



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-398

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana

SORIANO SANCHO, JL.¹, QUÍLEZ MORAGA, R.²

¹ Unidad Técnica de Análisis de Incendios. VAERSA, Valenciana de Aprovechamiento Energético de Residuos.

² Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia.

Resumen

La disponibilidad de los combustibles y el comportamiento del fuego son claves en la gestión integral de los incendios forestales, y los dos factores están condicionados por la humedad del combustible vivo. El objeto del estudio es conocer este parámetro, que es característico de la especie, de su estado fenológico y de algunas variables meteorológicas. Para ello, se ha estudiado el valor real de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana, a través de la toma mensual de muestras de las principales especies forestales, y se ha analizado su variabilidad, su estacionalidad y su relación con el comportamiento del fuego. Durante 22 meses se han tomado un total de 2.174 muestras, de las cuales se ha realizado un análisis estadístico descriptivo, extrayéndose como resultado que, principalmente, los valores de humedad del combustible vivo se sitúan entre 80 y 110%, que existe variabilidad entre especies y que ésta varía según las épocas del año, permitiendo clasificarlas en función de su variabilidad, y que existen especies que son más influyentes en la disponibilidad total del combustible, entre las que se encuentra *Pinus halepensis* y *Rosmarinus officinalis*.

Palabras clave

Fenología, Incendios forestales, Monte mediterráneo, Comportamiento del fuego, Variabilidad.

1. Introducción

Los incendios forestales son fuegos que se propagan sin control humano, que ocurren en los ecosistemas terrestres y que se propagan por la vegetación (PAUSAS, 2012). Para que se inicie un fuego es necesario que se produzca una reacción de combustión, en la que interviene un combustible, un comburente y una aportación de calor, que genera una liberación de dióxido de carbono, vapor de agua y calor (ARNALDOS et al., 2004).

Previa a la fase de combustión, se produce la fase de deshidratación, en la que el calor aportado en el proceso de ignición es utilizado para evaporar el agua que pueda tener el combustible. Así pues, es el contenido de humedad el que determina la inflamabilidad (PYNE et al., 1996), la combustibilidad y la extinción, ya que ésta llegará cuando se acabe el combustible, el comburente o cuando la energía desprendida en la combustión no sea suficiente para continuar evaporando el combustible.

Cuanto más elevado sea el contenido de humedad, más grande será el tiempo de inflamación, porque se tardará más en evaporar el agua libre del combustible. Incluso si el contenido de humedad es muy elevado, la combustión no puede producirse (VÉLEZ, 2003; PELLIZZARO et al., 2007a).

Por tanto, el contenido de humedad del combustible constituye uno de los factores principales en el comportamiento del fuego y en el desarrollo de los incendios forestales (TRABAUD, 1976; VAN WAGNER, 1977; VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2007; JOLLY, 2007; PELLIZZARO et al., 2007b; QUÍLEZ, 2015). El conocimiento de este factor proporciona, además, beneficios en el diseño de las estrategias de extinción (STOW et al., 2006).

La humedad del combustible se entiende como el contenido de agua que tiene la vegetación (QUÍLEZ y MÉRIDA, 2014), y se diferencia en:

- La *humedad del combustible vivo (HCV)*, que varía en función de la época del año y del estado fenológico de cada especie, y determina la combustibilidad,
- Y la *humedad del combustible fino muerto (HCFM)*, que se ve influenciada en mayor medida por los factores ambientales (SCHROEDER & BUCK, 1970; CASTRO et al., 2007; QUÍLEZ y MÉRIDA, 2014), está compuesta por las partes muertas de la vegetación y condiciona la inflamabilidad.

El cálculo del valor de la humedad tiene un tratamiento distinto para cada tipo, ya que éstos tienen respuestas distintas frente a los cambios del tiempo meteorológico (SCHROEDER & BUCK, 1970). La humedad el combustible fino muerto ha sido ampliamente estudiada, puesto que depende, fundamentalmente, de variables meteorológicas concretas, fáciles de relacionar. Sin embargo, existen menos datos sobre los valores reales del combustible vivo (CASTRO et al., 2007), pues su humedad depende fundamentalmente de la especie y su estado fenológico y de algunas variables meteorológicas, además del relieve y el suelo (CASTRO et al., 2003).

Rothermel (ROTHERMEL, 1983) propuso una clasificación de la humedad del combustible vivo en función del estado de desarrollo de la vegetación que ha servido de referencia a nivel mundial. En dicha clasificación se distinguen cinco estadios de desarrollo de la vegetación, a los que se asocian valores de humedad desde el 30%, correspondiente a las hojas completamente maduras, al 300%, correspondiente a las hojas jóvenes y primeros estadios de desarrollo vegetal. Sin embargo, los datos obtenidos en estudios realizados en la península ibérica difieren de estos valores (CASTRO et al., 2006; PELLIZZARO et al., 2007b; VIEGAS et al., 2013), y muestran distintos comportamientos de la variación estacional de la humedad del combustible vivo en función de cada especie, lo que dificulta poder asignar un valor global de humedad a toda la estructura del combustible (SCHROEDER & BUCK, 1970; CHUVIECO et al., 2004).

En relación a esta variabilidad del contenido de humedad entre especies y estratos se define el concepto de ventana fenológica (QUÍLEZ, 2015) entendida como el contenido de humedad de la vegetación viva que presenta un modelo de combustible, como combinación del contenido de humedad de todos sus estratos, de manera que cuando el fuego propaga a través de él, el efecto provocado en la estructura depende del paso del fuego a través de cada estrato. Este concepto se asimila también al de disponibilidad del combustible, frecuentemente utilizado en el ámbito de la extinción de incendios, y que en la actualidad no está cuantificado, sino que se emplea de forma relativa por comparación entre distintas situaciones fenológicas o de contenido de humedad de los combustibles. El conocimiento y cuantificación de estos dos conceptos contribuye a la comprensión del comportamiento del fuego (QUÍLEZ, 2015), y como consecuencia a su predicción (PELLIZZARO et al., 2007b).

Así pues, nos encontramos ante un escenario en el que la humedad del combustible se considera como un parámetro fundamental en el comportamiento del fuego, y por tanto, se considera necesario ampliar el conocimiento respecto a la humedad del combustible vivo, conocer su magnitud y su variación estacional, para comprender y predecir el comportamiento del fuego.

En este contexto, se plantea iniciar un estudio de la humedad del combustible vivo de las principales especies vegetales presentes en los montes de la Comunitat Valenciana (España), según el método más preciso que es la estimación directa mediante muestreos (YEBRA et al., 2005).

2. Objetivos

Como objetivo fundamental se plantea conocer el valor real y la variación estacional de la Humedad del Combustible Vivo (HCV) de las especies más representativas de las masas forestales de

la Comunitat Valenciana, en comparación con los valores teóricos comúnmente utilizados. A partir de este conocimiento, se pretende:

- a) relacionar la variabilidad de la humedad del combustible vivo con el estado fenológico de cada especie y su estacionalidad
- b) determinar cuáles de estas especies son las más influyentes en la disponibilidad total del combustible, es decir, en la ventana fenológica y por tanto en el comportamiento del fuego.

3. Metodología

Para conocer el valor de la humedad del combustible vivo se sigue el método de la estimación directa mediante muestreo, que consiste en realizar tomas periódicas de partes vivas de las especies seleccionadas y analizar su contenido de humedad en laboratorio. La metodología seguida es una adaptación de la recomendada por el Laboratorio del Fuego del INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Gobierno de España), y consiste en:

- Las muestras están compuestas por elementos finos de las partes periféricas de las especies seleccionadas. Los elementos son de diámetro inferior a 0,6cm y en porciones de 5 a 10 cm de largo.
- Siempre se toman partes vivas del mismo individuo, evitando frutos y flores. El peso verde de las muestras varía entre 30 y 200 gramos, según especies. En caso de considerarse sobremuestreado el individuo, se elegirá otro cercano de las mismas características.
- El horario de la toma es entre las 12h y las 14h solares.
- Cada muestra se introduce en un bote de plástico cerrado herméticamente y con la tapa sellada.
- Se identifica cada bote con los datos referentes a: punto de muestreo, especie, fecha, hora, estado de la vegetación herbácea, observaciones sobre fenología.

Posteriormente, las muestras se trasladan al laboratorio, dónde son analizadas y se calcula el contenido en humedad según el siguiente proceso:

- Se calcula el *peso total*: peso del bote con la muestra en su interior.
- Se extrae la totalidad de la muestra y se coloca en bandejas para su secado.
- Se calcula el *peso del bote*: se tara con todas las tapas, etiquetas y precintos, tras secar la humedad condensada en su interior.
- Se calcula el *peso de la muestra en verde*, por diferencia de los dos anteriores:

$$\text{PesoVerde} = \text{PesoTotal} - \text{PesoBote}$$

- Se introduce la muestra en estufa de secado a 100°C hasta peso constante (en combustibles finos es suficiente con 24h), y tras pesarla se obtiene el *peso seco*.
- Se calcula el valor de la humedad del combustible vivo con la fórmula:

$$\text{HCV} = \frac{\text{PesoVerde} - \text{PesoSeco}}{\text{PesoSeco}} * 100$$

El resultado del cálculo de la HCV se incluye en la base de datos, a partir de la cual se realiza el análisis estadístico que nos permite conocer el valor real de la humedad de las especies muestreadas.

En la bibliografía se encuentran ejemplos de uso de esta misma metodología para el cálculo de la HCV (VIEGAS et al., 2001; STOW et al., 2006; PELLIZZARO et al., 2007a; POLLET & BROWN, 2007), aunque algunos introducen las muestras en la estufa durante 48h (PELLIZZARO et al., 2007b).

Este proceso de toma de muestras se repite para todos los puntos de muestreo seleccionados a lo largo del territorio de la Comunitat Valenciana, que cuenta con una superficie forestal de 1.296.573 ha (PATFOR, GENERALITAT VALENCIANA, 2011), de las cuales el 52% son arboladas y el 44% son monte no arbolado. En las masas arboladas, la especie más representativa es *Pinus halepensis* (72%), y aparecen también *Quercus ilex*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*. En el estrato arbustivo la formación con mayor presencia es la garriga (36%) cuya principal especie es *Quercus*

coccifera, acompañada de *Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Pistacia lentiscus* y *Juniperus oxycedrus*.

Se localizan un total de 20 puntos de muestreo que cumplen las premisas de ser representativos en cuanto a especies, estratos de vegetación y estructura del combustible; de tener presentes más de una de las especies mencionadas; de ser representativas de la topografía de la zona y de las condiciones climáticas; además de seleccionar preferentemente la exposición sur.

En la Figura 1 se muestra la ubicación de las parcelas de muestreo, de las que 6 están en la provincia de Castellón, 11 en la provincia de Valencia y 3 en la provincia de Alicante. Del total de parcelas, hay 12 en suelo arbolado y 8 en suelo desarbolado.

Entre las 20 parcelas se toman muestras de un total de 24 especies distintas, todas ellas características de los montes mediterráneos. Las especies más repetidas son *Pinus halepensis* y *Rosmarinus officinalis* (en 16 parcelas), *Quercus coccifera* (en 15 parcelas), *Juniperus oxycedrus* (en 13 parcelas), *Ulex parviflorus* (en 10 parcelas), *Erica multiflora* (en 9 parcelas). En cada toma de muestras se recogen un total de 129 muestras de vegetación.

En este estudio se decide realizar las tomas con una periodicidad mensual, por limitaciones de personal y sobre todo, por limitaciones de disponibilidad del laboratorio. Algunos autores han realizado toma de muestras quincenales (CASTRO et al., 2007), mensuales en invierno y quincenales en verano (CASTRO et al., 2003), incluso semanales (VIEGAS et al., 2001) o quincenales en invierno y semanales en verano (PELLIZZARO et al., 2007b). Pero en todos ellos, la toma de muestras se realiza en las horas centrales del día.

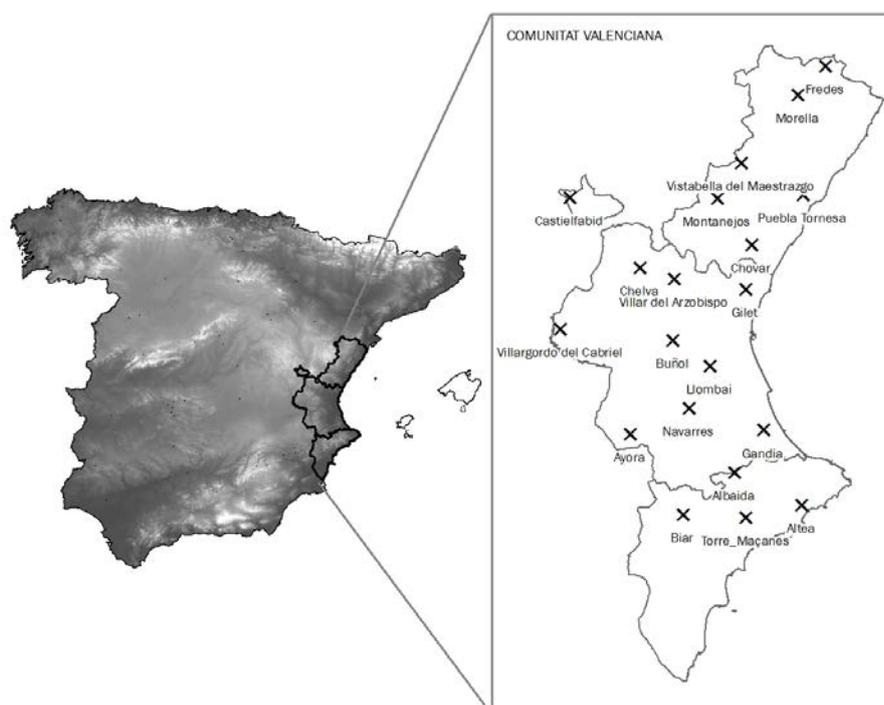


Figura 1. Localización de las parcelas de muestreo en la Comunitat Valenciana (España)

La duración del estudio comprende un total de 22 meses, desde abril de 2014 hasta enero de 2016 con toma de muestras mensuales, lo que supone una cantidad de 2174 muestras analizadas. Sobre el valor de la humedad calculado para todas las muestras se realiza el análisis estadístico descriptivo.

4. Resultados

Como resultado del primer análisis descriptivo se tiene el histograma de distribución de los valores de humedad para todas las especies (Figura 2). Se observa que los valores siguen una distribución normal con máximos en 245,5% y mínimos en 31,7%, siendo los valores más repetidos 80, 90, 100 y 110, que constituyen el 64% del total de valores. Los valores superiores a 180% y los inferiores a 40% (ambos inclusive), se consideran puntuales y extremos, pues cada una de estas clases tiene una representación inferior al 1% del total de la muestra.

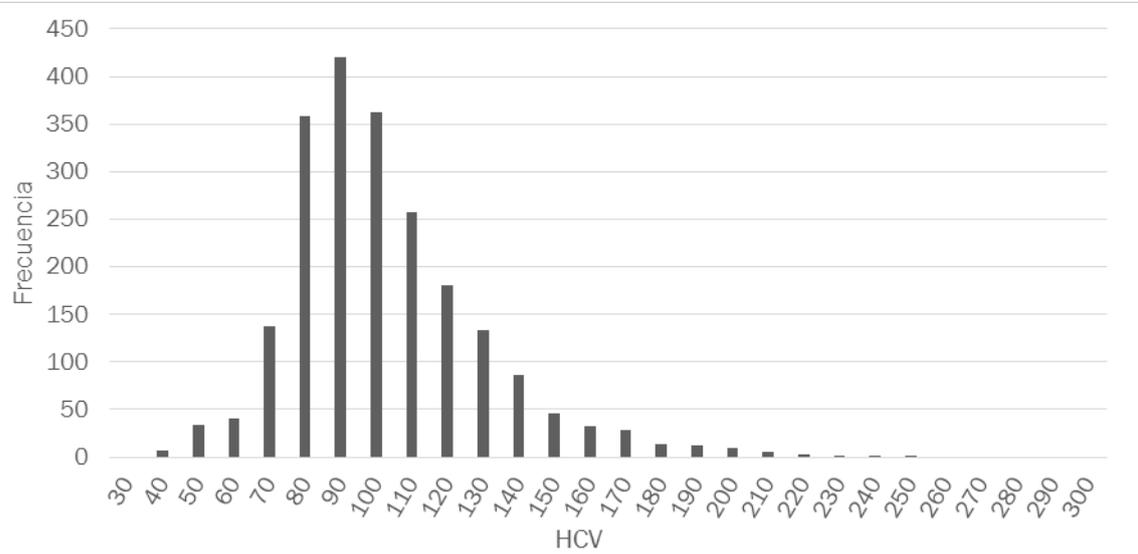


Figura 2. Distribución de la frecuencia de los valores de HCV en la Comunitat Valenciana

El resultado del análisis estadístico para cada especie (Tabla 1) se complementa con el diagrama de cajas para cada especie (Figura 3) y la comparación del valor máximo, medio y mínimo para cada especie (Figura 4).

Se observa una elevada variabilidad de datos entre las especies, con máximos de 245,5% para *Cistus albidus* y mínimos de 31,7% en *Stipa tenacissima*. El rango entre máximo y mínimo va desde los 200,6 puntos en *Cistus albidus* hasta sólo 23 en *Chamaerops humilis*.

El coeficiente de variación expresa en porcentaje la variabilidad de los datos de HCV en cada especie. Los datos obtenidos van desde 33,3% en *Cistus albidus* a 7,2% en *Chamaerops humilis*. Estos datos, junto al resultado de la Varianza, permiten analizar la dispersión de los valores de cada muestra.

Según el análisis del diagrama de cajas, las especies que mayor variación presentan son *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Rosmarinus officinalis* y *Thymus vulgaris*. En un grado inferior, también presentan elevada variabilidad *Ulex parviflorus*, *Cerantonia siliqua*, *Erica arbórea* y *Erica multiflora*.

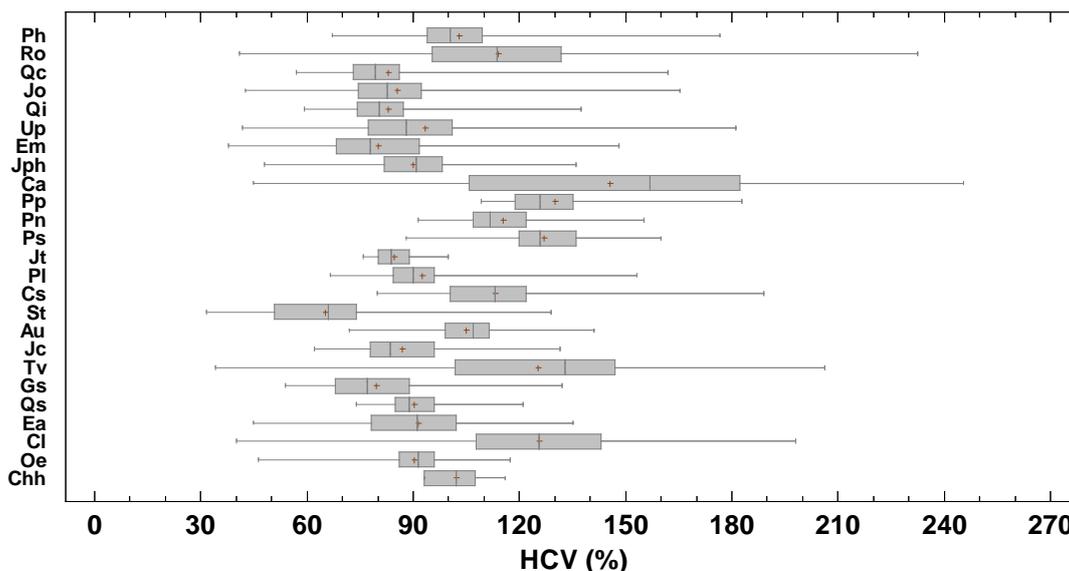


Figura 3. Diagrama de cajas de los valores de HCV (%) para cada especie analizada. Nota: La correspondencia entre abreviaturas y nombre de las especies se puede consultar en la tabla 1.

En contra, las especies que menor variación presentan son *Quercus suber*, *Chamaerops humilis* y *Juniperus thurifera*. El resto de especies presentan una variabilidad media, aunque destacan las especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*, que concentran la mayor parte de población en torno a un valor medio, representado en cajas de reducido tamaño. En este grupo se encuentran *Quercus coccifera* y *Pinus halepensis*, con elevada representatividad territorial en los montes valencianos, y *Juniperus oxycedrus*, también con una variabilidad media y es una especie típica de los matorrales mediterráneos.

El dato de presencia territorial (Tabla 1) permite conocer la representatividad que tiene cada una de las especies en el territorio según el PATFOR (GENERALITAT VALENCIANA, 2011) y asociarla al grado de influencia que tiene cada especie sobre el valor global de la humedad del combustible de las masas.

Tabla 1. Análisis estadístico de la HCV (%) para cada especie. Se ordena de forma descendente según el coeficiente de variación. N es número de muestras. Nota(*): los datos de presencia de cada especie medida en ha proceden del PATFOR

| Especie | | Max. | Media | Mín. | Rango | Varianza | Desv. típica | Coef. Variación | N | Presencia (ha)* |
|-------------------------------|----|------|-------|------|-------|----------|--------------|-----------------|-----|-----------------|
| <i>Cistus albidus</i> | Ca | 245 | 146 | 45 | 201 | 2353 | 49 | 33 | 62 | 7.648 |
| <i>Stipa tenacissima</i> | St | 129 | 65 | 32 | 97 | 391 | 20 | 30 | 33 | 1.926 |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> | Ro | 232 | 114 | 41 | 192 | 1134 | 34 | 30 | 277 | 78.195 |
| <i>Cistus monspeliensis</i> | Cl | 198 | 126 | 40 | 158 | 1292 | 36 | 29 | 16 | 244 |
| <i>Thymus vulgaris</i> | Tv | 206 | 125 | 34 | 172 | 1125 | 34 | 27 | 45 | 16.514 |
| <i>Ulex parviflorus</i> | Up | 181 | 93 | 42 | 140 | 572 | 24 | 26 | 170 | 42.669 |
| <i>Erica multiflora</i> | Em | 148 | 80 | 38 | 110 | 399 | 20 | 25 | 151 | 30 |
| <i>Genista scorpius</i> | Gs | 132 | 80 | 54 | 78 | 385 | 20 | 25 | 18 | 3.791 |
| <i>Erica arborea</i> | Ea | 135 | 91 | 45 | 90 | 436 | 21 | 23 | 17 | 20 |
| <i>Juniperus oxycedrus</i> | Jo | 165 | 85 | 43 | 123 | 326 | 18 | 21 | 221 | 19.647 |
| <i>Quercus coccifera</i> | Qc | 162 | 83 | 57 | 105 | 265 | 16 | 20 | 267 | 77.127 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|---------|
| <i>Ceratonia siliqua</i> | Cs | 189 | 113 | 80 | 109 | 477 | 22 | 19 | 42 | 17 |
| <i>Quercus ilex</i> | Qi | 137 | 83 | 59 | 78 | 208 | 14 | 17 | 114 | 95.729 |
| <i>Juniperus communis</i> | Jc | 131 | 87 | 62 | 69 | 218 | 15 | 17 | 29 | 948 |
| <i>Juniperus phoenicea</i> | Jph | 136 | 90 | 48 | 88 | 203 | 14 | 16 | 117 | 11.351 |
| <i>Pistacea lentiscus</i> | Pl | 153 | 93 | 67 | 87 | 191 | 14 | 15 | 105 | 26.075 |
| <i>Arbutus unedo</i> | Au | 141 | 105 | 72 | 69 | 228 | 15 | 14 | 16 | 615 |
| <i>Olea europea</i> | Oe | 117 | 90 | 46 | 71 | 152 | 12 | 14 | 22 | - |
| <i>Pinus halepensis</i> | Ph | 176 | 103 | 67 | 109 | 189 | 14 | 13 | 283 | 518.664 |
| <i>Pinus nigra</i> | Pn | 155 | 115 | 91 | 64 | 212 | 15 | 13 | 45 | 45.261 |
| <i>Pinus pinaster</i> | Pp | 183 | 130 | 109 | 74 | 246 | 16 | 12 | 49 | 19.927 |
| <i>Quercus suber</i> | Qs | 121 | 90 | 54 | 47 | 115 | 11 | 12 | 17 | 6.700 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Ps | 160 | 127 | 88 | 72 | 189 | 14 | 11 | 35 | 6.766 |
| <i>Juniperus thurifera</i> | Jt | 100 | 85 | 76 | 24 | 41 | 6 | 8 | 13 | 4.015 |
| <i>Chamaerops humilis</i> | Chh | 116 | 102 | 93 | 23 | 54 | 7 | 7 | 10 | 129 |

Atendiendo al estrato al que pertenecen las especies, se observa que las especies arbóreas tienen una variabilidad media o baja, y sus hojas/acículas no presentan grandes variaciones de humedad en un mismo punto de muestreo hasta el percentil 95, descartando valores extremos. En el estrato arbustivo es donde mayor variabilidad se observa.

Destacan las especies del género *Pinus*, excepto *Pinus halepensis*, porque sus valores mínimos son cercanos o superan el 90% y sus valores medios se sitúan en torno al 120%, al igual que especies arbustivas como las Cistáceas, *Rosmarinus officinalis* o *Thymus vulgaris*. No es el caso de otras especies arbóreas como *Quercus ilex* o *Pinus halepensis*, cuyos valores mínimos se sitúan alrededor del 60% y sus medias en torno al 80% y 100% respectivamente.

Los valores máximos, en general, superan el 135% de humedad y sólo superan el 200% en *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Rosmarinus officinalis* y *Thymus vulgaris*.

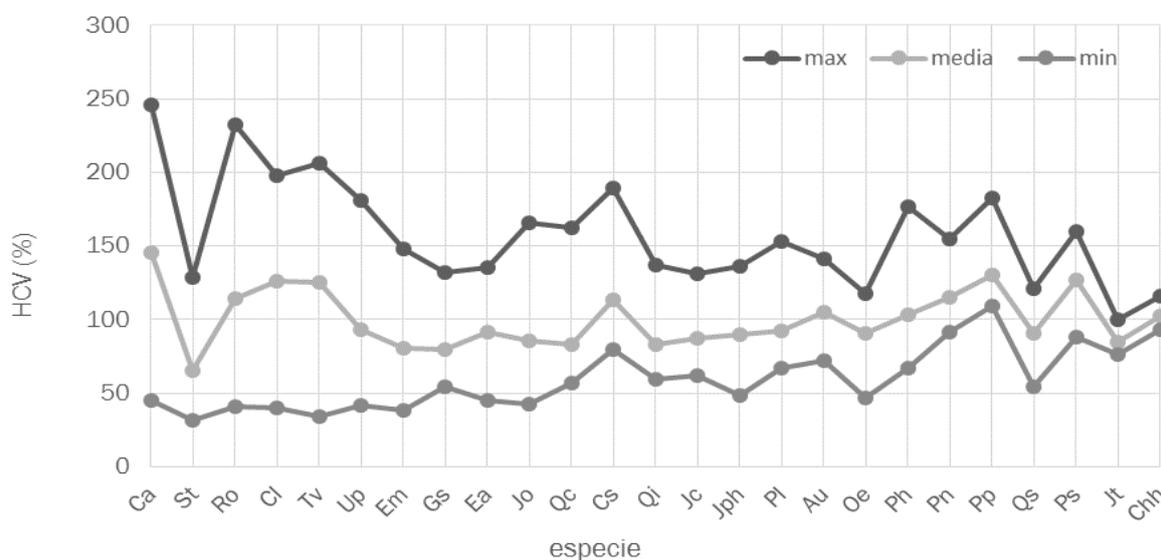


Figura 4. Valores máximo, medio y mínimo de HCV (%) para cada especie analizada. Nota: La correspondencia entre abreviaturas y nombre de las especies se puede consultar en la tabla 1.

Para profundizar en el análisis estacional y temporal, se analiza la evolución de la humedad en el período estudiado para las especies con mayor presencia en la Comunitat Valenciana (Figura 5). Se observa que *Rosmarinus officinalis* tiene una variación anual elevada, con máximos en primavera y otoño y mínimos en verano. Sin embargo, los valores de primavera y otoño interanuales son distintos. Esto es debido a las características meteorológicas, ya que la primavera de 2015 fue más lluviosa que en el 2014. Esto se refleja también en el resto de especies, con valores significativamente superiores a los del año anterior en los meses de abril-mayo de 2015.

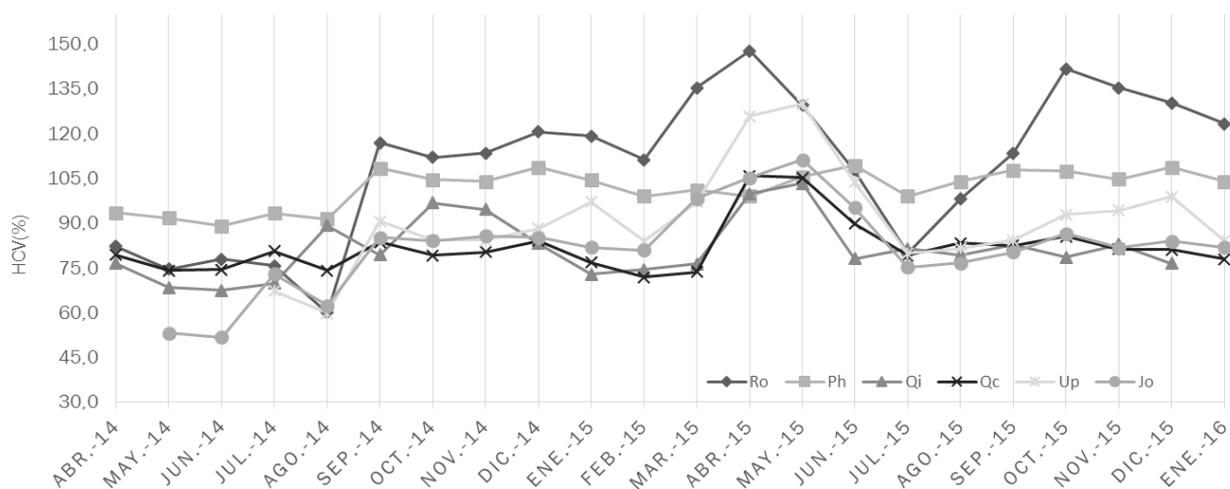


Figura 5. Evolución temporal de los valores de HCV (%) para las especies principales. Nota: Ro (*Rosmarinus officinalis*), Ph (*Pinus halepensis*), Qi (*Quercus ilex*), Qc (*Quercus coccifera*), Up (*Ulex parviflorus*), Jo (*Juniperus oxycedrus*).

Ulex parviflorus también muestra variabilidad elevada con mínimos en verano, cuando presenta gran parte de la planta en estado senescente, acumulando gran cantidad de materia muerta. Es en primavera cuando presenta mayores valores de humedad. *Juniperus oxycedrus* muestra una evolución similar a la aliaga, pero con extremos máximos menores.

Quercus ilex y *Quercus coccifera* se comportan de forma similar, aunque es la carrasca la que mayor variabilidad presenta a lo largo del año. La coscoja se mantiene con unos valores muy similares durante todo el período de estudio, excepto en la primavera de 2015, ya que se registraron fuertes lluvias durante el mes de marzo, lo que se vio reflejado en los valores de humedad de los meses de abril, incluso mayo. Esta influencia de la precipitación se observa claramente para todas las especies excepto para *Pinus halepensis*, cuyos valores medios de humedad se mantienen constantes durante todo el período, en un intervalo entre 89 y 109%.

Es destacable el pronunciado descenso que se observa en julio de 2015, debido a la intensa ola de calor que se registró entre el 26 de junio y el 29 de julio de 2015, con una duración de 35 días, y que afectó de forma continuada a gran parte de España, sobre todo al interior y sur del territorio peninsular. Esto hizo que las temperaturas de julio se mantuviesen muy por encima de los valores normales, tanto en los valores máximos diarios como en las mínimas nocturnas (AEMET, 2015). El descenso en el contenido de humedad se registra en todas las especies excepto en *Pinus halepensis*, que mantiene un valor medido de 99%.

Del análisis de los valores medios de humedad según las estaciones del año (Figura 6), se desprende que los valores más altos se registran en primavera y otoño y el valor mínimo en verano, tanto en el caso de las máximas como en las medias. Para las mínimas, el valor más alto se presenta en otoño e invierno y el mínimo en verano, momento de mayor disponibilidad de las especies frente al fuego. No obstante, se ha observado que para cada especie esta distribución estacional es distinta.

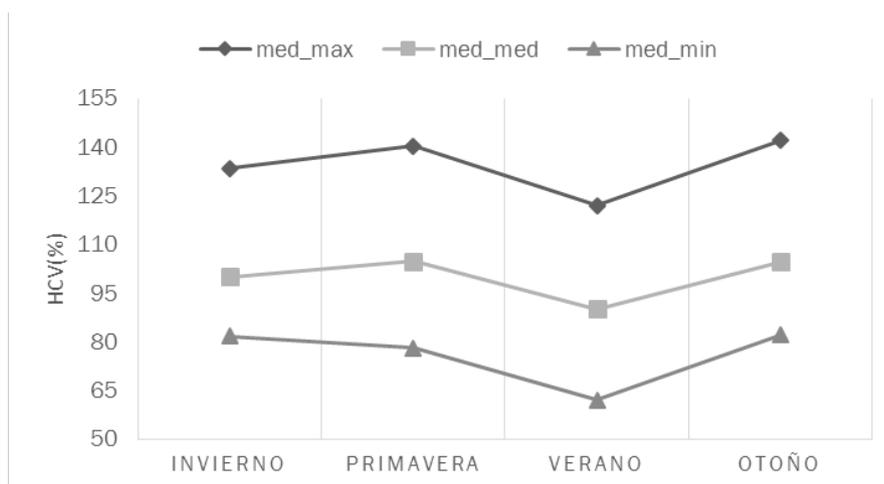


Figura 6. Distribución de la humedad según la estación del año. Las series representadas son la media de las máximas, la media de las medias y la media de las mínimas de todos los valores de HCV calculados. Invierno (diciembre-febrero); primavera (marzo-mayo); verano (junio-agosto); otoño (septiembre-noviembre).

5. Discusión

Con los resultados obtenidos en el estudio, se ha observado que los valores presentes en el monte mediterráneo levantino, difieren de los descritos por Rothermel (ROTHERMEL, 1983), y coinciden con los de otros autores (CASTRO et al., 2006; PELLIZZARO et al., 2007; VIEGAS et al., 2013) que realizan estudios para distintos puntos de la península Ibérica.

Con estos resultados se puede decir que en el ámbito de la Comunitat Valenciana no es viable aplicar la clasificación realizada por Rothermel (ROTHERMEL, 1983), pues no se registran los valores máximos ni mínimos asociados a los distintos estadios de desarrollo de la vegetación.

Esto sugiere que, menores variaciones de la humedad del combustible vivo, pueden variar la disponibilidad del combustible frente al fuego y por tanto el comportamiento del incendio (JOLLY, 2007). Es decir, pequeñas variaciones en la humedad del vivo, pueden determinar que la vegetación pase a estar más disponible a arder. En este sentido, otros autores (CASTRO et al., 2003) hacen referencia a estudios (ELVIRA & HERNANDO, 1989; VALETTE, 1993; MORO & LE CORRE, 1993; ROCHAS, 1994) en los que se menciona la relación de la humedad del combustible fino vivo con la inflamabilidad de las especies mediterráneas, pero sin concretar umbrales ni valores concretos de humedad con respecto al comportamiento del fuego.

El estudio de la variación de la humedad concreta para cada especie revela que existe gran variabilidad entre especies, como ya apuntaban otros autores (VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2003; POLLET & BROWN, 2007; PELLIZZARO et al., 2007b). Schroeder & Buck (SCHROEDER & BUCK, 1970) ya mencionaron que la humedad de las plantas varía en función de su fenología y con el ciclo de crecimiento estacional, registrándose los valores más altos en la época de crecimiento y floración. Como consecuencia, el valor de la humedad es particular de cada especie. Posteriormente, varios autores han comprobado esta afirmación (CASTRO et al., 2003; PELLIZZARO et al., 2007b; NOLAN et al., 2016) y la han relacionado con el peligro de incendios y la disponibilidad del combustible (STOW et al., 2005; QUÍLEZ, 2015).

En este estudio se realiza un análisis de la estacionalidad desde un punto de vista general, aunque existen suficientes datos para analizar cada especie por separado (Figura 5). Se puede confirmar que las especies tienen una variación estacional de la humedad, registrándose los valores más altos en primavera y otoño y los más bajos en verano. Esta respuesta tiene su explicación en que i) en primavera coincide con la época de crecimiento y floración, en la cual las plantas necesitan mover el agua para el desarrollo de las nuevas hojas; ii) en verano se produce un descenso de la actividad vegetativa y menor movimiento de agua por las plantas, debido a las altas temperaturas típicas del

clima mediterráneo, asociado a la escasez de lluvias; iii) en otoño, se produce una recuperación de la humedad tras las lluvias de septiembre-octubre.

Así pues, con este conocimiento de la estacionalidad, el siguiente paso es determinar los umbrales de humedad en relación al comportamiento del fuego y así estimar el riesgo potencial del incendio. Aspecto a abordar en futuras líneas de trabajo, que continúen el iniciado en este estudio y que ya se ha comenzado a realizar de forma puntual.

Algunos autores (PELLIZZARO et al., 2007; VIEGAS et al., 2001; CASTRO, 2006) sitúan el foco en el estudio de los valores de la humedad del combustible vivo para relacionarlos con el riesgo de incendio, sin embargo, consideramos que el foco de estudio debe de estar en determinar el valor de la humedad en cada incendio, en relación con la meteorología que le afecta, para así poder correlacionarlo con el comportamiento desarrollado por el fuego y llegar a conocer los umbrales para cada tipo de incendio. De este modo se define el concepto de ventana fenológica (QUILEZ, 2015) que asocia la humedad del combustible vivo de cada estrato vegetal al paso del fuego a través de cada uno de sus estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo). Relacionando la ventana fenológica con la ventana meteorológica, encuentra comportamientos más severos del incendio en combinaciones de humedad del combustible vivo más baja, con una meteorología menos adversa; que, en otros incendios con condiciones meteorológicas más propicias a mostrar un comportamiento más severo, pero con contenido de humedad del combustible vivo más elevada. Demostrando la influencia del contenido de humedad

No debe olvidarse, que en el comportamiento del fuego también interviene la humedad del combustible fino muerto, que determina la inflamabilidad, y que es más fácil de conocer, pues está mucho más estudiada e influenciada por las condiciones meteorológicas. El conocimiento de ambas humedades es necesario para determinar el potencial del incendio (NOLAN et al., 2016).

En este sentido, existen estudios sobre la inflamabilidad de algunas especies mediterráneas y su relación con la humedad del combustible vivo (PELLIZZARO et al., 2007), en los que se concluye que las especies son muy inflamables cuando la HCV está entre 70-100% y que las igniciones son menores cuando la HCV está entre 170-200%. En el mismo estudio se hace referencia a otros resultados:

- El potencial de fuego de copas en pinares aumenta cuando la humedad de las copas es inferior al 100% (VAN WAGNER, 1977).
- El valor crítico de la HCV para una mayor virulencia del fuego es 100% para coníferas y 75% para matorrales mediterráneos (CHANDLER et al., 1983).
- El rango de humedad entre 75-130% es crítico para el potencial de incendios de copas en Norte América (ALEXANDER, 1988).
- En especies mediterráneas, los fuegos más virulentos ocurren con HCV inferiores a 80% (WEISE et al., 1998).
- El intervalo de humedad de 100-120% definido en otros estudios (ALEXANDER, 1988) es apropiado para relacionarlo con los incendios de copas en el Pacífico norte-Oeste (AGEE et al., 2002).
- Se definen valores por debajo del 105% de HCV como límite para la ignición de los matorrales (CHUVIECO et al., 2004).

Por otra parte, en matorrales del sur de California, cuando la HCV alcanzaba el límite de 60%, había un mayor riesgo de incendios más virulentos (STOW et al., 2005). Este efecto se ha podido constatar en los incendios ocurridos en la Comunitat Valenciana.

Según estos estudios el umbral para tener un incendio más virulento o incluso incendio de copas está entre 75-100%, para zonas mediterráneas. Si se consulta la Figura 2, se observa que el 64% de los valores de humedad calculados en este estudio están dentro del este umbral, sin embargo, los incendios ocurridos durante el período de estudio han tenido distintos comportamientos, pero no se han caracterizado por ser incendios muy virulentos. Sin embargo, desde el punto de vista de clasificación climatológica, AEMET clasifica de forma general el 2014 para la Comunitat Valenciana, como un año seco/muy seco y extremadamente cálido, excepto en el norte de Castellón.

Y para el 2015 se clasifica como muy cálido, con una primavera y verano de normal a muy húmedo y un otoño e invierno de seco a muy seco. Lo que se refleja en los valores de la humedad medidos.

Con estos datos, se considera que es necesario profundizar en el conocimiento de la humedad del combustible vivo en relación con el comportamiento del fuego, que definen la ventana fenológica.

Por otra parte, como consecuencia de los resultados de este estudio, se determina qué especies son las más influyentes en la disponibilidad del combustible a nivel general, partiendo de los datos de representatividad territorial y del grado de variación de humedad de cada especie, que se consideran parámetros suficientes para poder realizar una clasificación de las especies más influyentes en la disponibilidad total del combustible (Tabla 3).

Tabla3. Clasificación de las especies más influyentes en la disponibilidad del combustible

| Orden | Especie | | Estrato |
|-------|-------------------------------|-----|----------------------|
| 1 | <i>Rosmarinus officinalis</i> | Ro | Arbustivo |
| 2 | <i>Pinus halepensis</i> | Ph | Arbóreo / Arbustivo |
| 3 | <i>Quercus ilex</i> | Qi | Arbóreo / Arbustivo |
| 4 | <i>Quercus coccifera</i> | Qc | Arbustivo |
| 5 | <i>Ulex parviflorus</i> | Up | Arbustivo |
| 6 | <i>Juniperus oxycedrus</i> | Jo | Arbustivo |
| 7 | <i>Thymus vulgaris</i> | Tv | Arbustivo / herbáceo |
| 8 | <i>Cistus albidus</i> | Ca | Arbustivo |
| 9 | <i>Erica multiflora</i> | Em | Arbustivo |
| 10 | <i>Pinus nigra</i> | Pn | Arbóreo |
| 11 | <i>Pinus pinaster</i> | Pp | Arbóreo |
| 12 | <i>Juniperus phoenicea</i> | Jph | Arbustivo |

6. Conclusiones

A raíz de la discusión de los datos obtenidos, se considera que se han obtenido resultados esclarecedores del comportamiento de la humedad del combustible en las especies forestales de la Comunitat Valenciana. Sin embargo, se tiene constancia que se deben abordar estudios más profundos focalizados en determinación de las ventanas fenológicas, asociadas a determinadas ventanas meteorológicas, pues son las que pueden cuantificar la disponibilidad del combustible y su comportamiento frente al fuego.

En relación al objetivo de conocer el valor real y la variación de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana, se concluye que:

1. Los valores de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana difieren de los tipificados por Rothermel (ROTHERMEL, 1983) y, por tanto, no es aplicable la clasificación que éste realizó para especies de la costa Oeste de Estados Unidos. Además, el rango de variación anual de la humedad es más bajo, en general, lo que sugiere que en el ámbito mediterráneo, pequeñas variaciones en la humedad del combustible hacen que se sobrepasen los umbrales de disponibilidad del combustible vivo frente al fuego.
2. Existe una variación estacional de la humedad que se puede asociar al estado fenológico de las especies. Los valores más altos se registran en primavera y otoño y los más bajos en verano, época donde la disponibilidad del combustible es mayor.
3. La mayor parte de las especies presentan valores de humedad en el umbral por debajo del cual los incendios son más virulentos que, según distintos estudios, se establece entre 75-100%. El conocimiento de estos valores permite conocer la ventana fenológica y qué efecto tendrá el fuego en una determinada especie o estructura de combustible.

4. *Pinus halepensis* es la especie arbórea más representativa. Presenta los mínimos de humedad en verano y su variabilidad interanual es baja, lo que sugiere que pequeñas variaciones en su contenido de humedad, provocan variaciones en la disponibilidad, posibilitando que el fuego pase a copas en función de la disponibilidad del combustible de superficie y de las condiciones meteorológicas.
5. Las especies más influyentes en la disponibilidad total del combustible en el mediterráneo son, en el estrato arbóreo *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*, y en el estrato arbustivo *Rosmarinus officinalis*, *Quercus coccifera*, *Ulex parviflorus*, *Juniperus oxycedrus* y *Thymus vulgaris*.
6. Se propone focalizar los estudios sobre esta selección de especies para determinar la disponibilidad del combustible en las masas forestales de la Comunitat Valenciana.

7. Agradecimientos

En el desarrollo de este estudio ha sido necesaria la participación y colaboración de distintos actores en el ámbito de la gestión de los incendios forestales en la Comunitat Valenciana, a los cuales hay que agradecer su interés y empeño. Al personal de las Unidades de Vigilancia del Plan de Vigilancia Preventiva contra Incendios Forestales, por el esfuerzo en la toma de las muestras, coordinado desde el equipo de la Unitat Tècnica 902, con la inestimable ayuda del Equipo de Planificación, Coordinación y Gestión Operativa. A la Sección Forestal del Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia, por su participación en las fases iniciales del diseño y contenido del estudio, así como en la toma de muestras de algunas parcelas en la provincia Valencia. A la Escuela EFA-La Malvesía de Llombai y a su Jefe de Estudios, por la participación en la toma de muestras de algunas parcelas en la provincia Valencia. A Andranis S.L., por su gran labor en el laboratorio.

8. Bibliografía

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA, AEMET; 2015. Avance climatológico mensual julio. Valencia.

ARNALDOS, J; NAVALÓN, X; PASTOR, E; PLANAS, E; ZÁRATE, L; 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Ediciones Mundi-Prensa. 414 pág. Barcelona.

CASTRO, FX.; TUDELA, A; SEBASTIÀ, M; 2003. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). *Agric For Meteorol* 116: 49–59.

CASTRO, FX.; GABRIEL DE FRANCISCO, E.; SERRANO, E.; 2007. Valoración de la humedad en el seguimiento del estado de la fracción fina viva de la vegetación con relación al riesgo de incendio forestal. *Wildfire 2007*. Sevilla

CASTRO, FX.; TUDELA, A.; GABRIEL, E.; MONTSERRAT, D.; CANYAMERES, E.; SEGARRA, M.; 2006. Evolution of live fuel moisture in Mediterranean forest. IV International Conference on Forest Fire Research 1–16. Figueira da Foz

CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; DIMITRAKOPOULOS, AP.; 2004. Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. *Can J For Res* 34:2284–2293.

GENERALITAT VALENCIANA; 2011. Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR). Memoria. 582 pág. Valencia.

JOLLY, WM.; 2007. Sensitivity of a surface fire spread model and associated fire behaviour fuel models to changes in live fuel moisture. *Int J Wildl Fire* 16:503–509.

NOLAN, RH.; BOER, MM.; RESCO DE DIOS, V.; GACCAMO, G; BRADSTOCK, R.A.; 2016. Large-scale, dynamic transformations in fuel moisture drive wildfire activity across southeastern Australia. *Geophys Reserarch Lett.* 43. 1-10.

PAUSAS, J.; 2012. *Incendios forestales ¿Qué sabemos de?* Catarata. 128 pág. Madrid.

PELLIZZARO, G.; CESARACCIO, C.; DUCE, P.; VENTURA, A; ZARA, P.; 2007a. Relationships between seasonal patterns of live fuel moisture and meteorological drought indices for Mediterranean shrubland species. *Int J Wildl Fire* 16:232–241.

PELLIZZARO, G.; DUCE, P.; VENTURA, A.; ZARA, P.; 2007b. Seasonal variations of live moisture content and ignitability in shrubs of the Mediterranean Basin. *Int J Wildl Fire* 16:633–641.

POLLET, J.; BROWN, A.; 2007. *Fuel Moisture Sampling Guide*. Bureau of Land Management. 1-30. Utah.

PYNE, S.; ANDREWS, PL.; LAVEN, R.; 1996. *Introduction to wildland fire*. John Wiley&Sons, 808 pages. Toronto, Canada.

QUÍLEZ, R.; 2015. Tesis Doctoral. *Prevención de Megaincendios Forestales mediante el diseño de Planes de Operaciones de extinción basados en nodos de propagación*. Universidad de León. León.

QUÍLEZ, R.; MÉRIDA, E.; 2014. *Manual de seguridad en operaciones de extinción de incendios forestales*. Pau Costa Foundation. 332 pág. Tivissa.

ROTHERMEL, RC.; 1983. *How to predict the Spread an Intensity of Forest and Range Fires*. USDA Forest Service. 163 pages. Ogden.

SCHROEDER, M.; BUCK, C.; 1970. *Fire weather*. Agricultural Handbook 360. USDA Forest Service. 229 pages. Washington.

STOW, D.; NIPHADKAR, M.; KAISER, J.; 2005. MODIS-derived visible atmospherically resistant index for monitoring chaparral moisture content. *Int J Remote Sens* 26:3867–3873.

STOW, D.; NIPHADKAR, M.; KAISER, J.; 2006. Time series of chaparral live fuel moisture maps derived from MODIS satellite data. *Int J Wildl Fire* 15:347–360.

STÜBING, G.; PERIS, J.B.; 1998. *Plantas silvestres de la Comunidad Valenciana*. Ed. Jaguar. 624 pág. Madrid

TRABAUD, L.; 1976. Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne. *Oecologia Plant* 11:117–136.

VAN WAGNER, C.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fires. Can J For Res 7:23–34.

VÉLEZ, R.; 2003. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill. 800 pág. Madrid.

VIEGAS, DX.; PIÑOL, J.; VIEGAS, MT.; OGAYA, R.; 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. Int J Wildl Fire 10:223–240.

VIEGAS, DX.; SOARES, J.; ALMEIDA, M.; 2013. Combustibility of a mixture of live and dead fuel components. Int J Wildl Fire 22:992–1002.

YEBRA, M.; DE SANTIS, A.; CHUVIECO, E.; 2005. Estimación del peligro de incendios a partir de teledetección y variables meteorológicas: variación temporal del contenido de humedad del combustible. Recur Rurais 1:9–19.