



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1449

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Base de datos de humedad de combustible vivo en la Comunitat Valenciana. Percentiles históricos y disponibilidad del combustible frente al fuego

SORIANO SANCHO, JL. (1) y BOTELLA MARTÍNEZ, M.A. (1) y CERVERA MONTERO, A. (1) y OROZCO BAGOU, D. (1) y BOTELLA BOU, R. (1) y GARCÍA POST, R. (2)
 (1) Valenciana de Estrategias y Recursos para la Sostenibilidad Ambiental (VAERSA), Generalitat Valenciana.
 (2) Servicio de Prevención de Incendios Forestales. Generalitat Valenciana.

Resumen

La humedad del combustible vivo es una variable crucial en el comportamiento del fuego que condiciona el peligro de incendio forestal y, es fundamental en la generación de grandes incendios. Es por ello que la Generalitat Valenciana viene estudiando la humedad del combustible vivo desde 2014. En estos 10 años se han tomado más de 40.000 muestras incluyendo tanto especies de matorral como de arbolado.

Las muestras se han tomado con distinta periodicidad, incluyendo muestreos mensuales, quincenales y semanales, pero además se han tomado muestras en quemas prescritas y en incendios forestales, lo que ha permitido relacionar el contenido de humedad con el comportamiento del fuego.

Con todos estos valores se ha construido una base de datos, a partir de la cual se han realizado análisis estadísticos para conocer la variabilidad de los datos, su estacionalidad, su dependencia de la especie, de la ubicación y de la meteorología.

En esta comunicación se quiere dar a conocer el resultado del cálculo de los percentiles históricos de contenido de humedad en función del tipo de especie, del período del año y de su ubicación en el territorio, pudiendo relacionar el valor del contenido de humedad con la disponibilidad del combustible, clasificado en muy húmedo, húmedo, normal, seco, muy seco y extremadamente seco.

Palabras clave

disponibilidad, simulación, incendios forestales, comportamiento del fuego, fenología.

1. Introducción

Desde finales de 2014, el Servicio de Prevención de Incendios Forestales de la Generalitat Valenciana, a través del equipo de la Unidad Técnica de Análisis y Prevención de Incendios Forestales, viene realizando tomas periódicas de muestras de vegetación para calcular su contenido de humedad, con el objetivo de conocer los rangos de valor, su variabilidad espacial y temporal, así como relacionar dicho contenido de humedad con el estado fenológico y con su disponibilidad frente al fuego (SORIANO, 2017).

Durante estos 10 años se han llegado a tomar muestras en un total de 295 parcelas, distribuidas en todo el territorio de la Comunitat Valenciana según la figura 1. De estas parcelas, 117 se corresponden con muestras tomadas en zonas próximas a incendios, el mismo día o el día siguiente al inicio del fuego, otras 23 parcelas se corresponden a muestras tomadas en zonas de quemas prescritas, el mismo día en que se ejecuta la quema, y el resto de parcelas se corresponde con puntos de muestreo cuyas muestras se toman de forma periódica, pudiendo ser mensual, quincenal o semanal. De estas parcelas, existe un total de 44 que están activas en la fecha de redacción de este artículo, es decir, que se mantiene una periodicidad de toma de muestras. En el resto de parcelas se han dejado de tomar muestras por distintos motivos.

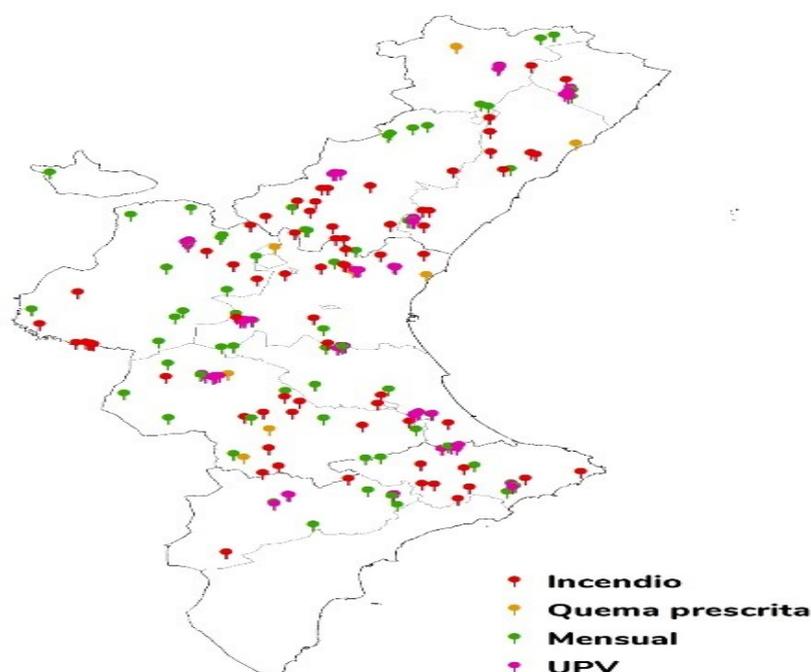


Figura 1. Distribución de los puntos de muestreo. Se clasifican en función de la motivación de la toma de muestra en: incendio, quema prescrita, mensual (incluye las semanales y quincenales) y UPV (parcelas usadas en el estudio de modelización de la UPV)

Algunas de estas parcelas han sido usadas para estudios de modelización del contenido de humedad del combustible vivo, integrando índices de vegetación procedentes de imágenes satélite y datos meteorológicos, usando distintas metodologías de correlación con los datos reales muestreados (COSTA SAURA, J.M., 2021; ARCOS, M.A., 2024).

En cuanto al número de especies muestreadas, existen datos de 48 especies vegetales distintas, de las cuales 38 son especies de matorral y 10 son especies de arbolado, todas ellas típicas de los montes mediterráneos. El número de muestras de cada una de ellas es variable y está directamente relacionado con la distribución de la propia especie, siendo las más muestreadas las de mayor representatividad en el territorio. Además, con el objetivo de poder comparar datos, se ha tomado como criterio para seleccionar las parcelas, que tuviese presentes algunas de las especies más representativas del territorio, como son el romero (*Rosmarinus officinalis*) o el pino carrasco (*Pinus halepensis*). Por otra parte, existen muestras puntuales de hojarasca de pináceas y de quercíneas, muestras de algunas especies de pasto y muestras de vegetación típica de zonas húmedas, como son la caña (*Arundo donax*) o el carrizo (*Phragmites australis*).

A fecha de 30 de noviembre de 2024, en la base de datos en la que se almacena el resultado del muestreo, existen un total 41.872 mediciones, cuya distribución por años se muestra en la figura 2. Cada valor muestreado lleva asociados una serie de datos que son usados para su identificación: número ID, nombre de la parcela de muestreo, tipo de parcela, modelo de combustible, exposición, coordenadas, fecha y hora de la toma, temperatura y humedad relativa en el momento de la toma, especie, fracción de cabida cubierta de la especie, peso seco, peso húmedo y contenido de humedad.



Figura 2. Número de muestras de vegetación tomadas por año

Estos datos han sido usados en diversos estudios y análisis estadísticos (SORIANO, 2017) que han permitido conocer la variabilidad del contenido de humedad en función de la especie, de la época del año y de la ubicación del punto de muestreo. La ubicación del punto influye en el contenido de humedad por las distintas condiciones climáticas registradas en cada zona. Es por ello que se ha añadido un concepto más a la base de datos con el objetivo de poder agrupar datos en función de su ubicación. Para ello se han usado las zonas meteorológicas empleadas por AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) para asignar las Meteoadvertencias. De este modo, cada punto de muestreo se corresponde con una zona meteorológica que tienen características meteorológicas homogéneas

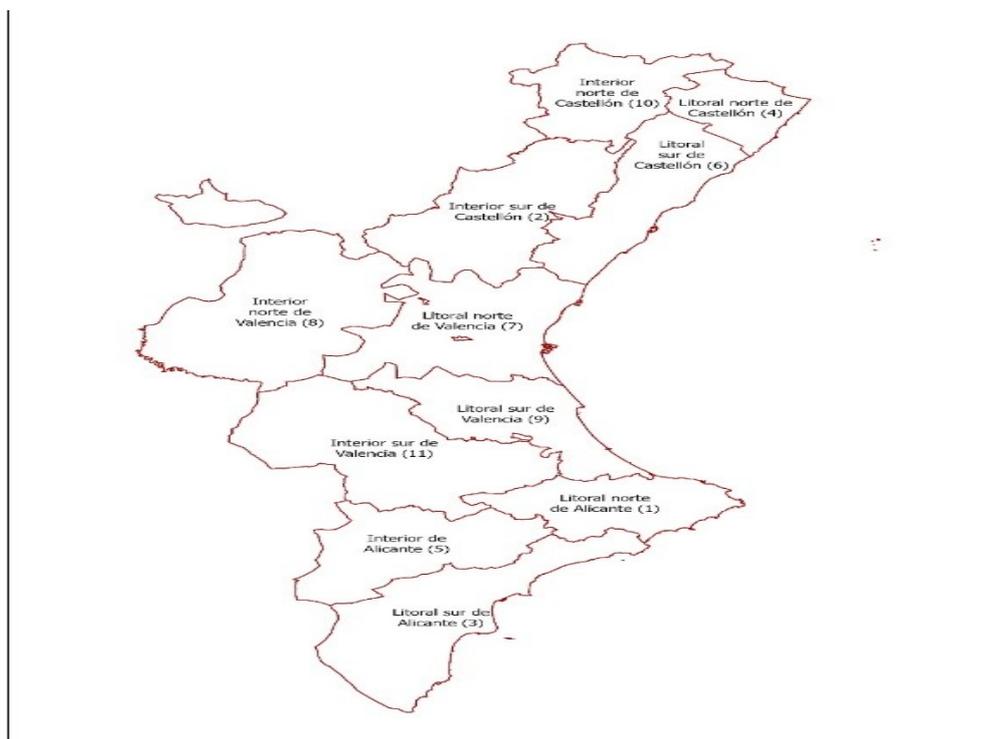


Figura 3. Zonas meteorológicas usadas en la clasificación territorial en función de la meteorología. Fuente: AEMET

A pesar de que se conocen muchos datos respecto de la humedad del combustible vivo, sigue siendo necesario clasificar el contenido de la humedad en relación a la disponibilidad del combustible frente al fuego. Esta clasificación permitiría agrupar valores y distinguir aquellos que presentan un mayor riesgo de ignición y por tanto mayor riesgo de incendio. Es por ello que en el presente artículo se aborda una metodología de clasificación del contenido de humedad del combustible en función de su disponibilidad frente al fuego.

2. Objetivos

El objetivo principal del estudio se centra en clasificar los valores de humedad del combustible vivo obtenidos en los últimos 10 años de tomas de muestra en función de la disponibilidad del combustible frente al fuego.

Además, se plantea clasificar en función de la tipología de especie, diferenciando entre matorral y arbolado, y por zonas meteorológicas, de modo que se disponga de datos ajustados a las características del territorio.

Por último, con el objetivo de ajustar más la disponibilidad a las épocas de riesgo, se calcularán diferenciando entre los datos anuales y los datos referidos a la época de alto riesgo.

3. Metodología

En la base de datos se tienen valores de contenido de humedad en formato



numérico entero con dos decimales. Es conocido que cada especie tiene un rango de valores distintos y que éstos además varían en el espacio y en el tiempo. Así pues, el objetivo planteado es conseguir transformar el valor numérico en un valor cualitativo, fácilmente entendible y representable de la disponibilidad del combustible frente al fuego.

Para ello, se plantea usar el análisis de percentiles de toda la serie de datos, ya que los percentiles permiten:

- comparar datos individuales con un grupo, con lo que se puede comparar un valor puntual de humedad del combustible y compararlo con el resto de datos,
- identificar extremos, y por tanto conocer los valores de mayor o menor contenido en humedad,
- dividir datos en grupos, pudiendo agrupar los datos en valores similares de contenido de humedad y ofrecer una visión detallada de la distribución de los datos,
- ayudar a la toma de decisiones, al posicionar el dato en relación con el resto de población, ofrece un criterio para la toma de decisiones,
- facilitar la comparación entre varias poblaciones, esta cualidad es interesante pues permite comparar percentiles de distintas zonas o de distintas temporalidades.

Los percentiles son ampliamente usados en el análisis científico y técnico, en sectores como salud, educación o economía y ampliamente usados en climatología (GOMEZ, L., 2012), con los que se identifican extremos climáticos, evalúan cambios, análisis de tendencias incluso en el modelado y pronóstico. Por tanto, se consideran una metodología útil para la clasificación de los valores de humedad. Además, al disponer de una cantidad importante de datos, el uso de los percentiles se considera una metodología apta y que ofrece buenos resultados (HELSEL, D.R., 2002).

El primer paso consiste en identificar los percentiles interesantes para la clasificación de los datos, cumpliendo con los siguientes criterios:

- identificar los valores extremos. Se debe identificar el valor extremo inferior, asociado a los valores más bajos de la población, con menor humedad y que mayor riesgo de incendio conlleve; por otra parte, identificar el valor extremo superior, asociado a los valores más altos, con mayor contenido de humedad y con el menor riesgo de incendios
- identificar el intervalo de percentiles que agrupen los valores centrales de la distribución de la población, asociados a los valores normales de contenido de humedad
- definir los percentiles intermedios, que proporcionen información adicional entre el estado normal y los extremos pudiendo disponer de una gradación de los valores, teniendo en cuenta la importancia de conocer los valores relacionados con el riesgo de incendio.

Siguiendo estos criterios, se plantea usar los siguientes percentiles:

- 0,1: se corresponde con los valores más bajos de la base de datos, asociados

a la menor cantidad de contenido de humedad y por tanto a la mayor disponibilidad frente al fuego. No se selecciona un percentil más bajo porque se quiere recoger una mayor cantidad de valores con elevada disponibilidad.

- 0,95: se corresponde con los valores más altos de la base de datos, con mayor cantidad de humedad y, por tanto, con menor disponibilidad frente al fuego. En este caso se selecciona un percentil muy elevado, para poder identificar los valores que prácticamente quedarían sin riesgo de incendio y con nula disponibilidad a arder.
- 0,4-0,6: este sería el intervalo en el que se sitúan todos los valores normales, alrededor del percentil 0,5 que se corresponde con la mediana. Dada la variabilidad identificada entre los datos, se considera que este intervalo es el óptimo para agrupar a los valores que se pueden considerar como normales.
- 0,2 y 0,8: son los percentiles intermedios que permiten observar la evolución de los datos desde la mediana hasta los extremos.

Una vez definidos los percentiles, se les asocia un valor cuantitativo de contenido de humedad, que se asocia a la disponibilidad del combustible, según la Tabla 1. Se han identificado un total de 6 percentiles, con sus correspondientes valores cualitativos, que se considera es un número óptimo de clases para que cumplan el objetivo ser entendibles y fácilmente representables.

Tabla 1. Percentiles calculados y su correspondiente valor en contenido de humedad

Percentil	Valor de contenido de humedad
0,1	Extremadamente seco
0,2	Muy seco
0,4	Seco
0,6	Normal
0,8	Húmedo
0,95	Muy húmedo

Una vez definidos los percentiles, éstos se deben calcular en función del tipo de especies, entre matorral y arbolado, de modo que recoja la variabilidad entre especies. Para ello se ha tomado el criterio de representatividad, seleccionando las especies más representativas en el territorio de la Comunitat Valenciana y con un mayor número de registros en la base de datos.

Se han seleccionado las 20 primeras especies presentes en la base de datos, diferenciando entre matorral y arbolado, calculando el porcentaje de datos que tienen asociados con respecto al total. En las Tablas 2 y 3 se muestra el listado de especies. Se observa que en las especies de matorral destaca el romero

(*Rosmarinus officinalis*) con un 14,14% de los registros de la base de datos y en las especies de arbolado destaca el pino carrasco (*Pinus halepensis*) con un 12,94% de registros de la base de datos.

Todas las especies seleccionadas intervienen en la propagación del fuego, pero es interesante diferenciar el fuego de superficie del fuego de copas, por tanto, se calcularán los percentiles agrupando el total de los datos de especies de matorral por un lado y por otro agrupando el total de los datos de especies de arbolado seleccionados.

Además, se plantea calcular los percentiles de la especie más representativa de matorral y de arbolado, el romero y pino carrasco, respectivamente con el objetivo de identificar el peso específico que tienen respecto al resto de datos y valorar su representatividad.

Tabla 2. Especies de matorral seleccionadas y porcentaje de número de muestras sobre el total

Especie de matorral	Porcentaje
<i>Rosmarinus officinalis</i>	14,14%
<i>Quercus coccifera</i>	12,72%
<i>Juniperus oxycedrus</i>	12,03%
<i>Ulex parviflorus</i>	11,11%
<i>Pistacea lentiscus</i>	6,09%
<i>Erica multiflora</i>	5,72%
<i>Cistus albidus</i>	4,16%
<i>Juniperus phoenicea</i>	3,04%
<i>Stipa tenacissima</i>	1,50%
<i>Cistus monspeliensis</i>	1,28%
<i>Erica arborea</i>	0,78%
<i>Juniperus communis</i>	0,47%
<i>Thymus vulgaris</i>	0,40%

Tabla 3. Especies de arbolado seleccionadas y porcentaje de número de muestras sobre el total



Especie de arbolado	Porcentaje
<i>Pinus halepensis</i>	12,94%
<i>Quercus ilex</i>	5,47%
<i>Pinus pinaster</i>	2,67%
<i>Pinus nigra</i>	0,84%
<i>Quercus suber</i>	0,77%
<i>Pinus sylvestris</i>	0,56%

Con el objetivo de valorar la territorialidad de los datos, se calcularán los percentiles para cada zona meteorológica (Figura 3). Para ello, se agrupan los datos de las parcelas de muestreo presentes en cada zona meteorológica y se calculan los percentiles con todos ellos. Se calcularán los percentiles para la totalidad del territorio de la Comunitat Valenciana, para poder comparar los datos y valorar el peso de la territorialidad.

Por último, para valorar la influencia de la temporalidad y la estacionalidad, se han seleccionado los meses con mayor número y superficie afectada por incendios forestales en la Comunitat Valenciana (www.mediambient.gva.es) que son junio, julio, agosto y septiembre. Se calcularán los percentiles para el total de los datos correspondientes a estos meses, en comparación con los datos de todo el año.

Para realizar todos los cálculos de percentiles mencionados se ha diseñado una aplicación basada en Microsoft Excel que se alimenta de la base de datos y permite hacer la selección de datos por especie, zona meteorológica y mes del año. Esta aplicación devuelve el valor de los percentiles, un histograma, el número de registros y los valores de máximo, mínimo y promedio de los datos seleccionados.

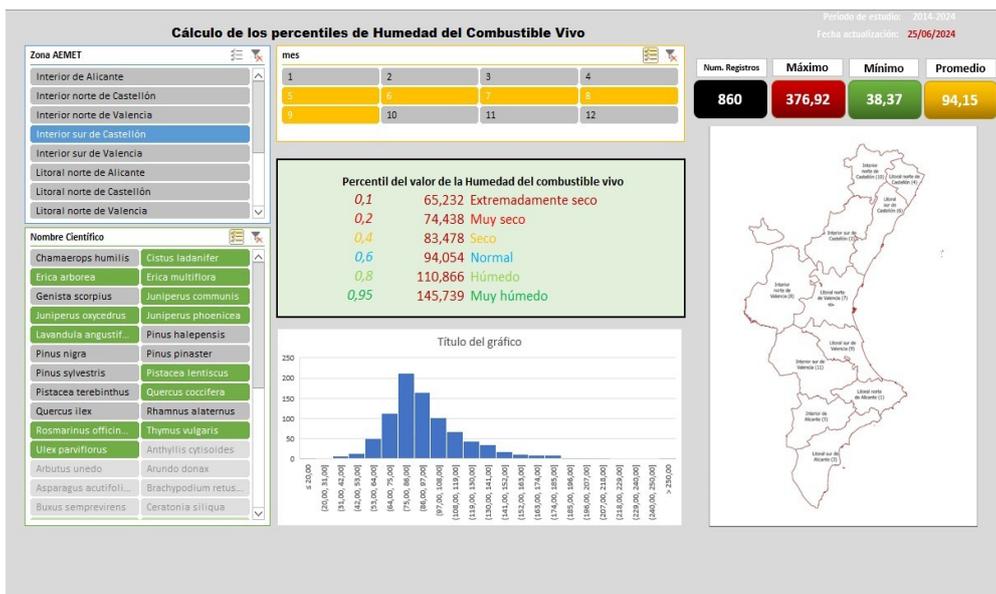


Figura 4. Muestra de la aplicación diseñada para el cálculo de los percentiles en función de zona meteorológica, especie y mes de año.

4. Resultados

Usando la aplicación desarrollada se obtienen los valores de los percentiles siguiendo todos los criterios mencionados y cuyo resultado se presenta en formato de tabla y en formato gráfico para facilitar su análisis y comprensión.

Cada tabla incluye el valor del percentil para cada zona meteorológica, para el total de la Comunitat Valenciana y se diferencia el total de los datos del estrato de vegetación, matorral o arbolado, de la especie más representativa seleccionada. A cada tabla se le asocian dos gráficos, uno para el total de los datos y el otro para la especie seleccionada.

Dado que se tienen dos estratos de vegetación y dos períodos temporales de estudio, se tiene un total de 4 tablas: matorral-anual (Tabla 4), matorral-junio/septiembre (Tabla 5), arbolado-anual (Tabla 6) y arbolado-junio/septiembre (Tabla 7), con sus correspondientes gráficos.

Cabe mencionar que en la zona meteorológica del Litoral sur de Alicante sólo existe una parcela de muestreo con especies de matorral, pero sin romero, cuya toma se realizó fuera del período estival por lo que en esta zona sólo existen datos en la tabla correspondiente a los datos de matorral en el período anual.

Tabla 4. Valores de los percentiles de las especies de matorral para cada zona meteorológica y para el global de la Comunitat Valenciana. Período anual

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



Percentil	Valor	Interior norte de Castellón	Litoral norte de Castellón	Interior sur de Castellón	Litoral sur de Castellón	Interior norte de Valencia	Litoral norte de Valencia	Interior sur de Valencia	Litoral sur de Valencia	Interior de Alicante	Litoral norte de Alicante	Litoral sur de Alicante	Comunitat Valenciana
0,1	Extremadamente seco	68,2	72,8	66,2	62,1	59,8	60,9	68,2	62,9	67,6	67,0	56,6	63,4
0,2	Muy seco	73,7	77,1	73,0	70,6	66,4	68,3	74,8	71,9	73,1	75,4	61,5	70,7
0,4	Seco	81,1	84,9	81,9	80,0	73,9	77,1	84,0	83,6	80,2	88,1	71,2	79,9
0,6	Normal	90,0	96,0	90,8	90,1	81,9	87,6	96,9	98,1	88,9	102,8	76,7	91,2
0,8	Húmedo	104,8	113,0	108,1	114,1	97,4	105,4	121,8	121,4	110,7	129,2	77,9	111,6
0,95	Muy húmedo	136,6	146,1	144,3	162,8	127,0	141,9	160,7	166,0	158,1	172,8	78,8	153,6
Datos de <i>Rosmarinus officinalis</i>													
0,1	Extremadamente seco	72,5	74,6	64,8	58,4	58,1	58,1	71,8	62,4	62,8	71,9		61,8
0,2	Muy seco	80,9	98,1	80,4	72,7	73,8	69,5	89,9	79,2	79,6	90,1		78,0
0,4	Seco	104,7	121,9	101,8	103,4	95,1	96,9	108,2	114,0	100,3	113,5		102,3
0,6	Normal	118,0	134,3	119,8	127,1	107,3	115,1	124,9	132,8	114,6	131,6		119,5
0,8	Húmedo	134,8	148,7	143,5	150,4	122,6	135,8	146,8	156,2	131,4	156,5		142,0
0,95	Muy húmedo	184,5	180,1	175,1	182,8	151,6	169,3	183,7	196,3	166,9	189,4		177,3

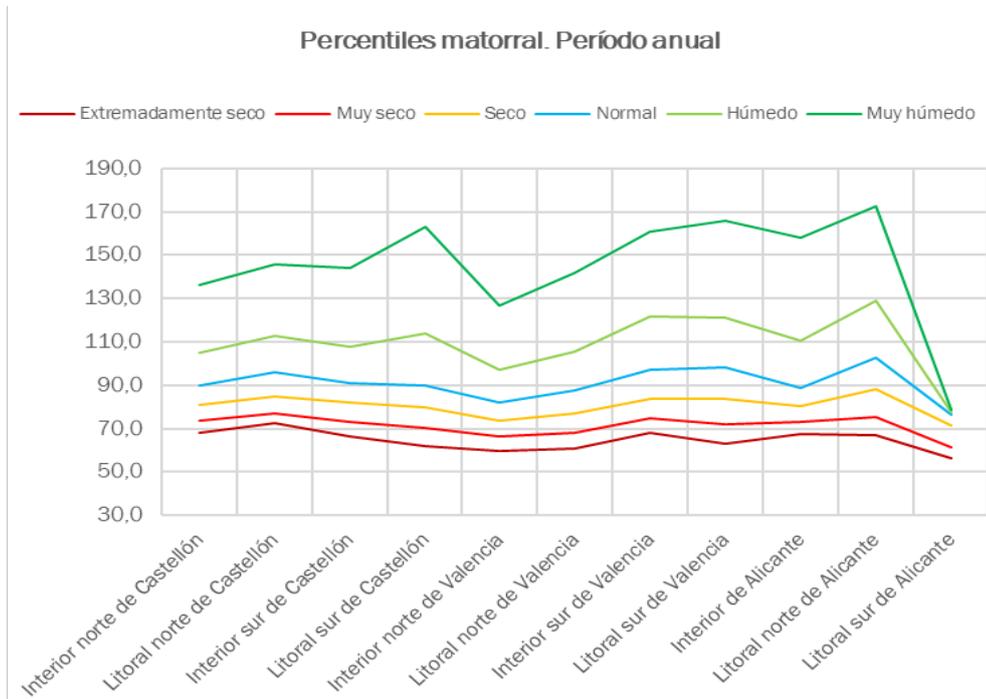


Figura 5. Percentiles de las especies de matorral por zonas meteorológicas. Período anual

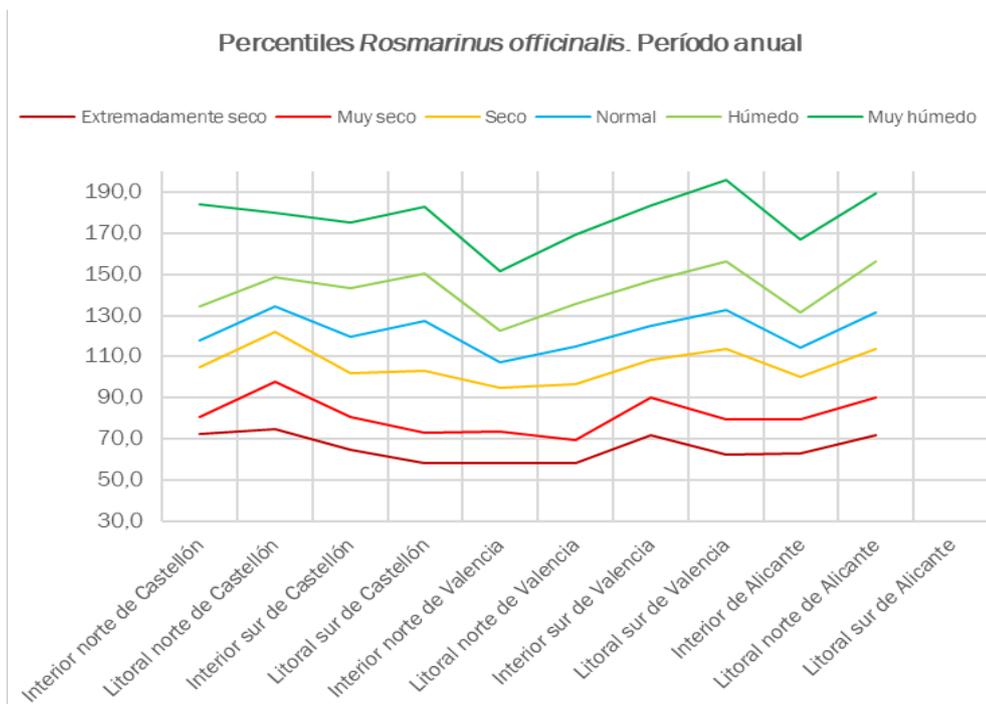


Figura 6. Percentiles de *Rosmarinus officinalis* por zonas meteorológicas. Período anual



Tabla 5. Valores de los percentiles de las especies de matorral para cada zona meteorológica y para el global de la Comunitat Valenciana. Período de junio a septiembre

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



Percentil	Valor	Interior norte de Castellón	Litoral norte de Castellón	Interior sur de Castellón	Litoral sur de Castellón	Interior norte de Valencia	Litoral norte de Valencia	Interior sur de Valencia	Litoral sur de Valencia	Interior de Alicante	Litoral norte de Alicante	Litoral sur de Alicante	Comunitat Valenciana
0,1	Extremadamente seco	66,8	73,0	65,1	54,2	55,2	57,0	64,5	57,5	63,2	61,6		58,7
0,2	Muy seco	73,0	77,4	73,5	63,2	63,3	65,2	72,9	66,3	68,7	70,1		67,0
0,4	Seco	82,5	85,5	82,0	76,8	72,6	75,0	83,1	79,5	77,6	82,3		77,9
0,6	Normal	92,3	93,2	90,8	85,2	80,9	84,3	93,8	92,4	87,6	94,0		88,1
0,8	Húmedo	105,3	107,8	105,6	102,7	94,1	98,1	113,5	110,1	104,4	109,3		103,9
0,95	Muy húmedo	134,5	135,1	133,7	137,2	117,2	123,1	144,5	141,5	140,6	145,6		134,7
Datos de <i>Rosmarinus officinalis</i>													
0,1	Extremadamente seco	62,2	60,4	62,2	50,0	51,3	52,7	58,9	56,6	51,1	57,3		53,7
0,2	Muy seco	76,0	74,0	78,7	58,4	59,6	61,1	77,2	65,9	62,5	71,4		64,3
0,4	Seco	90,2	103,2	90,0	82,0	79,4	80,0	99,3	93,8	83,6	91,6		86,9
0,6	Normal	111,8	119,1	107,9	105,4	96,9	97,3	112,7	113,6	100,9	109,0		104,8
0,8	Húmedo	130,2	136,2	126,2	124,4	112,6	116,2	132,2	132,1	117,1	125,5		122,6
0,95	Muy húmedo	183,4	145,8	153,1	149,0	132,3	137,7	157,3	169,2	162,7	165,9		151,9

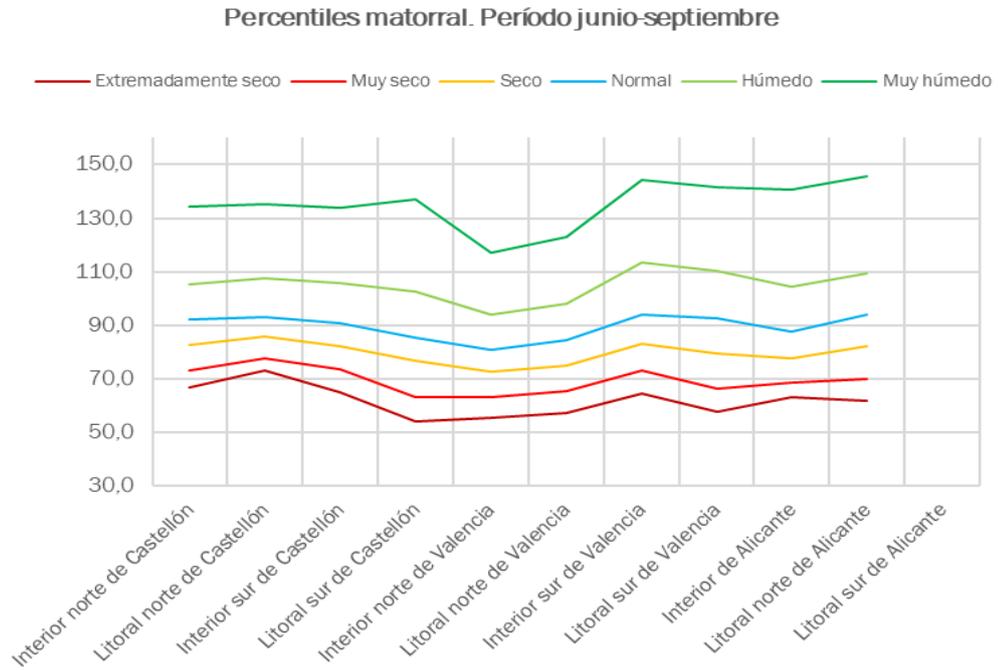


Figura 7. Percentiles de las especies de matorral por zonas meteorológicas. Período de junio a septiembre

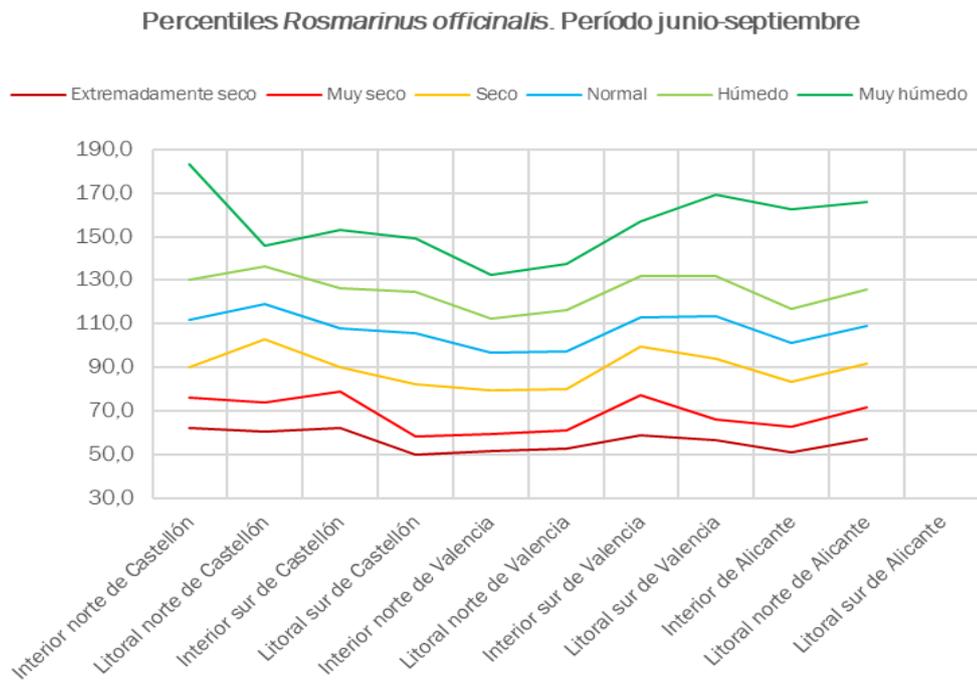


Figura 8. Percentiles de *Rosmarinus officinalis* por zonas meteorológicas. Período de junio a septiembre



Tabla 6. *Valores de los percentiles de las especies de arbolado para cada zona meteorológica y para el global de la Comunitat Valenciana. Período anual*



Percentil	Valor	Interior norte de Castellón	Litoral norte de Castellón	Interior sur de Castellón	Litoral sur de Castellón	Interior norte de Valencia	Litoral norte de Valencia	Interior sur de Valencia	Litoral sur de Valencia	Interior de Alicante	Litoral norte de Alicante	Litoral sur de Alicante	Comunitat Valenciana
0,1	Extremadamente seco	70,0	71,9	75,3	81,5	73,4	86,8	75,7	82,2	70,4	85,3		75,7
0,2	Muy seco	74,4	77,6	89,6	86,4	80,8	90,4	81,0	91,7	74,0	89,7		83,4
0,4	Seco	80,9	90,3	101,4	97,5	92,0	95,4	94,0	100,9	85,5	98,6		94,9
0,6	Normal	96,6	104,7	108,7	110,9	98,0	99,3	104,6	108,1	96,9	107,6		102,7
0,8	Húmedo	113,3	118,8	116,8	128,8	105,4	104,6	117,6	119,9	105,2	117,9		113,5
0,95	Muy húmedo	133,5	132,5	129,8	147,6	121,1	114,3	133,8	141,8	114,6	145,7		134,1
Datos de <i>Pinus halepensis</i>													
0,1	Extremadamente seco	94,8	94,9	94,5	86,9	86,7	87,8	88,3	91,9	90,3	87,8		88,7
0,2	Muy seco	104,4	101,5	98,4	90,8	90,5	91,0	93,5	95,7	94,1	92,3		92,6
0,4	Seco	113,7	108,9	103,2	98,3	94,8	95,7	98,9	101,6	99,0	101,3		98,0
0,6	Normal	119,4	117,5	107,9	104,7	99,0	99,5	104,1	106,5	103,5	107,6		103,0
0,8	Húmedo	128,2	124,2	113,1	111,0	104,6	104,9	109,9	112,8	109,5	116,6		109,6
0,95	Muy húmedo	145,8	135,0	121,8	124,2	114,2	114,3	121,5	124,0	117,2	126,9		121,1

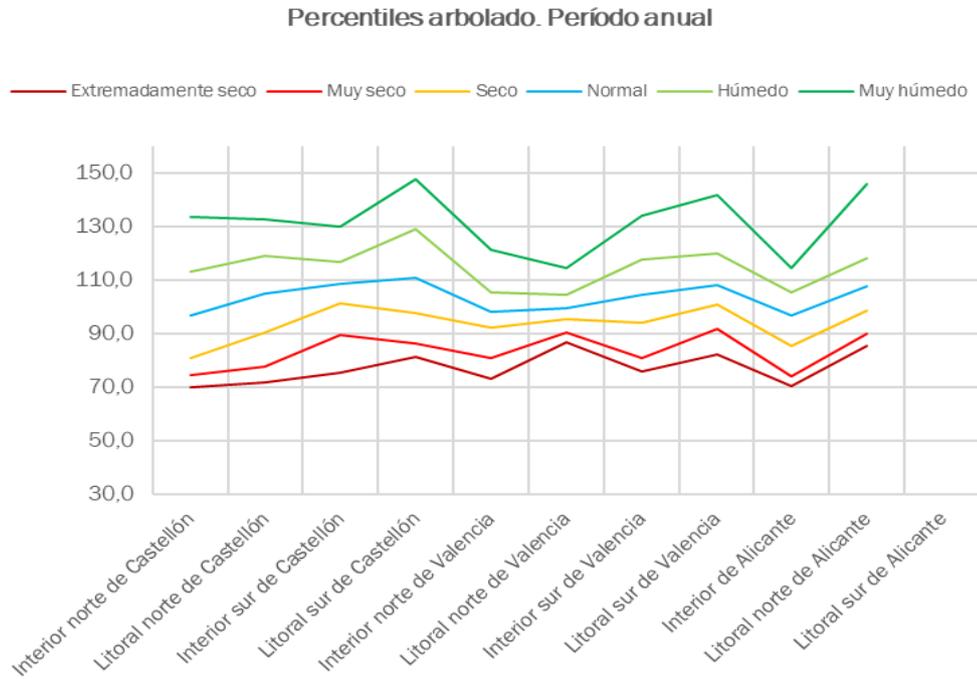


Figura 9. Percentiles de las especies de arbolado por zonas meteorológicas. Período anual

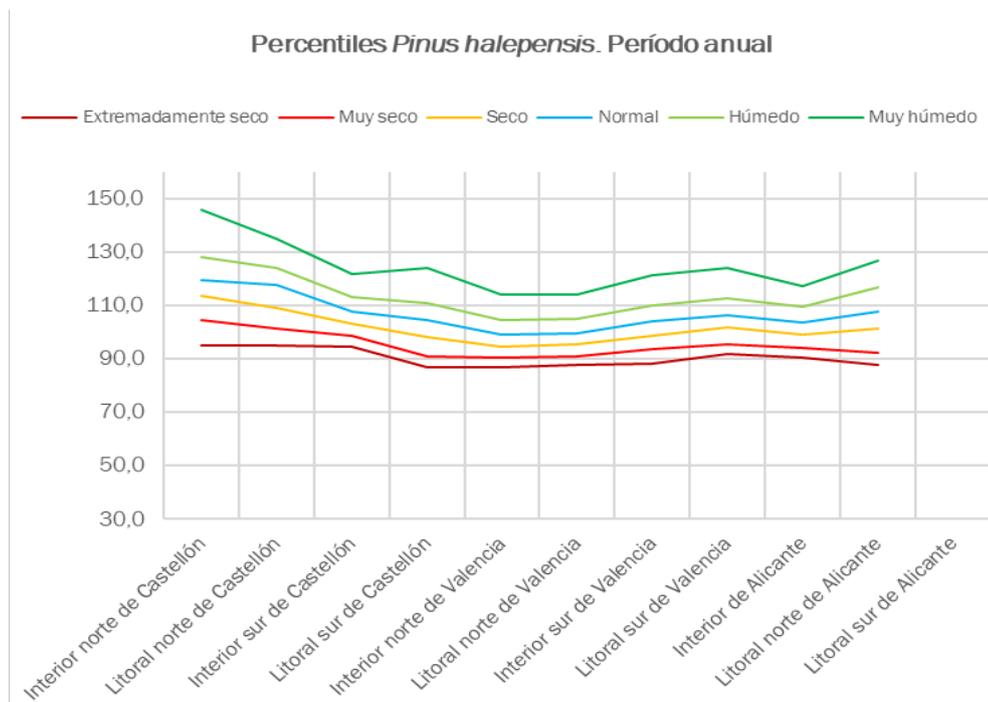


Figura 10. Percentiles de *Pinus halepensis* por zonas meteorológicas. Período anual



Tabla 7. *Valores de los percentiles de las especies de arbolado para cada zona meteorológica y para el global de la Comunitat Valenciana. Período de junio a septiembre*

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



Percentil	Valor	Interior norte de Castellón	Litoral norte de Castellón	Interior sur de Castellón	Litoral sur de Castellón	Interior norte de Valencia	Litoral norte de Valencia	Interior sur de Valencia	Litoral sur de Valencia	Interior de Alicante	Litoral norte de Alicante	Litoral sur de Alicante	Comunitat Valenciana
0,1	Extremadamente seco	71,4	74,9	78,8	82,5	75,9	87,6	76,4	82,4	70,4	84,5		77,7
0,2	Muy seco	75,9	78,6	91,3	89,6	84,5	91,2	81,4	90,9	75,3	88,5		85,5
0,4	Seco	83,5	88,4	103,9	100,1	93,2	96,0	94,9	100,3	89,1	97,3		95,6
0,6	Normal	99,2	102,9	111,8	112,6	99,1	99,4	104,7	107,1	97,2	107,4		103,3
0,8	Húmedo	116,6	115,2	120,4	134,4	106,4	104,6	118,2	117,2	106,8	114,9		114,1
0,95	Muy húmedo	135,7	125,7	135,1	153,4	123,1	116,6	134,7	141,3	115,5	141,7		135,8
Datos de <i>Pinus halepensis</i>													
0,1	Extremadamente seco	92,8	97,9	94,0	86,2	88,2	88,2	90,0	92,2	90,2	88,0		89,4
0,2	Muy seco	99,5	101,9	98,5	92,6	91,2	91,6	94,8	95,6	94,1	92,5		93,0
0,4	Seco	115,8	109,1	104,7	98,4	95,1	96,2	99,0	101,6	98,2	101,0		97,9
0,6	Normal	122,2	113,7	109,6	105,7	99,7	99,4	103,8	106,2	103,7	107,6		102,9
0,8	Húmedo	132,6	119,6	115,1	113,8	104,6	104,7	109,5	111,7	109,0	114,1		109,5
0,95	Muy húmedo	142,4	128,5	121,7	128,1	114,6	116,4	121,6	119,8	119,1	126,5		120,5

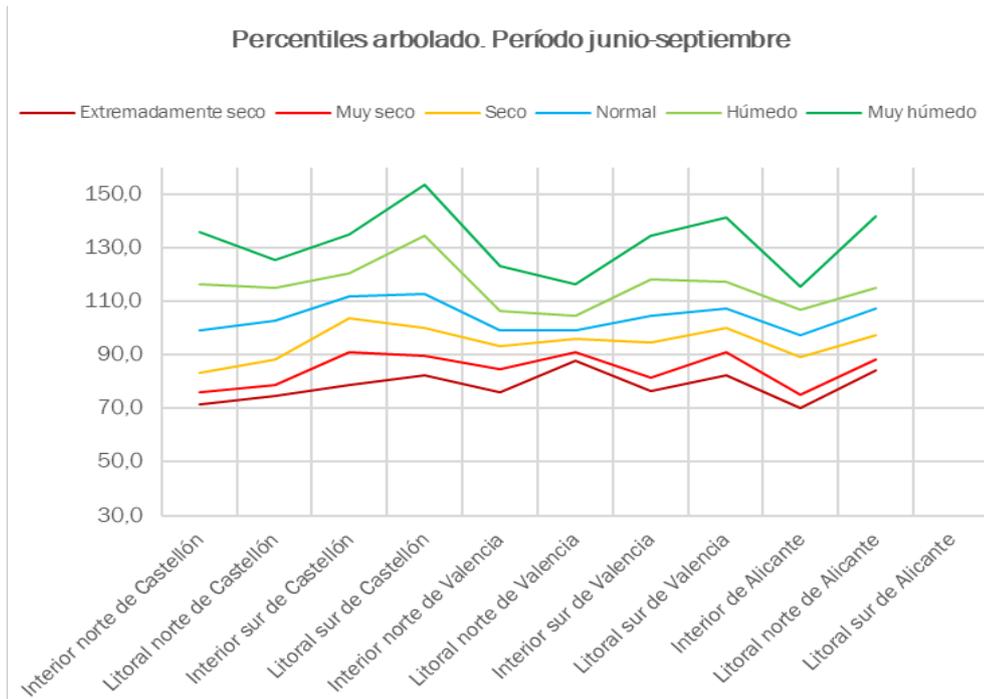


Figura 11. Percentiles de las especies de arbolado por zonas meteorológicas. Período de junio a septiembre

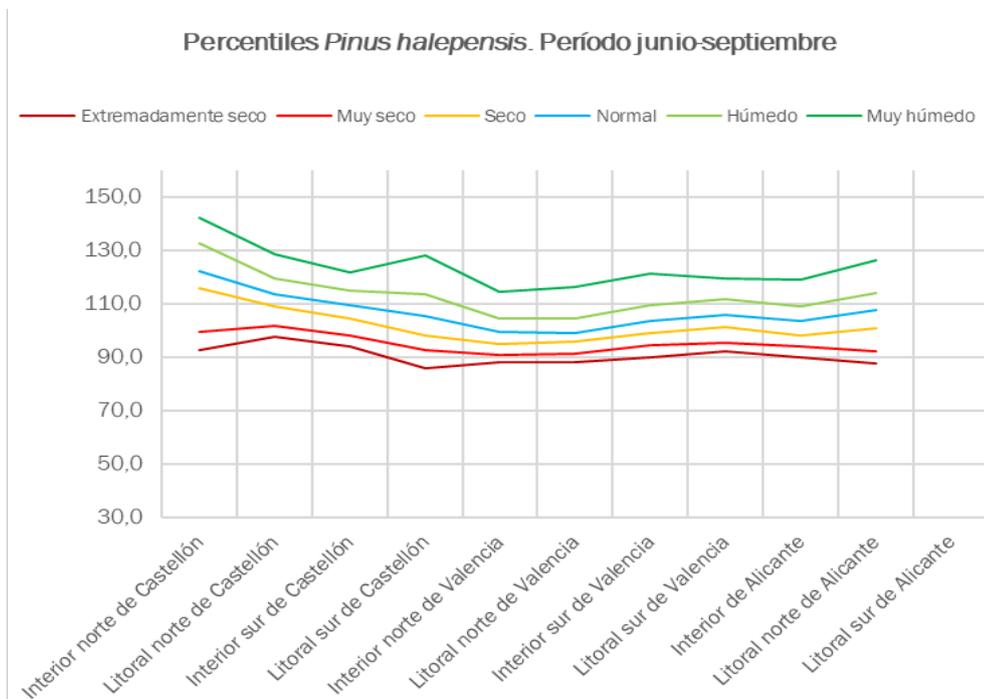


Figura 12. Percentiles de *Pinus halepensis* por zonas meteorológicas. Período de junio a septiembre



5. Discusión

Los datos obtenidos permiten abordar los objetivos planteados en el estudio, de modo que se tienen valores concretos de contenido de humedad para cada tipo de estrato vegetal, en distintas zonas del territorio y para distintos períodos de tiempo.

En las tablas 8 y 9 se muestra una comparativa de los valores máximos, mínimos y el rango entre éstos, calculado entre los valores de contenido de humedad para cada zona meteorológica, distinguiendo entre valores de matorral y arbolado.

Se puede observar que el valor del rango varía entre 10,7 y 45,8 para matorral y entre 16,8 y 33,4 para arbolado, en el caso del período anual. Esto indica que sí existen diferencias significativas de contenido de humedad entre las distintas zonas meteorológicas, además se observa que esta diferencia es más acusada en los valores altos de humedad. Esto se observa también en los gráficos, donde la diferencia entre los valores de las clases de normal a extremadamente seco es menor que la diferencia entre los valores de las clases de normal a muy húmedo.

Por tanto, se puede decir que existe diferencia de valores en función de la zona meteorológica y que en los percentiles más bajos, pequeñas variaciones en el contenido de humedad conllevan a que el dato pueda cambiar de valor de disponibilidad. Desde el punto de vista de la gestión de incendios, este es un dato destacable ya que se hace necesario un seguimiento detallado del contenido de humedad para poder clasificarlo en el nivel de riesgo correspondiente. A su vez, permite ajustar el nivel de riesgo a cada zona, ofreciendo información para la toma de decisiones.

Para el período junio-septiembre la dinámica es similar, pero destaca que en los percentiles de muy seco y extremadamente seco el rango en el estrato de matorral es mayor que en el período anual. Esto indica que las diferencias entre zonas meteorológicas en el período estival son mayores que si se analiza el período anual. Este dato es interesante pues refuerza la influencia climática en la variación del contenido de humedad del combustible vivo.

Tabla 8. Comparativa de los valores máximos, mínimos y rango de los percentiles entre zonas meteorológicas para el estrato de matorral y arbolado. Período anual

matorral		arbolado					
Percentil	Valor	max	min	rango	max	min	rango
0,1	72,8	59,8	13,0	86,8	70,0		16,8
0,2	77,1	66,4	10,7	91,7	74,0		17,7
0,4	88,1	73,9	14,2	101,4	80,9		20,5
0,6	102,8	81,9	20,8	110,9	96,6		14,3
0,8	129,2	97,4	31,8	128,8	104,6		24,1
0,95	172,8	127,0	45,8	147,6	114,3		33,4

Tabla 9. Comparativa de los valores máximos, mínimos y rango de los percentiles entre zonas meteorológicas para el estrato de matorral y arbolado. Período junio-septiembre

matorral		arbolado					
Percentil	Valor	max	min	rango	max	min	rango
0,1	73,0	54,2	18,8	87,6	70,4		17,3
0,2	77,4	63,2	14,2	91,3	75,3		15,9
0,4	85,5	72,6	13,0	103,9	83,5		20,4
0,6	94,0	80,9	13,1	112,6	97,2		15,4
0,8	113,5	94,1	19,4	134,4	104,6		29,7
0,95	145,6	117,2	28,3	153,4	115,5		38,0

Atendiendo a la diferencia entre matorral y arbolado, se observa que el valor de los percentiles de matorral es inferior al del arbolado, excepto en el percentil muy húmedo en el que el matorral registra valores superiores al arbolado. Esto refuerza el criterio de tratar los estratos de vegetación por separado, pues se observa que la dinámica es distinta. Las condiciones climáticas afectan en mayor medida al matorral que al arbolado, que es capaz de suavizar estos efectos, por lo que desde el punto de vista de la gestión de incendios es interesante posicionar el foco en el seguimiento del contenido de humedad del matorral, pues va a condicionar la propagación inicial del fuego. En el caso de que el arbolado se sitúe en los percentiles más secos, podría favorecer el paso de fuego a copas.

En el caso detallado del contenido de humedad del romero, se observa que la amplitud de los percentiles es mayor, por la propia dinámica fenológica de la



especie, la cual se ve muy influenciada por la meteorología local. Se observa como los percentiles tienen fuerte dependencia de la ubicación de las parcelas y se ven muy condicionadas por el período de estudio, registrándose valores del percentil 0,1 cercanos al 50% del contenido de humedad y valores máximos del percentil 0,95 superiores a 190% en el período anual. Por tanto, se considera que el análisis independiente de esta especie puede ser útil para analizar la influencia meteorológica en la evolución del contenido de humedad, pues el análisis de todos los datos de matorral de forma conjunta puede suavizar su dinámica.

En cuanto al pino carrasco, se observa que los valores de los percentiles son muy similares en todas las zonas meteorológicas, excepto en el norte de Castellón, donde son superiores, y tampoco existe mucha diferencia entre el análisis anual y el estival. Sin embargo, sí existe diferencia notable entre los valores del pino y los del grupo de especies de arbolado en conjunto. Esto da a entender que existen dinámicas distintas entre las especies de arbolado, sobre todo entre las especies del género *Pinus* y especies del género *Quercus*. Por tanto, sería recomendable que para cada tipo de arbolado se utilizasen los valores de percentiles correspondientes a la especie principal para determinar el riesgo de incendio existente.

6. Conclusiones

La metodología empleada permite agrupar los valores de contenido de humedad y clasificarlos, pudiendo asociar cada clase a un nivel de disponibilidad frente al fuego. Con los valores de los percentiles se tiene una referencia muy útil para aproximar cada dato de humedad a una clase de disponibilidad.

Al diferenciar entre matorral y arbolado, permite conocer el estado de cada estrato vegetal, pudiendo ser este distinto y, por tanto, prever diferente comportamiento del fuego en cada uno de ellos.

Los valores de los percentiles tienen aplicación directa en la gestión de incendios forestales, tales como, simulación de incendios usando distintos niveles de disponibilidad, en el cálculo de índices de riesgo en los que se integre la situación del combustible, pero también tiene su aplicación para determinar ventanas de prescripción en quemas prescritas o para prever el comportamiento de un incendio forestal y el grado de disponibilidad del combustible frente al fuego.

En este último caso, se considera necesario realizar un estudio más profundo en cuanto a la relación entre el comportamiento del fuego y el valor del contenido de humedad del combustible vivo, lo que permitiría ajustar más los umbrales de los percentiles.

7. Agradecimientos

Este proyecto de seguimiento del estado de la humedad del combustible vivo es posible gracias al apoyo de la Dirección General de Prevención de Incendios de la



Generalitat Valenciana, que lo dota presupuestariamente desde el año 2015. Por otra parte, la calidad de la toma de datos en campo es fundamental para un buen resultado de los estudios realizados, por ello es de agradecer la labor de todos aquellos que han participado en la toma de muestras, especialmente a Carlos, Javi, Alex, Jesús y Rubén. A los componentes de las unidades y equipo de gestión del Servicio de Vigilancia Preventiva por su apoyo en la toma de datos en las primeras fases del proyecto, así como a Raul y Jesús que iniciaron el proyecto allá por el 2014. A los componentes del SIGIF (Sistema Integrado de Gestión de Incendios Forestales) por su ayuda en el diseño de la base de datos, su mantenimiento y constante mejora.

8. Bibliografía

ARCOS, M.A.; BALAGUER-BESER, A.; RUIZ, L.A.; 2024. Evaluating the performance of spectral indices and meteorological variables as indicators of live fuel moisture content in Mediterranean shrublands. *Ecological indicators* 169, 112894

COSTA SAURA, J.M.; BALAGUER-BESER, A.; RUIZ, L.A.; PARDO-PASCUAL, J.E.; SORIANO SANCHO, J.L.; 2021. Empirical *models* for spatio-temporal live fuel moisture content estimation in mixed Mediterranean vegetation areas using Sentinel-2 indices and meteorological data. *Remote sens.* 13, 3726.

GÓMEZ MENDOZA, L.; MEDINA BARRIOS, M.P; 2012. *Guía de Métodos Estadísticos en Climatología*. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. DGAPA-PAPIME. UNAM

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M.; 2002. *Statistical Methods in Water Resources* (Vol. 323). US Geological Survey.

SORIANO SANCHO, J.L.; QUILEZ MORAGA, R.; 2017. Análisis de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana. 7CFE01-398