



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

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

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Variación de la humedad de los combustibles finos vivos en formaciones de matorral con predominio de *Erica australis* y *Pterospartum tridentatum* en la montaña oriental de Lugo

ALONSO REGO, C.¹, ARELLANO PÉREZ, S.¹, RUÍZ GONZÁLEZ, A.D.¹, ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.¹, LÓPEZ FERNÁNDEZ, M. y ROMAY RÍO, M.F.

¹Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España.

Resumen

El contenido de humedad de los combustibles es una variable fundamental para la estimación del peligro de incendio, pues afecta a dos factores clave como son la facilidad para la ignición y la propagación del fuego. Conocer los patrones de variación de la humedad de las especies que forman parte de las formaciones de matorral más propensas al fuego en Galicia es esencial para poder prever los momentos de mayor riesgo y también para mejorar la fiabilidad de las estimaciones de comportamiento del fuego. Estos aspectos son determinantes a la hora de planificar actuaciones, tanto preventivas como de extinción. En este trabajo se presentan los resultados de un seguimiento de la humedad de la fracción viva fina (grosor < 6mm) realizado durante tres años en ocho parcelas establecidas en comunidad desde matorral desarbolado con predominio de *Erica australis* y *Pterospartum tridentatum* en la montaña oriental de Lugo. Las parcelas cubren diferentes orientaciones y estados de desarrollo del matorral, desde jóvenes regenerados tras desbroce hasta complejos de combustible con alturas de matorral cercanas a 2m. Simultáneamente a la toma de muestras de humedad se anotaron las épocas de crecimiento y floración de cada una de las especies estudiadas para establecer su relación con las humedades observadas.

Palabras clave

Especies forestales, fenología, orientación de la ladera, riesgo de incendio.

1. Introducción

La humedad del combustible, definida como el peso del agua por unidad de peso seco del combustible y expresada normalmente en porcentaje (KEANE, 2015) es una variable fundamental en la determinación del peligro de incendio y del comportamiento del fuego (CHANDER et al., 1983; ROTHERMEL, 1983). DIMITRAKOPoulos & PAPAOANNOU (2001) indican que existe una relación inversa entre el contenido de humedad del combustible y la probabilidad de ignición ya que parte de la energía necesaria para iniciar el fuego se gasta en el proceso de evaporación. La humedad del combustible evoluciona de forma muy distinta y alcanza niveles muy diferentes en función del estado biológico del vegetal (vivo o muerto). Los combustibles muertos están inmersos en un proceso continuo de variación de la humedad en el que se alternan ciclos de humedecimiento y de secado. Esta variación, totalmente controlada por la evolución del tiempo atmosférico, es de tal relevancia que a lo largo de un solo día las partículas muertas finas, ya sean leñosas o herbáceas, pueden recorrer todo el rango de humedades acontecidas a lo largo de una estación completa (HATTON et al., 1988). La humedad de los combustibles vivos no muestra una dependencia tan directa con el tiempo atmosférico ni unas variaciones tan rápidas, estando más supeditada a la especie y a los diferentes estados fenológicos por los que van pasando las plantas a lo largo del año (PYNE et al., 1996). Dentro de la vegetación viva, presenta especial interés el estudio de la humedad de la fracción fina (grosor < 6 mm) debido a que es la que mayor variabilidad muestra a lo largo del año y la más decisiva a la hora de explicar el inicio y la propagación del fuego. Son diversos los estudios llevados a cabo que tratan de analizar la forma en que esta humedad va cambiando a lo largo del año. Sin embargo, muchos de estos trabajos se centran en la humedad foliar de diferentes especies arbóreas,

especialmente coníferas (CHROSCIEWICZ, 1986; POOK & GILL, 1993; RUIZ GONZÁLEZ et al., 2010, 2012), siendo escasos los trabajos relativos a las formaciones arbustivas (p.ej PELLIZARO et al., 2007a y b) que, además, en la Península Ibérica se limitan a especies de ámbito mediterráneo (p.ej VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2003, 2007; SORIANO SANCHEZ y QUILEZ MORAGA, 2017). Por tanto, hay una falta de información sobre las pautas de variación y los niveles de humedad alcanzados en las comunidades de matorral desarbolado del NW peninsular y en concreto de Galicia, región en la que durante la última década (2011-2020) los incendios arrasaron casi 200.000 ha de terreno forestal. A pesar de que estas comunidades desarboladas suponen en Galicia alrededor del 30% del área forestal (MARM, 2011) acaparan el 63 % de la superficie quemada (PLADIGA, 2021), poniendo de manifiesto su elevada combustibilidad. Si bien los tojales (comunidades dominadas por especies del género *Ulex*) son las más ampliamente representadas en Galicia (55 % de la superficie rasa total), también los brezales (comunidades dominadas por el género *Erica*) tienen una amplia representación (22% de la superficie rasa total).

2. Objetivos

Contribuir a paliar la falta de información que existe sobre las pautas estacionales de variación de la humedad de la fracción viva y los niveles máximos y mínimos alcanzados en comunidades de matorral desarbolado en Galicia. El trabajo se centra en los brezales de la montaña oriental de Lugo con *Erica australis* como especie dominante y presencia relevante de *Pterospartum tridentatum*. Estas comunidades forman estructuras con gran potencial para la propagación del fuego y están ampliamente representadas en la zona en estudio. Además, se analizará la influencia de la orientación de la ladera y del estado de desarrollo de la comunidad. Todo ello con el propósito de determinar las situaciones y momentos más críticos en relación con el peligro de incendio.

3. Metodología

3.1 Área de estudio y selección de parcelas

El estudio se llevó a cabo en el lugar conocido como Pena do Ramallo, Municipio de Baralla, montaña oriental de Lugo (**Figura 1**). Se trata de una zona montañosa de relieve pronunciado cuya vegetación se estructura en mosaico, alternando áreas de vegetación arbustiva con predominio de *Erica australis* y de *Pterospartum tridentatum* con rodales de *Pinus radiata*, *Eucalyptus spp*, *Quercus robur* y *Castanea sativa*. El clima es húmedo superior con bioclima semihiperóceánico (RODRÍGUEZ GUITIÁN y RAMIL REGO, 2007). La precipitación media mensual es de 111.52 l/m², siendo julio el mes más seco con tan solo 28.12 l/m² de media. En cuanto a la temperatura, enero es el mes más frío y agosto el más cálido, con medias de 5.44 °C y 18.32 °C, respectivamente. Habitualmente durante los meses de julio y agosto se genera un periodo de sequía, incrementándose por tanto el riesgo de incendio forestal. La información meteorológica se corresponde con la estación de Abradelo (WGS84 42.747143/-7.24874), de la red de estaciones meteorológicas de Meteogalicia, cercana al área de estudio y a una altitud de 826 m, solo ligeramente superior a la misma.

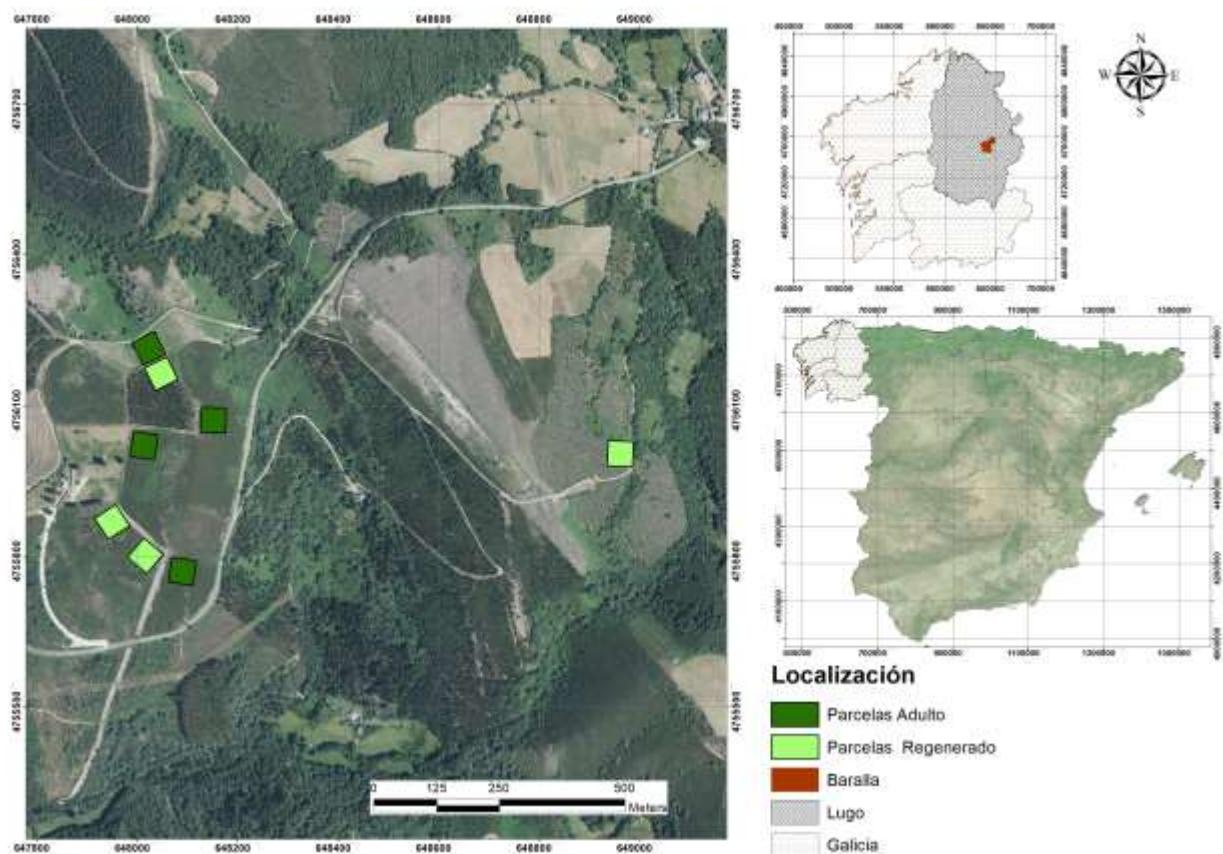


Figura 1. Localización de la zona de estudio (derecha) y ubicación de las parcelas de muestreo (izquierda).

Se seleccionaron y replantearon en campo ocho parcelas de muestreo (dimensiones 50 x 50 m) buscando áreas desarboladas homogéneas con dominancia de *Erica australis* y presencia relevante de *Pterospartum tridentatum*. Se cubrieron diferentes orientaciones (Figura 2) y diferentes estados de desarrollo del matorral, desde jóvenes regenerados tras desbroce hasta complejas comunidades muy desarrolladas por llevar varios años sin sufrir ningún tipo de perturbación (Tabla 1). La edad de la vegetación al inicio de la experiencia en las parcelas calificadas como regenerados fue de dos años y en las calificadas como adultas estaban comprendidas entre 16 y 22 años. De esta forma se pudo llevar a cabo el estudio de la influencia del estado de desarrollo y de la exposición de la ladera en la humedad de la fracción fina de las especies mencionadas. Todas las parcelas se situaron a una altitud similar, en torno a los 750 m, mientras que la pendiente osciló entre el 13% de la parcela adulta de orientación oeste (Ea_A_O) y el 37% de la parcela adulta orientada al norte (Ea_A_N) (Figura 2, Tabla 1).

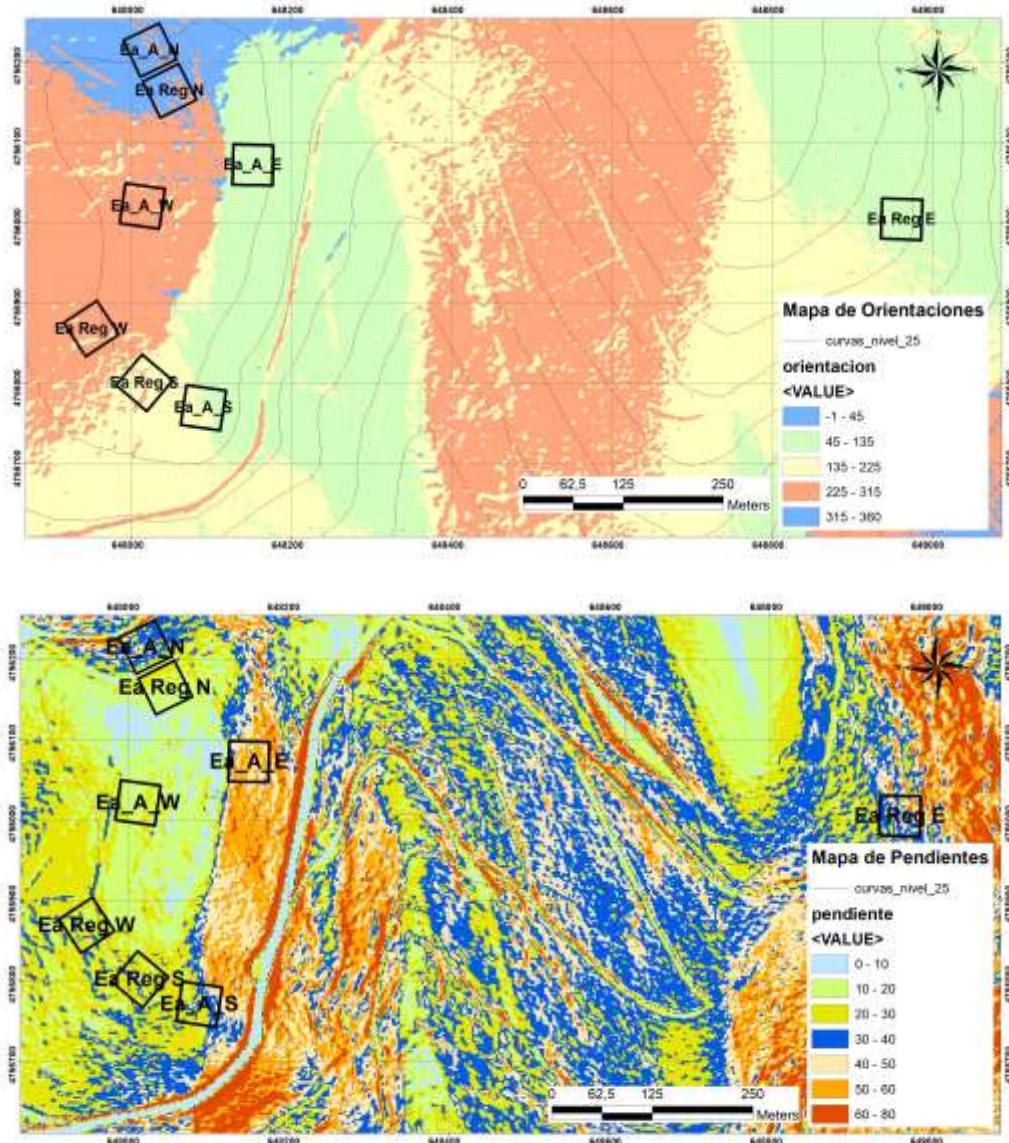


Figura 2. Mapa de Orientaciones ($^{\circ}$, arriba) y de pendientes (%), abajo) de las parcelas de muestreo.

Tabla 1. Características de las parcelas de muestreo. Código de parcela: Ea=indica que la especie dominante en la parcela es *E. australis*; A=parcela adulta; R=parcela joven; N=Norte; S=Sur; E=Este; O=Oeste; \bar{h} =altura media de la vegetación; Pt=*Pterospartum tridentatum*; Ug=*Ulex gallii*; Pa=*Pteridium aquilinum*; Ca=*Calluna vulgaris*; Ha=*Halimium alyssoides*; Ec=*Erica cinerea*; gr=gramíneas.

Código parcela	Altitud (m)	Pendiente (%)	Edad (años)	\bar{h} (cm)	Especies secundarias
Ea_A_E	760	31	16	82	Pt, Ug
Ea_A_N	748	37	22	196	Ug, Pa
Ea_A_O	761	13	16	106	Pt
Ea_A_S	746	21	16	92	Pt, Ca, Ha
Ea_R_E	760	26	2	63	Pt, Pa, Ec
Ea_R_N	763	14	2	52	Pt, Ug, Pa, Ha, Ec, gr
Ea_R_O	746	25	2	79	Pt, Ha
Ea_R_S	749	25	2	71	Pt, Ha

3.2 Toma de muestras y determinación de humedades

El trabajo de campo consistió en la recogida de muestras de la fracción viva fina (partes terminales de grosor < 6 mm) de *E. australis* y *P. tridentatum* a lo largo de itinerarios por el interior de cada parcela. Habitualmente en los estudios de seguimiento de la humedad de esta fracción se eliminan las flores, siguiendo protocolos como el de ZAHN & HESON (2011). Sin embargo, en este estudio no se quitaron por doble motivo: por un lado, la abundante floración de ambas especies hace pensar que hay que tener en cuenta su humedad en el conjunto de la fracción viva y por otro lado la imposibilidad material de separar la flor de los ramales. Los muestreos se iniciaron a finales abril de 2018 y terminaron a finales de octubre de 2020, repitiéndose un total de 45 veces a lo largo de tres períodos de crecimiento. Se trató de que el tiempo transcurrido entre mediciones consecutivas fuese de 15 días, pero no siempre fue posible, especialmente durante los meses de invierno debido a las continuas lluvias. Los muestreos también tuvieron que interrumpirse debido a las condiciones sanitarias del año 2020, perdiéndose además ese año tres parcelas por motivos ajenos al estudio: la adulta y regenerada de orientación norte (Ea_A_N y Ea_R_N, respectivamente) y la de regenerada de orientación este (Ea_R_E).

Las muestras se recogieron siempre en las horas centrales del día y tras comprobar que no había gotas de agua de lluvia o condensación sobre la superficie de la vegetación. Se llenaron dos botes de 1 dm³ de cada una de las especies en cada parcela y día de muestreo, lo que supuso un peso medio de muestra en peso seco de 125 gr. Los botes, convenientemente etiquetados, se sellaban rápidamente con sus correspondientes tapas y cinta aislante para evitar pérdidas de humedad. Simultáneamente a la recogida del material se anotaron diferentes aspectos que pudieran estar relacionados con las humedades observadas como por ejemplo el estado de floración o crecimiento de la vegetación, la temperatura, la humedad relativa o la velocidad del viento. Una vez terminado cada muestreo los botes se trasladaban rápidamente al laboratorio para su procesado consistente en: i) pesado en húmedo (balanza de precisión 0.01 gr); ii) secado en estufa a 100°C hasta peso constante; iii) obtención del peso seco; y iv) determinación de la humedad (FMC, %) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FMC = \frac{Peso\,húmedo - Peso\,seco}{Peso\,seco} * 100$$

Si bien este estudio se centra únicamente en la fracción viva fina también se recogieron muestras de combustible muerto (áereo y del estrato de hojarasca y mantillo) con vistas a su análisis en otro documento.

3.3. Análisis estadístico

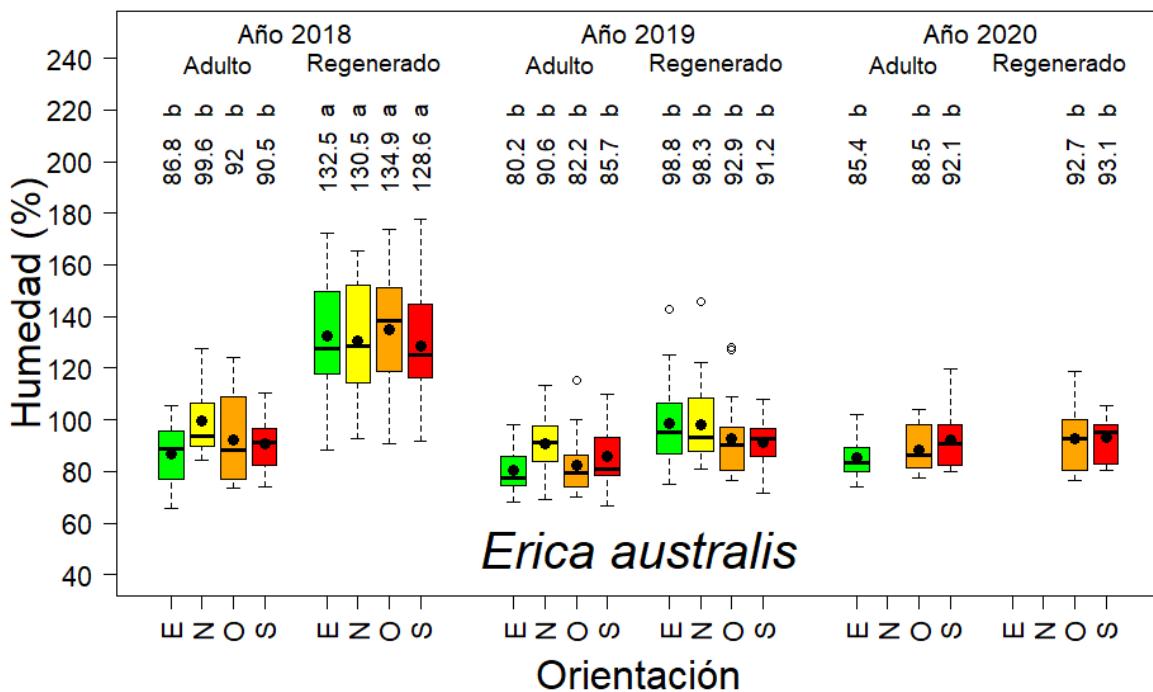
Para analizar si los valores de humedad medidos en campo para cada una de las dos especies se ven afectados por los factores orientación de la ladera y estado de desarrollo del combustible (adulto y regenerado), se ajustó un modelo lineal mixto empleando como factores fijos los dos mencionados y la interacción entre ambos. Además, se incluyeron como factores aleatorios asociados únicamente el término independiente del modelo la parcela y el año de medición. Dado que la variable dependiente (humedad en porcentaje) no sigue una distribución normal se realizó su transformación mediante el empleo del arcoseno de la raíz cuadrada del cociente entre la humedad de cada observación y el valor máximo de humedad observada. Finalmente, para tener en cuenta la posible correlación temporal entre mediciones se incluyó un modelo autorregresivo de orden 1 (AR1) dependiente de la parcela y del año de medición. Este ajuste se llevó a cabo empleando la función “lme” de la librería “nlme” (PINHEIRO et al., 2021) del programa R (R CORE TEAM, 2020). La comparación pareada entre medias se realizó con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis en el mismo programa.

Los valores medios por orientación de la ladera y estado de desarrollo para cada uno de los tres períodos de muestreo analizados se representaron gráficamente como diagramas de cajas (box plots).

4. Resultados y discusión

4.1 Efecto del estado de desarrollo de la vegetación y de la orientación de la ladera en la humedad de la fracción viva fina

A continuación, se muestran los diagramas de cajas de las humedades observadas en cada combinación de estado de desarrollo (adulto o regenerado), orientación de la ladera (E, N, O, S) y período de muestreo (2018, 2019 o 2020) para las especies *E.australis* (**Figura 3**) y *P.tridentatum* (**Figura 4**). En cada figura se incluye además el resultado del test de comparación de medias de Kruskal-Wallis que permite identificar diferencias significativas entre las humedades observadas.



*Figura 3. Diagramas de cajas de la humedad de la fracción viva de *E. australis* diferenciando por período de muestreo (2018, 2019 y 2020), estado de desarrollo de la vegetación (adulto y regenerado) y orientación de la ladera (E, N, O y S). Las cajas marcan los límites entre el 1^{er} y 3^{er} cuartil. La barra interior marca la mediana y el punto interior marca la media, cuyo valor numérico figura sobre la caja. El intervalo entre segmentos horizontales extremos se corresponde con 1.5 veces el rango intercuartílico y los puntos son valores fuera de dicho rango. Las letras muestran el resultado del test de Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).*

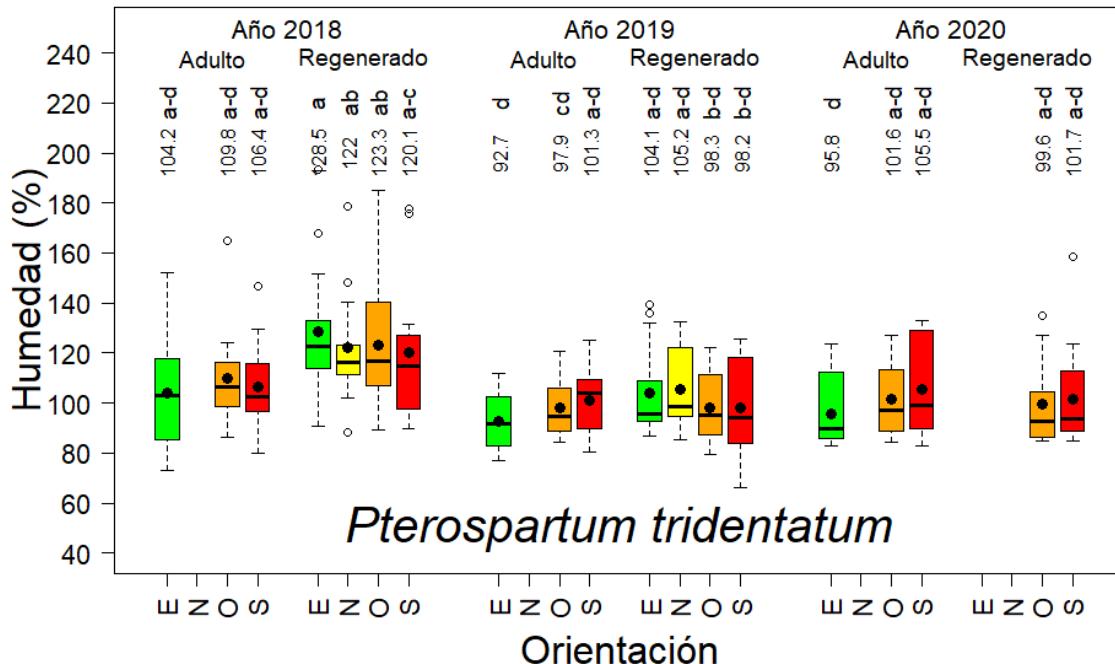


Figura 4. Diagramas de cajas de la humedad de la fracción viva de *P. tridentatum* diferenciando por período de muestreo (2018, 2019 y 2020), estado de desarrollo de la vegetación (adulto y regenerado) y orientación de la ladera (E, N, O y S). Las cajas marcan los límites entre el 1^{er} y 3^{er} cuartil. La barra interior marca la mediana y el punto interior marca la media, cuyo valor numérico figura sobre la caja. El intervalo entre segmentos horizontales extremos se corresponde con 1.5 veces el rango intercuartílico y los puntos son valores fuera de dicho rango. Las letras muestran el resultado del test de Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

Se observa, para ambas especies, que no existen diferencias significativas en las humedades medias observadas debidas al estado de desarrollo de la formación salvo en el caso de *E. australis* durante el primer año de muestreo en el que la humedad media en las parcelas jóvenes (rango entre 128.6 y 134.9 %) es significativamente mayor que en las adultas de los tres años de muestreo (rango entre 80.2 y 99.6 %) y en las jóvenes de los años 2019 y 2020 (rango entre 91.2 y 98.8 %). Tampoco existen diferencias significativas debido a la orientación de la ladera en ninguna de las dos especies en ninguno de los tres años de muestreo, tan solo diferencias puntuales en algunas combinaciones en años diferentes en el caso de *P. tridentatum*. Las humedades medias en esta especie oscilaron entre el 92.7 % y el 128.5%, correspondiéndose las medias más altas con las parcelas de regenerado en el primer año de medición (rango entre 120.1 y 128.5 %). Comparando ambas especies, las humedades medias de *P. tridentatum* resultaron mayores a las de *E. australis* en todos los casos salvo en las parcelas de regenerado durante el primer año de medición (rangos de variación entre 92.7 y 109.8 % para *P. tridentatum* y entre 80.2 y 99.6 % para *E. australis*, excluyendo los regenerados del primer año).

4.2. Pautas estacionales de variación de la humedad de la fracción viva fina

En las siguientes figuras se muestran los patrones de variación estacional de la humedad de la fracción viva fina de *E. australis* (Figura 5) y *P. tridentatum* (Figura 6) en las parcelas de regenerado y en las adultas a lo largo de los tres períodos de muestreo. En el primer año (2018) las mediciones comenzaron a finales de abril mientras que en los dos años siguientes (2019 y 2020) los muestreos se iniciaron en la primera quincena de febrero. En los tres años la recogida de muestras se interrumpió en el mes de noviembre debido a las frecuentes lluvias en la zona. Además, durante el año 2020 el muestreo se tuvo que suspender entre la segunda quincena de marzo y la segunda de

mayo por el confinamiento debido a la pandemia por Covid-19. Los valores mostrados en las figuras se corresponden con la media de las humedades observadas en las diferentes orientaciones en cada ocasión de muestreo. Se decidió mostrar la información de esta forma debido a que las diferencias entre orientaciones, tal y como se indicó anteriormente, resultaron no significativas.

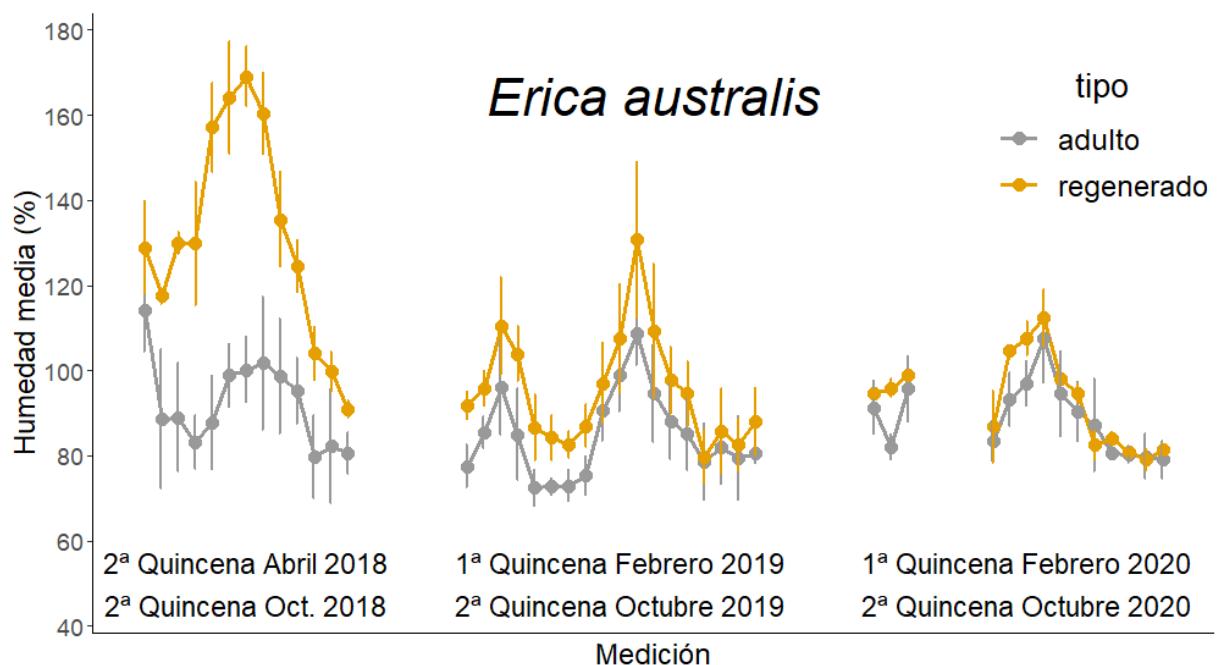


Figura 5. Evolución estacional de la humedad media de la fracción viva fina de *E. australis* durante los tres períodos de muestreo (2018, 2019 y 2020). Las barras indican la desviación típica de las humedades observadas con respecto a la media de las diferentes orientaciones.

La humedad de la especie *E. australis* en las parcelas de regenerado resultó ser superior a la de las parcelas adultas en todos los momentos de muestreo (Figura 5). La diferencia entre ambos estados de desarrollo de la vegetación se mostró especialmente patente durante las mediciones de 2018, único año en el que el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las humedades medias de los dos estados. En el gráfico correspondiente al año 2019 (parte central de la figura 5) se observan claramente dos picos de humedad que afectan tanto a las parcelas jóvenes como a las adultas. El primero, que alcanza el 110% de humedad en las parcelas jóvenes y el 96% en las adultas, se localiza a principios de marzo, correspondiéndose con el momento de mayor floración de la especie observada en campo. Posteriormente, a medida que la flor se va marchitando, la humedad se reduce hasta un mínimo a mediados de mayo (situado en torno al 80% en las parcelas jóvenes y al 70% en las adultas). A partir de entonces y coincidiendo con el inicio de la brotación observada en campo, la humedad inicia una nueva carrera ascendente hasta alcanzar un segundo máximo, de mayor magnitud que el asociado a la floración. Este máximo, que ronda el 130% en las parcelas jóvenes y el 110% en las adultas se produce a mediados del mes de julio, momento en el que el nuevo crecimiento es más patente. A partir de ahí se inicia un fuerte descenso de la humedad conforme van madurando los tejidos nuevos, avanza el verano y se reduce la disponibilidad de agua en los suelos que termina con una estabilización en niveles bajos durante el mes de octubre (en torno al 80% de humedad para ambos estados de desarrollo). Este patrón se intuye que se repite, aunque con menos claridad, en los otros dos períodos de muestreo debido al comienzo más tardío de las mediciones en el año 2018 y a la falta de datos debido al confinamiento entre mediados de marzo y mediados de mayo en 2020. Hay que indicar sin embargo que los valores máximos y mínimos de humedad dependen del año de muestreo, destacando el pico asociado al crecimiento nuevo en las parcelas de regenerado en 2018, cuando la vegetación contaba tan solo con dos años de edad, que

ronda el 170% y el mínimo del 70% registrado en 2019 en las parcelas de más edad en la época en que la flor está marchita en la planta. Por último, destaca la tendencia a igualarse la humedad de los regenerados con la de las parcelas adultas conforme pasan los años y especialmente a partir del mes de julio.

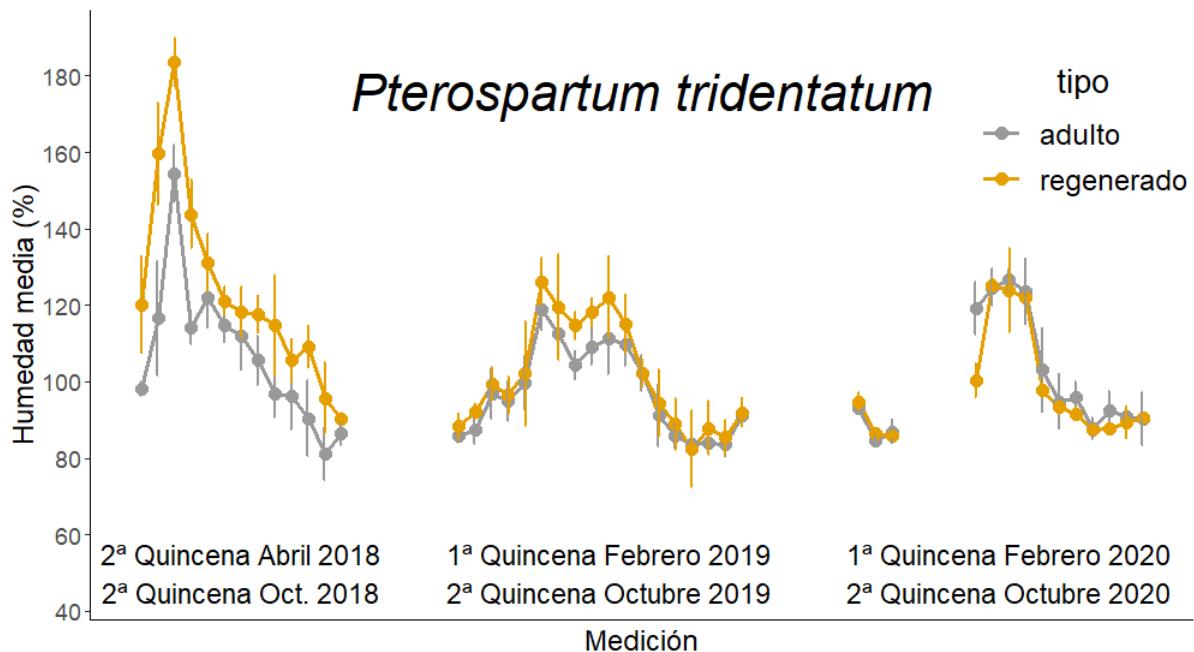


Figura 6. Evolución estacional de la humedad media de la fracción viva fina de *P. tridentatum* durante los tres períodos de muestreo (2018, 2019 y 2020). Las barras indican la desviación típica de las humedades observadas con respecto a la media de las diferentes orientaciones.

Respecto a la especie *P. tridentatum* (**Figura 6**) y fijándonos de nuevo en el segundo año de muestreo por ser el más completo de la serie, se observa que los valores mínimos de humedad (en torno al 85-90%) se registran al inicio y al final del periodo de muestreo (segunda quincena de febrero y segunda quincena del mes de octubre, respectivamente). A medida que la primavera va progresando la humedad va aumentando hasta alcanzar un pico a finales de abril, coincidiendo con el momento en que la floración observada en campo es más aparente (126% en las parcelas jóvenes y 119% en las adultas). Poco después, hacia finales de junio se observa un nuevo pico de magnitud similar coincidente con el momento en el que la presencia de nuevos brotes tiernos es más relevante. A continuación, la humedad comienza a disminuir, tendencia que se mantiene a lo largo de todo el verano conforme van madurando los tejidos y se va reduciendo la disponibilidad de agua en los suelos, estabilizándose en torno al 85-90% en los meses de septiembre y octubre, valores también observados en los otros dos años de medición. El patrón de variación de la humedad es muy similar en ambos estados de desarrollo y también lo son las humedades observadas, salvo en los momentos de mayor humedad. En el tercer año (2020) de medición el patrón aparentemente se repite, pero tal y como se indicó anteriormente, faltan los datos correspondientes a las mediciones de finales de marzo, el mes de abril completo y la primera medición de mayo debido al confinamiento. En relación con el primer año de muestreo se observa un único pico de humedad que alcanza el 184% en las parcelas jóvenes y el 154% en las adultas, valores muy superiores a los registrados en los años 2019 y 2020 y localizado en un momento intermedio entre aquellos en que la floración y el crecimiento nuevo observados en campo resultaron más aparentes. Es en este primer año de muestreo cuando la diferencia entre las humedades de ambos estados de desarrollo es mayor, tal y como se observó con *E. australis*.

5. Conclusiones

A la vista de los datos obtenidos, se concluye que el contenido de la humedad de la fracción viva fina de las especies analizadas no se ve especialmente afectado por la orientación de la ladera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las muestras se recogieron siempre en horas centrales del día y sin presencia de gotas de agua o rocío en superficie, agua que tarda más en desaparecer en unas orientaciones que en otras y que condiciona enormemente el riesgo de ignición y propagación del fuego en la zona, especialmente por la mañana.

En los gráficos de evolución de la humedad a lo largo del año se observó una mayor humedad en las parcelas jóvenes que en las adultas, tendencia que se amortigua con el transcurso del tiempo y que dio lugar a que las diferencias medias en general no fueran significativas. Sin embargo, las formaciones adultas se caracterizan por una mayor presencia de combustible muerto que las jóvenes, tanto aéreo como del estrato de hojarasca y mantillo. La humedad de este combustible, especialmente la fracción fina, responde rápidamente a los cambios en temperatura y humedad relativa, alcanzando valores muy bajos en los días calurosos y secos del verano y por tanto contribuyendo a reducir la humedad del conjunto de la formación, aumentando su inflamabilidad y su combustibilidad. Si bien estas variables meteorológicas no afectan a la humedad del combustible vivo de forma tan clara y directa como a la del combustible muerto hay otros factores meteorológicos de gran relevancia a la hora de explicar la humedad de la fracción viva: la cantidad de precipitación y los días transcurridos sin llover que condicionan la disponibilidad de agua en los suelos. Estos factores explicarían en parte el incremento de humedad producido en primavera y la pérdida de humedad a lo largo del verano.

Se ha comprobado la importancia de acompañar los estudios de seguimiento de la vegetación viva con anotaciones sobre el estado fenológico de la vegetación. En este estudio, la floración y los nuevos brotes anuales incrementaron la humedad de los extremos vivos condicionando los momentos del año en los que su humedad es máxima. El marchitamiento de la flor, la maduración de los tejidos y las condiciones de baja disponibilidad de agua en los suelos parecen estar detrás de la reducción de la humedad a lo largo del año.

Realizar muestreos de humedad temporales requiere constancia y un gran esfuerzo en la recogida de datos de campo y en las posteriores labores de laboratorio. Sin embargo, es necesario continuar con esta vía de investigación, abarcando otras especies y localizaciones geográficas y estudiando la humedad de forma integral, es decir, tanto la fracción vivía como la muerta.

6. Agradecimientos

El estudio ha sido posible gracias a la financiación proporcionada por el proyecto INIA-RTA2017-00042-C05 (VIS4FIRE) del Plan Estatal de I+D+i y a la beca predoctoral de uno de los autores financiada por la Consejería de Educación, Universidad y Formación Profesional y la Consejería de economía, Empleo e Industria de la Xunta de Galicia y el programa operativo de la UE FSE Galicia 2014-2020.

7. Bibliografía

- CASTRO, F.X.; TUDELA, A.; SEBASTIA, M.T.; 2003. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). *Agric. For. Meteorol.* 116: 49-59.
- CASTRO, F.X.; GABRIEL DE FRANCISCO, E.; SERRANO, E.; MONTSERRAT, D.; TUDELA, A.; CANYAMERES, 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. IV International WildlandFire Conference. 13-17 May. Sevilla (Spain).

CHANDLER, C.; CRAIG, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L.; WILLIAMS,D.; 1983. Fire in Forestry. Volume I: Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons. New York, NY. 450 pp.

CHROSCIEWICZ, Z.; 1986. Foliar moisture content variations in four coniferous tree species of central Alberta. *Can. J. For. Res.* 16: 157-162.

DIMITRAKOPOULOS, A.; PAPAIOANNOU, K.K.; 2001. Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. *Fire Technology* 3: 143-152

HATTON, T.J.; VINEY, N.R.; CATCHPOLE, E.A.; de MESTRE, N.J.; 1988. The influence of soil moisture on *Eucalyptus* leaf litter moisture. *Forest Sci.* 34 (2): 292-301.

KEANE, R.E.; 2015. Wildland Fuel Fundamentals and Applications. Springer. 191 pp. NY.

MARM. 2011. Mapa Forestal de España. Galicia. Escala 1:25.000. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

PELLIZZARO, G.; CESARACCIO, C.; DUCE, P.; VENTURA, A.; ZARA, P.; 2007a. Relationships between seasonal pattern of live fuel moisture and meteorological drought indices for Mediterranean shrubland species. *Int. J. Wildland Fire* 16 (2): 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. Wildland Fire* 16 (5): 633-641.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D.; Sarkar D; R Core Team. 2021. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-152, (accessible en: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>).

PLADIGA. 2021. Plan de Prevención e Defensa Contra os Incendios Forestais de Galicia. Xunta de Galicia, Consellería do Medio Rural.

POOK, E.W.; GILL, A.M.; 1993. Variation of live and dead fine fuel moisture in *Pinus radiata* plantations of the Australian Capital Territory. *Int. J. Wildland Fire* 3(3): 155-198.

PYNE, S.J.; ANDREWS, P.L.; LAVEN, R.D.; 1996. Introduction to wildland fire. John Wiley & Sons, Inc. 769 pp. USA.

R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (accessible en: <https://www.R-project.org/>).

ROTHERMEL, R.C.; 1983. How to predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires. USDA Forest Service. Ogden. 163 p.

RODRÍGUEZ GUITIÁN, M.A.; RAMIL REGO, P.; 2007. Revisión de las clasificaciones climáticas aplicadas al territorio gallego desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurales* 1 (3): 31-53.

RUIZ GONZÁLEZ, A.D.; VEGA HIDALGO, J.A.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; 2010. Foliar Moisture Content variation in *Quercus robur* L. and *Pinus radiata* D.Don.in Galicia (NW Spain). En: D.X Viegas (Ed). VI ICFFR. 15-18 nov. Coimbra (Portugal).

RUIZ GONZÁLEZ, A.D.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; GÓMEZ-GARCÍA, E.; 2012. Efecto de la clase sociológica y de la estructura de copas en la humedad foliar de *Quercus robur* L. y *Betula alba* L. en Galicia. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 34: 221-226.

SORIANO SANCHEZ, J.L.; QUILEZ MORAGA, R. 2017. Análisis de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana. En SECF (eds): 7ºCongreso Forestal Español. Plasencia 26-30 junio 2017.

VIEGAS, D.X.; PIÑOL, J.; VIEGAS, M.T.; OGAYA, R.; 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *Int. J. Wildland Fire*. 10: 223-240.

ZAHN, S.; HENSON, C.; 2011. A Synthesis of Fuel Moisture Collection Methods and Equipment-A Desk Guide.USDA Forest Service. San Dimas Technology and Development Center.