



2025 | 16-20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1653

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

Organiza





Dinámica de la descomposición de árboles apeados en una repoblación de *Pinus pinaster* en Guadalajara tras la ejecución de claras.

ABELLA SANTIAGO, L., OLIET PALÁ, J. (1) y BRAVO FERNÁNDEZ J. (1)

(1) Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. ETSIMFMN. Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

Las extensas repoblaciones forestales españolas son especialmente vulnerables a los efectos derivados del cambio global, fundamentalmente por su escasa diversificación estructural y específica. En concreto, suelen presentar poca necromasa leñosa gruesa, elemento clave en múltiples procesos ecológicos. En este trabajo se aborda el seguimiento de la descomposición de pies apeados y dejados enteros en el monte tras aplicar claras de distinto tipo y peso sobre una repoblación de *Pinus pinaster* de 55 años en Júcar (Guadalajara). Se analizan variables cuantificadoras de la descomposición, como el porcentaje de descortezado, el contacto con el suelo o la presencia de diferentes organismos asociados a la necromasa leñosa. Los resultados indican que dos años después de la ejecución de los tratamientos los árboles presentan signos leves de descomposición, así como la presencia de diferentes organismos de interés ecológico. Por otro lado, las condiciones ambientales generadas por los diferentes tratamientos selvícolas suponen diferencias significativas en la tasa de descomposición, siendo esta mayor en las claras de peso fuerte. Por lo tanto, se concluye que la modificación de la cobertura del dosel influye directamente sobre la radiación solar y la precipitación, factores determinantes en el proceso de descomposición de la necromasa leñosa.

Palabras clave

Madera muerta, diversificación, selvicultura, pino resinero, necromasa

1. Introducción

El cambio global es una amenaza para la continuidad de los ecosistemas forestales mediterráneos y, en especial, para las masas arboladas de origen artificial debido principalmente a su escasa diversificación estructural y específica. En España estas masas artificiales tienen una gran importancia ecológica, social y económica debido a la presencia de una gran superficie de repoblaciones, instaladas fundamentalmente durante el siglo XX bajo el Plan General de Repoblación Forestal (PGRFE) y dominadas en su mayoría por diferentes especies de pinos.

La necromasa leñosa o madera muerta es el conjunto de materia orgánica vegetal leñosa muerta de una masa forestal procedente de procesos naturales, como la mortalidad por vejez, decaimiento, daños bióticos o abióticos, o de procesos artificiales, como las actuaciones selvícolas (DELGADO Y PEDRAZA, 2002, COMAS Y VAYREDA, 2015). El papel de la necromasa leñosa en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas es fundamental, ya que forma parte de numerosos procesos biogeoquímicos y ecológicos. Por un lado, es considerada una reserva de carbono (SCHIMID *et al.*, 2016, LAGOMARSINO *et al.*, 2021) y supone una acumulación de materia orgánica que influye en los ciclos hidrológicos y en el ciclo de la energía (MASER, 1984). Respecto al ciclo de nutrientes, aunque contiene nutrientes de gran interés como el nitrógeno, potasio, calcio, fósforo y magnesio que son mineralizados y aprovechados por organismos descomponedores para ser



reincorporados a los ciclos, la baja concentración de dichos nutrientes en esta fracción de la necromasa y su lenta descomposición en comparación con la hojarasca hacen que el papel de la necromasa leñosa tenga menor importancia en el ciclo de nutrientes (LAIHO & PRESCOTT, 2004).

Por otro lado, la presencia de diversa cantidad de madera muerta, con diferentes fracciones y estados de descomposición está estrechamente relacionado con el número y densidad de especies del bosque asociadas a dicho recurso, y por ello, a la riqueza de especies presentes en las masas forestales (LARRIEU *et al.*, 2011). Los diferentes tipos de necromasa leñosa y sus estados de descomposición tienen un papel fundamental en el ciclo vital de algunos organismos. Los microclimas generados cerca o debajo de los desechos leñosos hacen de la necromasa leñosa un hábitat vital para algunas especies de organismos, al igual que las grietas y cavidades de árboles maduros. Se trata de los saproxílicos, aquellas especies que dependen durante parte de su ciclo vital de la madera muerta o senescente proveniente de árboles moribundos o muertos, siendo un recurso que sirve de fuente de alimento, lugar de puesta y hábitat para multitud de especies (IGLESIAS, 2009). Sin embargo, los organismos saproxílicos no son los únicos que se benefician de la presencia de necromasa leñosa en los ecosistemas forestales, siendo hábitat, alimento y refugio de especies de anfibios, reptiles, aves o pequeños mamíferos entre otros. En concreto, en este estudio se destaca la importancia de los líquenes epífitos *Cladonia pyxidata* y *Cladonia rangiferina*. Estas especies crecen sobre la corteza de los troncos o en las ramas de los árboles (DE PAZ Y BURGAZ, 2009), y su distribución en un determinado territorio está condicionada por las características del sustrato (textura, composición química y pH), la luz, el agua, la temperatura o el viento entre otros factores (BARRENO Y RICO, 1984, CARBALLAL *et al.*, 2006). Por último, este tipo de comunidades líquénicas dan cobijo y alimento a un amplio conjunto de seres vivos teniendo un papel muy importante en la producción primaria (CARBALLAL *et al.*, 2006).

La descomposición de la madera es el resultado de la progresiva digestión de la misma por hongos o insectos y cuya velocidad depende de una serie de factores que pueden dividirse en características de la madera (especies, dimensiones) y factores ambientales del lugar (temperatura, humedad, radiación, pendiente y contacto con el suelo) (MERGANIČOVÁ *et al.*, 2012, HARMON *et al.*, 1986). La caracterización de los estados de descomposición suele basarse en las características morfológicas (forma del tronco, textura de la madera, adherencia de la corteza, presencia o ausencia de ramas), la dureza de la madera y la posición con respecto al suelo. Por lo general, la primera clase de descomposición representa la madera recientemente muerta, con corteza intacta, ramas presentes, forma redonda, superficie lisa, textura intacta y la posición elevada sobre puntos de apoyo. A medida que avanza el proceso de descomposición, partes de ramas y corteza comienzan a romperse y desaparecer, la madera se comienza a ablandar, y la forma redonda se convierte en elíptica. La última clase de descomposición representa la necromasa leñosa más descompuesta, sin corteza, ramas, muy blanda, fuertemente fragmentada y en contacto con el suelo en toda su longitud (MERGANIČOVÁ *et al.*, 2012).

En el año 2017 se instaló el dispositivo experimental en una masa de repoblación de *Pinus pinaster* spp. *mesogeensis*. Para conocer los efectos de la silvicultura como herramienta para la adaptación, mitigación y mejora de la resiliencia frente al cambio global, sobre la masa se realizaron distintas actuaciones selvícolas, entre ellos claras de distinto tipo y peso. Durante la ejecución de las claras se dejaron



aproximadamente 24 m³/ha de necromasa leñosa gruesa en forma de árbol entero tumbado con el objetivo de evaluar el papel de la necromasa leñosa en la diversificación de pinares, y de analizar el propio proceso de descomposición de dicha necromasa.

2. Objetivos

Ante la necesidad de desarrollo de herramientas de gestión forestal para la adaptación, mitigación y mejora de la resiliencia de estos sistemas forestales, nacen los Proyectos FORADMIT y FORTRESS, en los cuales se engloba este estudio. La hipótesis principal de ambos proyectos se centra en el efecto significativo de la silvicultura en la estructura forestal, la composición florística, el ciclo del carbono y la adaptación al cambio global y su resiliencia (OLIET *et al.* 2022).

El objetivo de este estudio, enmarcado en los citados proyectos, es analizar la dinámica de la necromasa leñosa en masas forestales artificiales como conocimiento base para evaluar su papel en la diversificación. En concreto, se persiguen los siguientes objetivos particulares:

1. Caracterizar la dinámica de descomposición de la necromasa leñosa en repoblaciones de pino resinero durante los primeros años del proceso.
2. Analizar el efecto de los tratamientos selvícolas (claras de distinto tipo y peso) y otras variables sobre el proceso de descomposición de la necromasa leñosa.

3. Metodología

El dispositivo experimental se encuentra en el M.U.P. nº 261 “Jócar”, del T.M. de Arbancón (Guadalajara) en una masa de *Pinus pinaster* spp. *mesogeensis* cuyo origen se remonta al Plan General de Repoblación Forestal de España (PGRFE), en concreto, a la segunda etapa que tuvo lugar entre 1969 y 1970. En el año 2018 se llevó a cabo una actuación en la que se realizaron claras de distinto tipo y peso para estudiar la respuesta a cada una de estas intervenciones (OLIET *et al.*, 2022).

El dispositivo experimental consta de tres bloques (Figura 1). Cada bloque se encuentra dividido en cuatro parcelas de 70 x 70 metros sobre las que se han realizado distintos tratamientos. En cada una de estas parcelas se encuentra inscrita una parcela real de 50 x 50 metros para así evitar el efecto borde entre los diferentes tratamientos. En dos de las parcelas de cada bloque se han llevado a cabo claras por lo bajo del 20 % (Cb20) y del 35 % de área basimétrica (Cb35). En una tercera parcela se ha realizado una clara alta con selección de árboles de porvenir con peso del 35 % de G (Cs35). Por último, en la cuarta parcela no se ha realizado ningún tipo de actuación, tratándose por lo tanto de una parcela de tipo control. En cada parcela, tras la realización de la clara se dejaron algunos de los árboles apeados en el suelo sin extraer (aproximadamente 24 m³/ha) (CALVILLO, 2019), repartidos en 53, 55 y 43 árboles en Cb35, Cb20 y Cs35 respectivamente, con el objeto de evaluar los efectos de la necromasa leñosa gruesa en la diversificación de pinares (OLIET *et al.*, 2022).

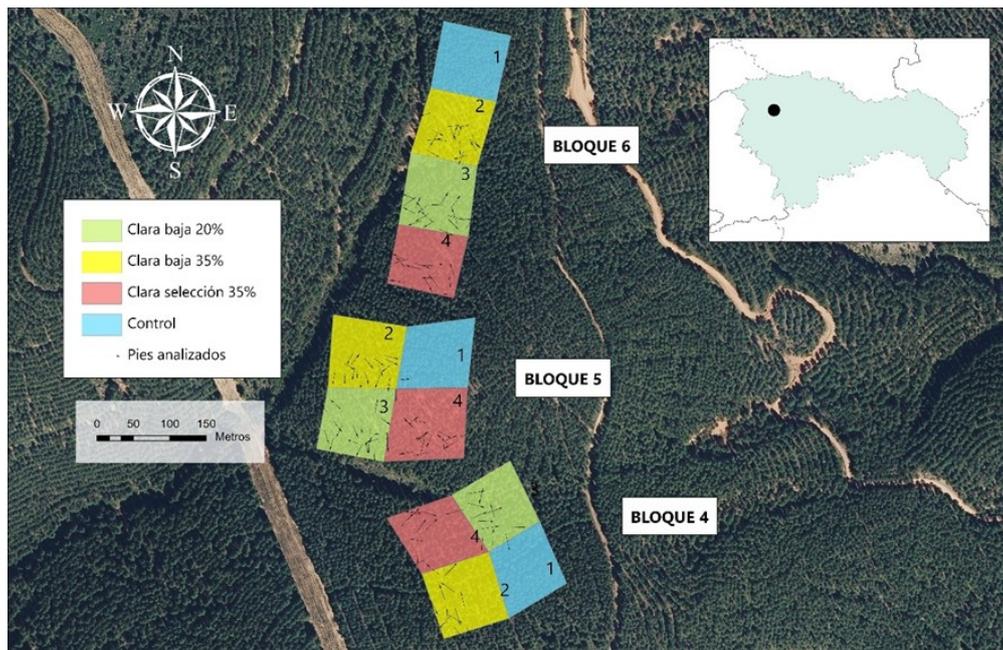


Figura 1. Croquis del dispositivo experimental del proyecto FORADMIT y FORTRESS. Se pueden observar los bloques, las parcelas, cada uno de los tratamientos realizados, los pies analizados, así como su distribución.

En GARCÍA PÉREZ (2022) se monitorizaron las condiciones ambientales abióticas de las parcelas, concluyendo que la disminución de la espesura del dosel incrementó la percolación de precipitación del dosel, la humedad del suelo y la entrada de luz del sotobosque en las parcelas donde se aplicaron los tratamientos con respecto las parcelas control. En la siguiente tabla (Tabla 1) se resumen las diferencias encontradas entre los tipos de tratamientos:

Tabla 1. Resultados de las condiciones abióticas medidas obtenidos en los diferentes tratamientos de clara realizados. Elaborado a partir de los datos de GARCÍA PÉREZ (2022).

Lluvia percolada: Incremento (%) con respecto a las medidas tomadas en terreno abierto; GSF (Global Site Factor): Incremento con respecto a las parcelas control; Humedad volumétrica del suelo (%): Incremento con respecto a los valores obtenidos en las parcelas control. Abreviaturas: GSF: Global Site Factor; Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Mediciones

En las parcelas intervenidas se dejaron pies enteros tumbados en el suelo etiquetados con una chapa identificativa. El inventario se realizó en noviembre de 2020, dos años después de la ejecución de los tratamientos de claras y un año después del primer inventario de seguimiento de la necromasa leñosa realizado en CALVILLO (2019). Cada pie se ha dividido visualmente en trozas de 2 metros de longitud hasta un diámetro de 7,5 centímetros (Figura 2). En total se han medido

149 árboles, que suponen el total de los árboles apeados.

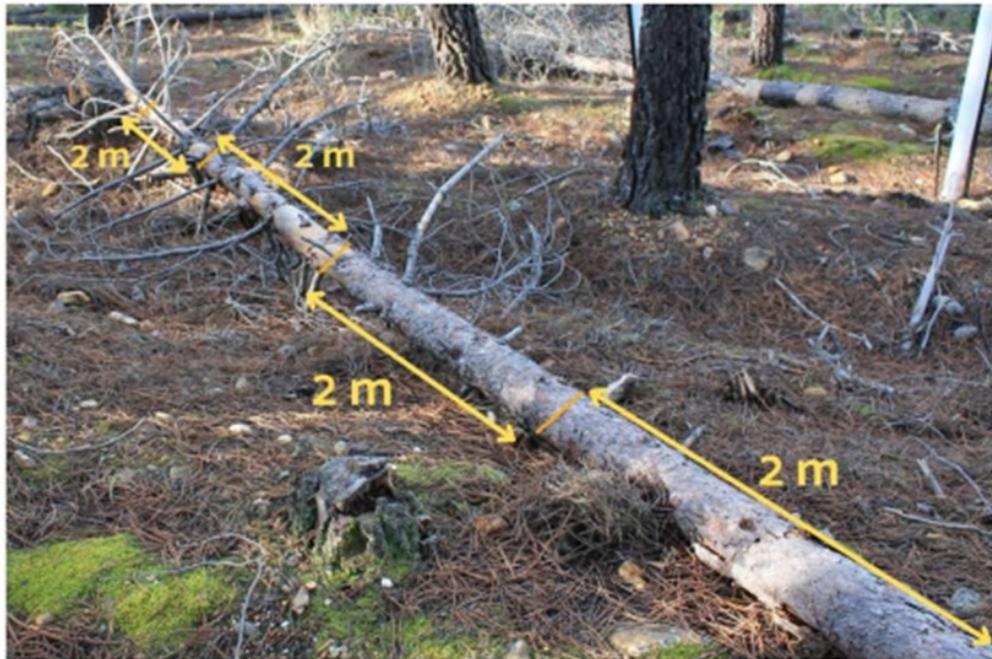


Figura 2. Ejemplo de división visual de pie analizado.

Se han tomado datos de las siguientes variables para el pie entero:

1. Longitud de fuste: Desde la base del fuste hasta el ápice (metros).
2. Posición del pie tumbado: Coordenadas UTM.
3. Inclinación: Posición respecto a la curva de nivel de la zona en que se encuentra (1-Curva de nivel, 2-Línea de máxima pendiente, 3-Ninguna).
4. Raso global del pie: Se evalúa la posición del árbol en relación con la cubierta superior: raso, bajo la copa de otro árbol o parte en raso y parte bajo copa.
5. Clase de descomposición global: Según la clasificación COMAS Y VAYREDA (2016) (Tabla 2)

Tabla 2. Clases de descomposición de la necromasa leñosa gruesa (Fuente: COMAS Y VAYREDA, 2016).

Se han tomado datos de las siguientes variables para cada troza:

6. Corteza desprendida (%): Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; >75), calculados visualmente respecto a la superficie de la troza. Se ha realizado una comparación con los resultados obtenidos en CALVILO (2019).
7. Corteza desprendida en ramas (%): Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-

- 25; 25-75; >75), calculados visualmente respecto a las ramas de la troza.
8. Rotura de las ramas: Presencia o no de ramas rotas en la copa.
 9. Contacto con el suelo (%): Porcentaje de la superficie de la troza que está en contacto con el suelo. Se ha realizado una comparación con los resultados obtenidos en CALVILO (2019).
 10. Clase de descomposición por troza: Clasificación de elaboración propia a partir de lo observado en campo (Tabla 3) (Figura 3).

Tabla 3. Definición de códigos para las categorías de Clase de descomposición por troza, elaboración propia.

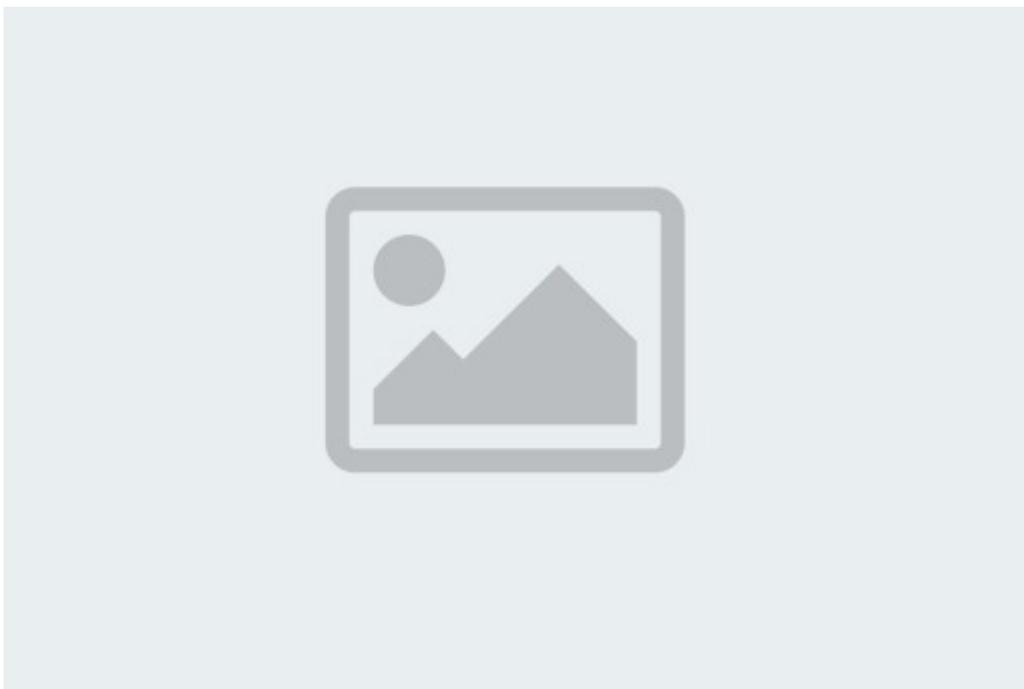


Figura 3. Imagen superior izquierda: Clase de descomposición 1 (1- Corteza intacta, no se desprende fácilmente. Madera dura). Imagen superior derecha: Clase de descomposición 2 (2- Corteza dura pero más blanda que la clase 1, se desprende con mayor facilidad). Imagen inferior izquierda: Clase de descomposición 3 (Corteza fácil de quitar, blanda. Madera dura). Imagen inferior derecha: Clase de descomposición 4 (Corteza desprendida o casi desprendida, blanda. Madera blanda.)

11. Presencia líquen de embudo (*Cladonia pyxidata*) (Figura 4): Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; 75-100). El porcentaje se ha calculado visualmente con respecto a la superficie de la troza.
12. Presencia líquen de los renos (*Cladonia rangiferina*) (Figura 4): Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; 75-100). El porcentaje se ha calculado visualmente con respecto a la superficie de la troza.
13. Presencia perforador tipo subcortical (Figura 4): Se distinguen cinco

intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; 75-100). El porcentaje se ha calculado visualmente, estimando no sólo la superficie afectada por la perforación del insecto, sino también a la superficie que rodea la perforación, ya que se entiende que es imposible que toda la superficie de la corteza esté ocupada por perforaciones. Este tipo de perforaciones se encuentran entre la corteza del árbol y la madera, ya que los insectos que las generan se alimentan del floema (ROMERO *et al.* 2007). Se caracterizan por su pequeño tamaño (aproximadamente 3 mm de diámetro), forma redondeada o elíptica, y encontrarse en grupos.

14. Presencia perforador tipo xilófago (Figura 4): Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; 75-100). El porcentaje se ha calculado visualmente, estimando no sólo la superficie afectada por la perforación del insecto, sino también a la superficie que rodea la perforación, ya que se entiende que es imposible que toda la superficie de la corteza esté ocupada por perforaciones. Este tipo de perforaciones llegan hasta la madera, ya que los perforadores se alimentan del xilema de los árboles. Tienen forma redondeada, son de mayor profundidad que las perforaciones subcorticales y de mayor tamaño (aproximadamente 1 cm de diámetro).
15. Presencia hongo: Se distinguen cinco intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-75; 75-100). El porcentaje se ha calculado visualmente con respecto a la superficie de la troza. La especie de hongo estudiado pertenece al género *Exidia* Fr., que está formado por hongos que forman fructificaciones gelatinosas y de carácter saprófito, siendo común encontrarlas en necromasa leñosa (CONSERJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2008).

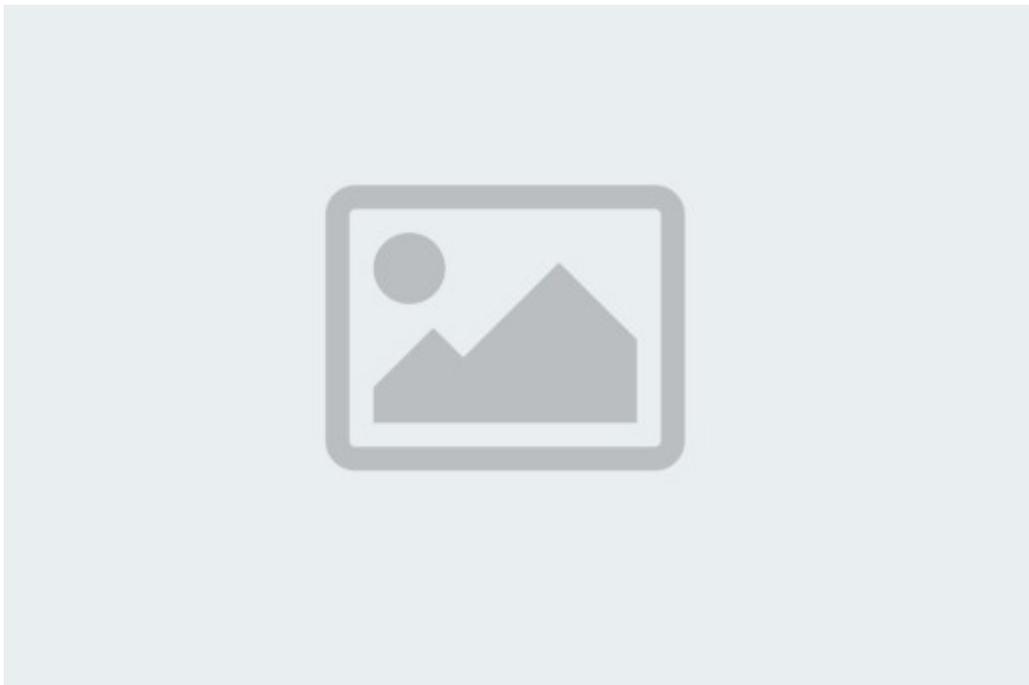


Figura 4. Imagen superior izquierda: Liquen *Cladonia pyxidata*; imagen superior derecha: liquen *Cladonia rangiferina*; imagen inferior izquierda: perforador tipo subcortical; imagen inferior derecha: perforador tipo xilófago.



16. Diámetro medio: Calculado en el inventario anterior en CALVILLO (2019). Estadística

Para determinar si hay relación entre las variables analizadas se ha realizado una prueba de independencia de Chi-cuadrado de Pearson con un nivel de significación del 0,05 para las variables cualitativas y una prueba de Kruskal-Wallis en el caso de las variables cuantitativas. Una de las limitaciones que podemos encontrar con la prueba de Chi-cuadrado de Pearson es que en el caso de haber frecuencias esperadas menores que 2 o si más del 20 % de las frecuencias esperadas son menores que 5 no se puede considerar correcta la significación calculada por este estadístico. Para evitar esta situación se ha optado por agrupar las categorías 25-75 y 75-100 de las variables en una nueva categoría 25-100.

4. Resultados

En general, dos años después de la ejecución de las claras la mayoría de las trozas presentan valores bajos para todas las variables cuantificadoras de la descomposición de la necromasa leñosa. Además, todos los árboles pertenecen a la Clase 1 de Descomposición según la clasificación COMAS Y VAYREDA, 2016. En la Tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de independencia Chi Cuadrado:

Tabla 4. Resumen de los resultados de la prueba de independencia Chi-cuadrado entre la variable Tratamientos de clara (Clara por lo bajo del 20%, Clara por lo bajo del 35% y Clara por lo alto del 35% de área basimétrica) y las variables analizadas en este estudio.

Cladonia pyxidata

Cladonia rangiferina

Tabla 5. Resumen de los resultados de la prueba Kruskal-Wallis entre la variable Porcentaje de Descortezado y Diámetro Medio.

Diámetro medio: Diámetro medio de las trozas calculado a partir de los datos de Diámetro de Calvillo (2019). La hipótesis nula (H_0) de la prueba de Kruskal-Wallis establece que las medianas de todos los grupos son iguales. Si p-valor es menor que el nivel de significación (0,05) se rechaza H_0 , indicando que al menos una de las medianas es diferente.

Descortezado de la troza

Por un lado, a los dos años del apeo, la mayoría de las trozas (71,3%) no presentan pérdida de corteza, mientras que las trozas restantes presentan porcentajes de descortezado entre el 0-5 (15,9%), 5-25 (7,1%), 25-75(4,1%) y 75-100 (<1%). Además, se ha observado que las trozas de menor diámetro presentan valores de descortezado más elevados. Por otro lado, el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe relación entre las variables Descortezado de la troza y Diámetro Medio (Tabla 5). Durante el periodo 2019-2020 ha habido un aumento del descortezado de las trozas, observándose un aumento en las categorías 0-5, 5-25, 25-75 y 75-100 mientras que el número de trozas que presentan un 0% de descortezado ha disminuido.

Existe influencia de los tratamientos sobre el descortezado (Tabla 4). El tratamiento Cb20 presenta valores de descortezado más bajos que el resto de los tratamientos, siendo además el tratamiento con mayor porcentaje de trozas en la clase 0 (80,1%) (Figura 5). Por otro lado, los valores de la clase 0 para los tratamientos de Cb35 y Cs35 son muy parecidos entre sí (69,1 y 65,1% respectivamente). Sin embargo, en el resto de las clases de descortezado podemos observar valores más altos para el tratamiento Cs35.

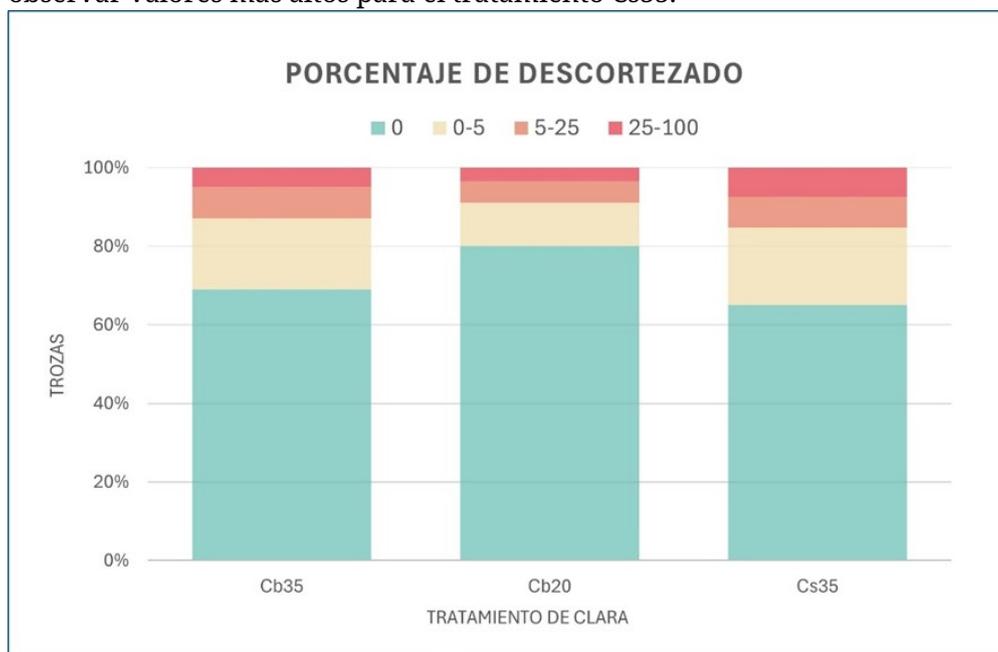


Figura 5. Gráfico que representa la distribución acumulada de las trozas (%) por categoría de Porcentaje de descortezado (0,0-5,5-25,25-100) por cada tipo de tratamiento de clara. Abreviaturas: Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Contacto con el suelo

Más de la mitad de las trozas se encuentran en contacto con el suelo (51,4%),

distribuidas principalmente en 5-25 (15,7%), 25-50 (14,1%) y 95-100(12,7%). Aunque el número de trozas sin contacto con el suelo se ha mantenido durante el periodo 2019-2020, ha habido un claro aumento (hasta cuatro veces) de porcentaje de trozas con un 95-100% de contacto con el suelo (Figura 6). Por último, la prueba de independencia indica que no hay relación entre el contacto con el suelo y los tratamientos (Tabla 4).

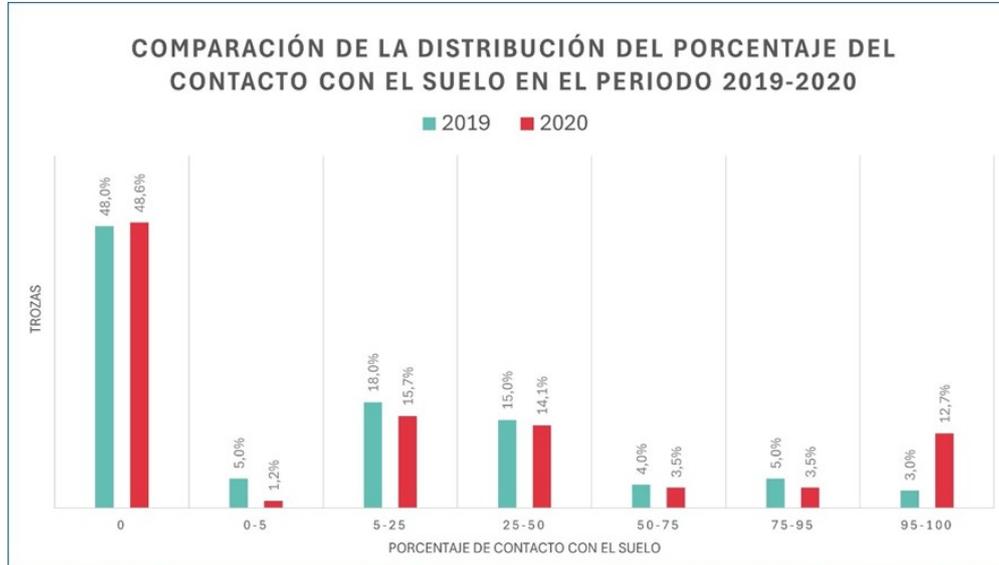


Figura 6. Gráfico que representa el porcentaje de trozas en función del porcentaje de contacto con el suelo en el año 2019 y 2020.

Clase de descomposición por troza

El 49,3 % de las trozas pertenecen a la Clase 2, seguidas de un 29,2 % en la Clase 3. Sin embargo, aún hay un porcentaje de trozas importante en la Clase 1 (17,3 %) que corresponde a aquellas trozas que no muestran signos de descomposición.

Existe una influencia significativa de las claras efectuadas sobre las clases de descomposición (Tabla 4). El tratamiento Cb35 presenta mayor porcentaje de presencia de las Clases 3 y 4 respecto a los tratamientos Cb20 y Cs35 (Figura 7). Por el contrario, el tratamiento Cb20 presenta el porcentaje más alto de presencia en la Clase 1, y valores bajos para las Clases 3 y 4. Respecto a la Clase 3, el valor más alto se refleja en el tratamiento Cb35 y el más bajo en Cs35.

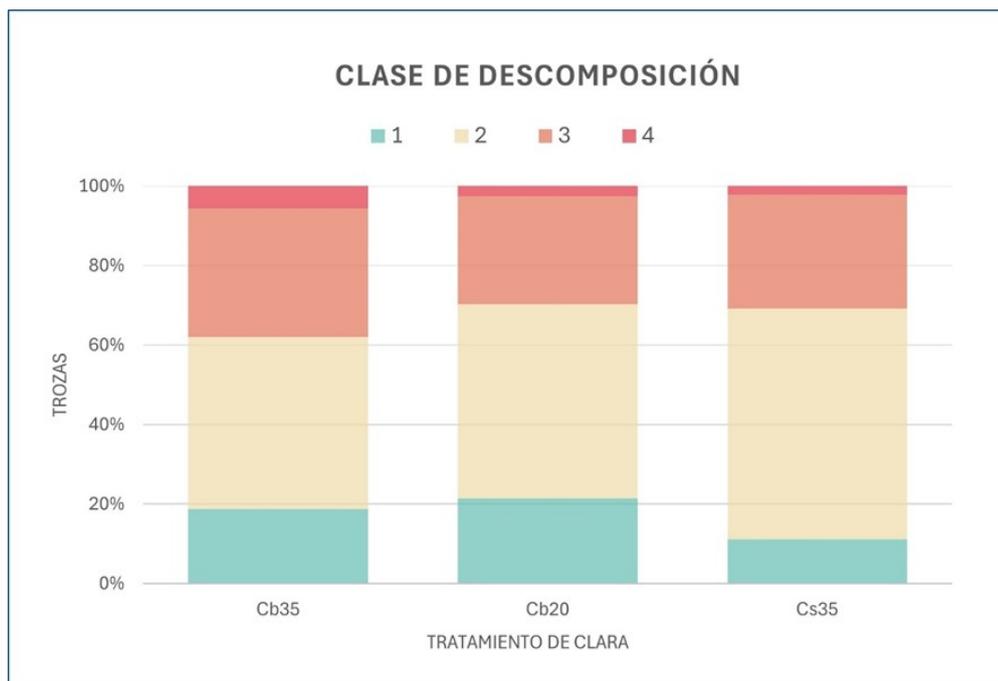


Figura 7. Gráfico que representa la distribución acumulada de las trozas (%) por categoría de Clase de descomposición (1,2,3 y 4) por cada tipo de tratamiento de clara. Abreviaturas: Clase de descomposición por troza (1- Corteza intacta, no se desprende fácilmente. Madera dura; 2- Corteza dura pero más blanda que la clase 1, se desprende con mayor facilidad; 3- Corteza fácil de quitar, blanda. Madera dura; 4- Corteza desprendida o casi desprendida, blanda. Madera blanda); Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Descortezado y rotura de ramas

En total, un 45,3% de las trozas presentan ramas con un descortezado de 0-5 seguido de un 34,6% que no presentan descortezado. El porcentaje de trozas para las clases 5-25, 25-75 y 75-100 es bajo, siendo 10,1, 8,6 y 1,0 % respectivamente. Por último, el 86,2 % de trozas con ramas presentan rotura en estas.

La prueba de independencia indica que no existe influencia de las claras sobre el descortezado de las ramas. Sin embargo, si existe influencia en la rotura de las ramas (Tabla 4). En concreto, se ha observado mayor rotura de ramas en el tratamiento Cb20, seguido de Cb35 y, por último, de Cs35.

Presencia de *Cladonia pyxidata*

En general un alto porcentaje (76,2%) de las trozas no presentan signos de presencia de *Cladonia pyxidata*, mientras que el resto de las clases presentan valores relativamente bajos 6,4, 6,3, 9,0 y 1,4 % para las categorías 0-5, 5-25, 25-75 y 75-100 respectivamente. Por otro lado, la mayor parte de las trozas con presencia son cercanas a la base de los árboles, que corresponden a las trozas con mayor diámetro.

Existe influencia de los tratamientos sobre la distribución de *Cladonia pyxidata* (Tabla 4). En general, en el tratamiento Cb35 parece haber mayor presencia de *Cladonia pyxidata* que en el resto de los tratamientos mientras que en Cs35 encontramos los valores más bajos (Figura 8).

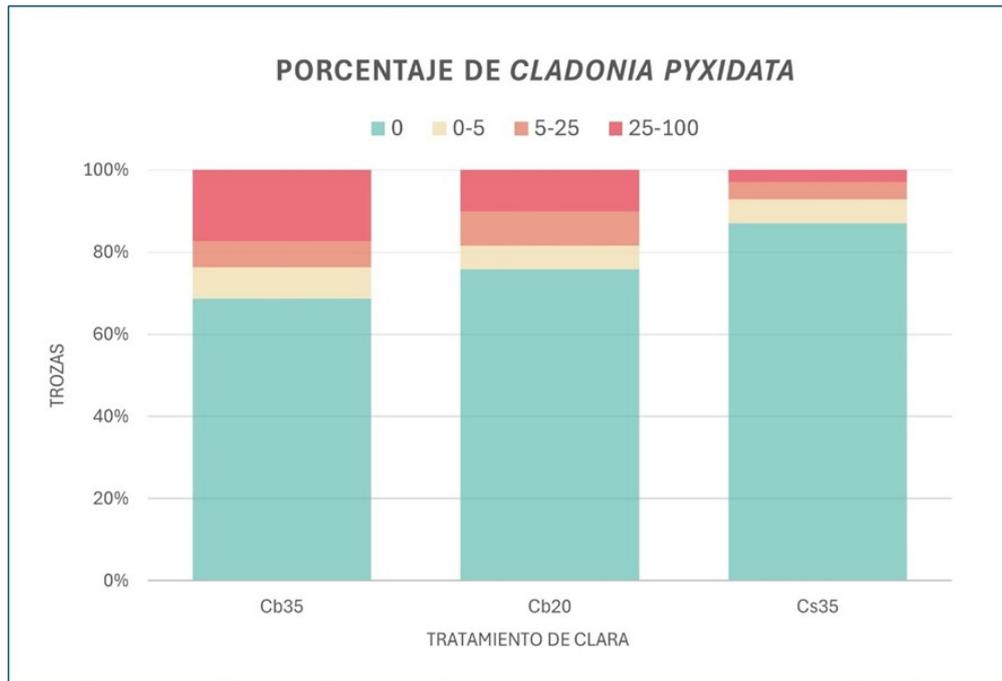


Figura 8. Gráfico que representa la distribución acumulada de las trozas (%) por categoría de Porcentaje de *Cladonia pyxidata* (0,0-5,5-25,25-100) por cada tipo de tratamiento de clara. Abreviaturas: Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Presencia de *Cladonia rangiferina*

El 75,6 % de las trozas no muestran signos de presencia mientras que el resto de las categorías presentan valores bajos de presencia (< 6 %), excepto la categoría 0-5 con un 14,8 %.

Los resultados indican que existe influencia de los tratamientos sobre distribución de *Cladonia rangiferina* (Tabla 4). El tratamiento Cb35 presenta mayor número de repeticiones, concentrándose los valores más altos para la clase 0-5 (Figura 9). Además, este tratamiento presenta valores más altos para las clases 25-100 que los otros dos tratamientos. Por otro lado, Cb20 presenta valores intermedios entre Cb35 y Cs35. Por último, el tratamiento con menor presencia es el Cs35.

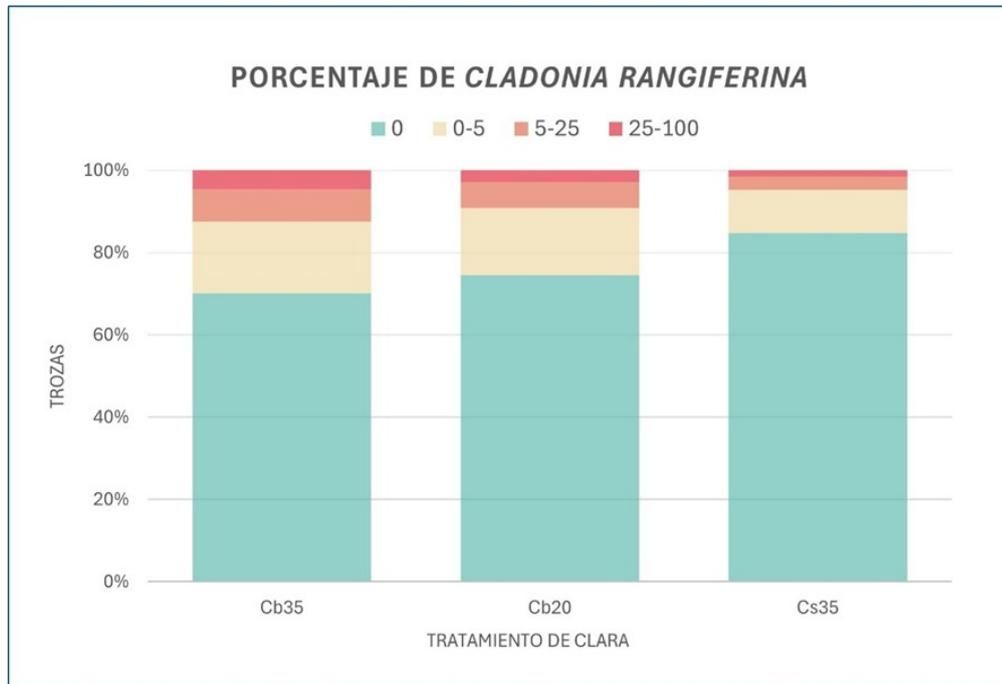


Figura 9. Gráfico que representa la distribución acumulada de las trozas (%) por categoría de Porcentaje de *Cladonia rangiferina* (0,0-5,5-25,25-100) por cada tipo de tratamiento de clara. Abreviaturas: Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Perforador tipo subcortical

El general, la presencia del perforador tipo subcortical está distribuida en todas las categorías (20-30 % de presencia) excepto en la categoría 75-100, donde tiene baja presencia (0,4 %).

Por otro lado, existe un efecto de los tratamientos selvícolas sobre la presencia de este perforador (Tabla 4). La presencia es mayor en los tratamientos Cb20 y Cs35, encontrando valores bajos para la clase 0, y altos para la clase 25-100 (Figura 10). Sin embargo, aunque no se haya tenido en cuenta la clase 75-100 en la estadística inferencial, es interesante destacar que el único tratamiento donde se han encontrado trozas con presencia de perforador tipo subcortical de la clase 75-100 es en Cb20. Por último, el tratamiento Cb35 presenta porcentajes altos en las clases de presencia más bajas (0, 0-5) y bajos (en 25-100) en las clases de presencia más alta.

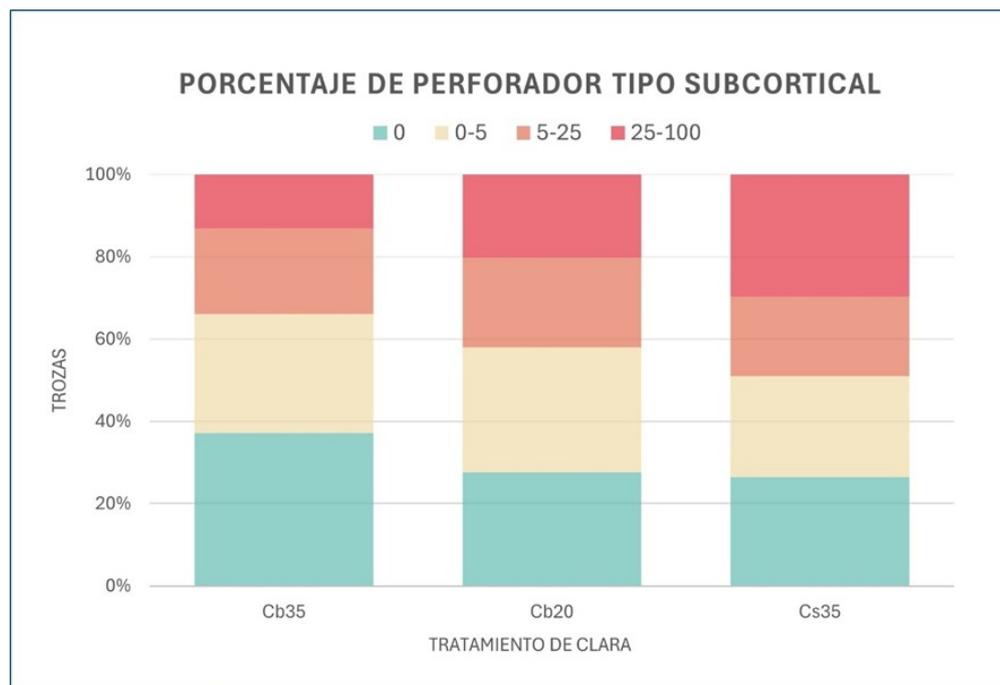


Figura 10. Gráfico que representa la distribución acumulada de las trozas (%) por categoría de Porcentaje de Perforador tipo subcortical (0,0-5,5-25,25-100) por cada tipo de tratamiento de clara. Abreviaturas: Cb35: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 35%; Cb20: Clara por lo bajo de peso moderado con reducción del AB del 20%; Cs35: clara de selección con árboles de porvenir de peso fuerte con reducción del AB del 35%.

Perforador tipo xilófago

Los valores de presencia del perforador tipo xilófago son bajos, oscilando la mayor parte de las trozas entre la clase 0 y la clase 0-5 (43,1 y 48,6 % respectivamente). En el resto de las clases el número de trozas con porcentajes alto de presencia (5-25, 25-75 y 75-100) son muy bajos (6,9, 0,7 y 0,1 %). Por último, la prueba de independencia indica que los tratamientos no influyen en la distribución de dicho perforador (Tabla 4), aunque este resultado no se ha considerado válido debido al bajo número de frecuencias esperadas.

Hongo *Exidia sp.*

La presencia del hongo en general es muy baja, concentrándose la mayor parte de los datos en la clase 0 con un 86,7 %. El resto de las categorías (0-5, 5-25, 25-75 y 75-100) presentan un porcentaje de presencia muy bajo y decreciente (7,8, 3,4, 1,2 y 0,1 % respectivamente). Por otro lado, más del 90 % de presencia del hongo ocurre en las ramas de los fustes analizados. Por último, la prueba de independencia indica que los tratamientos no influyen en la presencia de dicho hongo (Tabla 4), aunque de nuevo, el resultado no se ha considerado válido debido al bajo número de frecuencias esperadas.

5. Discusión

Dos años después de la ejecución de las claras se comienzan a ver los primeros signos de descomposición de la necromasa leñosa. Por un lado, la mayoría de las trozas siguen sin presentar descortezado o presentan un descortezado que varía entre el 0 y el 5 %, ya que el proceso de descomposición es lento. Por otro lado, las trozas de diámetros menores presentan porcentajes más altos de descortezado, ya que la velocidad de descomposición es mayor en dichas trozas debido a la mayor



fragmentación de los componentes de la madera a través de la percolación del agua (proceso de lixiviación) y a la generación de fisuras por procesos físicos o biológicos que facilitan la entrada de agentes descomponedores, tal y como se señala en los estudios HARMON et al. (1986) y ODOR et al. (2006). Además, la mayoría de las trozas (49,3 %) presentan características típicas de la Clase 2 de descomposición, como es la corteza intacta pero blanda y un desprendimiento fácil. No obstante, aún hay trozas que no presentan signos de descomposición (17,3 %) categorizadas en la Clase 1. Estos resultados son interesantes ya que podemos conocer el avance de la descomposición en los estadios más tempranos al margen del porcentaje de descortezado de la madera.

Respecto al descortezado de las ramas, aunque no haya diferencias significativas entre los tratamientos selvícolas, se puede apreciar que los valores de descortezado de ramas se concentran en la clase 0 y 0-5 debido al corto tiempo transcurrido desde la ejecución de las claras. Por otro lado, la rotura de las ramas podría deberse principalmente a los cambios derivados del proceso de descomposición y al paso de fauna silvestre. Es posible que la diferencia de la rotura de las ramas en los distintos tratamientos se deba, principalmente, a la naturaleza de estos mismos. En los tratamientos Cb20 y Cb35 se han eliminado pies dominados, torcidos y moribundos, en general de menores dimensiones que los eliminados en el tratamiento Cs35. Al tratarse de árboles de menores dimensiones, poseen copas de menor tamaño y diámetros de rama inferiores, siendo más susceptibles a la ruptura de estas.

Los resultados del análisis estadístico indican que los tipos de tratamientos selvícolas influyen sobre el descortezado. En el tratamiento Cb20 los árboles han perdido poca cantidad de corteza desde el apeo hasta la fecha del inventario, mientras que los árboles del tratamiento Cs35 tiene porcentajes de descortezados más altos. Estas diferencias se deben a los cambios ocasionados en las condiciones ambientales por los tratamientos. En GARCÍA PÉREZ (2022) se demuestra que la disminución de la espesura del dosel incrementó la percolación de precipitación del dosel, la humedad del suelo y la entrada de luz del sotobosque en las parcelas donde se aplicaron los tratamientos con respecto las parcelas control. En el tratamiento Cb20 se han eliminado los pies dominados, enfermos y de menor tamaño con un peso del 20 % del área basimétrica, dejando árboles de mayor tamaño y vigor que en los otros tratamientos, por lo que la radiación solar que entra en el sotobosque es menor, y el peso del tratamiento ha sido menor que en el caso del tratamiento Cb35, cuyos resultados son un intermedio entre Cb20 y Cs35. Por otro lado, en el tratamiento Cs35 se eliminaron pies que hacían competencia a los árboles seleccionados como pies del porvenir, abriendo mayor hueco en la masa por donde entra la radiación solar.

Por otro lado, el tratamiento Cb20 presenta mayor porcentaje de trozas de las clases de descomposición menos avanzadas (Clase 1 y 2). Estos resultados son coherentes teniendo en cuenta que es el tratamiento con mayor número de trozas sin descortezado. La menor percolación de precipitación del dosel, mayor humedad del suelo en el horizonte superficial y menor entrada de luz al sotobosque en el tratamiento Cb20 parecen retardar la descomposición más que bajo los tratamientos Cb35 y Cs35. Por otro lado, las condiciones ambientales de los tratamientos Cb35 y Cs35 son muy parecidos salvo en la percolación de precipitación, que es mayor en el tratamiento Cs35. Sin embargo, pese a ser el tratamiento Cs35 el tratamiento con mayor número de trozas de clases de descomposición más avanzadas, es en el tratamiento Cb35 donde encontramos



mayor porcentaje de presencia de trozas en los estados 3 y 4, lo que podría indicar que las ligeras diferencias en las dimensiones de los fustes apeados han influido en la descomposición, ya que los pies apeados en el tratamiento Cb35 tenían ligeramente menor dimensión (diámetro normal 28,6 cm) que los del tratamiento Cs35 (31,7 cm).

Por otro lado, el aumento del porcentaje de contacto con el suelo se debe principalmente a la acumulación de restos de materia orgánica en los pies apeados tumbados y a la rotura de las ramas por pudrición.

Cladonia pyxidata y *Cladonia rangiferina* son dos macrolíquenes que pueden crecer y desarrollarse en la corteza de árboles o restos vegetales (BARRENO Y RICO., 1984). Teniendo en cuenta este factor, es posible que gran parte de los líquenes que se han encontrado en los pies analizados ya se encontrasen en los árboles antes del apeo. Sin embargo, es muy interesante el hecho de que tras la ejecución de las claras estos líquenes sigan creciendo sobre la corteza de los árboles. En KATELINEN et al. (2022) se concluye que la riqueza de macrolíquenes no se ve afectada significativamente por el manejo forestal al no encontrar diferencias entre los bosques manejados y no manejados. Esto indica que, aunque estos dos macrolíquenes no dependan exclusivamente de la necromasa leñosa, los restos vegetales como los fustes pueden ser importantes para estas comunidades de líquenes.

La tendencia de aparición de ambos líquenes es similar, siendo en el tratamiento Cb35 donde su presencia destaca. La distribución de los líquenes en un determinado territorio está condicionada por factores como el sustrato, la textura, composición química y pH del sustrato, la luz, el agua, la temperatura, el viento y abundancia de restos nitrogenados (BARRENO Y RICO, 1984, CARBALLAL et al., 2006), por lo que las diferentes condiciones ambientales entre los tratamientos pueden explicar la distribución de estas especies. Por un lado, el peso de este tratamiento Cb35 permite pasar mayor luz que en el caso del tratamiento Cb20, pero no tanta como en el tratamiento Cs35, lo que puede implicar un ambiente con mayor humedad. Por otro lado, ambos líquenes habitan sobre la corteza de los árboles y restos vegetales sin descomponer, lo que explica menor presencia en el tratamiento Cs35 ya que los árboles de este tratamiento presentan los mayores porcentajes de descortezado.

En general, la presencia del perforador tipo subcortical es elevada, ya que los resultados reflejan que en el 69,7 % de las trozas hay signos de presencia. Por otro lado, las diferencias entre los distintos tratamientos son sutiles y se deben al estado de descortezado de las trozas, ya que las especies del género *Ipsy Tomicus* realizan galerías en la corteza de los pinos o debajo de esta (ROMERO et al., 2007). El tratamiento que presenta en general valores de presencia más bajos es el tratamiento Cb35, mientras que la tendencia de distribución entre los tratamientos Cb20 y Cs35 es similar, aunque el tratamiento Cs35 presenta un porcentaje claramente superior en la clase 25-75. Sin embargo, el único tratamiento que presenta valores en la clase 75-100 es Cb20. La tasa de descomposición avanzada en el tratamiento Cs35 explica la mayor presencia de perforador tipo subcortical en las trozas, mientras que la ausencia de valores en la clase 75-100 puede deberse a que el mayor descortezado dificulta la identificación de las perforaciones en la corteza o que al no haber corteza los perforadores no colonizan dichas trozas.

La presencia de perforador tipo xilófago en general presenta valores muy bajos concentrándose en las categorías 0 y 0-5. Se concluye que en general aún no ha



pasado el suficiente tiempo para que la necromasa leñosa del dispositivo sea un hábitat atractivo para este tipo de perforador.

Por último, la presencia del hongo *Exidia sp.* es muy baja en todos los tratamientos y su presencia se concentra mayoritariamente en las ramas. La mayor velocidad de descomposición de las ramas, necromasa leñosa fina (< 7,5 cm), que el fuste de los árboles, necromasa leñosa gruesa (> 7,5 cm), podría explicar la preferencia de distribución de los hongos *Exidia sp.* en las parcelas del dispositivo experimental.

6. Conclusiones

Los resultados indican que dos años después de la ejecución de los tratamientos los árboles presentan signos leves de descomposición, así como la presencia de diferentes organismos de interés ecológico, lo que indica que la descomposición ha avanzado durante ese periodo de tiempo. Estos resultados son interesantes ya que permiten caracterizar la madera muerta en sus primeras etapas de descomposición.

Se concluye cómo las condiciones ambientales generadas por los diferentes tratamientos selvícolas (radiación solar, percolación de la precipitación en el sotobosque y humedad del suelo) provocan diferencias significativas en la tasa de descomposición, con los tratamientos de mayor intensidad (peso del 35 % del área basimétrica), presentando una tasa de descomposición más alta.

Por otra parte, aunque es probable que los líquenes *Cladonia pyxidatay Cladonia rangiferina*, ya se encontrasen en los pies antes de su apeo, los resultados señalan que los restos vegetales como tocones o fustes son hábitat para estas comunidades durante las etapas iniciales de descomposición y, por lo tanto, han de ser tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones. De todos los tratamientos de claras, es el de Cb35 donde se han visto mayores valores de presencia de ambos líquenes. Se concluye que, las condiciones ambientales de este tratamiento respecto a los otros tratamientos y su estado de descomposición menos avanzado que el tratamiento Cs35, explican la presencia de estos líquenes.

Respecto a los perforadores estudiados, el estado de descomposición en los diferentes tratamientos marca la distribución de estos insectos. Por este motivo, la presencia del perforador tipo subcortical es mayor en el tratamiento Cs35, mientras que en el resto de los tratamientos la distribución es similar. Por otro lado, el perforador tipo xilófago requiere tasas de descomposición de la madera más altas, siendo más común en trozas sin corteza y con la madera más blanda. Es por ello por lo que, aunque su presencia en general sea muy baja, los valores más altos se concentran en el tratamiento Cs35, ya que es el tratamiento con una tasa de descomposición más avanzada.

Por otra parte, la tendencia de los hongos del género *Exidiaa* aparecer en las ramas de los árboles analizados se debe a la mayor descomposición que presentan al tratarse de necromasa leñosa fina.

Se determina que el tratamiento de clara tiene efectos sobre la dinámica de descomposición de los árboles caídos y que estos resultados aportan información preliminar pero potencialmente útil en la gestión forestal.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos FORADMIT (AGL2016-77863) y FORTRESS (PID2021-127241OB-I00) del Plan Nacional de I+D+i. Así mismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a los gestores de la Junta de



Comunidades de Castilla-La Mancha responsables del monte objeto de estudio, sin cuyo continuo apoyo no habría sido posible.

8. Bibliografía

BARRENO, E., & RICO, V. J. (1984). Sobre la biología de los líquenes. I. Anatomía, morfología y estructuras vegetativas. *Anales de Biología*, (1), 161–195. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/analesbio/article/view/70291>

CALVILLO, A. (2019). *Madera muerta: caracterización, cuantificación y análisis del inicio del proceso de descomposición sobre una repoblación de Pinus pinaster (Sierra Norte, Guadalajara)*. Universidad Politécnica de Madrid

CARBALLAL, R., PORCEL, M. C., GUTIÉRREZ, L., & ROWE, J. G. (2006). Introducción a los líquenes. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication>.

COMAS, L. Y VAYREDA, J.; (2015). Protocolo de muestreo de la madera muerta para la evaluación de la naturalidad en bosques de referencia CREAL y Grupo de Conservación de EUROPARC-España. [<http://www.redeuroparc.org/gestionforestal.jsp>]

CONSERJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (2008). Cuadernos del Arboreto Luis Ceballos nº3, 37. <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM003468.pdf>

DE PAZ, G. A., & BURGAS, A. R. (2009). *Líquenes epifíticos del Hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid)*. Editorial Complutense, 6-16.

DELGADO, L., Y PEDRAZA PÉREZ, R. A. (2002). La madera muerta de los ecosistemas forestales. *Foresta Veracruzana*, 4(2),59-66.

GARCÍA PÉREZ, J. L. (2022). *Patrones espaciales y procesos condicionantes en la diversificación específica de pinares mediterráneos de repoblación: factores ecológicos y selvícolas*(Doctoral dissertation, ETSI_Mon_fos).

HARMON, M. E., FRANKLIN, J. F., SWANSON, F. J., SOLLINS, P., GREGORY, S. V., LATTIN, J. D., ... & CUMMINS, K. W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in ecological research*, 15, 133-302

IGLESIAS, M. (2009). Los insectos saproxílicos en la Península Ibérica: Qué sabemos y qué nos gustaría hacer. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 44, 505-512.

KANTELINEN, A., PURHONEN, J., HALME, P., & MYLLYS, L. (2022). Growth form matters– Crustose lichens on dead wood are sensitive to forest management. *Forest Ecology and Management*, 524, 120529

LAGOMARSINO, A., DE MEO, I., AGNELLI, A. E., PALETTO, A., MAZZA, G., BIANCHETTO, E., & PASTORELLI, R. (2021). Decomposition of black pine (*Pinus nigra* JF Arnold) deadwood and its impact on forest soil components. *Science of The Total Environment*, 754, 142039.

LAIHO, R., & PRESCOTT, C. E. (2004). Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. *Canadian journal of forest research*, 34(4), 763-777.

LARRIEU, L., CABANETTES, A., DELARUE, A. 2012. Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech-fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research* 131: 773-786



MASER, C. (1984). *The seen and unseen world of the fallen tree*(Vol. 164). Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, US Department of Agriculture, Forest Service

MERGANIČOVÁ, K., MERGANIČ, J., SVOBODA, M., BAČE, R., & ŠEBEŇ, V. (2012). Deadwood in forest ecosystems. *Forest Ecosystems—More than Just Trees, InTech Book*, 81-108.

ÓDOR, P., HEILMANN-CLAUSEN, J., CHRISTENSEN, M., AUDE, E., VAN DORT, K. W., PILTAVER, A., ... & GREBENC, T. (2006). Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in seminatural beech forests in Europe. *Biological Conservation*, 131(1),

OLIET, J.; BRAVO, A.; RUBIO, A.; DE FRUTOS, S. & ROIG, S.; (2022). Descripción del dispositivo experimental del Proyecto FORADMIT: acciones selvícolas para la diversificación de Pinares artificiales.

ROMERO, S. L., OCHOA, P. R., BILBAO, J. C. I., & LAFUENTE, A. G. (2007). Los escolítidos de las coníferas del País Vasco. *Guía práctica para su identificación y control. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. España.*

SCHMID, A. V.; VOGEL, C. S.; LIEBMAN, E.; CURTIS, P. S.; & GOUGH, C. M.; (2016). Coarse woody debris and the carbon balance of a moderately disturbed forest. *Forest Ecology and Management*, 361, 38-45.