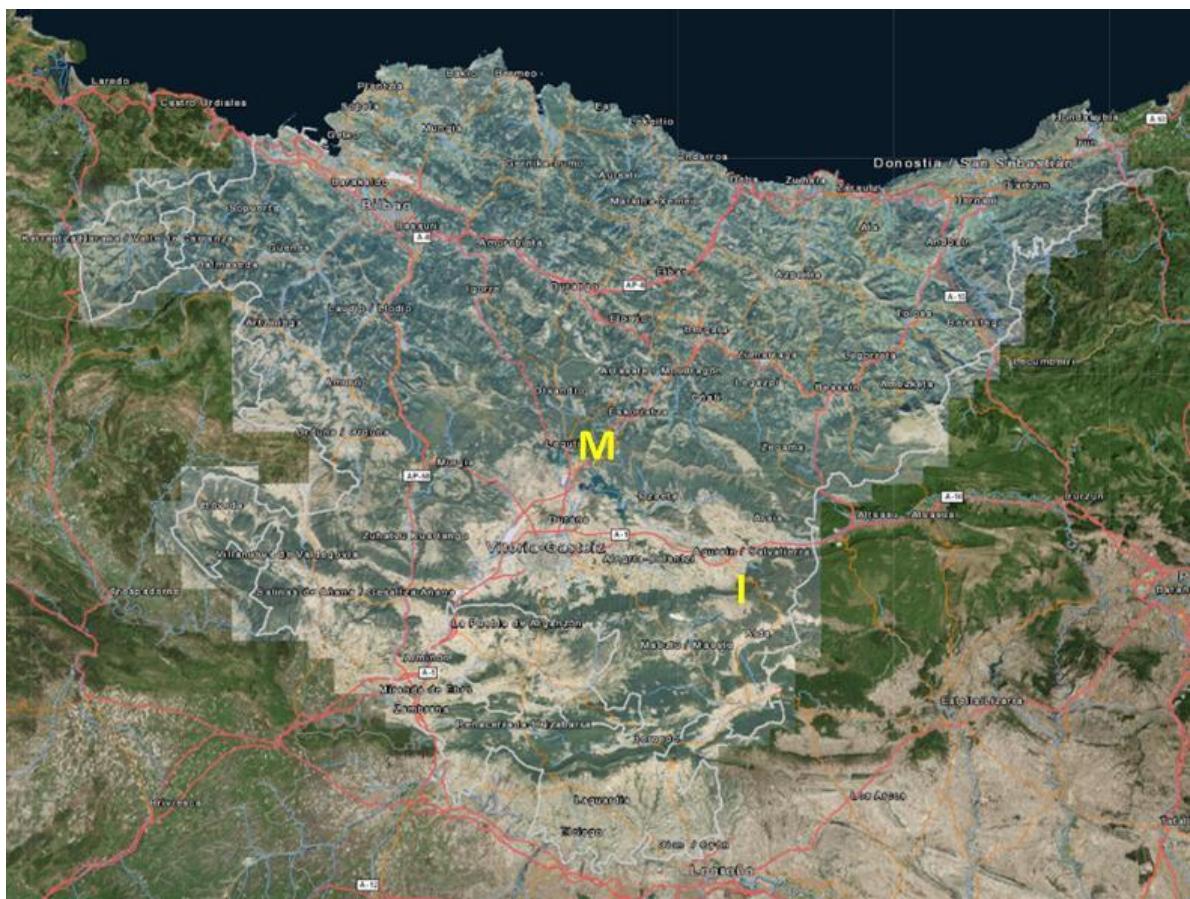


Figura 1. Mapa de localización de las parcelas analizadas: Maroto (M) e Iturrieta (I)

Tabla 1. Características de las parcelas analizadas

Parcela	Año medición	Cota (m)	Temp. media (°C)	Prec. anual (mm)
Maroto	2013-2014	800	10,44°C en 2014	1.404 mm en 2014
Iturrieta	2019-2021	980	9,61°C en 2020	849 mm en 2020

El día 24 de octubre de 2012 se instaló una estación meteorológica iMetos D2 completa en el sitio de demostración del monte Maroto, en Leintz-Gatzaga, dotada de sensores de temperatura, precipitación, humedad ambiental y humedad bajo tierra. Los sensores de humedad edáfica se

instalaron a 15 y 30 cm de profundidad, bajo unos abetos Douglas y bajo unas hayas adultas próximas. Estos sensores son tensiómetros que miden la tensión hídrica [en kPa o cBar] y otros que miden el contenido o porcentaje de humedad [en %] en cada horizonte. Analizando ambas variables relacionadas, se esperaba monitorizar el efecto de los tipos de arbolado (perennifolio y caducifolio) en la dinámica de humedad edáfica, principalmente por su efecto de sombra y de evapotranspiración y por la capacidad de captación de agua por sus raíces. En estas estaciones automáticas, a través de una tarjeta SIM y de conexión a Internet, los sensores proporcionan datos con frecuencia horaria y éstos se pueden consultar y descargar en tiempo real a través de una app o de la propia web [www.fieldclimate.com](http://www.fieldclimate.com). Tras varios episodios de robos, la estación dejó de emitir datos de humedad edáfica el 24 de septiembre de 2014 y datos meteorológicos el 27 de septiembre de 2019.

Por su parte, el día 27 de octubre de 2018 se instaló una nueva estación meteorológica iMetos ECO D3 en la parcela de Iturrieta, dotada únicamente de sensores de humedad bajo tierra, ya que los datos climáticos eran suministrados por una estación de Euskalmet situada a 300 m de distancia. Los sensores de humedad edáfica se instalaron a 15 y 30 cm de profundidad, bajo unas hayas adultas próximas y bajo un pequeño raso. Estos sensores miden también la tensión hídrica [Watermark, en kPa] y el porcentaje de humedad [Volumetric Water Content, en %] en cada horizonte. En este caso, se espera monitorizar el efecto del propio arbolado caducifolio en la dinámica de humedad edáfica por comparación a su ausencia. Tras un episodio de rotura de cable y de la interfaz, la estación dejó de emitir datos de humedad edáfica el 6 de noviembre de 2021.

De esta forma, se dispone de datos continuos de dos parcelas situadas en el pino montano del País Vasco, por lo que se puede elaborar gráficos de precipitación-temperatura mensual, asimilables a climogramas o diagramas de Walter-Lieth. La primera de esas gráficas representa un año completo bajo clima atlántico, sin apenas restricciones de humedad, y la segunda representa mayor influencia del frío y de la sequía estival (dos meses).

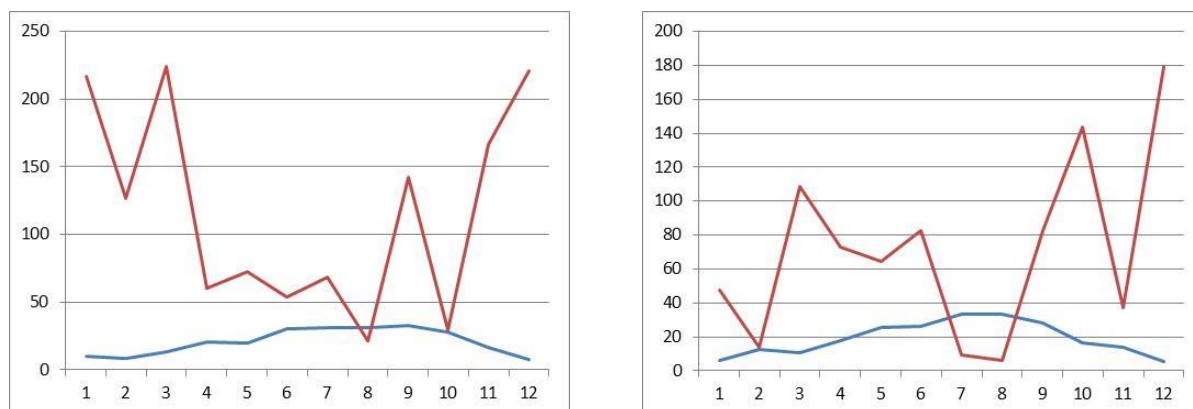


Figura 2. Gráficos de precipitación-temperatura de las estaciones de Maroto (izquierda) y de Iturrieta (derecha). La escala del eje Y se muestra la precipitación mensual en mm (líneas rojas), mientras que las temperaturas medias mensuales en °C (líneas azules) aparecen reflejadas en una escala doble.

#### 4. Resultados

Se ha conseguido cuantificar y visualizar los patrones de humedad edáfica en las dos parcelas evaluadas. De forma gráfica, se observa que el efecto de la sequía, con fuerte aumento de la tensión hídrica y descenso del porcentaje de humedad en un horizonte, coincide con períodos en los que la lluvia acumulada es menor (precipitación mensual inferior a 50 mm) y, a la vez, la temperatura ambiental media diaria supera los 20°C.

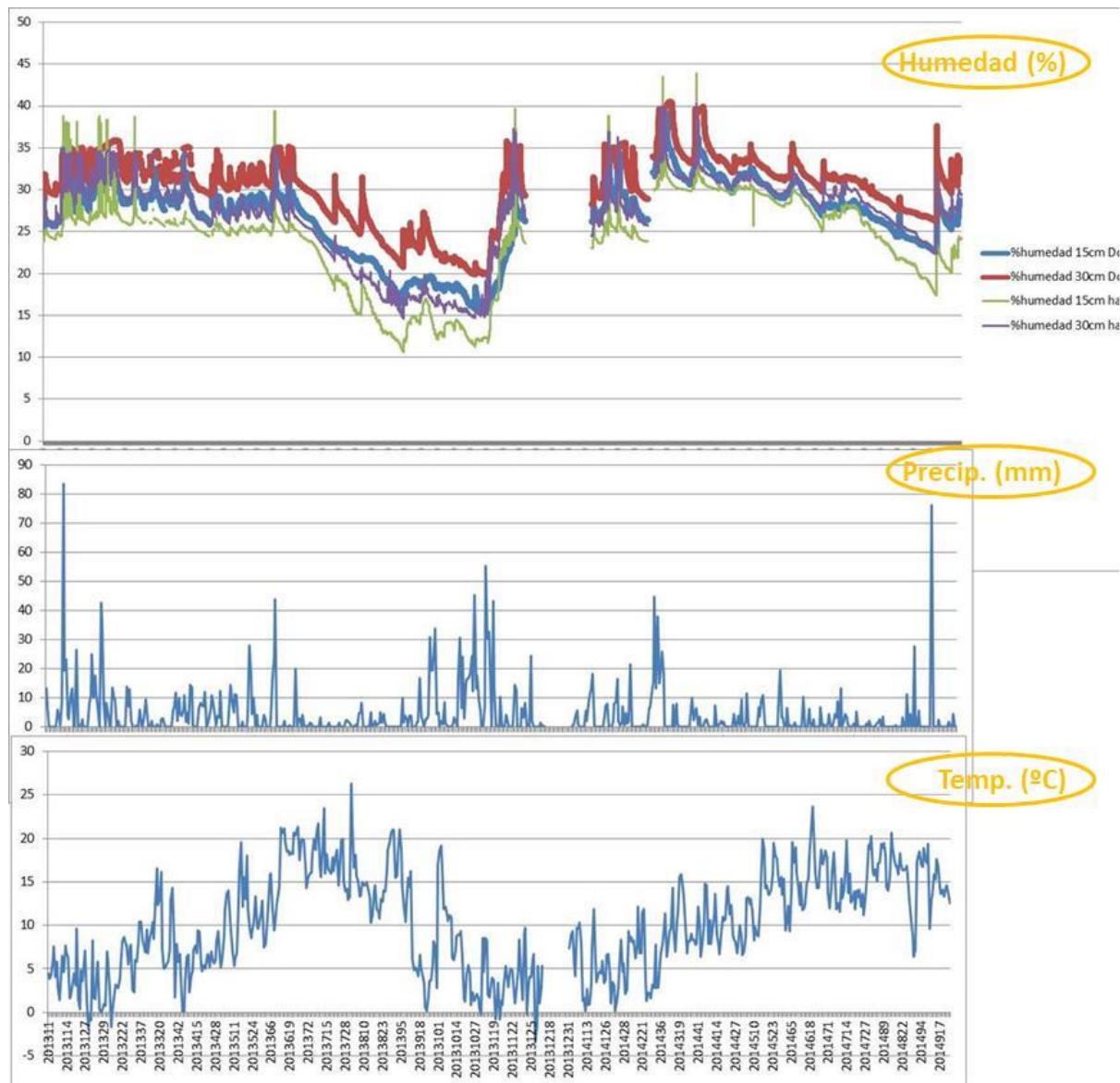


Figura 3. Comparación entre la humedad edáfica (%) de varios horizontes muestreados respecto a la precipitación mensual (mm) y la temperatura ambiental media diaria (°C) bajo abetos Douglas (D) y bajo hayas (h) de la parcela de Maroto a lo largo del periodo 2013-2014.

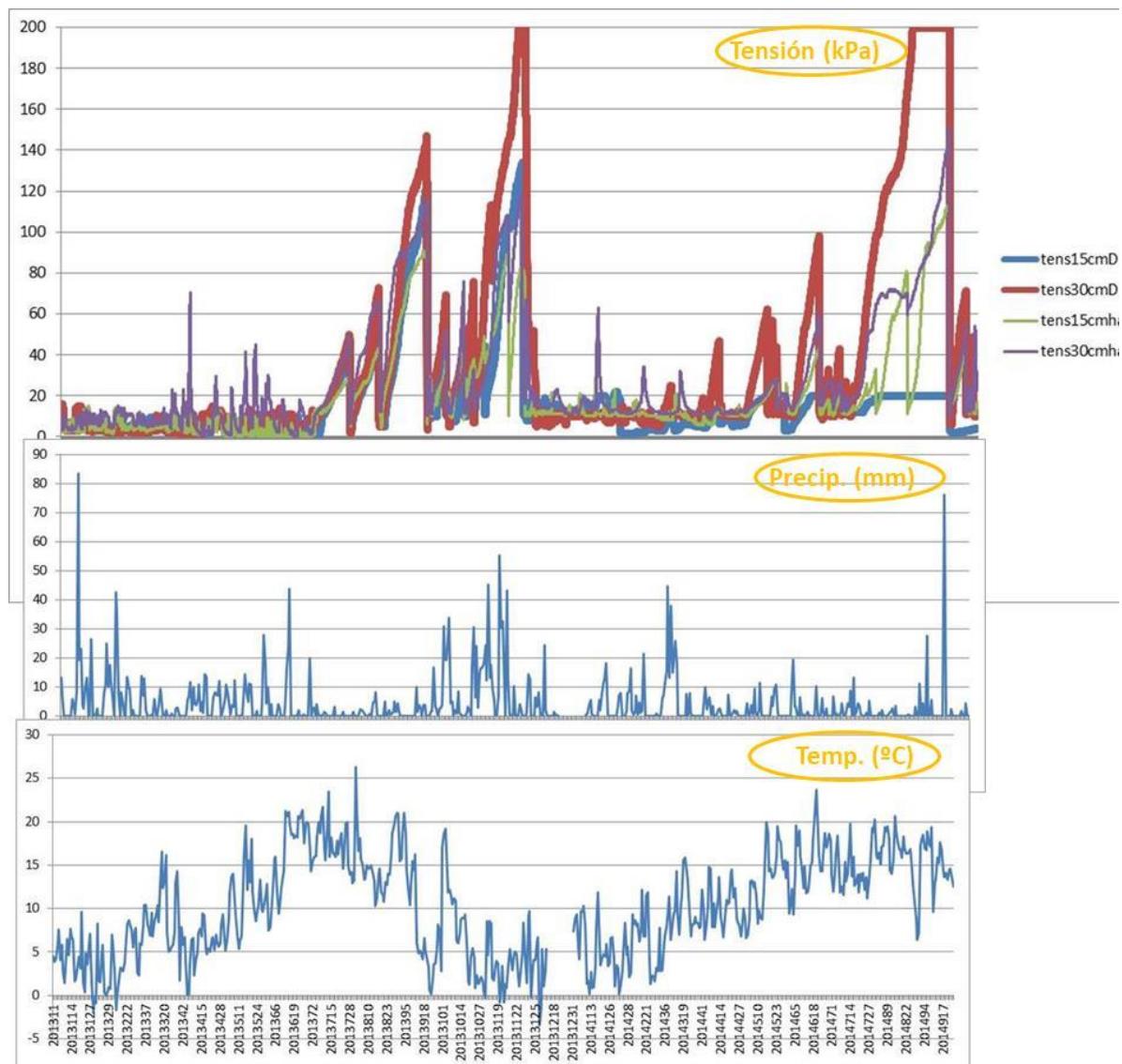


Figura 4. Comparación entre la tensión hídrica (kPa) de varios horizontes muestreados respecto a la precipitación mensual (mm) y la temperatura ambiental media diaria (°C) bajo abetos Douglas (D) y bajo hayas (h) de la parcela de Maroto a lo largo del periodo 2013-2014.

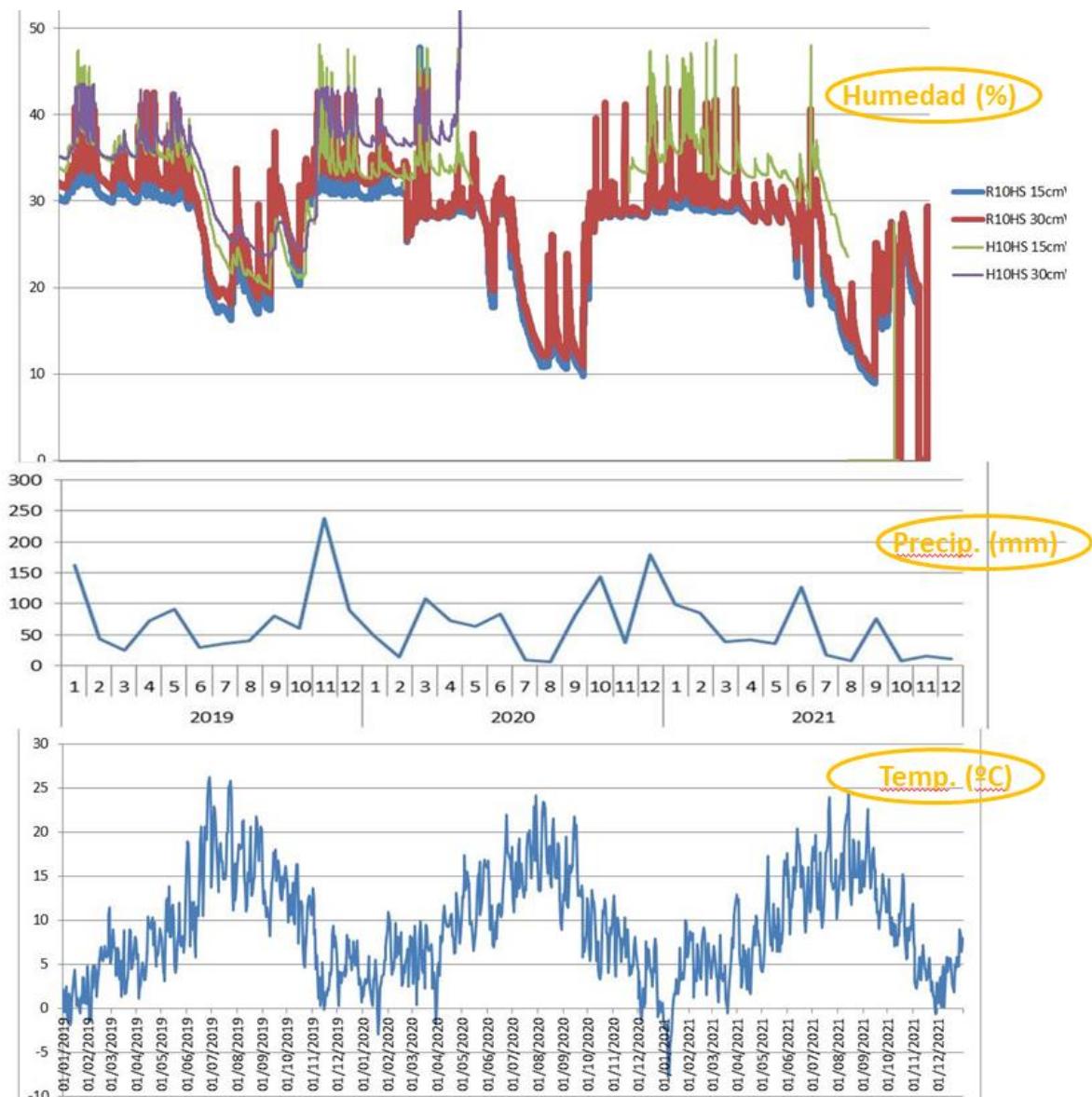


Figura 5. Comparación entre la humedad edáfica (%) de varios horizontes muestreados respecto a la precipitación mensual (mm) y la temperatura ambiental media diaria (°C) en el raso (R) y en el hayedo (H) de Iturrieta a lo largo del periodo 2019-2021.

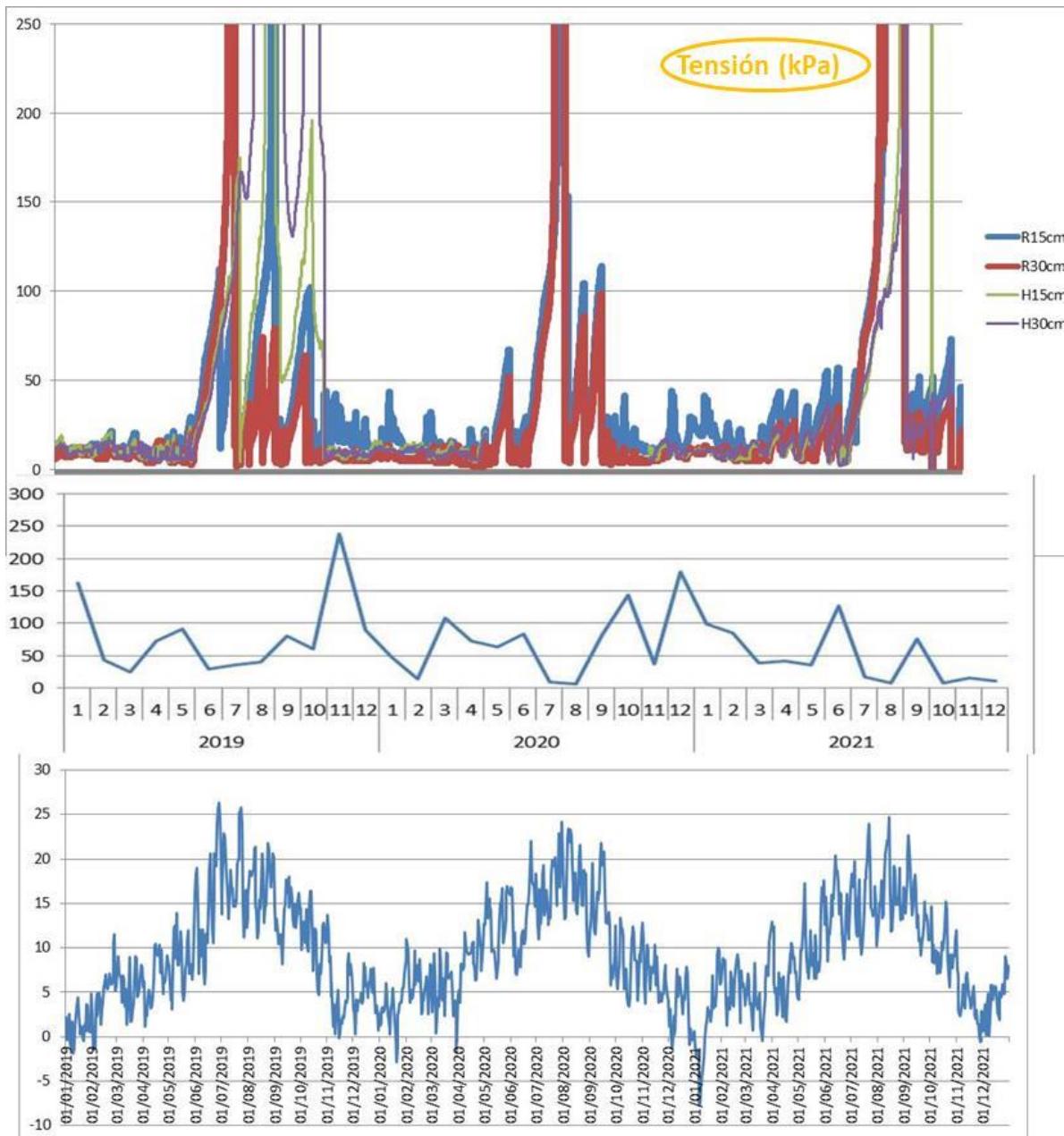


Figura 6. Comparación entre la tensión hídrica (kPa) de varios horizontes muestreados respecto a la precipitación mensual (mm) y la temperatura ambiental media diaria (°C) en el raso (R) y en el hayedo (H) de Iturrieta a lo largo del periodo 2019-2021.

Las gráficas muestran la diferente dinámica de la humedad de los suelos situados bajo distintas cubiertas forestales en las dos parcelas analizadas. En la Fig. 3 (parcela de Maroto) se reflejan mayores contenidos de agua en los horizontes profundos y bajo los abetos frente a los horizontes superficiales y bajo hayas. En la Fig. 4 (parcela de Maroto) se refleja que la tensión crítica se alcanza con el comienzo del periodo de déficit hídrico, el cual ha sido similar en los dos puntos muestreados, aunque en 2014 parece haber sido algo más temprano bajo los abetos. Por su parte, en la Fig. 5 (parcela de Iturrieta) se detectan mayores contenidos de agua en los horizontes ubicados bajo las hayas frente a los del raso, en los cuales no hay apenas diferencia en la humedad

media de los dos horizontes. Los sensores situados bajo las hayas han ido degradándose con el tiempo y dejando de emitir. En la Fig. 6 (parcela de Iturrieta) la tensión crítica se alcanza con el comienzo del periodo de déficit hídrico, el cual es más temprano en el raso frente al hayedo, donde se dosifica mejor la humedad edáfica.

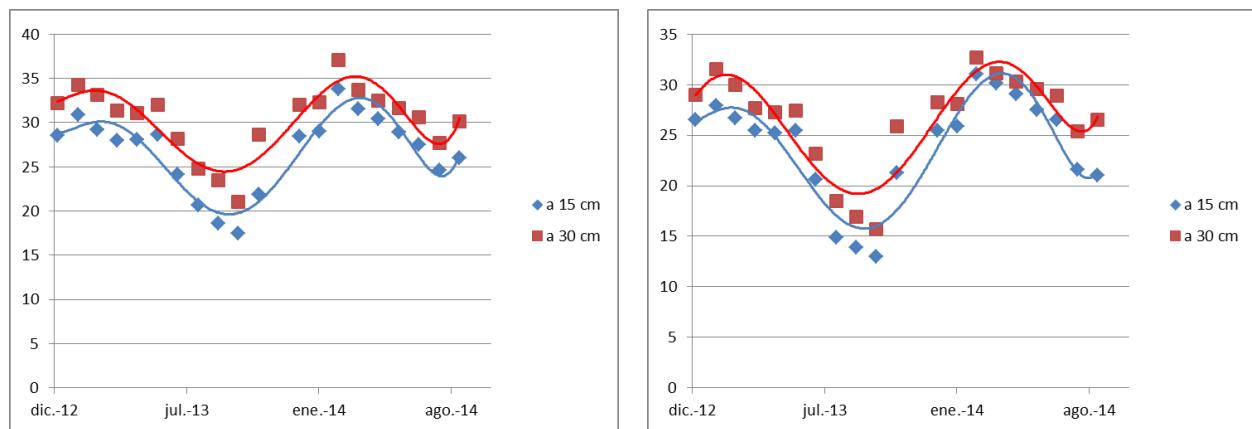


Figura 7: Evolución de la humedad edáfica mensual media (%) de varios horizontes muestreados bajo abetos Douglas (izquierda) y bajo hayas (derecha) en la parcela de Maroto a lo largo del periodo 2013-2014.

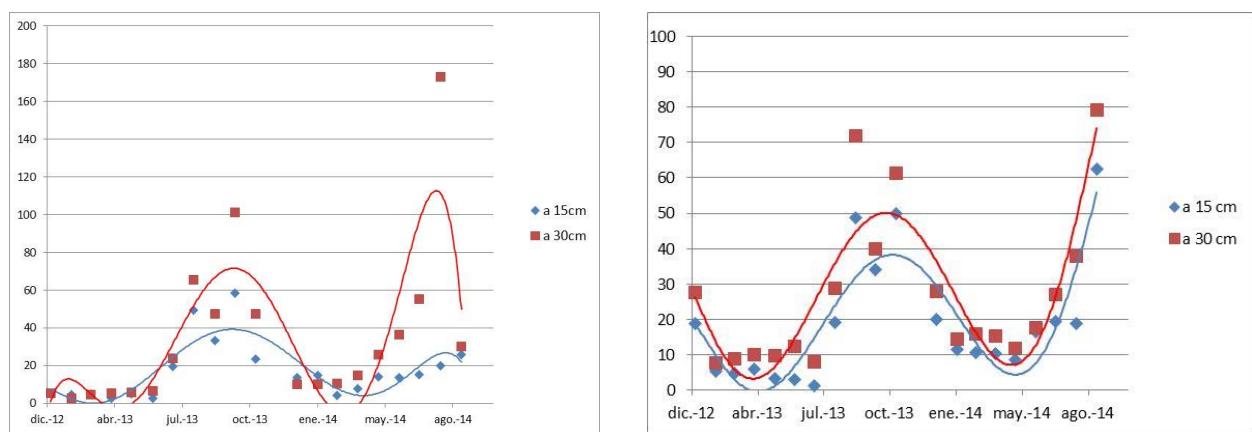


Figura 8 Evolución de la tensión hídrica mensual media (kPa) de varios horizontes muestreados bajo abetos Douglas (izquierda) y bajo hayas (derecha) en la parcela de Maroto a lo largo del periodo 2013-2014.

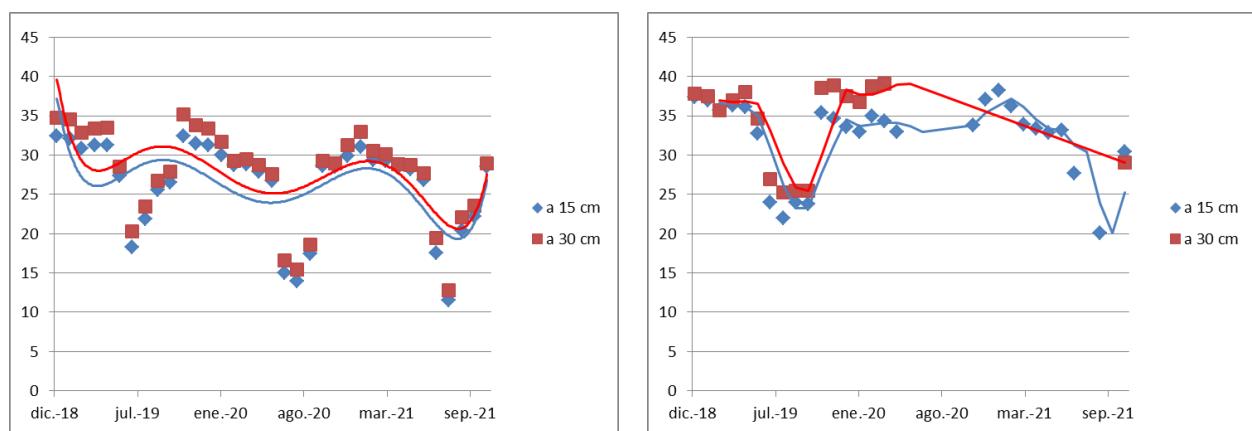


Figura 7. Evolución de la humedad edáfica mensual media (%) de varios horizontes muestreados bajo un raso (izquierda) y bajo hayas (derecha) en la parcela de Iturrieta a lo largo del periodo 2019-2021.

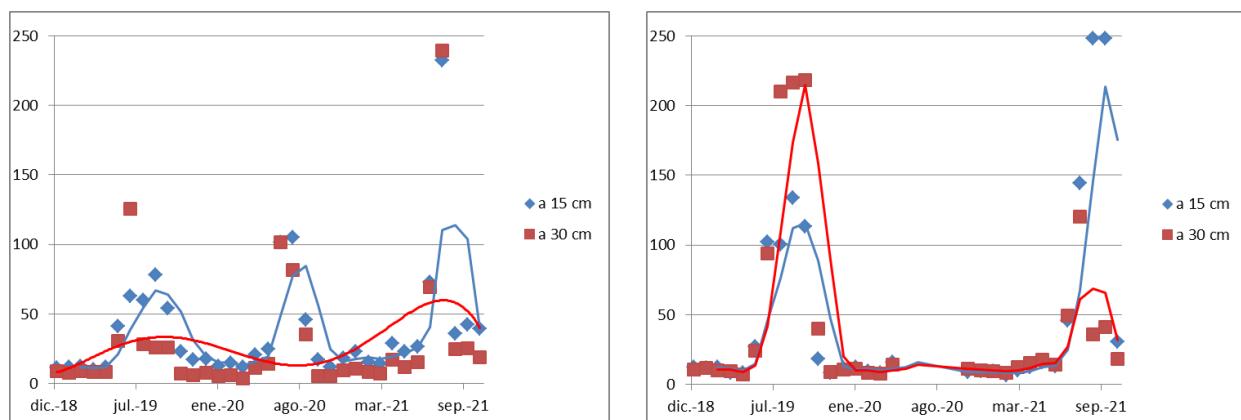


Figura 8 Evolución de la tensión hídrica mensual media (kPa) de varios horizontes muestreados bajo un rastro (izquierda) y bajo hayas (derecha) en la parcela de Iturrieta a lo largo del periodo 2019-2021.

Se han aprovechado las zanjas abiertas para instalar los sensores con el fin de emplearlas como calicatas y tomar muestras en dos horizontes: 0-20 cm y 20-40 cm. Las muestras han sido analizadas en el Laboratorio Agroambiental de Fraisoro (Gipuzkoa). Hay que tener en cuenta la diferencia entre los suelos de ambas parcelas, ya que variables edafológicas como la textura o el contenido de materia orgánica influyen en la capacidad de retención de agua. En ambos casos, se trata de suelos profundos, pedregosos pero con más de 50 cm de profundidad efectiva. La calicata realizada en Iturrieta muestra un suelo de origen calizo, de textura más pesada y con menor porcentaje de materia orgánica que en Maroto.

Tabla 2. Características de los suelos de las parcelas analizadas

Parcela	pH	Densidad aparente (g/ml)	% M.O.	% N.	C/N
Maroto	4,60	0,94	3,30	0,17	11,42
Iturrieta	6,15	1,05	1,48	0,29	2,95

## 5. Discusión

La importancia de la sequía como factor de disminución del crecimiento arbóreo y de declinación forestal ha sido muy estudiada, principalmente en los bosques más meridionales (SÁNCHEZ-SALGUERO *et al.*, 2010 y 2013). Por tanto, es aconsejable realizar el seguimiento de la dinámica hídrica de los suelos para mejorar el conocimiento de otras variables forestales.

Puede parecer que la muestra de suelos analizada sea escasa o que se trata de pocas parcelas y de pocos años los muestreados por ahora. Para poder obtener resultados robustos, hará falta seguir midiendo durante más años, más localizaciones, más especies forestales, más tipos de suelos y más variaciones climáticas, como períodos de sequía más intensos. Está previsto instalar desde enero de 2022 una nueva parcela de este tipo en un pinar de radiata a menor cota, correspondiente al piso colino, y en la que pudiera cuantificarse el efecto del desecante *viento sur*. Igualmente, la introducción de nuevos sensores de temperatura en los distintos horizontes podrá proporcionar datos de interés.

Por otro lado, se desconoce la influencia de otros agentes bióticos en la retención de la humedad edáfica según la profundidad, como el tipo de arcillas, de materia orgánica o de microbiota. Son análisis caros, complejos y de difícil interpretación.

Este tipo de sensores enterrados son de alto precio, de vida útil limitada por su rápida degradación bajo tierra y, como todas las instalaciones permanentes ubicadas en terrenos forestales, están sometidos a un alto riesgo de robo, rotura o manipulación. Por ello, hay que elegir bien su localización y el modelo de sensores, maximizando la inversión y la posibilidad de proteger la propia instalación y los datos conseguidos.

Proyectos como POCTEFA Acclimafor están permitiendo a HAZI comparar los resultados de estas mediciones edáficas con otro tipo de sensores automáticos, como los dendrómetros instalados en diversas parcelas experimentales repartidas por el País Vasco. Proyectos más recientes, como EMAFOR (2020-2022) o BASONET (2021-2022), van a seguir suministrando otras fuentes de información complementaria relacionadas con la humedad edáfica y con el efecto de la sequía en los bosques: seguimiento del estado vegetativo de la superficie forestal mediante los satélites Sentinel en el primer caso y mediciones de campo del crecimiento arbóreo y de los suelos forestales en parcelas forestales permanentes en el segundo proyecto.

Un resultado muy útil de este seguimiento de la humedad edáfica sería su coordinación con la red de estaciones meteorológicas de la red Euskalmet o con otro tipo de sensores de humedad de los combustibles forestales que se puedan ir instalando en el futuro en esas mismas estaciones.

## 6. Conclusiones

El seguimiento de la humedad edáfica es una magnitud de gran importancia forestal, aunque poco estudiada hasta la fecha por su dificultad y carestía. Permite cuantificar la productividad y el estado fitosanitario de los bosques, así como las imitaciones en su crecimiento debido a la escasez de lluvias o al aumento de temperaturas. En un contexto de cambio global, una adecuada cuantificación del crecimiento forestal permite clarificar conceptos y percibir el importante papel de los bosques en la disminución de los riesgos naturales.

No obstante, los resultados obtenidos apuntan unas tendencias generales para analizar las variaciones de humedad en los suelos forestales del País Vasco. Los resultados obtenidos hasta la fecha mediante sensores automáticos de humedad de frecuencia horaria permiten caracterizar la dinámica de diversos tipos de suelo y tipos de vegetación forestal representativos del País Vasco. Hasta la fecha, las pautas de evolución de la humedad edáfica registradas dependen de la especie forestal y de diversos factores físicos, principalmente climatológicos. Se observan pequeñas diferencias en el comienzo y duración del periodo de sequía estival bajo los diversos tipos de vegetación forestal muestrados, aunque parece mostrarse en todos los casos su relación con descensos de la lluvia acumulada y con periodos de calor, caracterizados por alcanzarse una temperatura ambiental media diaria de 20°C.

## 7. Agradecimientos

Agradezco las facilidades suministradas por el personal de NEIKER y de la Diputación Foral de Gipuzkoa por su buena disposición y su paciencia para poder instalar estos sensores automáticos en terrenos forestales gestionados por ambas instituciones.

## 8. Bibliografía

ANGELIER, A., 2007. Douglasiaies françaises-Guide des sylvicultures. Annexe 3: Douglas et stress hydrique. Office National des Forêts. 296 p.

HAZI FUNDAZIOA, 2013. Informe final del proyecto REINFFORCE. Vitoria/Gasteiz. 176 pp.

HAZI FUNDAZIOA, 2019. Informe final del proyecto POCTEFA Canopée. Adaptación de los bosques pirenaicos y vascos al cambio climático. Vitoria/Gasteiz. 184 pp.

SÁNCHEZ-SALGUERO, R., CAMARERO, J., DOBBERTIN, M., FERNÁNDEZ-CANCIO, A., VILÀ-CABRERA, A., MANZANEDO, R., NAVARRO-CERRILLO, R. M., 2013. La sequía y la gestión pasada como factores del decaimiento forestal en los bosques meridionales de *P. nigra*. Comunicación 6CFE01-385 del 6º Congreso Forestal Español de Vitoria-Gasteiz. 18 pp.

SÁNCHEZ-SALGUERO R, NAVARRO-CERRILLO, R. M., CAMARERO, J., FERNÁNDEZ-CANCIO A., 2010. Drought-induced growth decline of Aleppo and maritime pine forests in south-eastern Spain. *For Syst* 19:458–469



Figura 9. Instalación de los sensores en la finca de Iturrieta (Álava), junto a la calicata realizada.

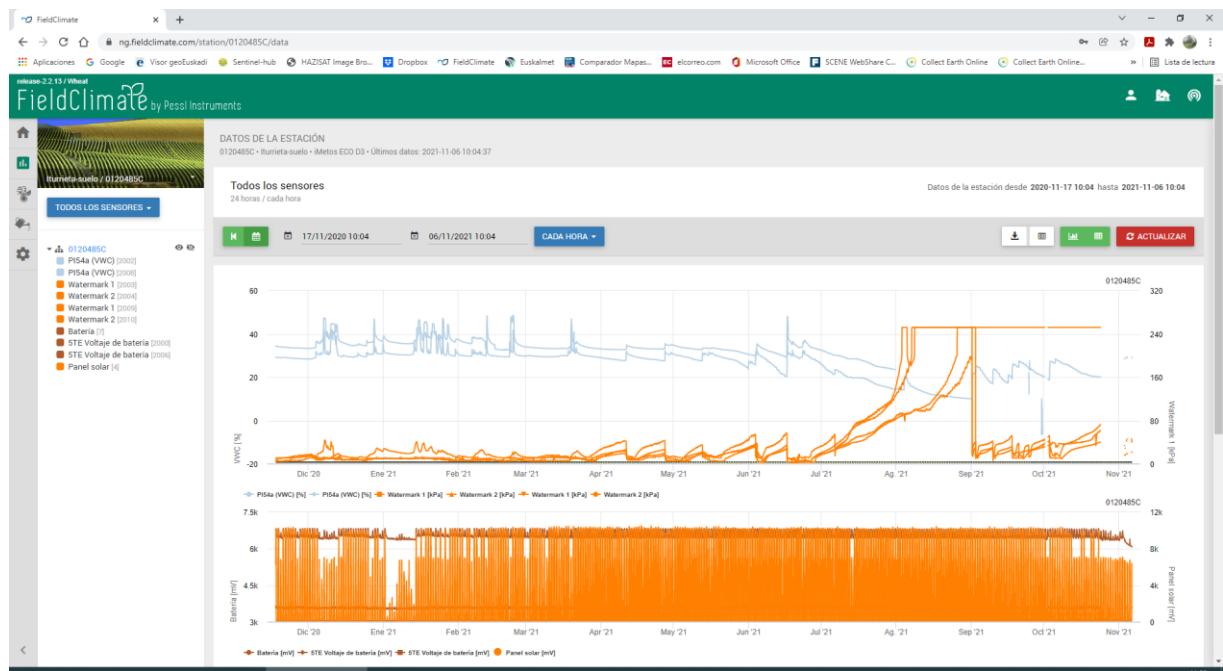


Figura 10. Página web disponible para la consulta y descarga de los datos de humedad edáfica.