



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



LOGFORCAT: Desarrollo de un sistema innovador de desembosque en castaños

ALCOVERRO, G.¹, RADDI, A.¹, CODINA, M.¹ y PICCHI, G.²

¹ Consorcio Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC).

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR-IBE).

Resumen

LOGFORCAT es un proyecto piloto innovador que ha desarrollado un prototipo de apero constituido por un brazo telescópico, de un alcance máximo de 7,3 m de longitud, con grapa, que es acoplado a una excavadora giratoria. En este caso de estudio, junto la extensión del brazo de la propia excavadora, llega a un máximo de 15 m. Gracias a su mayor radio de acción permite la saca de árboles de forma ágil y segura, y al mismo tiempo puede realizar el acopio eficiente del material. El estudio comparativo del prototipo LOGFORCAT con un sistema de saca representativo en la zona, el tractor con cabrestante, se ha realizado en Cataluña, en la comarca de la Selva (Girona), en una plantación de castaño (*Castanea sativa*) realizando una corta a hecho. Se seleccionaron cuatro parcelas lo más homogéneas posible, donde dos son tratadas con el sistema LOGFORCAT y dos con el sistema habitual. El estudio realiza una comparación de productividades, costes y daños ambientales (daños al suelo y a la vegetación remanente y emisiones de CO₂). El sistema LOGFORCAT tuvo una productividad de 13,9 m³/h_{productiva}, más de dos veces superior al sistema tradicional con 7,5 m³/h_{productiva}, solo comparando la superficie de alcance máximo del sistema innovador (15 m), junto con un menor impacto al suelo y en los árboles remanentes, aunque duplicó el valor de emisiones (3,4 kg CO₂/m³) con respecto al sistema habitual (1,7 kg CO₂/m³). A pesar de la innovación del brazo telescópico para aumentar el alcance, éste no es suficiente para abarcar toda la superficie. Esta limitación lleva a pensar que en futuras versiones se pueda instalar un cabrestante al brazo de la excavadora, permitiéndole actuar en toda la superficie autónomamente.

Palabras clave

Excavadora giratoria, tractor con cabrestante, brazo telescópico, aprovechamientos.

1. Introducción

LOGFORCAT ¹ es un proyecto piloto innovador de los Grupos Operativos de la Asociación Europea para la Innovación (AEI) en materia de productividad y sostenibilidad agrícola, financiado a través del Programa de desarrollo rural de Cataluña 2014-2020, cuyos miembros son las empresas Estrats de Bosc, Forestals Riudecós y el CTFC como centro de investigación. Este proyecto ha desarrollado un sistema específico de desembosque basado en un brazo telescópico dotado de pistones hidráulicos y una grapa acoplada. Dicha extensión se instala en el brazo de una excavadora giratoria permitiendo incrementar su alcance hasta 7 m, llegando así a un radio de acción total de 15 m (Figura 1).

¹ Solicitud de Marca Nacional a España núm. M 4102604 (7) "LogForCat" (Denominativa) en clase 7 Int., a nombre de ESTRATS DE BOSC, S.L.

Solicitud de Modelo de Utilidad Nacional a España núm. 202130765 Título: "ACCESORIO DE DESEMBOLSQUE PARA EXCAVADORAS GIRATORIAS". Titular: ESTRATS DE BOSC, S.L. N/Ref.: 2021/4419.



Figura 1. LOGFORCAT en su máximo alcance.

El LOGFORCAT ha sido pensado como una oportunidad para mejorar la competitividad del aprovechamiento de los montes de castaño del Montseny y Guilleries (Girona), gracias a la implementación de un sistema de desembosque más eficiente.

En realidad, la escasa mecanización especializada de las operaciones de desembosque es uno de los principales cuellos de botella en el sector forestal catalán, aún más relevante si pensamos en las dificultades y costes asociados. Aunque la tendencia a mecanizar ha ido en aumento, en pequeñas escalas la maquinaria utilizada (excavadoras, tractores agrícolas y pequeños autocargadores) es generalmente ligera y con un bajo coste de adquisición (SPINELLI *et al.*, 2016).

El LOGFORCAT pretende incidir en la productividad de las operaciones de desembosque, la clasificación y el acopio de la madera una vez troceada y, por tanto, facilitar la carga del material en los camiones para, en definitiva, reducir los costes totales del aprovechamiento. Otros estudios, como CATALDO *et al.* (2020), muestran la mayor eficiencia de la grapa frente el cabrestante, aunque la grapa no esté acoplada en una excavadora como es el caso de estudio.

Por otra parte, este sistema mejora la seguridad de los operarios, ya que realiza la saca de los troncos a pie de pista de manera bastante ágil y protegida. De hecho, trabajando con un tractor agrícola con cabrestante -el sistema de desembosque más habitual en Cataluña- los operarios que trabajan tienen que desplazarse a pie por el bosque arrastrando un cable de acero para atar los troncos que se van a sacar por arrastre, viéndose sometidos al riesgo de rotura de este cuando trabaja con tensión.

Finalmente, hay que recordar que los bosques mediterráneos, aunque resulten de manera natural atractivos, son bastante frágiles y requieren estrategias cuidadosas para su conservación y gestión. El sistema LOGFORCAT debería causar un menor impacto en el suelo y en la vegetación remanente dado que permite desemboscar la madera de forma semisuspendida o suspendida en los

primeros 15 metros, reduciendo la creación de cárcavas causadas por el arrastre de los troncos y la consiguiente pérdida de suelo, principalmente en zonas sombrías de elevada pendiente donde la acumulación de agua puede ser superior.

2. Objetivos

Este estudio ha realizado una primera comparación entre el sistema de desembosque LOGFORCAT y el sistema usualmente empleado en Cataluña, el tractor agrícola con cabrestante. Donde el objetivo del estudio es realizar dicha comparación mediante la productividad y los costos; el impacto en el suelo y en la vegetación remanente; las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de combustible.

3. Metodología

El estudio se llevó a cabo en una finca de propiedad privada con una superficie de 6,7 ha, situada en el término municipal de Arbúcies, comarca de la Selva (Girona), localizada junto la C-25 a su paso entre Espinelves y Sant Hilari de Sacalm.

El arbolado de la finca correspondía a un monte bajo de castaño (*Castanea sativa*) establecida en 1996. Por lo tanto, una formación vegetal coetánea con dimensiones homogéneas, donde sólo se diferenciaban algunos pies situados en depresiones del terreno donde se concentra el agua. Además del castaño, en algunos puntos se encuentra algún pie de fresno (*Fraxinus sp.*) y encina (*Quercus ilex*). El tratamiento silvícola fue una corta a hecho dejando los pies de estas otras especies para mejorar la biodiversidad.

Orográficamente esta vertiente está orientada mayoritariamente al noroeste con una pendiente media del 44%. Sin embargo, la finca dispone de una red de caminos muy buena que facilita el acceso.

El sistema de desembosque más usual en los castaños es el tractor con cabrestante: los troncos, ya despuntados y desramados, se arrastran con cable de acero desde el camino. El material es transportado con el tractor hasta el punto donde se apilan los troncos, siempre al terraplén del camino. Aquí los troncos son troceados a medida que se apilan. La peligrosidad de este sistema radica en el arrastre con el cabrestante, ya que los troncos pueden clavarse en las cepas dejadas por la corta y causar una tensión excesiva, con riesgo de rotura.

Con el sistema LOGFORCAT, en lugar de arrastrar la madera desde pista con cabrestante, se extrae el material con la pinza situada en el extremo del brazo hidráulico extensible. A diferencia del tractor con cabrestante, ésta máquina necesita más espacio para poder mover los troncos y colocarlos de la mejor forma posible para ser troceados; por tanto, es aconsejable disponer de un espacio suficientemente grande en el mismo lado del camino para realizar el desembosque de manera eficiente.

En ambos sistemas los árboles son abatidos siempre hacia el lado ya cortado o hacia el camino, para evitar que se cuelguen sobre los árboles de pie. Habiendo cortado, desramado y despuntado los árboles, con el sistema LOGFORCAT la máquina los coge y los coloca detrás de ella, sobre la pista forestal, preparados para ser troceados (fase de desembosque). La máquina puede desemboscar los pies que se encuentran cerca o a medio alcance en suspensión; en cambio, los que se encuentran cerca del máximo alcance del brazo, los aproxima de forma semisuspendida para acabar de extraerlos de forma suspendida. Una vez sacada la hilera de pies cortados, la máquina se para esperando que los operarios troceen los troncos. Terminada esta operación, vuelve por el mismo camino donde ya había pasado previamente para llevar a cabo el acopio y la clasificación de las

trozas (fase de acopio). Las pilas ya clasificadas son finalmente recogidas por el camión forestal y transportadas a fábrica.

En el caso de que los pies abatidos se encuentren fuera del alcance del brazo telescopico, deberán aproximarse con el cabrestante del tractor para ser posteriormente desemboscados con el LOGFORCAT.

Para realizar una correcta comparación entre el LOGFORCAT y el sistema usual solo se ha tenido en cuenta las distancias menores o iguales a 15 m para ambos sistemas.

El monte se ha dividido en 4 subparcelas, lo más homogéneas posible, para que los sistemas trabajaran en condiciones parecidas (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las subparcelas y sistema de desembosque elegidos.

Subdivisión	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Separación máxima entre caminos (m)	Separación mínima entre caminos (m)	Sistema de desembosque
1	1,33	28,6	70	30	Habitual
2	1,24	34,5	40	35	LOGFORCAT
3	1,11	54,8	50	30	Habitual
4	0,99	57,9	50	30	LOGFORCAT

Para tener una idea de los pies y de las existencias, se realizaron de forma aleatoria parcelas de muestreo en cada subdivisión (Tabla 2).

Tabla 2. Características dasométricas del arbolado.

Subdivisión	Nombre de pies (p/ha)	AB media (m ² /ha)	Altura media (m)	Volumen unitario medio (m ³ /pie)
1	2.037	36,7	10	0,087
2	1.019	33,7	15	0,162
3	2.228	58,3	17	0,152
4	1.719	45,7	14	0,131

Las subdivisiones 2 y 4 se desemboscaron con el sistema LOGFORCAT. La giratoria empleada para esta tarea fue una KOMATSU 210-8 a que se acopló el brazo extensible (Figura 2). El LOGFORCAT sólo requiere un maquinista para llevar a cabo toda la operación de desembosque y acopio.



Figura 2. LOGFORCAT realizando la saca en su máximo alcance.

Las subdivisiones 3 y 4 se desemboscaron con un tractor con cabrestante, en este caso un Valmet 8400S con cabrestante Uniforest de 8 t. El equipo de desembosque estaba formado por dos personas: el maquinista y otro operario sobre el terreno.

La comparación de ambos sistemas se realizó a través del cálculo de los tiempos productivos. En el caso del LOGFORCAT el cálculo de tiempos productivos se dividió en dos fases: desembosque y acopio de las trozas. La fase de desembosque se repartió en ciclos diferentes, que siempre acababan con el desembosque de al menos un tronco. Dentro de estos ciclos la máquina podía realizar varias operaciones: colocar los troncos para ser desemboscados (Cd); colocar los troncos apilados en el camino (Cp); desplazar las ramas (B); desplazar la máquina (M); desembosque de madera (D). Para cada ciclo se anotaron las operaciones realizadas por la máquina en la fase de desembosque y la distancia de donde se habían sacado los troncos. Se establecieron tres rangos de distancias: de 0 a 5 m; de 5 a 10 m; de 10 hasta 15 m.

Habiendo realizado el desembosque de los pies y una vez éstos se han troceado, finalmente, se midió el tiempo en que la máquina estaba realizando el acopio de las trozas.

El volumen de la madera se calculó entre la fase de desembosque y acopio, antes de ser troceada. Se midió el diámetro de la base, el de la punta fina y la longitud para calcular el volumen unitario de cada tronco mediante la fórmula de Smalian.

En lo que se refiere al cálculo de los tiempos productivos del tractor con cabrestante, el ciclo de desembosque considerado fue el de cada viaje para desemboscar y apilar los troncos. En este ciclo se consideraron fases diversas: el desplazamiento del operario arrastrando el cable más el tiempo que tardaba en atarlo (tomando como referencia el tronco más lejano) (DB + E); el tiempo del arrastre

de estos troncos hasta pista (W); el tiempo de arrastre hasta el lugar de apilamiento (S), junto con la distancia recorrida (*winching* para W y *skidding* por S); el tiempo de desatado más acopio de la madera (D + A) y el tiempo que era necesario para volver al punto de inicio del ciclo siguiente (R).

El volumen del material extraído se calculó habiendo apilado la madera, pero antes de trocearla, siguiendo la misma metodología mencionada en el sistema anterior.

Además del tiempo productivo, también se tuvo en cuenta el tiempo de trabajo, es decir, todos los tiempos durante los cuales las máquinas estaban llevando a cabo alguna operación relacionada directa o indirectamente con el desembosque de la madera.

En cuanto al análisis de daños al suelo y sobre la vegetación remanente, habiendo finalizado el aprovechamiento, se realizaron transectos en línea de máxima pendiente en las mismas parcelas de estudio.

Finalmente, para determinar las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de combustible, al final de cada jornada se volvió a llenar los depósitos para conocer los litros de gasóleo consumido por cada máquina.

4. Resultados

En las subdivisiones de la zona de estudio donde se trabajó con el sistema de desembosque LOGFORCAT se han obtenido los resultados mostrados en las siguientes tablas (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 3. Datos de tiempo del LOGFORCAT.

	Media	Desviación
Distancia de desembosque (m)	7,10	3,93
Tiempo de la fase de desembosque (h)	0:01:03	0:01:09
Tiempo de la fase de acopio (h)	0:00:26	0:00:07
Volumen extraído por ciclo (m ³ /ciclo)	0,40	0,24

Tabla 4. Productividad, costes y emisiones del LOGFORCAT.

	LOGFORCAT
Productividad (m ³ /h productiva)	13,91
Relación tiempo productivo/trabajo (%)	65,8
Productividad (m ³ /h trabajo)	11,4
Coste horario (€/h)*	65
Coste unitario (€/m ³)	5,7
Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /m ³) ²	3,43

*Este coste incluye el maquinista.

En las subdivisiones de la zona de estudio donde se trabajó con el sistema de desembosque del tractor con cabrestante se han obtenido los resultados mostrados en las siguientes tablas (Tabla 5 y Tabla 6).

² MITECO, (2020).

Tabla 5. Datos de tiempo del sistema habitual.

	Media	Desviación
Tiempo viaje de ida del cabrestante vacío más atadura de los troncos (DB+E) (h)	0:02:23	0:00:56
Tiempo viaje de retorno del cabrestante con carga (W) (h)	0:01:22	0:02:25
Distancia con el cabrestante (winching) (m)	12,3	5,03
Tiempo de arrastre con carga (S) (h)	0:00:51	0:00:31
Tiempo de desatar y apilar (D+A) (h)	0:01:29	0:00:30
Distancia de arrastre (skidding) (m)	47,6	22,55
Tiempo de retorno (R) (h)	0:01:11	0:01:07
Tiempo total del ciclo (h)	0:07:35	0:03:14
Volumen extraído por ciclo (m ³ /ciclo)	0,25	0,03

Tabla 6. Productividad, costes y emisiones del sistema habitual.

	Tractor con cabrestante
Productividad (m ³ /h productiva)	6,56
Productividad a <15 m (m ³ /h productiva)	7,5
Relación tiempo productivo/trabajo (%)	76,7
Productividad (m ³ /h trabajo)	4,9
Coste horario (€/h) *	62
Coste unitario (€/m ³)	12,65
Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /m ³) ³	1,75

*Este coste incluye el maquinista y el operario que ata los troncos y los trocea.

En la tabla siguiente (Tabla 7) se resume el rendimiento de la fase de desembosque hasta el camino, sin el acopio del material, en función de rangos de distancia hasta 15 m.

Tabla 7. Comparativa de las productividades de desembosque, sin la fase de acopio, en función de la distancia.

Rangos de distancia (m)	LOGFORCAT (m ³ /h productiva)	Tractor agrícola con cabrestante (m ³ /h productiva)
0-5	45,14	18,91
5-10	38,60	16,18
10-15	22,99	18,10

Tanto del impacto al suelo como de los daños a la vegetación remanente no se tienen datos cuantificables, son observaciones sobre el terreno; dichas observaciones se comentarán en el apartado de discusión de los resultados.

³ MITECO, (2020).

5. Discusión

En lo que se refiere a los datos resultantes del sistema LOGFORCAT de la Tabla 3, cabe destacar las altas desviaciones, como en el caso del tiempo de desembosque, con un valor superior a la media. La causa radica en la gran cantidad de operaciones que hizo la máquina además de sacar la madera (Figura 3); el posicionamiento de los troncos previo al desembosque o al apilamiento, que limita el número de pies sacados por ciclo (Figura 4); la poca visibilidad en el monte debido a la gran cantidad de ramas y hojas en el suelo, y la distancia de desembosque (Figura 5).

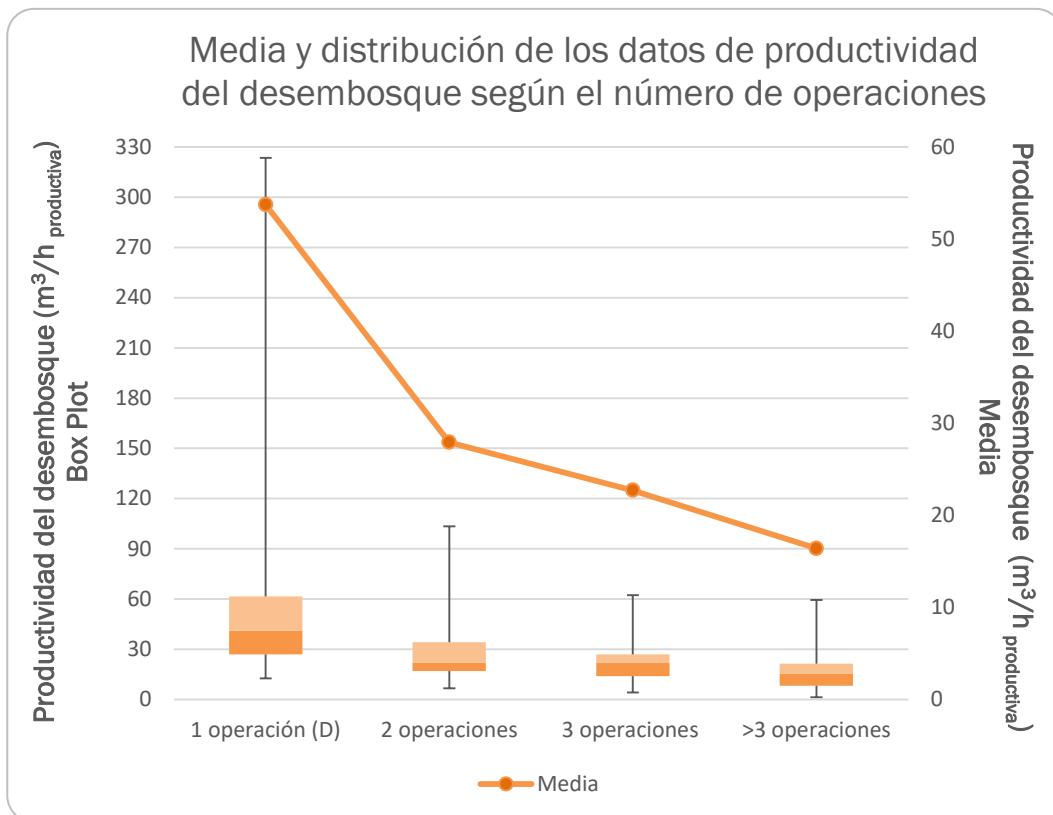


Figura 3. Dispersión de los datos de productividad según el número de operaciones por cada ciclo de desembosque.

En cuanto al número de operaciones llevadas a cabo por cada ciclo de desembosque, como se puede observar en la Figura 3, con una sola operación se encuentra una gran variabilidad de los datos de productividad, dada la influencia de diferentes factores en cada ciclo. Sin embargo, se evidencia como el aumento del número de operaciones realizadas en cada ciclo afecta a la baja tanto a la dispersión como a la productividad media.

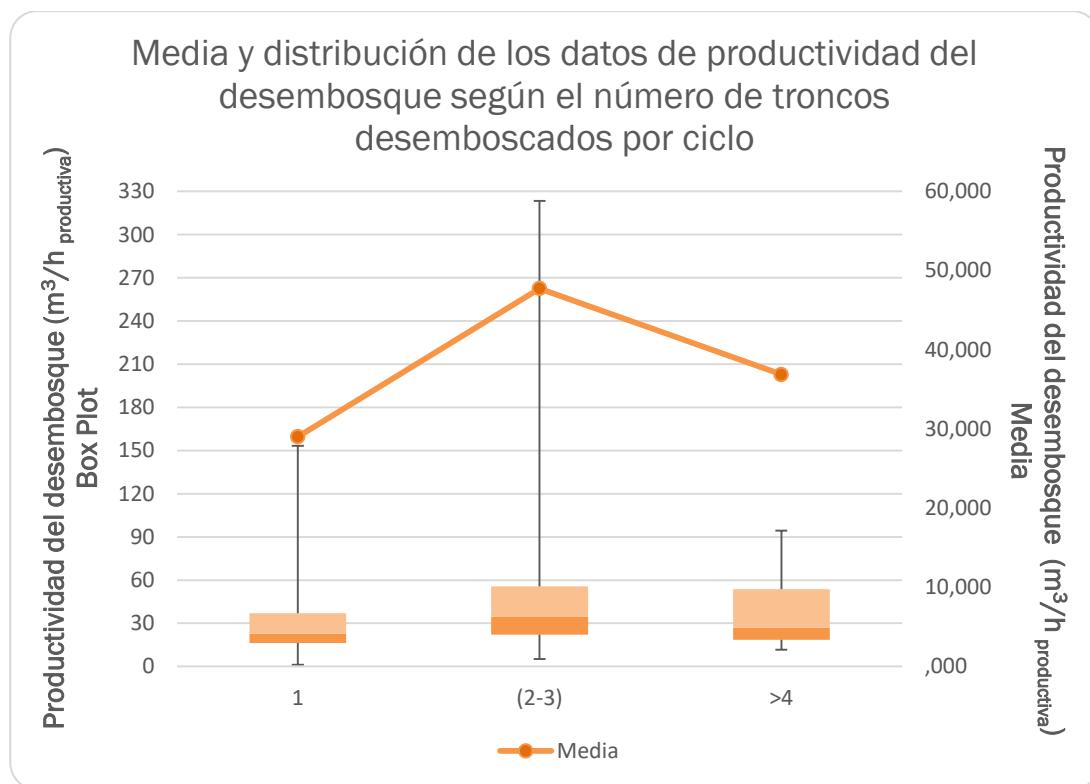


Figura 4. Dispersión de los datos de productividad según el número de troncos desemboscados por cada ciclo de desembosque.

Analizando la influencia del número de troncos desemboscados se puede observar como la mayor productividad, tanto media como por ciclo, se da por el desembosque de 2-3 troncos (aunque durante el estudio se llegara a un máximo de 7 troncos por ciclo). Efectivamente, reunir 4 o más troncos requiere más tiempo y el volumen total no necesariamente resulta más elevado, dada la capacidad de la grapa. Todo ello hace que la productividad baje. Sin embargo, se observa como la dispersión de los datos es muy superior en los ciclos de desembosque de 2-3 troncos con un mínimo incluso inferior que los ciclos de desembosque de 4 o más troncos. Esto nos hace pensar que el número de troncos no sea la variable que más influencie en la productividad, debido a que el tiempo que se tarda en sacarlos con el brazo depende en gran medida de su colocación.

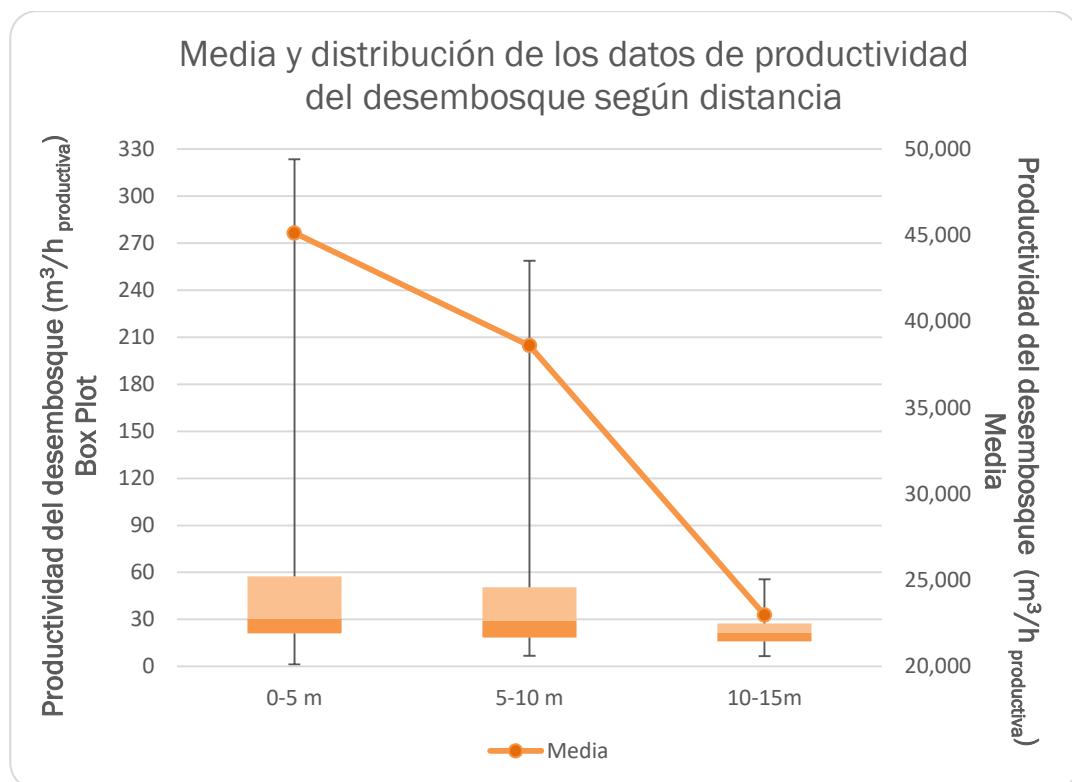


Figura 5. Dispersión de los datos de productividad según la distancia por cada ciclo de desembosque.

En cambio, la distancia de desembosque parece influir bastante en la productividad de cada ciclo. Sin embargo, los datos recogidos indican que, al aumentar la distancia decrece la variabilidad de datos, pero sube la productividad mínima. Entendemos que esto sea causado por la incidencia de factores no cuantificables, como la visibilidad de los troncos o su colocación. Además, cabe destacar que en muchos ciclos los troncos que se podían coger de una distancia menor a menudo obligaban a la máquina a hacer un cúmulo de maniobras superiores para poder colocarlos correctamente y disponer de espacio para trabajar, operación que requiere más tiempo. En cambio, cuando los troncos venían de distancias mayores, normalmente no había tanta pérdida de tiempo en este aspecto, ya que se podían colocar directamente en el lugar del tronzado sin necesidad de maniobras ulteriores.

De todos modos, siendo esta la primera vez que la máquina operaba en monte, resultó evidente la incidencia de las novedades que se presentaban al operador. Pudimos constatar como el aprendizaje y la experiencia del operador mejoraba día a día, mejorando así la eficiencia del trabajo y la productividad de los ciclos.

En Corea del Sur hay varios estudios que muestran el potencial de las miniexcavadoras como maquinaria de desembosque en pendiente elevada, aunque no sea la misma idea que en este propio estudio, debido a que utilizan excavadoras más pequeñas con alcances mucho menores para moverse por dentro del monte, es el sistema más parecido al estudiado que se ha encontrado. Según LEE *et al.* (2019), estas miniexcavadoras dan productividades entre 2,44 y 9,85 m³/h_{trabajo}, muy variables dependiendo de varios factores (distancia, pendiente y volumen unitario) e inferiores a las del LOGFORCAT, debido principalmente a que este solo opera en los primeros 15 m, sin introducirse en el monte.

Según los datos de tiempo obtenidos del sistema de tractor agrícola con cabrestante (Tabla 5 y Figura 6), observamos como la fase que requirió más tiempo, debido a las ramas y puntas de árboles

que obstaculizan el desplazamiento del operario, es cuando el operario hace el viaje con el cable vacío y se enganchan los troncos (DB+E), lo que conlleva una fuerte variabilidad de los tiempos registrados también debido a la distancia recorrida por el operario. Además, hay que destacar también la alta desviación asociada a la fase que se denomina como *winching* (W), es decir, el arrastre de los troncos con el cabrestante hasta pista. Como en el caso precedente, inciden la distancia a recorrer y también las dificultades que se presentan en cada tiro, una de las cuales es el tiempo perdido en desatarse el tronco durante el tiro.

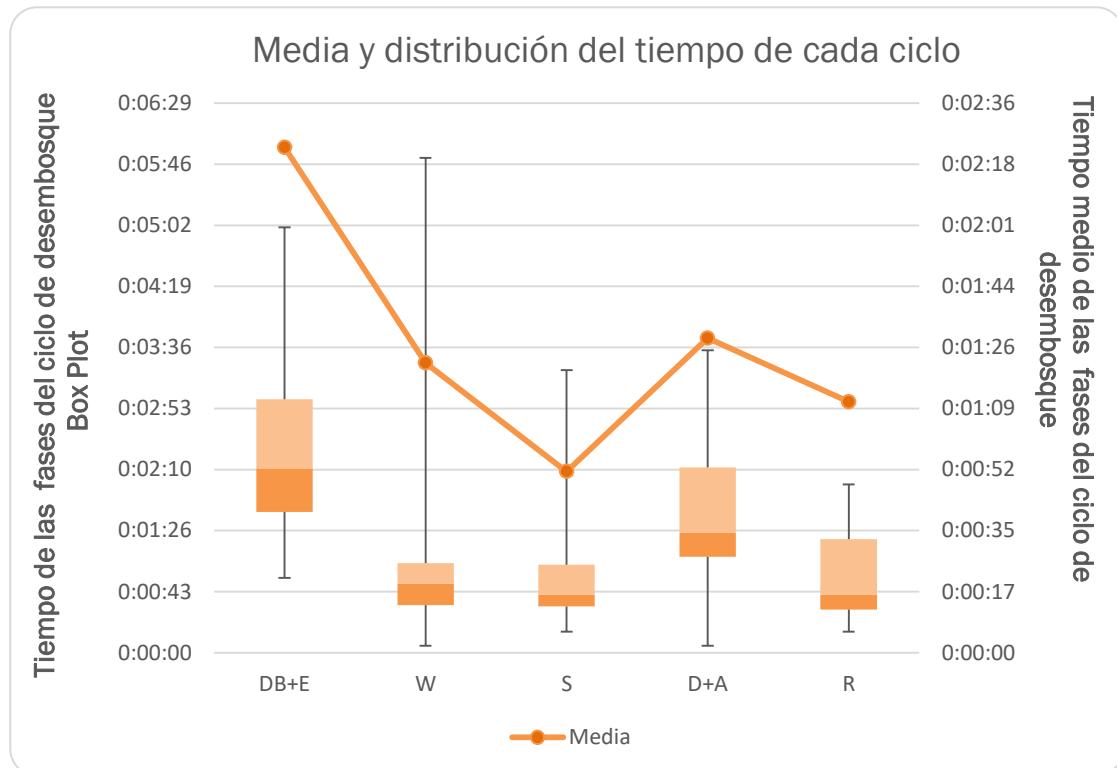


Figura 6. Dispersión de los datos de tiempo de las diferentes fases de cada ciclo de desembosque con tractor agrícola.

Una de las variables más influyentes en la productividad de este sistema son las distancias, tanto la que recorre el cabrestante sacando los pies hasta el camino (*winching*), como la de arrastre con el tractor hasta el lugar de acopio (*skidding*) (Figura 7 y Figura 8).

Media y distribución de la productividad según diferentes rangos de distancias en el *winching* y el *skidding*

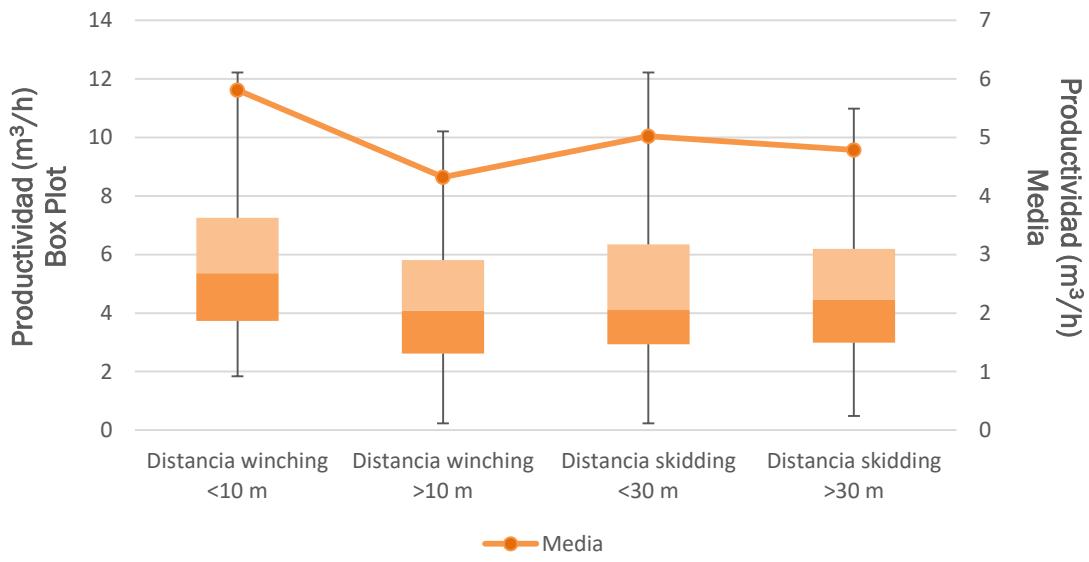


Figura 7. Dispersión de los datos de productividad según diferentes rangos de distancias en el *winching* y el *skidding* por separado.

Media y distribución de la productividad según diferentes rangos de distancias en el *winching* y el *skidding*

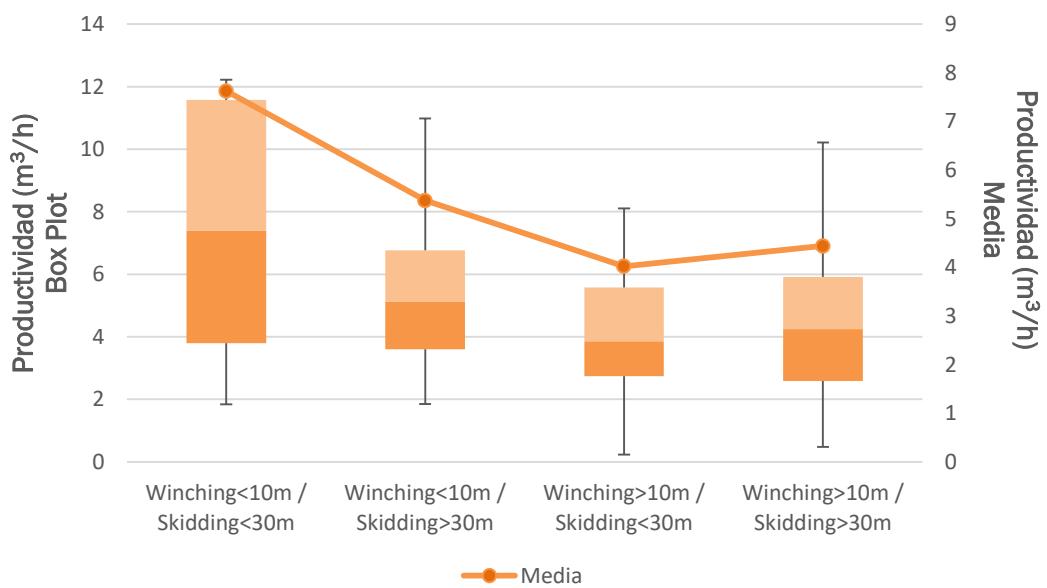


Figura 8. Dispersión de los datos de productividad según diferentes rangos de distancias teniendo en cuenta el *winching* y el *skidding* juntos.

Las gráficas apuntan que, en el caso del *winching*, a menor distancia mayor productividad. En cambio, no resulta tan evidente en el caso del *skidding* (Figura 7). Además, en la Figura 8 cuando el *winching* es superior a los 10 m, incluso la productividad crece con la distancia de arrastre, hecho totalmente ilógico debido a la mayor influencia de los otros factores. Por tanto, el *winching* tiene más incidencia que el *skidding* en la productividad en este caso de estudio.

Otros autores (SPINELLI y MAGAGNOTTI, 2011), respecto a las productividades del tractor con cabrestante en cortas a hecho sobre castaño, dan productividades entre 1,5 y 4,3 m³/h _{trabajo}, inferiores a las dichas en este estudio. La diferencia de productividades recae principalmente en el volumen unitario de los pies y la distancia de *skidding*, en el presente estudio la distancia de arrastre es cuatro veces inferior que en el estudio citado anteriormente.

Teniendo en cuenta la comparación de las productividades de ambos sistemas hasta los 15 m (Tabla 7), al contrario del LOGFORCAT, la productividad de la cual decrece con el aumento de la distancia, el tractor agrícola mantiene un rendimiento más constante alrededor de los 18 m³/h _{productiva}. Esto hace pensar que el factor de mayor incidencia en el desembosque con tractor agrícola, al menos durante los primeros 15 m, sea la presencia de obstáculos en el suelo (ramas, troncos, ...), lo que no afecta tanto al LOGFORCAT que puede desemboscar los troncos en semisuspensión o suspensión.

En lo concerniente a la relación tiempo productivo/tiempo de trabajo del tractor con cabrestante, el 76,7% del tiempo de trabajo fue productivo, mientras que con el LOGFORCAT fue el 65,8%. De hecho, a diferencia de este último, donde se tenía que avisar a uno de los cortadores que viniera a trocear los troncos, aumentando así el tiempo de espera de la máquina. En cambio, en el sistema tradicional era el mismo operario el que ataba los troncos y los troceaba, lo que reducía el tiempo de inoperatividad del tractor. Esto fue debido a la logística del estudio, ya que en terminar la longitud del camino de la subparcela el LOGFORCAT se detenía. En condiciones normales, mejorando la logística con el operario que trocea, sería posible disminuir los tiempos de inoperatividad del sistema innovador, teniendo una repercusión al alza de los costes unitarios.

Observando las productividades de ambos sistemas, se ve como el sistema LOGFORCAT obtiene productividades mucho mayores que el tractor, casi el doble. Esta diferencia tan alta de productividades es principalmente debido a la mayor agilidad que tiene el brazo telescopico frente el cabrestante del tractor. Esto más el tener un coste horario muy similar, siendo algo inferior el del tractor con cabrestante, repercute en que el sistema habitual tenga un coste unitario muy superior al sistema innovador, del orden de más del doble, aún teniendo una relación tiempo productivo/tiempo de trabajo superior.

A pesar de la diferencia de productividad existente entre ambos sistemas, el LOGFORCAT dobla las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de gasóleo por m³ de madera, debido al alto consumo de gasóleo de la excavadora giratoria comparado con el del tractor.

Habiendo finalizado el aprovechamiento y con los transectos realizados, no se detectó daños relevantes al suelo en ambos sistemas debido a la gran cantidad de ramas y hojas en el suelo que amortizaron parcialmente el impacto. En el caso del tractor con cabrestante se localizó un impacto mínimo en los bordes de los caminos donde el suelo cambia de ángulo y los troncos ejercían una mayor presión en este (Figura 9).



Figura 9. Daños al suelo causados por el arrastre de los troncos con el sistema de tractor con cabrestante.

En cuanto a los daños a la vegetación remanente se detectaron muchos en los lugares donde se trabajó con el tractor con cabrestante (Figura 10), debido a que durante el *winching* el tronco atado al cable se engancha en los pies restantes y les provoca peladuras o torceduras. En cambio, con el sistema LOGFORCAT prácticamente no se observaron daños en las plantas remanentes, dado que el desembosque se lleva a cabo con la carga suspendida o semisuspendida.



Figura 10. Daños en la vegetación remanente causados por el arrastre de los troncos con el sistema de tractor con cabrestante.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este primer estudio, aunque parciales, indican una mejor productividad del sistema LOGFORCAT respecto el sistema de desembosque habitual en Cataluña

(Tabla 6), el tractor con cabrestante, lo que repercute favorablemente en el coste unitario del material extraído.

Sin embargo, hay que recordar que el sistema de desembosque LOGFORCAT se ha validado en una tipología de gestión típica en el Montseny, la corta a hecho en castaños, pero muy diferente de las cortas selectivas tan comunes en Cataluña.

Debido al bajo alcance del sistema LOGFORCAT comparado con el tradicional, una posible mejora sería la incorporación de un cabrestante en el brazo de la misma excavadora, para no depender de otra máquina complementaria en caso de distancias mayores.

En la siguiente tabla se resumen los resultados del estudio (Tabla 8).

Tabla 8. Tabla de resumen comparativa entre los sistemas de desembosque LOGFORCAT i el tractor agrícola con cabrestante (habitual)

Sistema de desembosque	LOGFORCAT	Sistema habitual
Productividad (m ³ /h productiva)	13,9	7,5
Relación tiempo productivo/tiempos de trabajo (%)	65,8	76,7
Productividad (m ³ /h trabajo)	11,4	4,9
Coste de desembosque (€/m ³)	5,7	12,7
Emisiones (kg CO ₂ /m ³)	3,4	1,7
Daños al suelo	No detectables	Puntuales
Daños en la vegetación remanente	No detectables	Frecuentes

El sistema LOGFORCAT mejora la seguridad del operario ya que éste trabaja en la cabina con las medidas de protección adecuadas y desde el camino, sin necesidad de adentrarse en el bosque. En cambio, durante el desembosque con cabrestante, se dan bastantes ocasiones en que el cable es sometido a altas tensiones que aumentan el riesgo de accidente de los trabajadores. Otro factor que incrementa la seguridad concierne en la modalidad del tronzado de la madera, el LOGFORCAT deja los troncos bien colocados paralelos o perpendiculares a la pista y el operario los trocea de uno a uno, siempre y cuando no se acumule mucha madera perpendicular al camino y en pendientes elevadas, lo que podría ocasionar su caída. En cambio, con el sistema habitual los troncos se trocean sobre la misma pila, circunstancia que conlleva un cierto peligro.

Otra ventaja del LOGFORCAT está en la capacidad de apilar troncos a ambos lados del camino, tanto en el terraplén como en el desmonte, mientras que el tractor con cabrestante sólo lo puede hacer en el terraplén.

A pesar de la diferencia de productividad existente entre sistemas, el LOGFORCAT dobla las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de gasóleo por m³ de madera, debido al alto consumo de gasóleo de la giratoria comparado con el del tractor. Esto puede ser debido principalmente al hecho que en la giratoria hay una transformación de energía mecánica a hidráulica, por lo que las pérdidas energéticas son superiores y esto repercute en que para realizar el mismo trabajo el consumo sea superior.

Para la mejora de la eficiencia energética entre la excavadora y el apero que lleva instalado en el brazo, según SPINELLI y DE ARRUDA MOURA (2019), existe tecnología que sirve para ajustar a tiempos reales la demanda de potencia entre el apero y la excavadora, lo cual da una reducción del

consumo del gasoil. En dicho estudio, utilizándose con cabezales procesadores, se redujo un 3,5 % el consumo horario de gasoil y un 10 % las emisiones.

Por último, en cuanto al impacto en el suelo, los dos sistemas de desembosque no producen daños graves detectables, aunque resulten un poco superiores los causados en el terraplén del camino por el tractor con cabrestante. En cambio, los daños a los árboles remanentes sí resultan claramente superiores en el caso del tractor, dado que los troncos atados al cabrestante durante el arrastre se enganchan, doblan y rompen dichos árboles.

7. Agradecimientos

Agradecer a Robert Rosell de la empresa Estrats de bosc S.L., titular de la marca y del modelo de utilidad LogForCat. su disponibilidad en la ejecución de las pruebas de campo que han permitido la toma de los datos del presente estudio.

8. Bibliografía

CATALDO, M.F.; PROTO, A.R.; MACRÌ, G.; ZIMBALATTI, G.; 2020. Evaluation of different wood harvesting systems in typical Mediterranean small-scale forests: a Southern Italian case study. *Annals of Silvicultural Research*. 45(1):1-11

LEE, E.; HAN, S.K.; IM, S.; 2019. Performance analysis of log extraction by a small shovel operation in steep forests of South Korea. *Forests*, 10, 585; doi:10.3390/f10070585

MITECO; 2020. Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Madrid

SPINELLI, R.; CACOT, E.; MIHELIC, M.; NESTOROVSKI, L.; MEDERSKI, P.; TOLOSANA, E.; 2016. Techniques and productivity of coppice harvesting operations in Europe: a meta-analysis of available data. *Annals of Forest Science* 73:1125-1139.

SPINELLI, R.; DE ARRUDA MAURA, A.C.; 2019. Decreasing the fuel consumption and CO₂ emissions of excavator-based harvesters with a machine control system. *Forests*; 10, 43

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; 2011. Wood extraction with farm tractor and sulky: estimating productivity, cost and energy consumption. *Small-scale Forestry*, 11: 73-85.