



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

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

Base de datos de humedad del combustible vivo (HCV) en Cataluña desde 1998

GABRIEL DE FRANCISCO, E.¹, DELGADO-DÁVILA, R.², DE CÁCERES AINSA, M.³, CASALS TORTRAS, P.², TUDELA PIÑOL, A.⁴, CASTRO DORIA, X.¹

¹ Servei de Prevenció d'Incendis Forestals, Departament d'Agricultura Ramaderia, Pesca i Alimentació, Generalitat de Catalunya, Santa Perpètua de Mogoda, 08130, Spain.

² Joint Research Unit CTFC – AGROTECNIO, Crta. de St. Llorenç de Morunys, km 2, E- 25280, Solsona, Spain;

³ Ecosystem Modeling Facility - CREAM, E08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

⁴ Servei de Gestió Sectorial a Lleida, Departament d'Agricultura Ramaderia, Pesca i Alimentació, Generalitat de Catalunya, Lleida, 25004, Spain.

Resumen

Presentamos una base de datos estructurada que contiene 21 años de mediciones del contenido de humedad del combustible vivo en la región catalana, junto con un paquete R asociado para gestionar las actualizaciones y facilitar el procesamiento y la visualización. Las especies muestreadas son romero (*Salvia rosmarinus* (L.) *Schleid*), estepa negra (*Cistus monspeliensis* L.), pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.), coscoja (*Quercus coccifera* L.) y madroño (*Arbutus unedo* L.). El conjunto de datos proporciona información valiosa para estudiar las respuestas de las plantas a la sequía o mejorar la predicción del peligro de incendios.

Palabras clave

Matorrales mediterráneos, peligro de incendio, base de datos de humedad del combustible.

1. Introducción

El contenido de humedad del combustible vivo (HCV), masa de agua relacionada con la masa seca de los brotes vivos de pequeño diámetro, es un parámetro crítico relacionado con la inflamabilidad y el comportamiento de los incendios forestales (CHADLER et al., 1983, CHUVIECO et al., 2009). Durante un incendio forestal, la humedad del combustible define la transición entre la pre-ignición y la combustión en llamas (RESCO, 2020). Altas concentraciones de humedad en los brotes disminuyen la capacidad de ignición al requerirse más energía para la evaporación del agua y el precalentamiento del combustible (FARES et al., 2017).

El HCV tiene una amplia variación espacial y temporal, dependiendo de las condiciones meteorológicas, las propiedades del suelo o los procesos fisiológicos y fenológicos de las plantas, incluyendo las respuestas de las plantas a la sequía (YEBRA et al., 2013; JOLLY et al., 2014; FARES et al., 2017; JOLLY & JOHNSON 2018, NOLAN et al., 2018). Los patrones estacionales del HCV también varían entre especies (PIÑOL, 1997; CASTRO, 2006; PIVOVAROFF, 2019) y entre poblaciones de la misma especie (CASTRO, 2007).

La medición o estimación de la HCV es relevante para la evaluación del riesgo de incendio, pero también para anticipar la respuesta de las plantas a la dinámica meteorológica observada o prevista. Los índices de sequía, calculados a partir de variables meteorológicas, como el 'Drought Code' del Sistema canadiense de índice meteorológico de incendios forestales (FWI), han sido los predictores más utilizados para estimar la HCV (VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2003; PELLIZZARO et al., 2007, RUFFAULT et al., 2018). Sin embargo, estudios recientes señalan la necesidad de desarrollar enfoques que incorporen procesos ecofisiológicos para mejorar las predicciones de HCV (RUFFAULT, 2018; NOLAN, 2018; PIVOVAROFF, 2019). Los datos fiables de

HCV a largo plazo son esenciales para calibrar o validar las relaciones existentes para una región determinada, o para desarrollar nuevos métodos de estimación de la HCV.

2. Objetivos

Presentamos una base de datos estructurada y consistente, con siete tablas interrelacionadas, con los datos recopilados del HCV durante los últimos 21 años (de 1998 al 2019). Proporcionamos los detalles de los lugares de muestreo, los protocolos de campo y de laboratorio, así como los procedimientos de mejora manual y automatizada de la calidad de datos. También presentamos un paquete R asociado para gestionar la actualización y el mantenimiento de la base de datos, y para facilitar el procesamiento y la visualización de los datos.

Esta base de datos de HCV estructurada, que cubre la región catalana, proporcionará información valiosa a la comunidad científica, no sólo para analizar la dinámica de HCV, sino también para probar hipótesis sobre las respuestas de las plantas a la sequía, así como para mejorar la predicción del peligro de incendios.

3. Metodología

En el verano de 1994, el Servicio de Prevención de Incendios Forestales de Cataluña (SPIF) inició un programa de seguimiento de HCV con el fin de mejorar la evaluación operativa del peligro de incendio con información de terreno sobre el estado hídrico de las plantas.

Durante los primeros años (1994-96), sólo se muestrearon cuatro lugares, incluyendo varias especies y siguiendo los métodos de muestreo de COUNTRYMAN & DEAN (1979) y NORUM & MILLER (1984). Con el objetivo de aumentar el tamaño y la representatividad de los muestreos, en 1997 se solicitó a los investigadores del Centro de Investigación en Aplicaciones Ecológicas y Forestales (CREAF) que propusieran un conjunto de áreas de muestreo y especies representativas de los hábitats arbustivos mediterráneos, así como que estandarizaran los protocolos de campo y de laboratorio del seguimiento de HCV (PIÑOL Y OGAYA, 1997). Con esta información, en 1998 la SPIF inició el seguimiento sistemático de HCV en cuatro de las áreas sugeridas, mientras que en 2001 se incluyeron cinco áreas adicionales, consiguiendo nueve localidades representativas de las diferentes regiones dentro del clima mediterráneo. Inicialmente, las mediciones de HCV se realizaban cada dos semanas durante la temporada de incendios (de mayo a septiembre), y mensualmente el resto del año, pero desde 2004 las mediciones de HCV se realizan cada dos semanas durante todo el año. Las especies muestreadas son romero (*Salvia rosmarinus* (L.) *Schleid*), estepa negra (*Cistus monspeliensis* L.), pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.), coscoja (*Quercus coccifera* L.) y madroño (*Arbutus unedo* L.), todas ellas características de los arbustos mediterráneos y que también representan diferentes tipos de comportamientos relacionados con el contenido de agua.

3.1 Descripción de los lugares de muestreo

Los lugares de muestreo se distribuyen en nueve localidades a lo largo del área de clima mediterráneo de Cataluña (**Figura 1**), cinco de ellas entre 0 y 300 m.s.n.m., y cuatro de ellas entre 500 y 700 m.s.n.m. El rango de temperatura media anual es de 13 a 16 °C y la precipitación media anual va de 500 a 750 mm (**Tabla 1**).

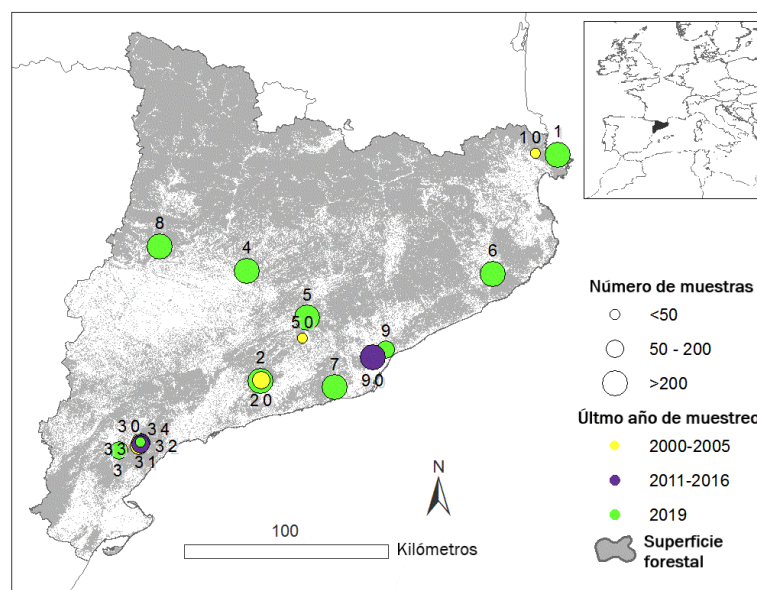


Figura 1. Mapa de las localidades de muestreo ubicada en la superficie forestal de Cataluña (Tabla 1) y la ubicación de los lugares de muestreo anteriores y actuales con el código del lugar de muestreo (Tabla 2), el número de muestras y el último año de muestreo.

Los lugares de muestreo se ubicaron en zonas con una pendiente inferior al 30 %, orientación sur, fracción de cabida cubierta inferior al 10 %, una edad de la vegetación homogénea (cuatro de ellos se ubicaron en zonas quemadas) y una abundancia suficiente de especies a muestrear (Tabla 1). En cada zona se muestrean dos o tres especies (Tabla 2).

Tabla 1. Código, hábitat y año del último incendio (si lo hubo) de las nueve localidades incluidas en el seguimiento de la HCV. La localización exacta de los lugares de muestreo y los periodos de muestreo se indican en la Tabla 2.

Localidad	Código	Incendio	Hábitat
Port de la Selva	1		Jarales dominados por jaguarzo negro (<i>Cistus monspeliensis</i>), silicícolas, de las tierras mediterráneas marítimas
Montmell	2	1976	Bosques bajos de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>) procedentes de colonización
Tivissa	3	1994	Garrigas de coscoja (<i>Quercus coccifera</i>), desprovistas casi totalmente de plantas termófilas
Torà	4		Matorrales de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>), calcícolas, de zonas bajas
El Bruc	5	1986	Matorrales de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>), calcícolas, de zonas bajas
Caldes de Malavella	6		Bosques mixtos de alcornoques (<i>Quercus suber</i>) y pinos (<i>Pinus spp.</i>)
Begues	7	1982	Garrigas de coscoja (<i>Quercus coccifera</i>), desprovistas casi totalmente de plantas termófilas
Camarasa	8		Garrigas de coscoja (<i>Quercus coccifera</i>), desprovistas casi totalmente de plantas termófilas
Badalona	9	2003	Pastos sabanoides de cerrillo (<i>Hyparrhenia hirta</i>), de las solanas de las tierras marítimas

A lo largo de los 25 años de seguimiento de la HCV, algunos lugares de muestreo han sido reubicados debido a incendios forestales, tratamientos de combustible o dificultades de acceso. La reubicación se hizo dentro de la misma localidad siempre que fue posible. Por esta razón, en algunos casos, es posible encontrar diferentes lugares de muestreo correspondientes a la misma localidad (**Tabla 2**).

Tabla 2. Coordenadas geográficas (WGS84), altitud (m), Esp: especies muestreadas (Sr: *Salvia rosmarinus*, Cm: *Cistus monspeliensis*, Ph: *Pinus halepensis*, Qcc: *Quercus coccifera*, Au: *Arbutus unedo*), N°: número de muestras y periodo de muestreo de los diferentes lugares de muestreo de cada localidad.

Localidad	Lugar de muestro	Longitud	Latitud	Altitud	Esp.	N°	Periodo
Port de la Selva	Els Llaures	3,230391	42,341757	178	Cm	411	2001-2019
					Ph	412	2001-2019
					Sr	412	2001-2019
	Montperdut	3,1010498	42,347609	128	Cm	39	1998-2000
					Ph	38	1998-2000
					Sr	39	1998-2000
Montmell	Puig Cabirol	1,490989	41,335147	698	Ph	396	2002-2019
					Qcc	396	2002-2019
					Sr	396	2002-2019
	Vallflor	1,4841738	41,337355	698	Ph	59	1998-2001
					Qcc	58	1998-2001
					Sr	60	1998-2001
Badalona	La Vallensana	2,222345	41,478454	178	Cm	156	2013-2019
					Qcc	156	2013-2019
	Pontell Valldaura	2,1428996	41,446642	210	Cm	244	1998-2013
					Qcc	259	1998-2013
					Sr	14	2002-2003
Tivissa	Era de Mafla	0,7992314	41,053	494	Ph	107	2011-2016
					Qcc	107	2011-2016
					Sr	107	2011-2016
	Bosc de Biscorn	0,6752264	41,013725	168	Ph	66	2017-2019
					Qcc	66	2017-2019
					Sr	66	2017-2019
	Coll de Mafla	0,7959497	41,051505	494	Ph	38	2016-2019
					Qcc	38	2016-2019
					Sr	38	2016-2019
	Barranc de les Anyeres	0,79741	41,0434	494	Ph	107	2011-2016
					Qcc	107	2011-2016
					Sr	107	2011-2016
	Mafla	0,8018058	41,051086	639	Ph	171	2004-2011
					Qcc	171	2004-2011
					Sr	171	2004-2011
	Corral de Mafla	0,7983717	41,053092	389	Ph	52	2001-2004
					Qcc	52	2001-2004
					Sr	51	2001-2004
	Mas d'en Gil	0,7867065	41,036187	461	Ph	50	1998-2001
					Qcc	49	1998-2001
					Sr	47	1998-2001
Tora	L'Aguda	1,3959279	41,819577	569	Ph	435	1998-2019

					Qcc	432	1998-2019
					Sr	434	1998-2019
Bruc	La Pinassa Plana	1,7586075	41,616579	532	Ph	396	2001-2019
					Qcc	394	2001-2019
					Sr	397	2001-2019
	Flandes de la Venta	1,7291813	41,525808	532	Cm	24	1998-2001
					Ph	38	1998-2001
					Sr	37	1998-2001
Caldes	Can Caldes	2,8468496	41,816139	154	Au	478	1998-2019
					Cm	476	1998-2019
Begues	Serra de la Guardia	1,9239896	41,311808	384	Qcc	405	2001-2019
					Sr	404	2001-2019
Camarasa	Penyalta	0,8813231	41,917725	671	Qcc	393	2001-2019
					Sr	391	2001-2019
Badalona	La Vallensana	2,222345	41,478454	178	Cm	156	2013-2019
					Qcc	156	2013-2019
	Pontell Valldaura	2,1428996	41,446642	210	Cm	244	1998-2013
					Qcc	259	1998-2013
					Sr	14	2002-2003

3.2 Descripción de la especie

Las especies muestreadas son características de los matorrales mediterráneos y están ampliamente distribuidas en la cuenca mediterránea. A pesar de que todas las especies están bien adaptadas a la sequía, presentan diferentes rasgos morfológicos para hacer frente a la intensidad y extensión de la sequía. *A.unedo* y *Q. coccifera* son arbustos de hoja ancha perenne o pequeños árboles, que rebrotan después del fuego a partir de órganos subterráneos. *P. halepensis* es un árbol de hoja acicular perenne que suele crecer como árboles pequeños tras el incendio regenerándose a partir de semillas. Entre las especies estudiadas, *A. unedo* tiene el mayor tamaño de hoja, área foliar específica y diámetro medio de los vasos del xilema, y baja densidad de madera, lo que sugiere que es poco tolerante a la sequía severa (CASTRO-DÍEZ, 1996). La baja área foliar específica y el diámetro medio de los vasos de *Q. coccifera* y *P. halepensis* sugieren una mayor tolerancia a la sequía de ambas especies. Los arbustos como *C. monspeliensis* y *S. rosmarinus* se regeneran a partir de un banco de semillas después del fuego, a pesar del elevado diámetro medio de los vasos de ambas especies, la tolerancia a la sequía de estas especies se basa en la baja área foliar específica y en el carácter marcescente de las hojas: algunas de ellas caen durante la sequía estival severa (sequía semicaducifolia) y el resto se rehidrata tras las lluvias.

3.3 Muestreo de vegetación y estimación de HCV

Las muestras de HCV son recogidas en el campo por los Agentes Rurales de Cataluña a las 12:00 UT cada dos semanas durante todo el año. Para cada especie a muestrear y lugar, se seleccionan 20 brotes de ramas vivas de 5 mm de diámetro, expuestos al sol y de diferentes individuos, se recortan y se ponen juntos en un recipiente de plástico hermético de 5 l. También se registran los datos de suelo y temperatura en las localidades que tienen instalados sensores de humedad del suelo tipo TDR (Time Domain Reflectometry) (Begues, El Bruc y Camarasa).

Una vez en el laboratorio, las muestras se pesan en fresco (PF), se secan en horno a 100° C durante 48 horas y se pesan en seco (PS). Después se calcula el contenido de humedad del combustible, en base a la masa seca:

$$\text{HCV (\%)} = ((\text{PF} - \text{PS}) / \text{PS}) * 100$$

Una vez pesadas las muestras secas, se separan las fracciones de hojas y tallos, obteniendo el peso seco de las hojas (PH) y de los tallos (PT), a partir del cual se obtiene la relación hoja/tallo (HT en castellano o LSR: Leaf Stem Ratio, en inglés)

$$HT (\%) = PH/PT * 100$$

Esta ratio se recoge para estudiar su relación con la carga de combustible y el nivel de defoliación de las ramas.

2.3 Procesamiento de los datos brutos

Filtrado manual

Los datos brutos del HCV se procesaron para detectar y corregir las inconsistencias y los valores anómalos, relacionados con el procesamiento de las muestras o la codificación errónea de las especies o los sitios de muestreo. Los registros que faltaban en la base de datos se rellenaron cuando se disponía de copias de seguridad en papel, de lo contrario se excluyeron. Se identificaron los valores anómalos de HCV a lo largo de los años como valores fuera del rango biológico general (>250 o <20) o fuera del rango de cada especie, y también evaluando las anomalías temporales en los valores de HCV a nivel operativo. Los valores anómalos se identificaron y etiquetaron en la base de datos del HCV.

Detección automática de valores atípicos

Para detectar valores anómalos de HCV, se analizaron los datos de cada especie y sitio de muestreo mediante análisis de series temporales univariantes. Estos análisis requieren series completas, por lo que se llevó a cabo un proceso de imputación previo. Para cada serie, las quincenas no muestreadas se identificaron como valores de HCV ausentes y se sustituyeron por una media móvil ponderada linealmente, con una ventana de cuatro valores. Para la detección automática de valores atípicos se ajustó un modelo de media móvil integrada autorregresiva (ARIMA) a cada serie temporal. Para mejorar el rendimiento del modelo, se consideraron las series con más de 15 años de datos. La selección del modelo ARIMA se realizó mediante la función 'auto.arima' del paquete de R 'forecast' (HYNDMAN et al., 2020). El orden de diferenciación no estacional se fijó en cero para todas las series, después de evaluar la estacionalidad mediante la prueba t-estadística de Dickey-Fuller aumentado. Los parámetros del modelo seleccionado por serie están disponibles como conjunto de datos en el paquete HCV (sección 3.2). Se evaluaron dos tipos de valores atípicos (1) Los valores atípicos aditivos (AO), observaciones anómalas únicas que no afectan a las observaciones posteriores de la serie, y (2) los cambios temporales (TC), un evento anómalo con un efecto exponencial decreciente (**Figura 3**). No consideramos los Cambios de Nivel (LS), ya que no se espera que un cambio abrupto en los valores de HCV cambie permanentemente la media de las series temporales de HCV.

El procedimiento automático para detectar valores atípicos se implementó utilizando la función 'tso' del paquete 'tsoutliers' en R (LÓPEZ-DE-LACALLE, 2019). Los valores atípicos se detectaron iterativamente en los residuos del modelo ARIMA calculando dos estadísticos de prueba diferentes, según cada tipo de valor atípico. Para TC, el parámetro delta que determina el decaimiento exponencial se especificó como 0,5 para *Q. coccifera* L. y 0,7 para las demás especies. Todos los valores atípicos detectados se verificaron manualmente por especie. Posteriormente, se añadió una etiqueta a los AO identificados en la base de datos, este identificador permite al usuario identificar y descartar fácilmente esos valores en análisis posteriores.

4. Resultados

4.1 Estructura y diseño de la base de datos

Se diseñó una base de datos relacional para almacenar los datos del HCV, en un formato que garantiza la integridad a largo plazo. Este enfoque permite un acceso flexible a los datos, manteniendo la base de datos en un estado consistente. Los nombres y elementos de las tablas, las funciones y las explicaciones vinculadas son en inglés. El modelo relacional de la base de datos del HCV incluye siete tablas (**Figura 2**):

La tabla **LFMC** (Live Fuel Moisture Content) contiene las estimaciones de HCV (LFMC por sus siglas en inglés) y HT (LSR: Leaf Stem Ratio). Cada registro corresponde a la muestra conjunta de 20 brotes por especie, como se describe en la sección 3.2. Cada muestra se identifica con un código de muestra único. La tabla incluye dos variables lógicas para indicar los resultados de los procedimientos de detección manual ("LFMC_Flag") y automática de valores atípicos ("AO_Flag").

Para los registros de la tabla LFMC que incluyen datos de fenología reproductiva y foliar, la información que especifica el sistema de fenología y los valores de fenología se almacenan en la tabla **PHENOLOGY**.

La tabla **SPECIES** contiene un identificador único por especie (SpeciesCode) y los nombres científicos y vernáculos de las especies.

La tabla **SITES** contiene información sobre los lugares de muestreo, incluido un identificador único de la localidad-lugar de muestreo (SamplingSiteCode), los códigos y nombres de la localidad y de los parajes, las coordenadas parajes y los años de inicio y fin del muestreo.

Para los registros de la tabla SITES que incluyen datos de temperatura del suelo y del sensor de humedad por reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) se incluye un identificador del sensor (SensorCode) y la información asociada se almacena en las tablas **SOIL_MEASUREMENTS** y **TDR_SENSOR**.

La tabla **SITES_SPECIES** corresponde a una tabla transitiva que permite la integridad referencial en la base de datos. Esta tabla contiene un identificador único para cada especie muestreada en cada lugar de muestreo (SiteSpCode).

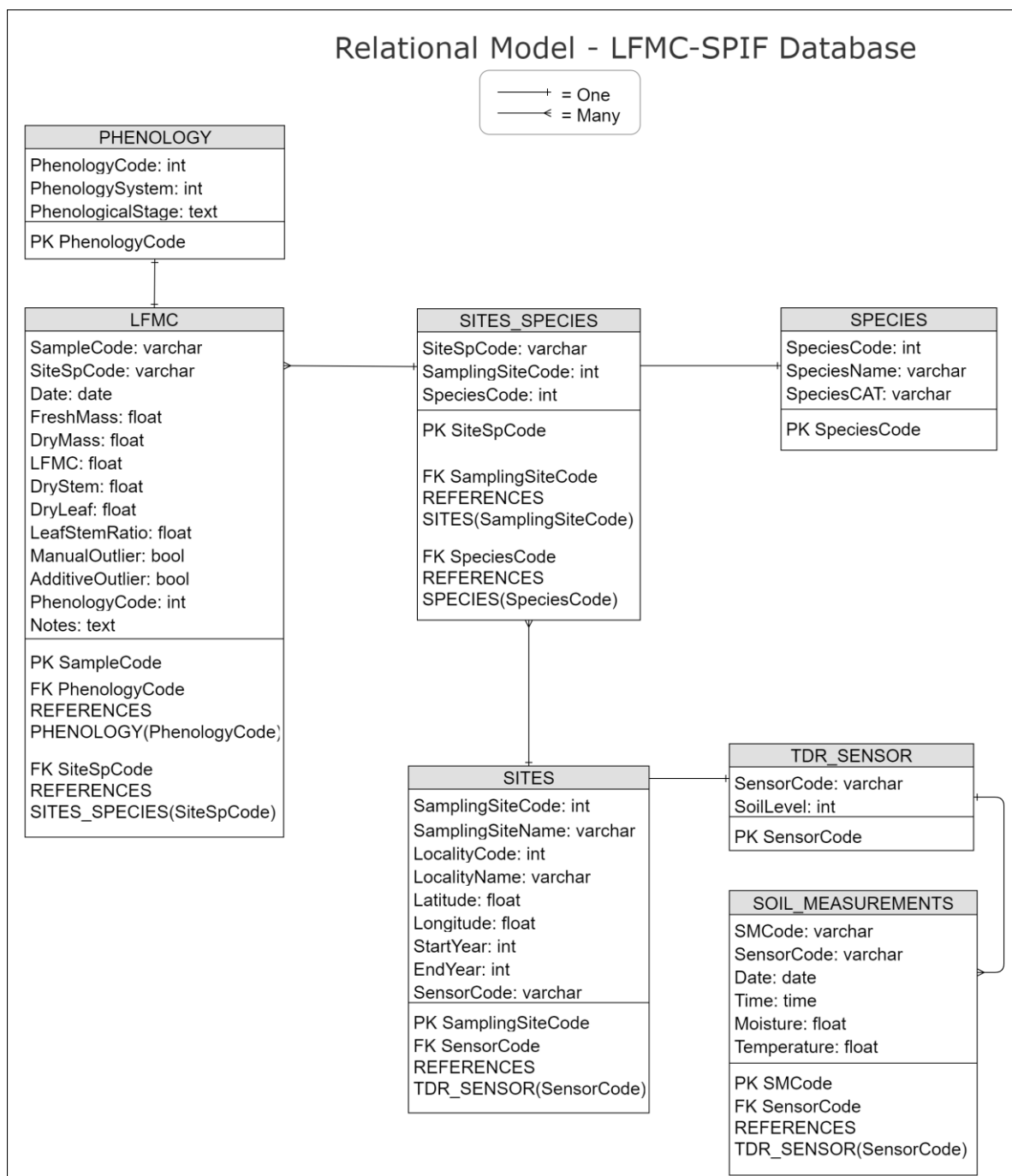


Figura 2. Modelo relacional lógico de la base de datos HCV, que muestra las entidades junto con sus correspondientes atributos, las restricciones de integridad de las entidades (claves primarias y foráneas) y la correspondencia de cardinalidad entre las entidades.

4.2 Gestión de la base de datos y accesibilidad de los datos

La base de datos LFMC se implementó utilizando el sistema de gestión de bases de datos SQLite. Se generó un paquete R para controlar la actualización y el mantenimiento de la base de datos, y para facilitar el procesamiento y la visualización de los datos. Las principales funciones incluidas en el paquete se muestran en la (Tabla 3). El paquete está disponible en el repositorio de GitHub (<https://github.com/spif-ctfc/LFMC>).

Tabla 3. Principales funciones del paquete LFMC.

Nombre	Función	Descripción
InitDB	gestión de la base de datos	Crea una base de datos, definiendo las entidades con sus correspondientes atributos
populateHCV	gestión de la base de datos	Rellena la entidad HCV
outlierSearch	gestión de la base de datos y procesamiento de datos	Detecta y marca los valores atípicos en los datos de HCV
heatmapHCV	visualización de datos	Traza patrones temporales de valores quincenales o mensuales de la HCV por año
seasonalQuantiles	visualización de datos	Traza los cuartiles de los valores quincenales o mensuales de la HCV

Una versión pública de la base de datos y del paquete R asociado está disponible a través de Zenodo (GABRIEL et al., 2020, <http://doi.org/10.5281/zenodo.4694854>) e incluye datos para los atributos “FreshMass” (peso fresco), “DryMass” (peso seco), “LFMC” (humedad del combustible vivo) y etiquetas de calidad. Las versiones de desarrollo del paquete están disponibles en un repositorio de GitHub (<https://github.com/spif-ctfc/LFMC>). El acceso a los atributos PhenologyCode, DryStem, DryLeaf y LeafStemRatio de la tabla de datos HCV, así como los datos de las tablas PHENOLOGY, SOIL_MEASUREMENTS y TDR_SENSOR estarán disponibles públicamente en un futuro próximo.

4.3 Estadística descriptiva de las especies muestreadas

La tabla 5 muestra los estadísticos por especie para los valores de la HCV disponibles, para cada una de las especies desde el 1998 al 2019, agrupando por sitio. En promedio, *Q. coccifera* presenta los valores más bajos, mientras que la especie con mayor y menor variación en la HCV son *C. monspeliensis* y *P. halepensis* respectivamente.

Tabla 5. Estadísticos de las especies muestreadas. Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

Especie	Mínimo	Promedio	Máximo	Coefficiente de variación
<i>Arbutus unedo</i>	87.93 (±13.02)	117.09 (±4.26)	161.04 (±16.4)	14.97 (±4.39)
<i>Cistus monspeliensis</i>	57.5 (±20.23)	118.67 (±12.97)	170.58 (±21)	31.26 (±8.73)
<i>Pinus halepensis</i>	97.96 (±7.51)	107.17 (±6.47)	118.28 (±11.3)	5.18 (±1.89)
<i>Quercus coccifera</i>	63.99 (±5.73)	75.22 (±4.32)	101.82 (±17.98)	12.68 (±5.12)
<i>Salvia rosmarinus</i>	59.22 (±18.7)	100.91 (±12.93)	142.77 (±18.67)	23.77 (±7.17)

Las siguientes figuras muestran la variación interespecífica dentro de un sitio de muestreo (**Figura 3**) y la variación espacial en los patrones estacionales de la HCV para una especie presente en distintos sitios de muestreo (**Figura 4**).

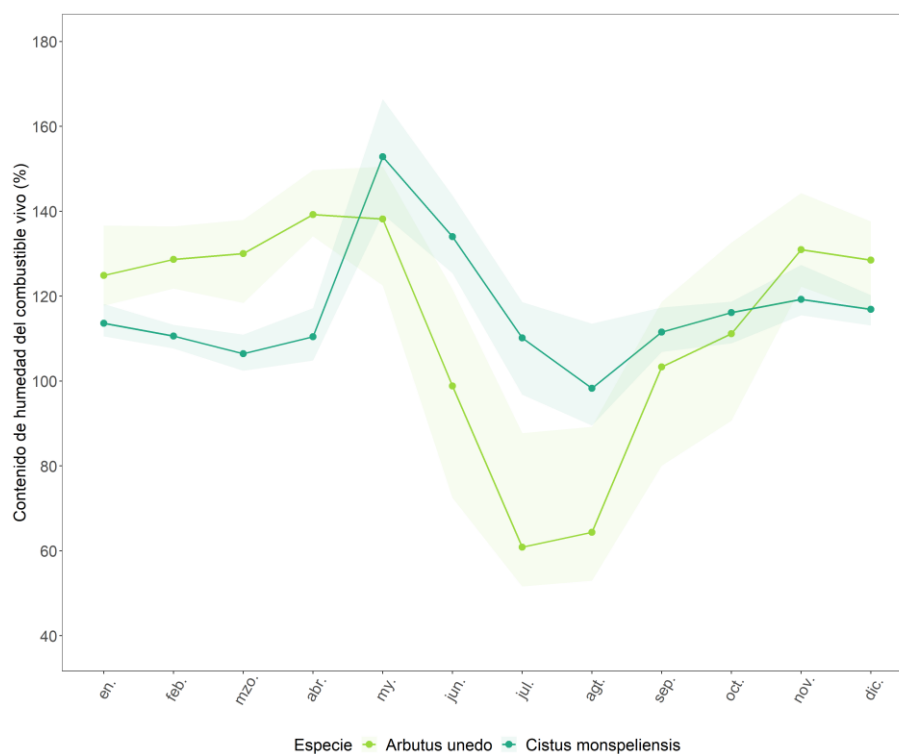


Figura 3. Contenido de humedad del combustible vivo de *Cistus monspeliensis* y del *Arbutus unedo* en Can Caldes. Los puntos corresponden al percentil 50, y el área sombreada representa los datos entre el percentil 25 y 75.

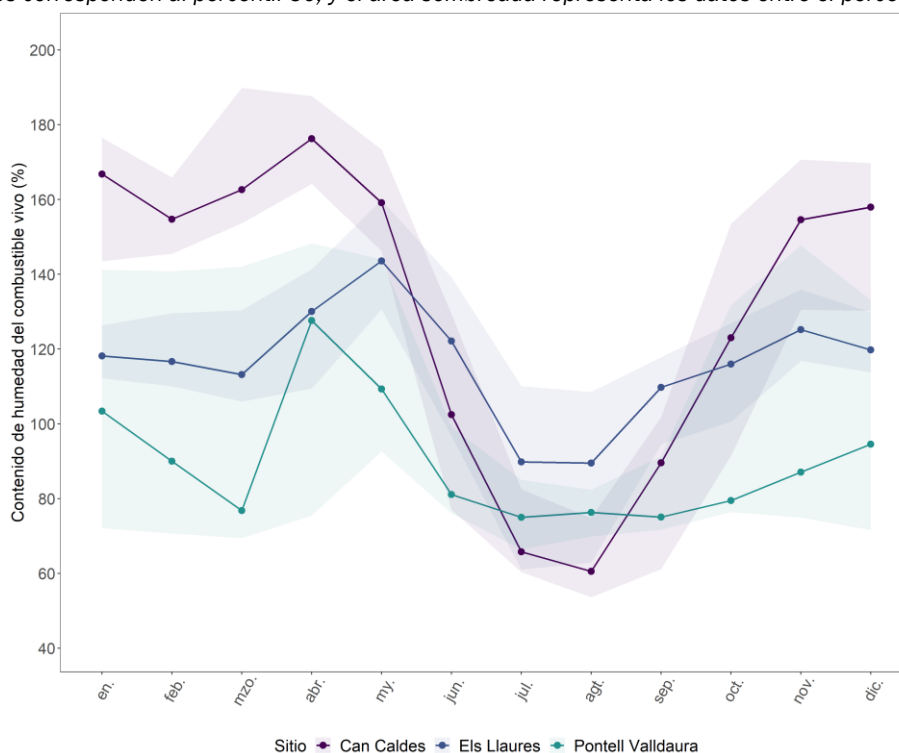


Figura 4. Contenido de humedad del combustible vivo de *Cistus monspeliensis* en Can Caldes, Els Llaures i Pontell Valldaura. Los puntos corresponden al percentil 50, y el área sombreada representa los datos entre el percentil 25 y 75.

El análisis de los datos como series temporales permite buscar relaciones con variables temporales como por ejemplo el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE). La **Figura 5** ilustra dos ejemplos de series de HCV de la base de datos, correspondientes a *S. rosmarinus* y *Q. coccifera* en la localidad de Camarasa. Se indican los AO y el TC detectados por el análisis de las series temporales, así como la tendencia a largo plazo obtenida del mismo análisis. Para evaluar la correspondencia entre las tendencias de la HCV y los índices meteorológicos, utilizamos las series temporales del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE o SPI por sus siglas en inglés) (McKee et al. 1993) a partir de los datos meteorológicos de las estaciones automatizadas cercanas del Servicio Meteorológico de Cataluña. Las series temporales del SPI para los periodos de acumulación de tres y doce meses también se muestran en la **Figura 5**.

Las series de componentes de tendencia tanto para *S. rosmarinus* como para *Q. coccifera* están relacionadas con las series del SPI, coincidiendo los valores más bajos del SPI con los valores más bajos de tendencia, aunque la tendencia de *S. rosmarinus* parece ser más sensible a los periodos de sequía que la de *Q. coccifera*. Los valores de TC y AO encontrados para *Q. coccifera*, y el correspondiente aumento de la tendencia de la HCV, se produjeron en los periodos 2002-2003 y 2009-2010, que fueron relativamente húmedos en comparación con los años secos entre 2005 y 2008.

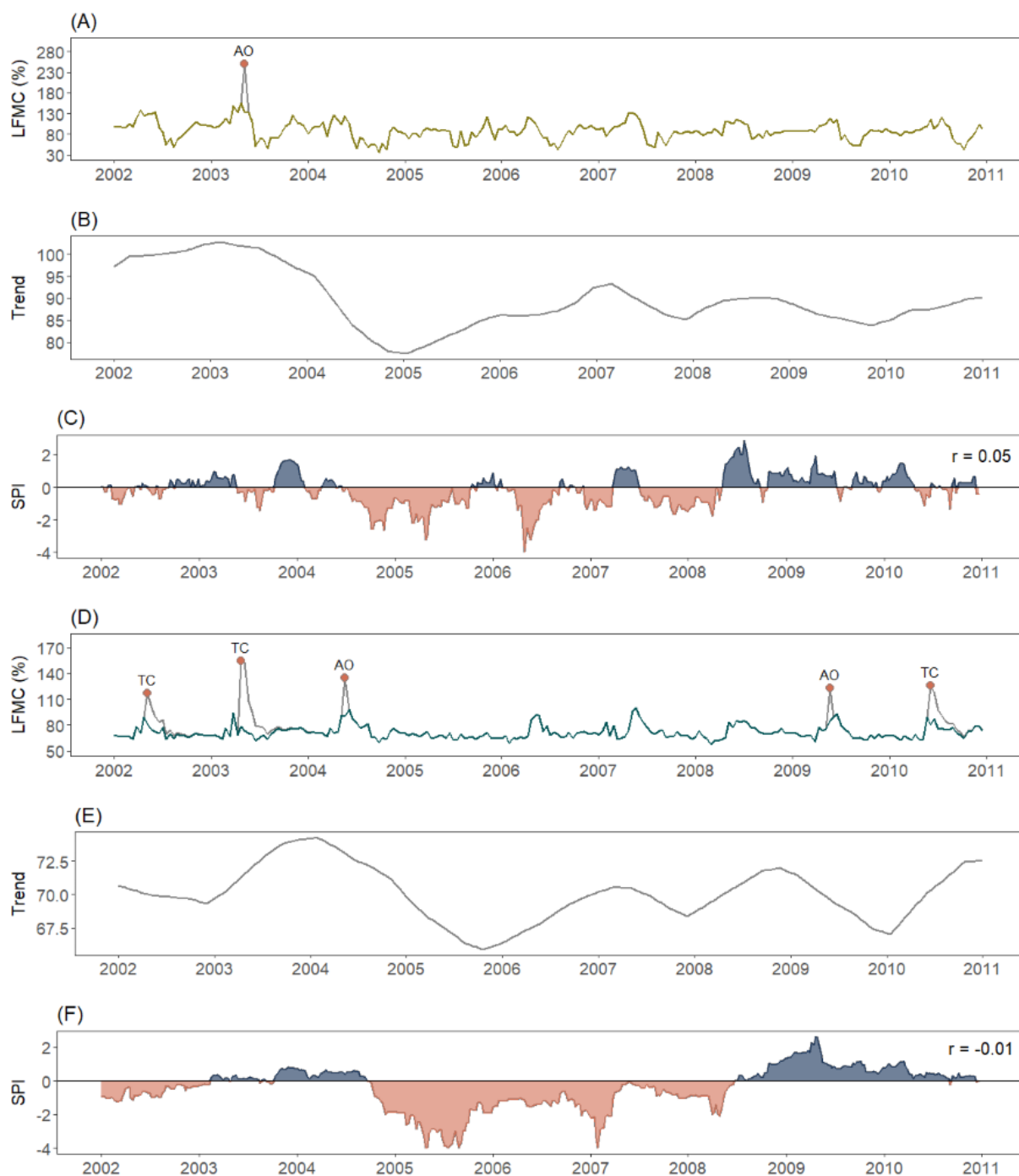


Figura 5. Contenido de humedad del combustible vivo (LFMC) y series del índice de precipitación estandarizado (SPI) en el sitio de muestreo "Penyalta" para el período 2002- 2011: Serie de datos originales de LFMF (línea gris), serie ajustada (color) y outliers detectados (puntos rojos) para *S. rosmarinus* (A) y *Q. coccifera* (D). Componente de tendencia de las series temporales de LFMF para *S. rosmarinus* y (B) *Q. coccifera* (E). Series de SPI para el período de acumulación de tres meses (C), y de doce meses (F).

5. Discusión

Esperamos que la base de datos de HCV sea útil para la investigación sobre el comportamiento de la HCV, la predicción y su relación con los datos meteorológicos, fisiológicos o

de teledetección (por ejemplo, RUFFAULT et al. 2018a). En particular, esperamos que sea útil para la investigación relacionada con la evaluación del riesgo de incendios forestales, como el estudio de las relaciones entre los impulsores de la sequía o el clima con la HCV de diferentes especies (VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2003; PELLIZARO et al., 2007), la calibración y validación de productos de teledetección (YEBRA et al., 2013; MARINO et al., 2018), el estudio y predicción de la inflamabilidad de las plantas (SAURA-MAS et al., 2010; MADRIGAL et al., 2013; FARES et al., 2016) y la tasa de propagación del fuego (ROSSA et al., 2016; PIMONT et al., 2019), o el estudio del papel de la HCV en los eventos y regímenes de incendios forestales (RUFFAULT et al., 2018). Además, la base de datos puede utilizarse para estudiar los rasgos y procesos ecofisiológicos que impulsan la dinámica de la HCV (DE CÁCERES et al., 2015; NOLAN et al., 2018; PIVOVAROFF et al., 2019).

6. Conclusiones

La puesta en común de esta base de datos de HCV con la Reseau Hydrique francesa (MARTIN-STPAUL et al., 2018; DUCHÉ et al., 2017) daría lugar a un gran conjunto de datos de HCV robusto y a largo plazo que cubre el área del Mediterráneo noroccidental durante más de 20 años. La base de datos presentada también contribuye a aumentar la cantidad de datos de HCV disponibles en todo el mundo (YEBRA ET AL., 2019).

7. Agradecimientos

Esta base de datos existe gracias al trabajo y apoyo del cuerpo de Agentes Rurales del Departamento de Interior de Cataluña que durante todos estos años, encargado de la recogida de muestras, en la que han participado decenas de agentes, coordinados por jefes de área básica y jefes de área regional. El Laboratorio Agroalimentario de Cabrils (Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural de Cataluña) facilitó el procesamiento de las muestras. Vicent Altava (Servicio Meteorológico de Cataluña), los datos del SPI. Pau Alfonso, Jaume Coll, Ester Serrano, Elena Blasco, Miquel Segarra participaron la coordinación y muestreo del HCV durante algunos períodos de tiempo de estos últimos veinte años.

8. Bibliografía

(CASTRO, FX); (TUDELA, A); (SEBASTIÀ, MT) 2003. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). *Agric For Meteorol* 116, 49–59. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00248-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00248-4)

(CASTRO-DÍEZ, P) 1996. Variaciones estructurales y funcionales de los fanerófitos dominantes en las comunidades de encinar a lo largo de un gradiente climático atlántico-mediterráneo. Tesis Doctoral. Universidad de León.

(CHANDLER, C); (CHENEY, P); (THOMAS, P); (TRABAUD, L); (WILLIAMS D) 1983. Fire in Forestry; Forest Fire Behavior and Effects, vol 1; John Wiley & Sons, Ed; New York.

(CHUVIECO, E); (GONZÁLEZ, I); (VERDÚ, F); (AGUADO, I); (YEBRA, M) 2009. Prediction of fire occurrence from live fuel moisture content measurements in a Mediterranean ecosystem. *Int J of Wildland Fire* 18(4): 430-441. <https://doi.org/10.1071/WF08020>

(COUNTRYMAN, CM); (DEAN, WA) 1979. Measuring moisture content in living Chaparral: a field user's manual; General Technical Report PSW-036; Berkeley, CA: U.S.; Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station; 28 p.

(DE CÁCERES, M); (MARTINEZ-VILALTA, J); (COLL, LL); (LLORENS, P); (CASALS, P); (POYATOS, R); (GARCIA PAUSAS, J); (BROTONS, LL) 2015. Coupling a water balance model with forest inventory data to predict drought stress: the role of forest structural change vs climate change. *Agric For Meteorol* 213:77-90. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.06.012>

(DUCHÉ, Y); (SAVAZZI, R); (TOUTCHKOV, M) & (CABANNE, E); 2017. Multisite and multispecies live fuel moisture content (LFMC) series in the French Mediterranean since 1996 [Data set] Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo162978>

(FARES, S); (BAJOCCO, S); (SALVATI, L); (CAMARRETTA, N); (DUPUY, JL); (XANTHOPOULUS, G); (GUIJARRO, M); (MADRIGAL, J); (HERNANDO, C); (CORONA, P); 2017. Characterizing potential wildland fire fuel in live vegetation in the Mediterranean region; *Ann For Sci* 74: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0599-5>

(GABRIEL, E); (DELGADO, R); (DE CÁCERES, M); (CASALS, P); (TUDELA, A); (CASTRO, X); 2020. August 6; spif-ctfc/LFMC: Live fuel moisture content database for Catalonia and managing package (Version v0;1;1); Zenodo; <http://doi.org/10.5281/zenodo.4694854>

(GABRIEL, E); (DELGADO, R); (DE CÁCERES, M); (CASALS, P); (TUDELA, A); (CASTRO, X); 2021. Live fuel moisture content time series in Catalonia since 1998. *Ann For Sci* 78:44; <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01057-0>

(HYNDMAN R); (ATHANASOPOULOS G); (BERGMEIR C); (CACERES G); (CHHAY L); (O'HARA-WILD M); (PETROPOULOS F); (RAZBASH S); (WANG E); (YASMEEN F); 2020 _forecast: Forecasting functions for time series and linear models_ R package version 812; <https://pkg.robjhyndman.com/forecast/> (mayo 2020)

(LÓPEZ-DE-LACALLE J); 2019. tsoutliers: Detection of Outliers in Time Series R package version 06-8 <https://CRAN.R-project.org/package=tsoutliers>

(MADRIGAL J); (HERNANDO C); (GUIJARRO M); 2013 A new bench-scale methodology for evaluating the flammability of live forest fuels. *J Fire Sci* 31:131-142. <https://doi.org/10.1177/0734904112458244>

(MARINO E); (GUILLÉN-CLIMENT M); (ALGEET N); (TOMÉ, JL); (HERNANDO, C); 2018. Estimation of live fuel moisture content of shrubland using MODIS and Sentinel-2 images; *Advances in forest fire research* 2018; pp 218-226. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_22

(MARTIN-STPAUL N); (DUPUY JL); (PIMONT F); (RIGOLOT E); (RUFFAULT J); (SAVAZZI R); (TOUTCHKOV M); (DUCHÉ Y); (CABANNE E); 2018. Live fuel moisture content (LFMC) time series for multiple sites and species in the French Mediterranean area since 1996. *Ann For Sci* 75:57. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0729-3>

(MCKEE TB); (DOESKEN NJ); (KLEIST J); (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales; Proceedings of the Eighth Conf on Applied Climatology Anaheim, CA, Amer Meteor Soc: 179–184

(NOLAN RH); (HEDO J); (ARTEAGA C); (SUGAI T); (RESCO DE DIOS V); 2018. Physiological drought responses improve predictions of live fuel moisture dynamics in a Mediterranean forest; Agric For Meteorol 263: 417–427. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.09.011>

(NORUM RA); (MILLER M); 1984 Measuring fuel moisture content in Alaska: standard methods and procedures United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report, 34 pp. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-171>

(PELLIZZARO G); (CESARACCIO C); (DUCE P); (VENTURA A); (ZARA P); 2007. Relationships between seasonal patterns of live fuel moisture and meteorological drought indices for Mediterranean shrubland species; Int J Wildl Fire 16: 232–241 <https://doi.org/10.1071/WF06081>

(PIMONT, F); (RUFFAULT, J); (MARTIN-STPAUL, NK) & (DUPUY, JL); 2019. Why is the effect of live fuel moisture content on fire rate of spread underestimated in field experiments in shrublands? Int J Wildland Fire 28:127-137; <https://doi.org/10.1071/WF06081>

(PIÑOL, J); (OGAYA, R) (1997) Humitat del combustible fi viu a Catalunya els anys 1995 i 1996 (Fuel humidity in Catalonia in 1995 and 1996); Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, 23 pp

(PIVOVAROFF, AL); (EMERY, N); (SHARIFI, MR); (WITTER, M); (KEELEY JE); (RUNDEL PW); 2019. The effect of ecophysiological traits on live fuel moisture content; Fire 2(2):28. <https://doi.org/10.3390/fire2020028>

(RESCO DE DIOS, V); 2020. Plant-Fire Interactions: Applying Ecophysiology to Wildfire Management; Managing Forest Ecosystems. vol.36. Springer International Publishing; Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41192-3>

(ROSSA, CG); (VELOSO, R); (FERNANDES, PM) (2016) A laboratory-based quantification of the effect of live fuel moisture content on fire spread rate International Journal of Wildland Fire 25: 569-573. <https://doi.org/10.1071/WF15114>

(RUFFAULT, J); (MARTIN-STPAUL, N); (PIMONT, F); (DUPUY, JL) (2018a) How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC)? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems; Agric For Meteorol 2018, 262: 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.031>

(RUFFAULT, J); (CURT, T); (MARTIN-STPAUL, NK); (MORON, V); (TRIGO, RM) (2018b) Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean; Nat Hazards Earth Syst Sci 18(3): 847–856. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-847-2018>

(SAURA-MAS, S); (PAULA, J); (G. PAUSAS, J); (LLORET, F); 2010. Fuel loading and flammability in the Mediterranean Basin woody species with different post-fire regenerative strategies; Int J Wildland Fire 19: 783-794; <https://doi.org/10.1071/WF09066>

(VIEGAS, DX); (PIÑOL, J); (VIEGAS, MT); (OGAYA, R) 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices; Int J Wildl Fire 10(2):223-240; <https://doi.org/10.1071/WF01022>

(YEBRA, M); (DENNISON, P); (CHUVIECO, E); (RIÑO, D); (ZYLSTRA, P); (JR, E); (DANSON, F); (QI, Y); (JURDAO, S); 2013. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products; Remote Sens Environ; 136; 455-468. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>

(YEBRA, M); (SCORTECHINI, G); (BADI, A); (BEGET, ME); (BOER, MM); BRADSTOCK R); (CHUVIECO E); (DANSON FM); (DENNISON P); (RESCO DE DIOS V); (DI BELLA CM); (FORSYTH G); (FROST P); (GARCIA M); (HAMDI A); HE B); (JOLLY M); (KRAAIJ T); (MARTÍN MP); (MOUILLOT F); (NEWNHAM G); (NOLAN RH); (PELLIZZARO G); (QI Y); (QUAN X); (RIÑO D); (ROBERTS D); (SOW M); AND (USTIN S); 2019 Globe-LFMC, a global plant water status database for vegetation ecophysiology and wildfire applications; Scientific Data 6: 155. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0164-9>