

EXPERIENCIAS RECIENTES DE APROVECHAMIENTO MECANIZADO DE BIOMASA FORESTAL EN GALICIA

Eduardo Tolosana

ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural

Universidad Politécnica de Madrid

eduardo.tolosana@upm.es

XORNADA I EXPOSICIÓN DE DATOS BIOFORE PLUS.

Pontevedra, 5 de noviembre de 2021

TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS

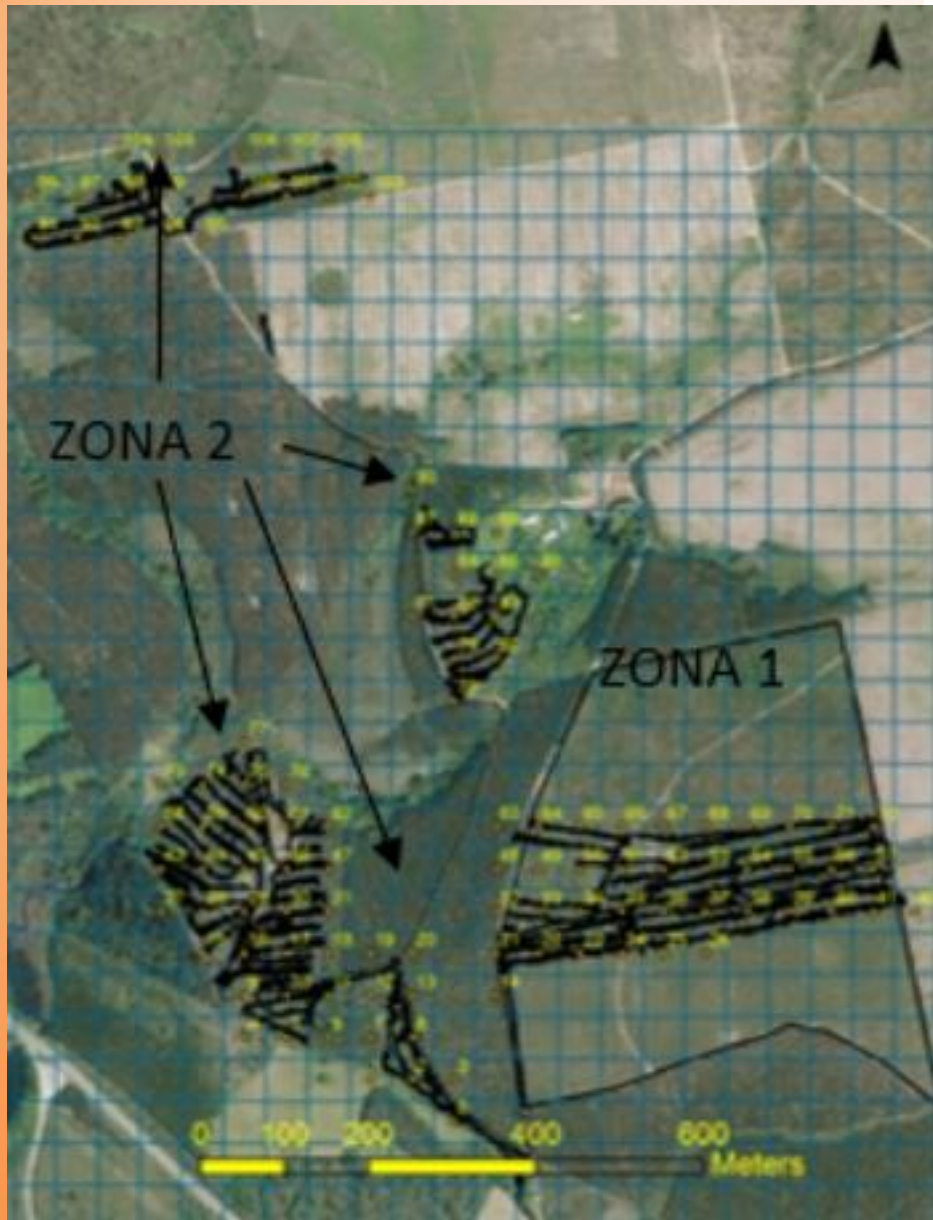
- Taladora-empacadora FIXTERI FX-15a
- Desbrozadora-recolectora RETRABIO
- Taladora empacadora combinada MONRA + cabezal NISULA

OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE LA TALADORA-EMPACADORA FIXTERI FX-15a

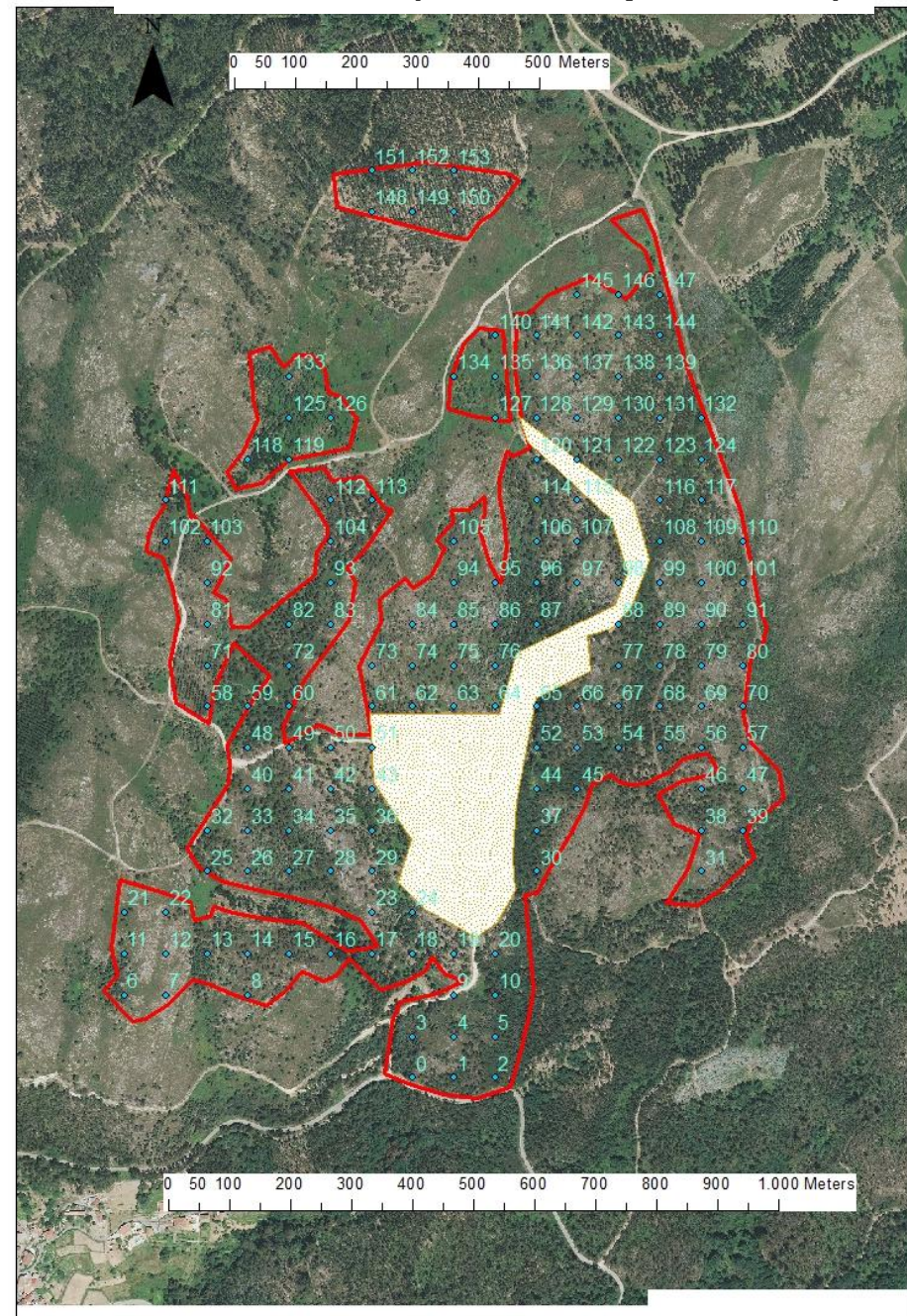
- **Análisis del apeo y enfardado mecanizados con la taladora-empacadora FIXTERI FX-15a en montes sin aprovechamiento comercial en Galicia. Determinación de rendimientos, eficiencia en recogida y costes con identificación de factores determinantes.**
- **En dos montes:**
 - Eucaliptar afectado por el goníptero en el monte Coto Muíño en Zas (A Coruña)
 - Masas de eucalipto y pino quemadas en el monte La Ermida de Pazos de Borbén (Pontevedra)
- **Trabajos ejecutados entre marzo y mayo de 2019 (Grupo Operativo BIOFORE)**



COTO MUÍÑO (7,75 + 9,75 ha)



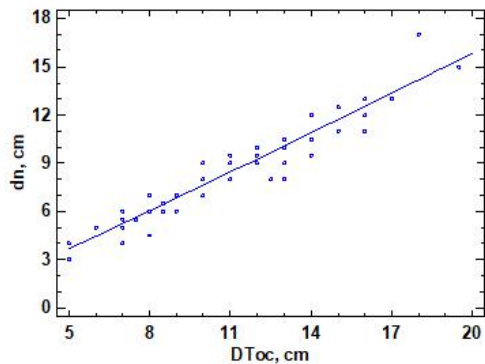
LA ERMIDA (17,75 ha pobladas)



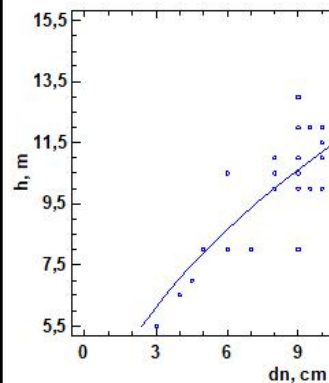
RESULTADOS DE LOS INVENTARIOS

COTO MUIÑO

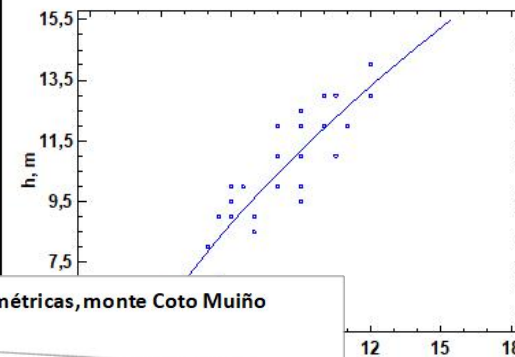
Relación entre diámetro normal y diámetro en el tocón, monte Coto Muíño



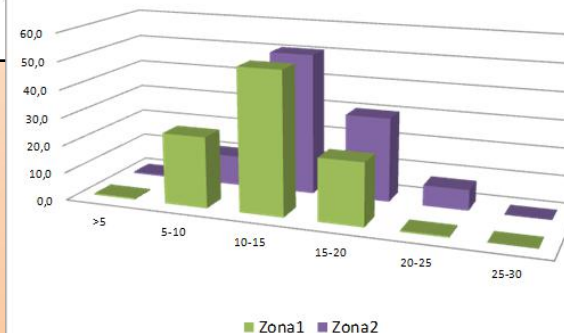
Ecuación altura diámetro, zona 1



Ecuación altura diámetro, zona 2

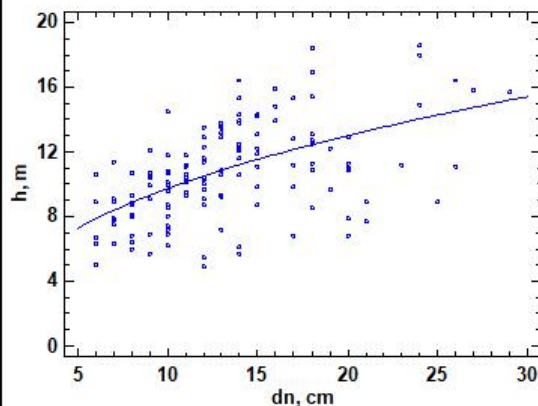


Distribuciones diamétricas, monte Coto Muíño

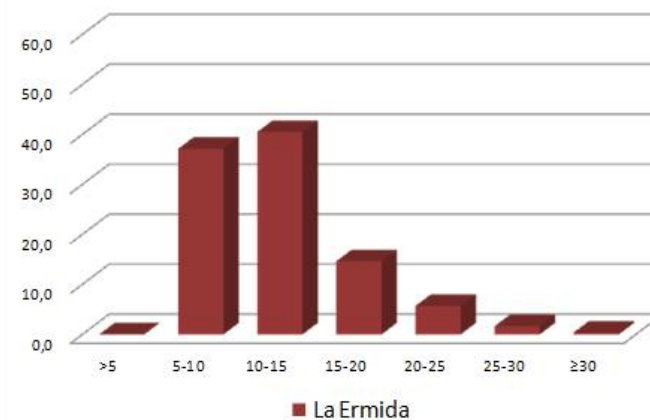


LA ERMIDA

Curva Altura-diámetro, monte La Ermita



Distribución diamétrica monte La Ermita

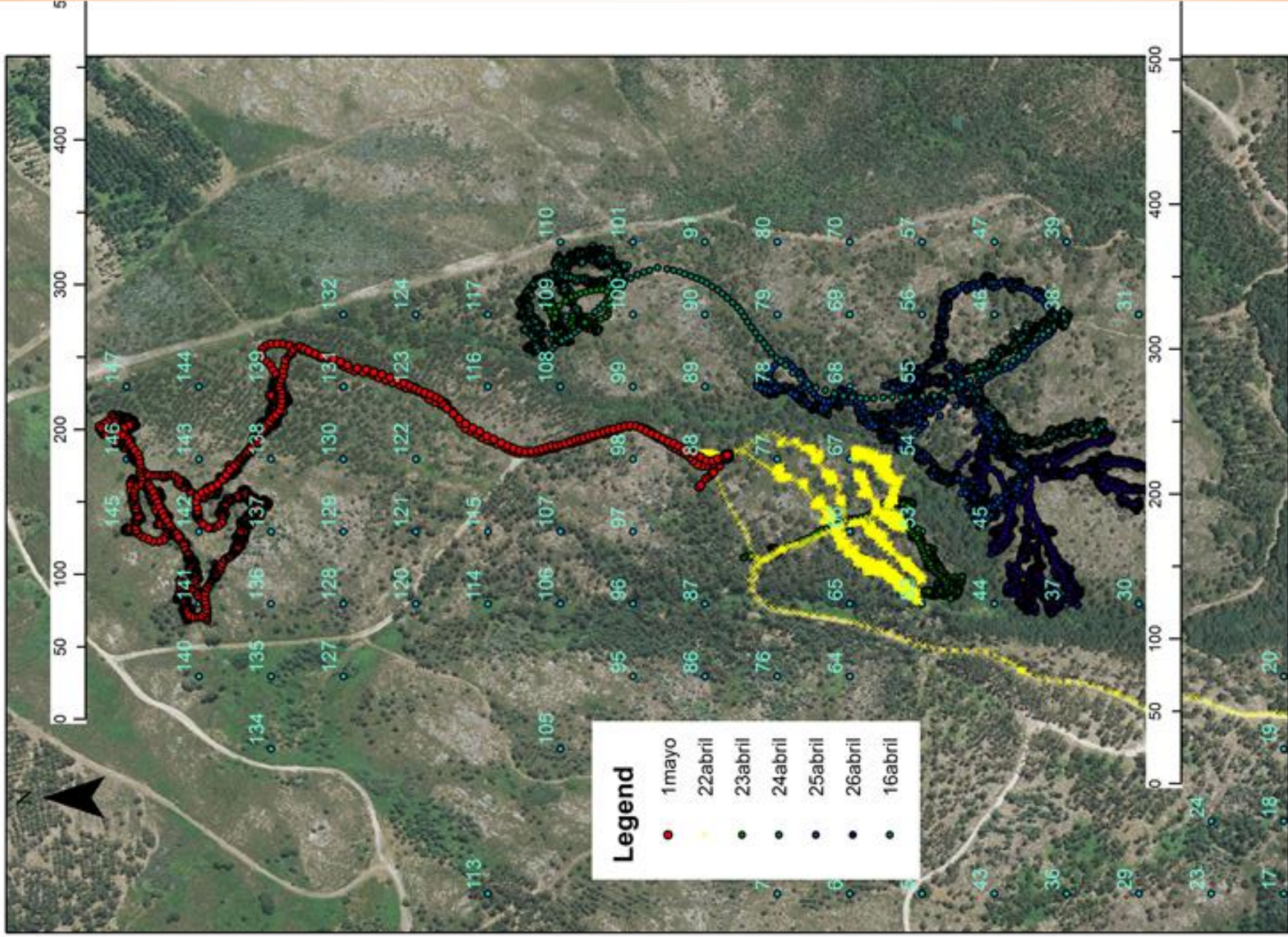


RESULTADOS DE LOS INVENTARIOS

Aunque se midieron también los rodales de pino en La Ermida, **LOS RESULTADOS SE REFIEREN SÓLO A EUCALIPTO**, dado que **FINALMENTE NO SE APROVECHARON LOS PINOS**, por el estado de deterioro de su biomasa después de un año y medio tras el incendio

Zona	N (pies/ha)	Dn med, cm	Pmed (kgms /pie)	Carga de biomasa (t ms/ha poblada)	Rendimiento 1 (tms/hora de Trab E15)	Rendimient (tms/hTrab
Coto Muiño 1	1232	9,1	20.54	25.3	2,23 (*)	3,16
Coto Muiño 2	893	10,9	29.46	26.3	3,44	3,43
La Ermida	775	12,4	32.03	24.8	3,31	2,43

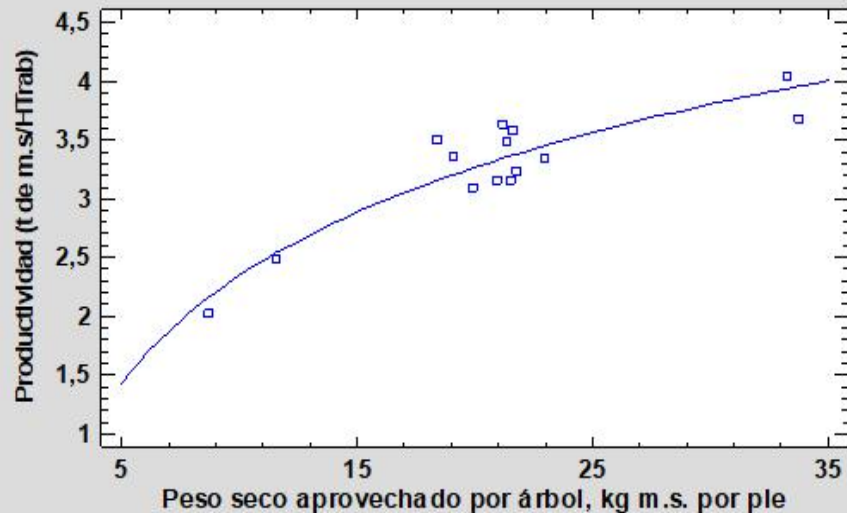
Ermida



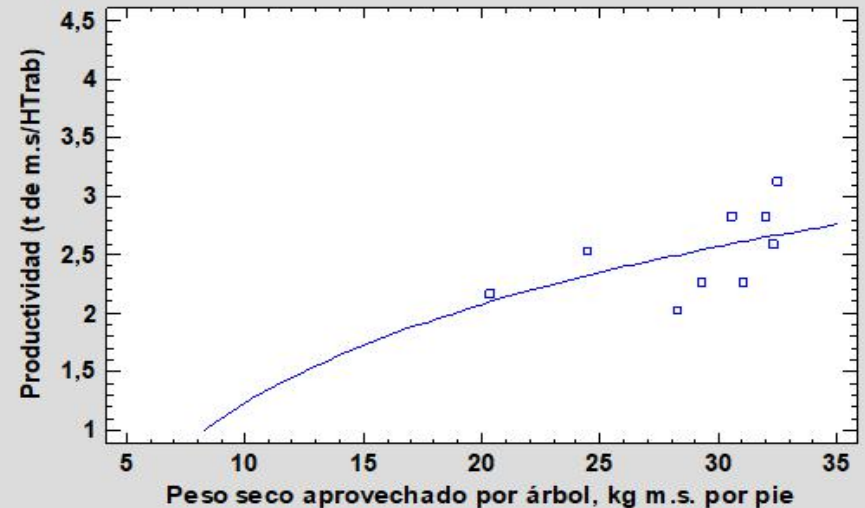
MODELOS DE PRODUCTIVIDAD

Resultaron modelos diferentes para los dos montes.

Relación entre productividad y peso unitario aprovechado por pie
(masa afectada por el goniptero)



Relación entre productividad y peso unitario aprovechado por pie
(masa afectada por el incendio y parcialmente aprovechada)



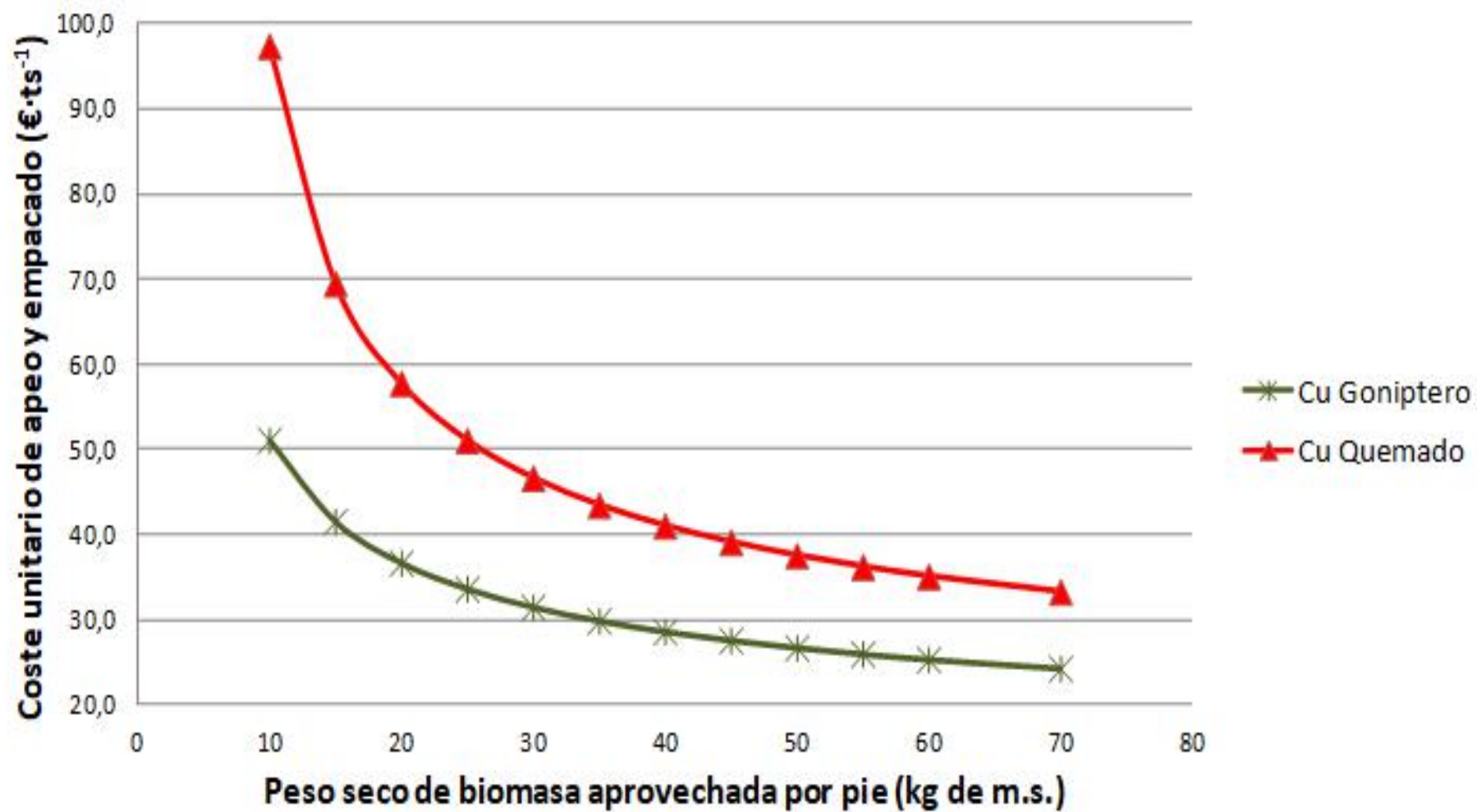
La menor productividad de la masa quemada se debe a la **mayor dificultad de manejo y empacado del material quemado**, más seco, que además se acompaña de una menor eficiencia en la recogida, pero también a una **menor espesura y mayor heterogeneidad de la masa quemada, porque había sido parcialmente aprovechada** (las zonas con madera utilizable por la industria) y porque **tenía zonas cuya pendiente y pedregosidad impedían el acceso de la taladora-empacadora.**

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE TIEMPOS DETALLADO

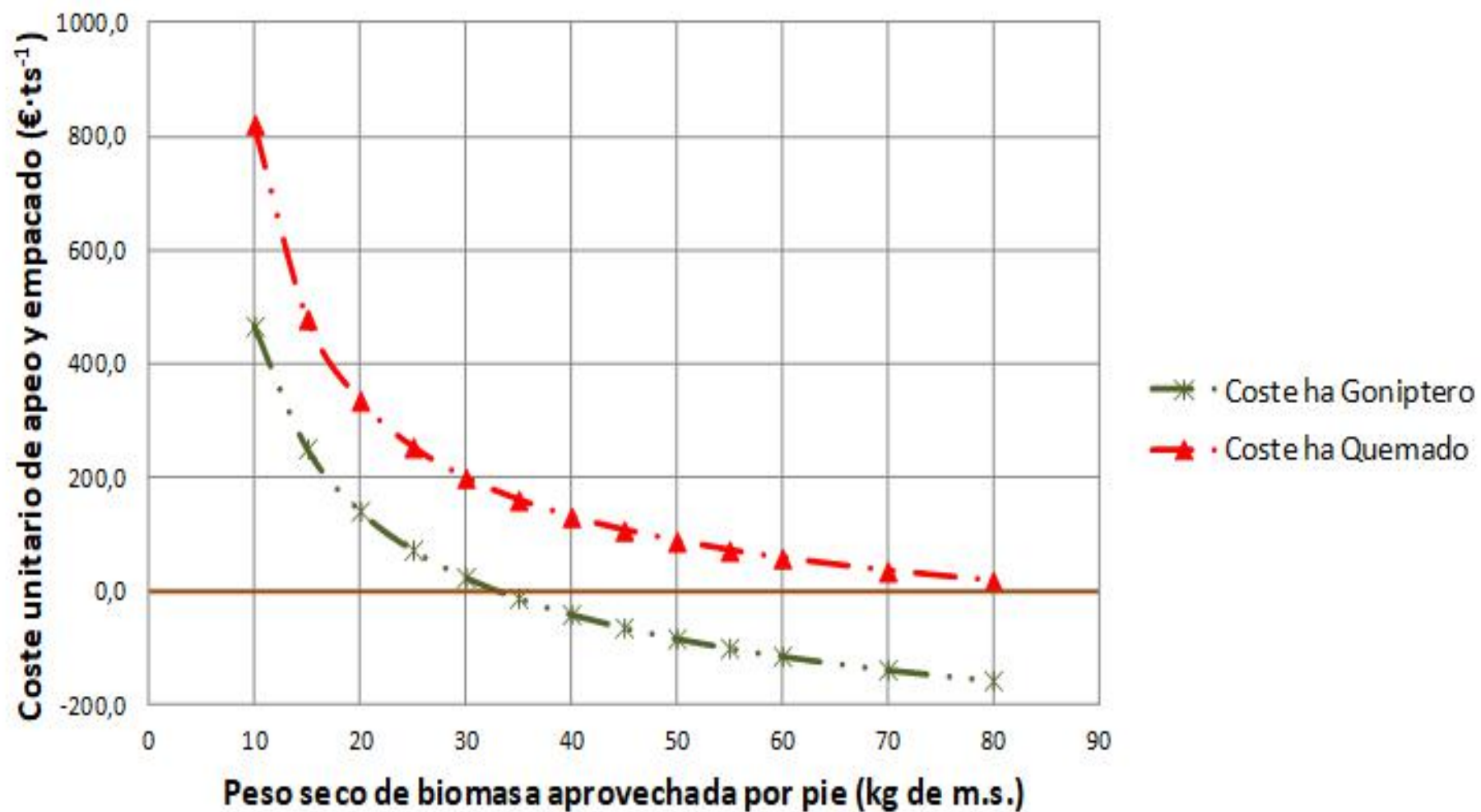
- **La unidad de alimentación supone un cuello de botella para la grúa equipada con el cabezal de apeo acumulador** → Tiempos de espera del cabezal: 30-34%
- **El enfardado resultó mucho más complicado en la masa quemada** que en la afectada por la plaga → Tiempo de actividad de la unidad de enfardado del 49% en la masa atacada por el goníptero, y sólo del 30% en la masa quemada.
- **El tiempo productivo por paca fue significativamente mayor en la masa quemada, reflejando esta complicación de manejo:** 4,7 minutos de tiempo productivo por paca frente a 3,1.
- **La heterogeneidad de la masa quemada, con zonas inaccesibles o ya aprovechadas, condujo a mayores desplazamientos** → Tiempos de trabajo no productivos dobles en la masa quemada + Distancia recorrida por paca significativamente mayor, de 77 m frente a 49 m en el eucaliptar afectado por goníptero, a pesar de que en el quemado los árboles eran mayores.



Coste unitario de apeo y empacado



Coste por ha del tratamiento



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Tecnología útil en masas uniformes como las afectadas por el goníptero para reducir costes por aprovechamiento y valorización.**
- **La autofinanciación en ese tipo de montes se podría alcanza para pesos secos de biomasa aérea entre 30 y 45 kg, incluso menores si se mejora la productividad**
- **El caso de las masas incendiadas y parcialmente aprovechadas es más complejo. Es conveniente no dejar pasar tanto tiempo desde el incendio, porque se dificulta el manejo y empacado.**
- **La tecnología estudiada tiene ventajas (sencillez de mantenimiento, automatización de funciones, rapidez y alta productividad de la grúa y cabezal de talado) pero tiene inconvenientes 1) relativa lentitud del sistema de alimentación y empacado 2) altura de la unidad de empacado, que perjudica el equilibrio de la máquina y dificulta su uso en terrenos pendientes → Posibles mejoras en la tecnología y/o en los métodos de trabajo**

OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE LA DESBROZADORA-TRITURADORA RETRABIO

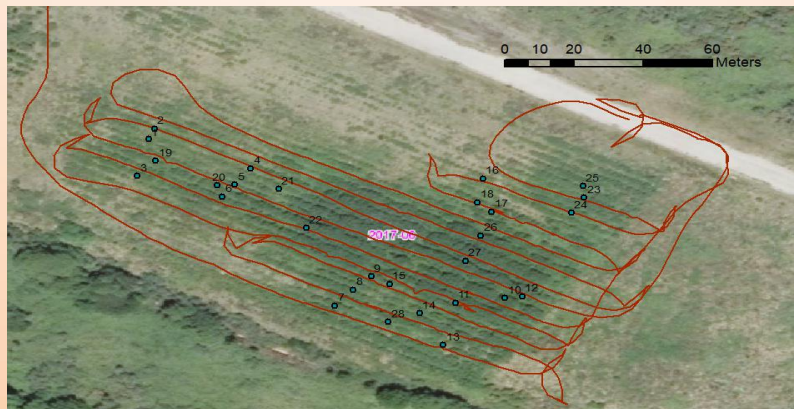
- **Análisis del desbroce, triturado y recolección de biomasa con la RETRABIO en montes sin aprovechamiento comercial en Galicia. Determinación de rendimientos y costes con identificación de factores determinantes.**
- **En dos montes:**
 - Mata de salgueiro (Salix) en As Pontes de García Rodríguez (A Coruña)
 - Regenerado natural de Pino marítimo en Verín (Orense)
- **Trabajos ejecutados entre mayo de 2020 y julio de 2021 (Proyecto europeo SmallWood y Proyecto Biomasa AP Interreg V-A España-Portugal Poctep)**

Equipo desbrozador-triturador RETRABIO:

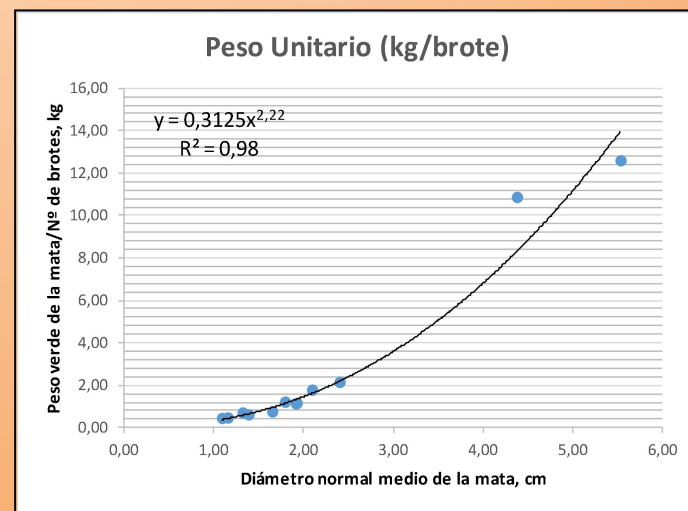
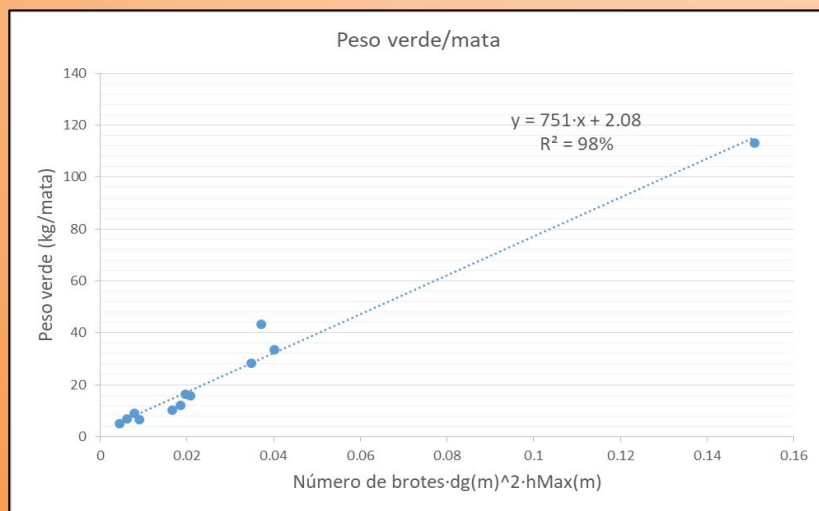


- Desarrollado por la Agencia Gallega de Innovación (Gain, 2015), a través del Centro Tecnológico CIS-Madeira
- Rotor de 36 martillos que giran en sentido contrario al avance.
- Ciclón y cañonera
- Tolva de 24 m³ de capacidad

A. Aprovechamiento de salix en monte bajo mediante desbroce por fajas: Inventario Previo



	N (pies/ha)	Hmax (m)	dn med (cm)	Fcc (%)	Peso (tv/ha)	Peso seco (tms/ha)
Valor mínimo	10345	3,9	1,22	50	14,7	8,1
Valor máximo	63662	7,3	5,31	100	131,9	84,2
Media	36321	5,6	2,08	79	57,2	30,6



Prueba de desbroce y recolección



14 calles de desbroce de 2,75
m de anchura localizadas con
GPS



Superficie de actuación
= 0,564 ha

Inventario posterior



Peso de restos triturados y no recolectados y muestras de humedad



26 parcelas de 1 m de radio en 3 transectos



Peso extraído aparente por calle

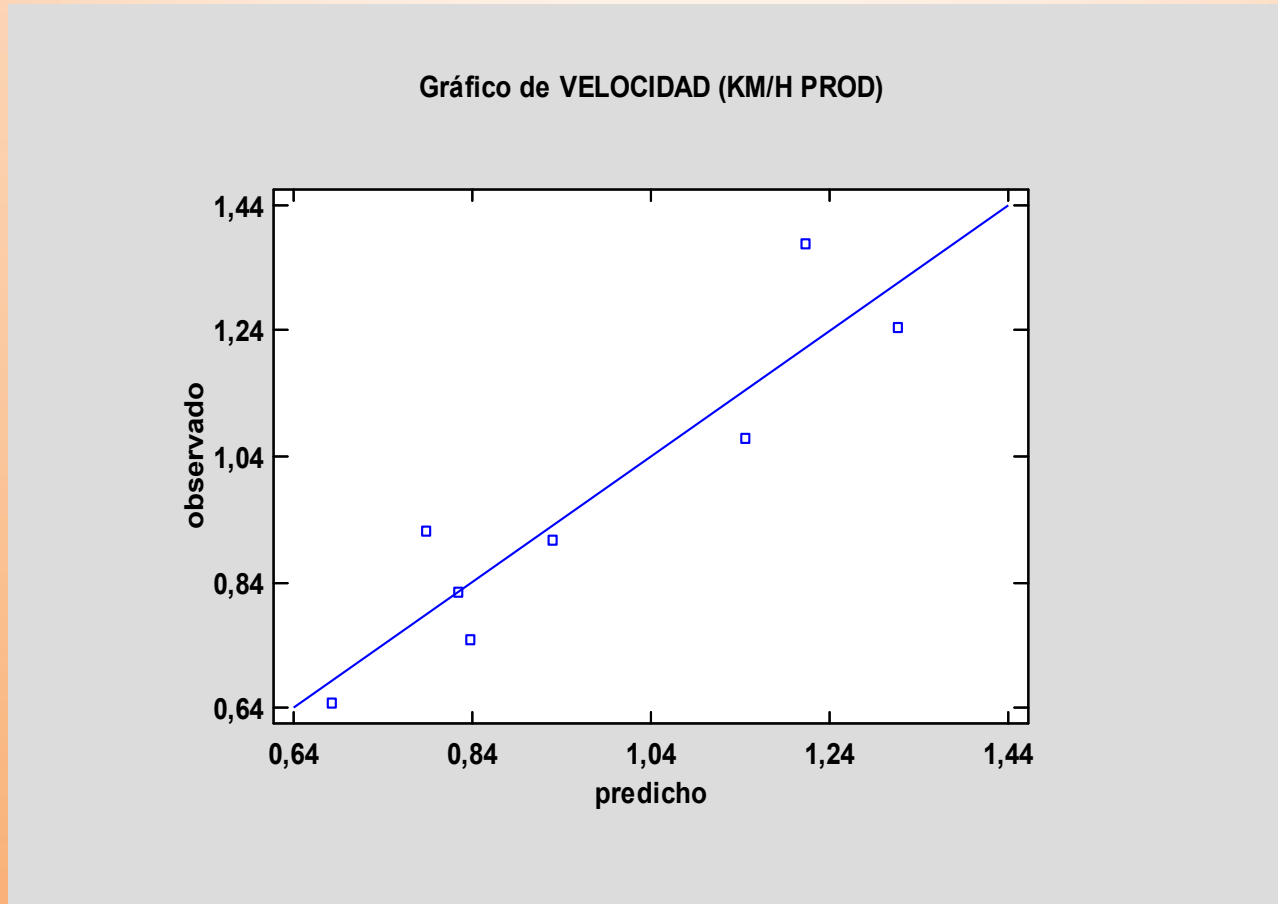
$P_{ext} = P_{verde} - P_{restos}$

**Eficiencia en la recogida:
52%**

Estudio de tiempos

Fases	Tiempos totales	%
Desplamiento en vacío	0:05:24	5%
Desbroce y carga	1:01:04	60%
Cambio calle/Maniobra	0:12:23	12%
Desplazamiento cargado	0:02:57	3%
Descarga	0:06:42	7%
Inter. Planificación	0:03:05	3%
Interrupción otros	0:09:31	9%
TOTAL	1:41:06	100%

Modelización de rendimientos



$$R_{to} \text{ (ha/SMH)} = 0.0604 \cdot (4.06 - 0,0000207 \cdot NPies/ha - 0,385 \cdot H_0 - 0,00297 \cdot BioVolMat) \cdot (2.75 + AnchEntrecalle)$$

Estudio de costes

DESBROCE Y CARGA

Coste *MH* = 31,29 €/t

Coste por hectárea
= 203,66 €/ha

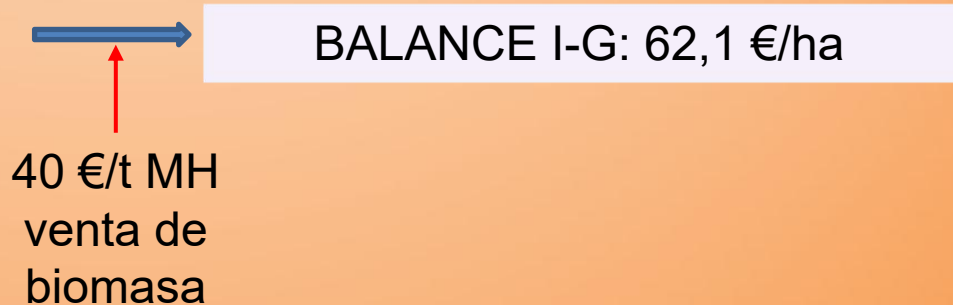
TRANSPORTE (40 km a central)

Coste *MH* = 10,07 €/t

Coste por hectárea
= 65,56 €/ha

COSTE UNITARIO TOTAL MH, incl beneficios y costes generales = 49,5 €/t

COSTE TOTAL POR HECTÁREA = 322,51 €/ha



Desbroce convencional vs RETRABIO



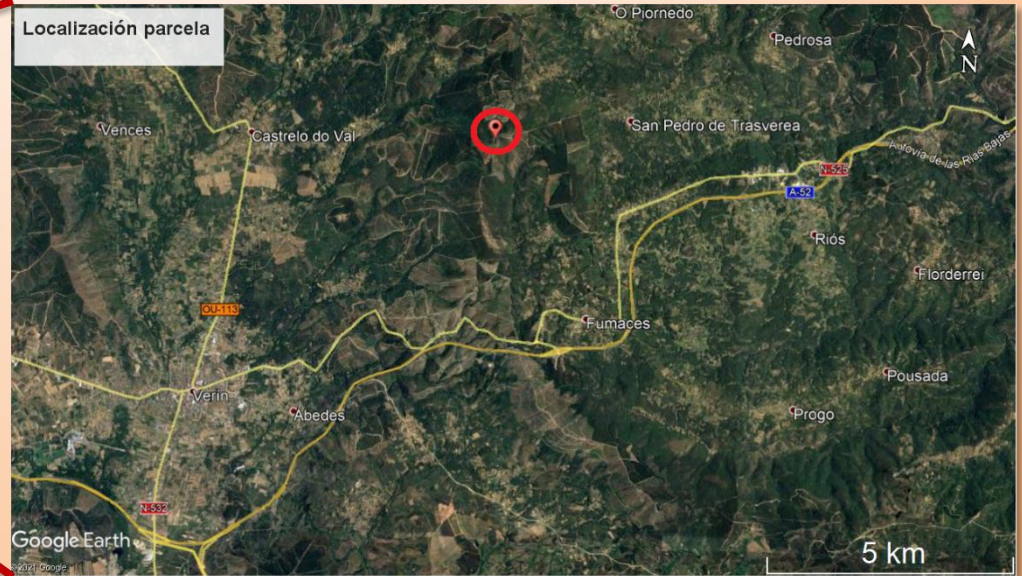
Balance económico desbroce de cadenas
convencional: -185,6 €/ha



Balance económico RETRABIO:
62,1 €/ha

**AHORRO DE 248 €/ha RESPECTO AL
DESBROCE CONVENCIONAL**

B. Regenerado de pinaster: Monte de Gondulfes, Verín (Orense)



Propiedad: CMVMC de Gondulfes y Marbán

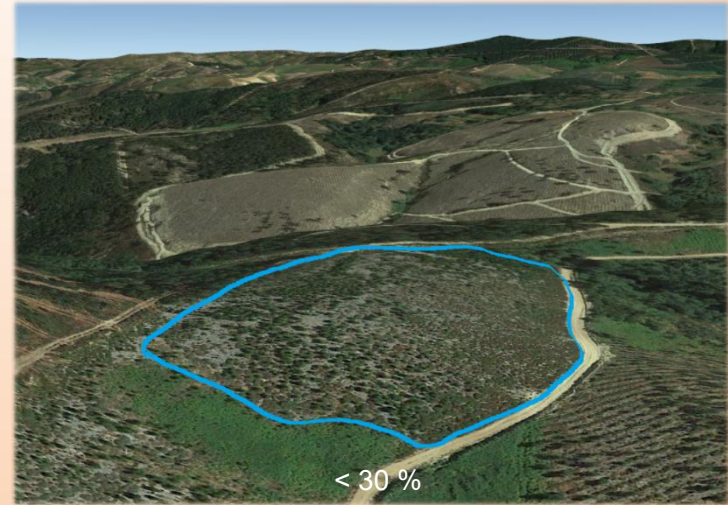
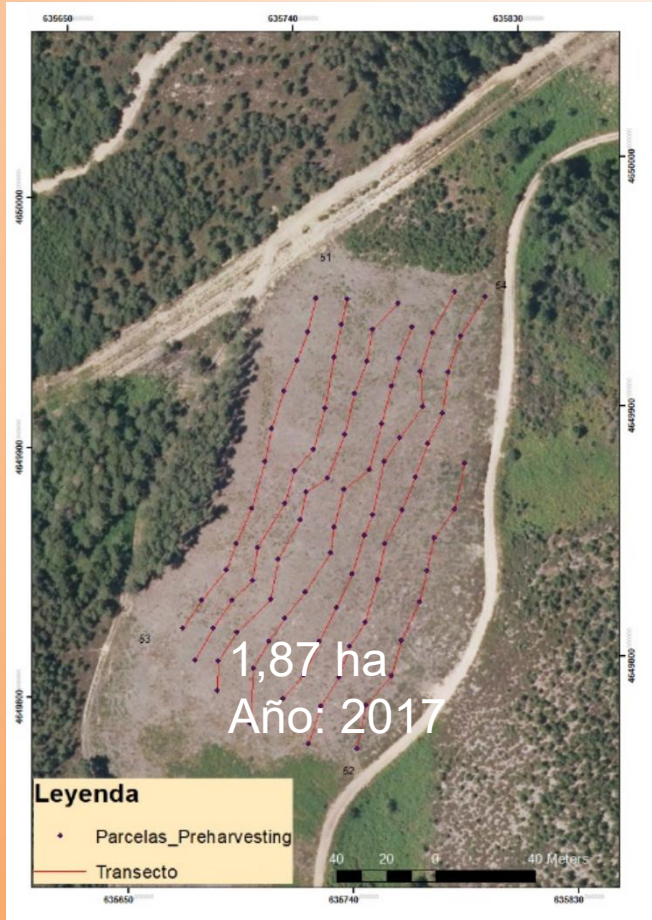


*Pinus
pinaster*



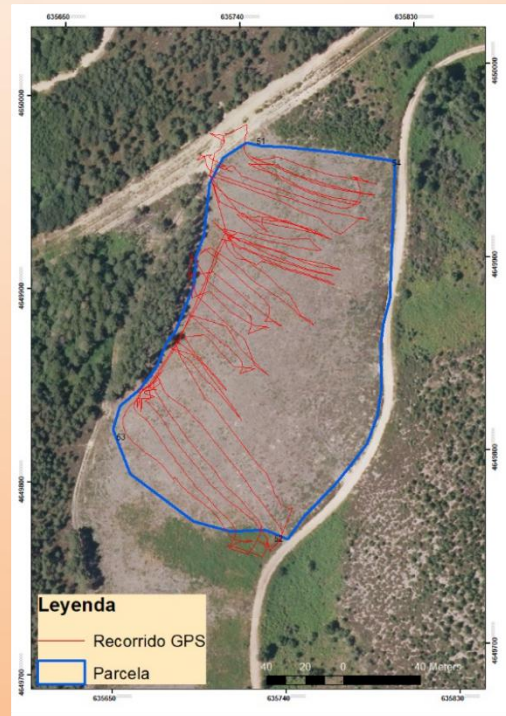
*Erica cinerea, Genista
tridentata, Ulex europaeus
y Halimium spp.*

Parcela de experimentación



- **Características dasométricas:** 3100 pies/ha ($h > 1,3$ m) y 979 pies/ha ($h < 1,3$ m). 4079 pies/ha en total, 21 t/ha de biomasa verde antes de la prueba de desbroce.

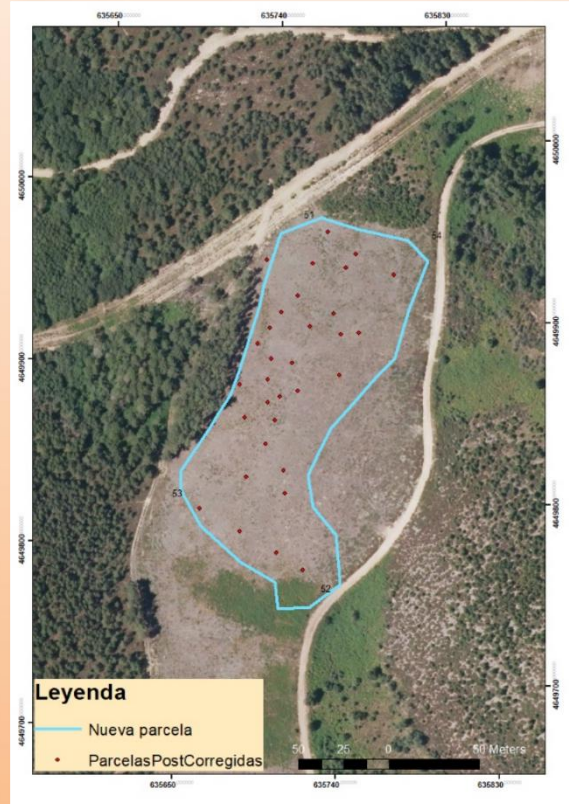
Prueba de desbroce



31 calles de desbroce de 2,75 m de anchura localizadas con GPS

Superficie de actuación = 1,44 ha

Inventario posterior



Peso de restos triturados y no recolectados (>10 cm) y muestras de humedad

32 parcelas rectangulares 2,75 x 1 m



Peso extraído aparente por calle

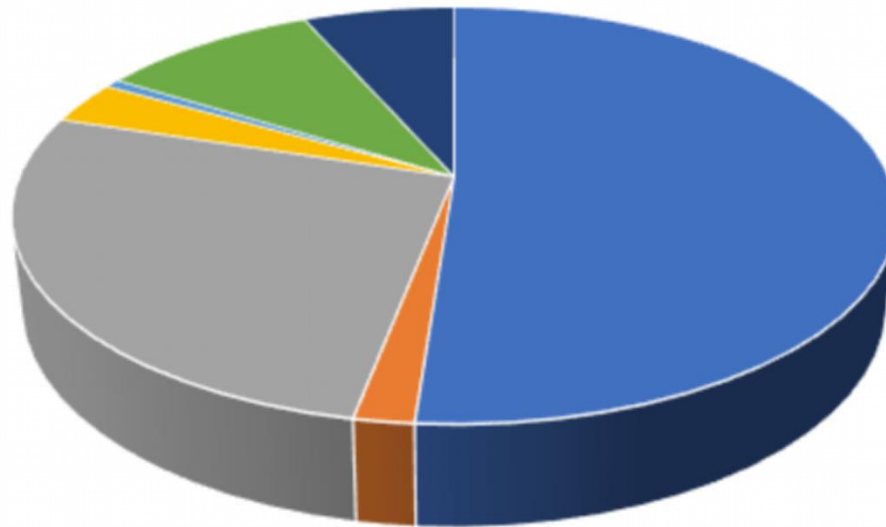
$P_{ext} = P_{verde} - P_{restos}$

Peso medio de restos de pino en el terreno : 6,6 t/ha

Peso medio de restos de matorral: en el terreno 1,6 t/ha

Estudio de tiempos

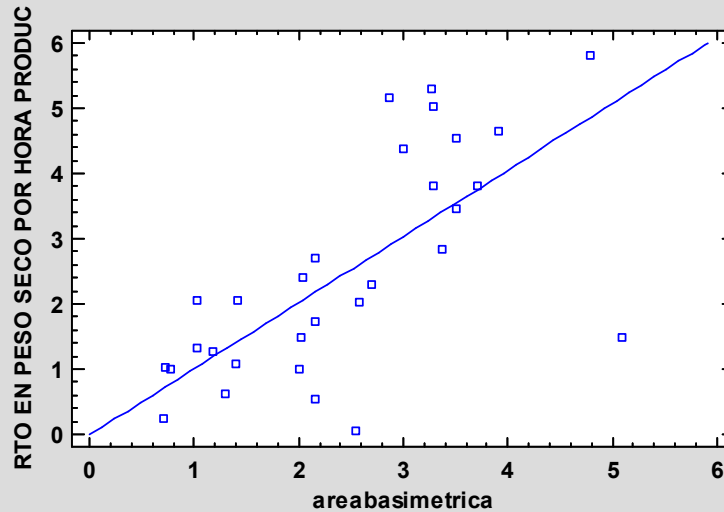
Fases de trabajo sobre tiempo de presencia



- Desbroce y carga
- Desplazamiento en vacío
- Cambio calle/Maniobra
- Desplazamiento cargado
- Descarga
- Inter. Planificación
- Interrupción otros

Modelización de rendimientos

Gráfica del Modelo Ajustado



Ecuación	R2 Ajustado %	MAE	D-W
RTO EN PESO VERDE POR HORA TTP _{Princ.} = 2,48738*AREA BASIMETRICA	45,8	2,24	0,97
RTO EN PESO SECO POR HORA TTP _{Princ.} = 1,0132*AREA BASIMETRICA	46,5	0,90	0,98
RTO EN PESO VERDE POR HORA TTP = 2,08061*AREA BASIMETRICA	44,5	2,10	1,13
RTO EN PESO SECO POR HORA TTP = 0,847949*AREA BASIMETRICA	45,2	0,84	1,14

Estudio de costes

DESBROCE Y CARGA

Coste *MH* = 45,12 €/t

Coste *MS* = 95,64 €/t

Coste por hectárea
= 166,05 €/ha

TRANSPORTE (40 km a central)

Coste *MH* = 10,07 €/t

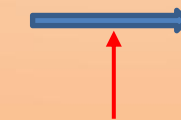
Coste *MS* = 21,39 €/t

Coste por hectárea
= 37,14 €/ha

COSTE UNITARIO TOTAL MH = 65,67€/t

COSTE UNITARIO TOTAL MS = 139,26 €/t

COSTE TOTAL POR HECTÁREA = 241,79 €/ha



40 €/t MH
venta de
biomasa

BALANCE I-G: -94,57 €/ha

Desbroce convencional vs RETRABIO



Balance económico desbroce de cadenas convencional: -185,6 €/ha



Balance económico RETRABIO: -94,57 €/ha

AHORRO DE 91,03 €/ha RESPECTO AL DESBROCE CONVENCIONAL

OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE LA TALADORA –EMPACADORA MONRA+NISULA

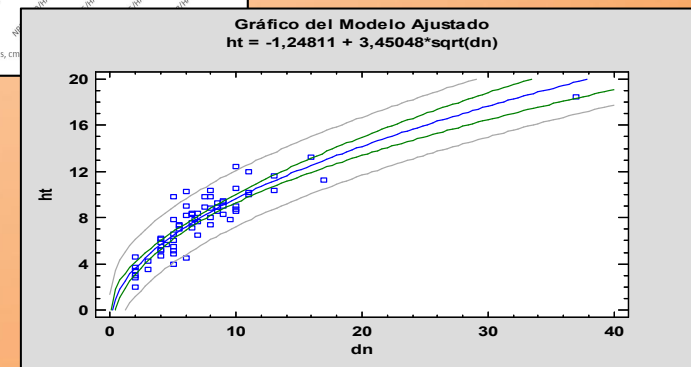
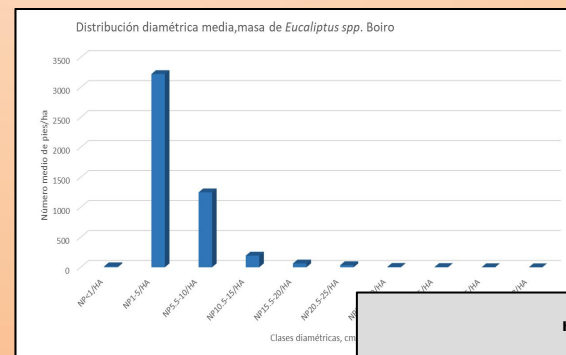
- **Ensayo del apeo y enfardado mecanizados con una taladora-empacadora desarrollada acoplando un cabezal talador Nisula a una empacadora forestal Monra en montes sin aprovechamiento comercial en Galicia: **Inventario, estudio de tiempos y productividad.****
- **En tres montes a cortar a hecho:**
 - Eucaliptar afectado por incendio en Boiro (A Coruña)
 - Pinar joven con crecimiento estancado para cambio de especie en Guitiriz (Lugo)
 - Monte bajo de especies invasoras a erradicar (*Acacia* sp.) en Leiro (Ourense)
- **Estudios entre diciembre de 2020 y abril de 2021**

INVENTARIO PREVIO

a) Eucaliptar de Boiro

11 ha, 60 parcelas de 6 m de radio (Fm = 6%)

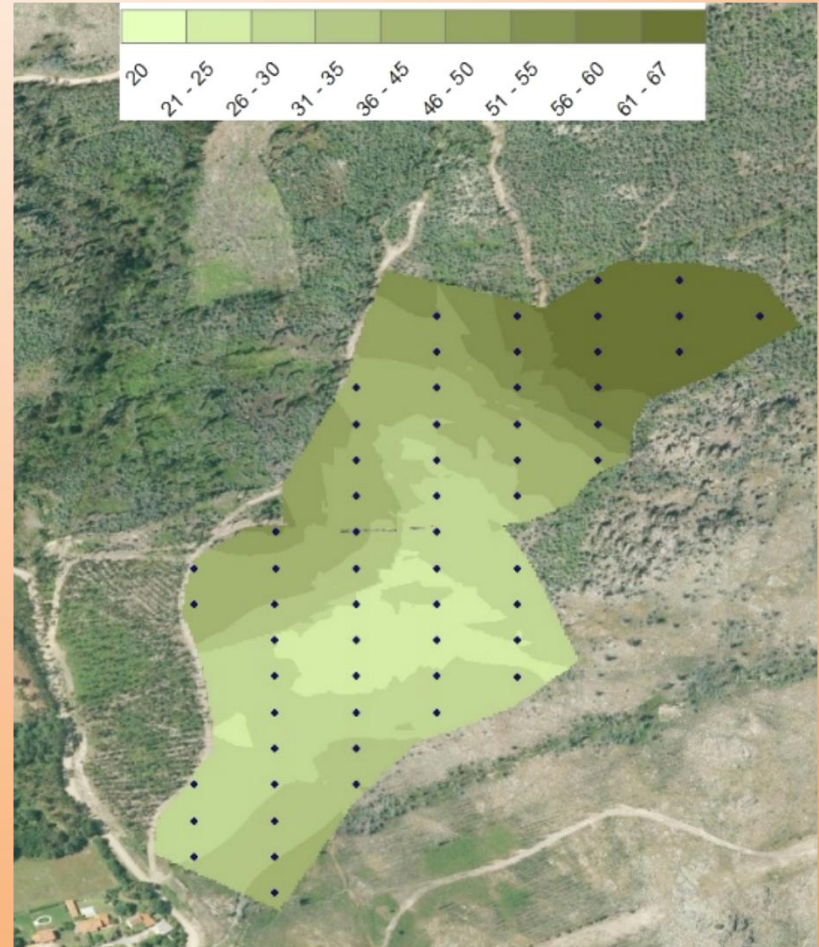
NºPies/ha	Cepas/ha	Brotos/cepa	dn	Hm	Fcc	Hmat	FccMat
4.792 ± 12,6%	760	5,5	5,2 cm	6,0 m	35%	0,61 m	34%



Distribución de parcelas de inventario
(2 equipos, tres días)



Peso de biomasa aérea por ha, krigging
A partir del inventario y las ecuaciones de
Diéguez Aranda *et al.* (2009)



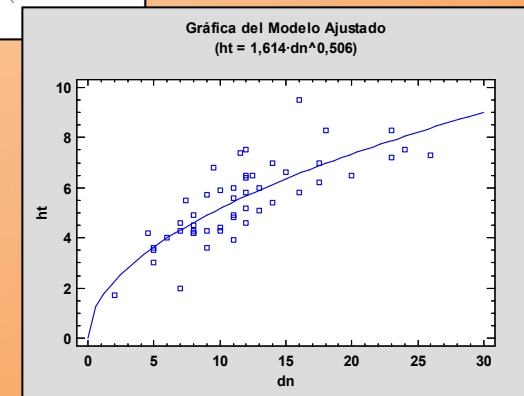
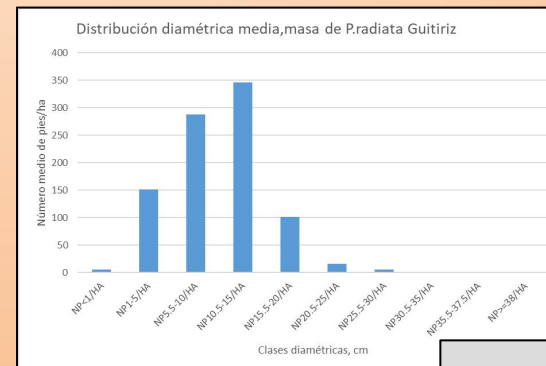
Media: 40,4 tMS/ha, al 45% de humedad en base húmeda → 73,4 t verdes por ha

INVENTARIO PREVIO

b) Pinar de Guitiriz

Plantación de P. Radiata de 3,85 ha, 35 parcelas de 6 m de radio (Fm = 10%)

NºPies/ha	dn	Hm	Fcc	Hmat	FccMat
912 ± 9,1%	10,2 cm	5,1 m	24%	1,10 m	90%



Distribución de parcelas de inventario
(1 equipo, dos días)



Peso de biomasa aérea por ha, krigging
A partir del inventario y las ecuaciones de
Merino *et al.* (2003)



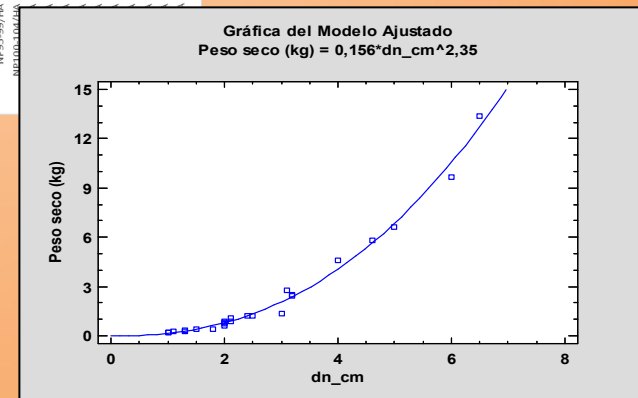
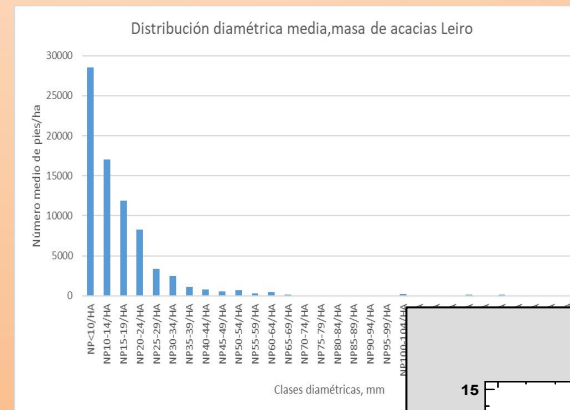
Media: 14,4 tMS/ha, al 45% de humedad en base húmeda → 26,1 t verdes por ha.
Peso medio unitario: 28,6 kg verdes.

INVENTARIO PREVI

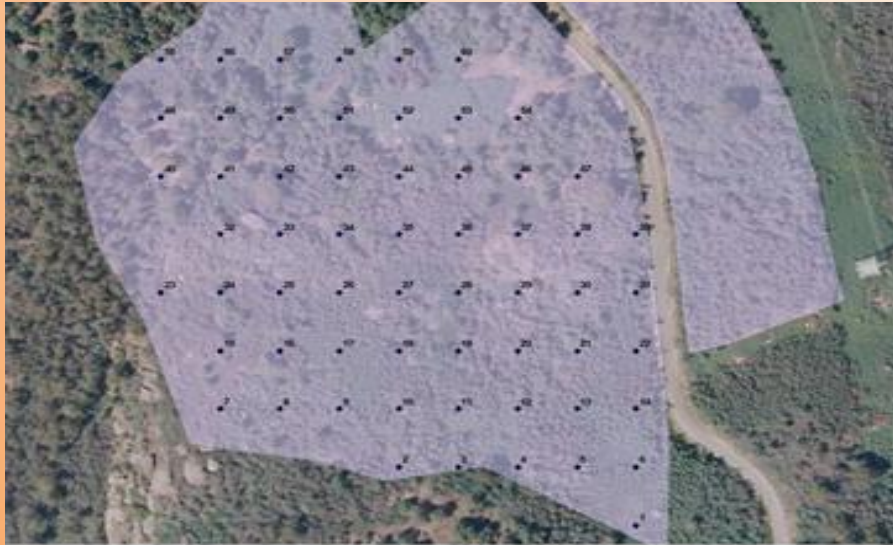
c) Masa de acacias de Leiro

Monte bajo de 2,0 ha, 34 parcelas de 1,5-2 m de radio (Fm = 2%)

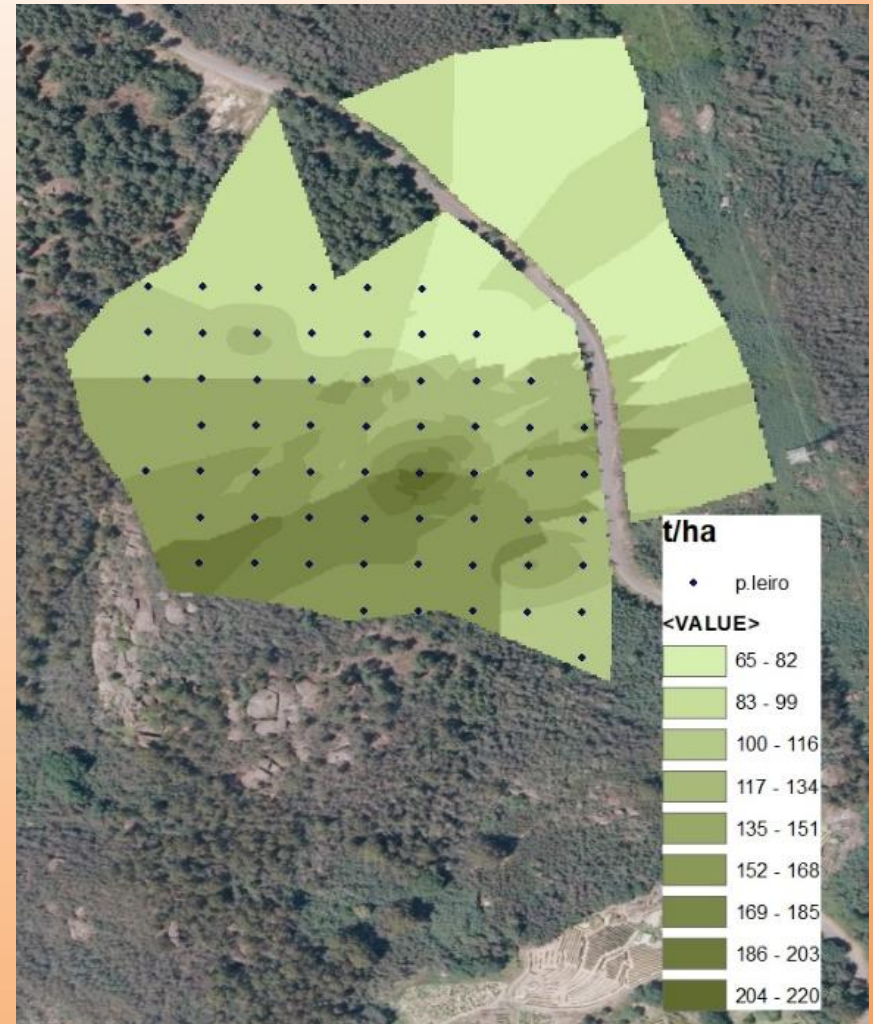
NºPies/ha	dn	Hm	Fcc	Hmat	FccMat
70.691 ± 28% (75. 151 incluyendo muertos, tumbados y otras spp.)	1,8 cm	2,7 m	91%	---	---



Distribución de parcelas de inventario
(2 equipos, un día)



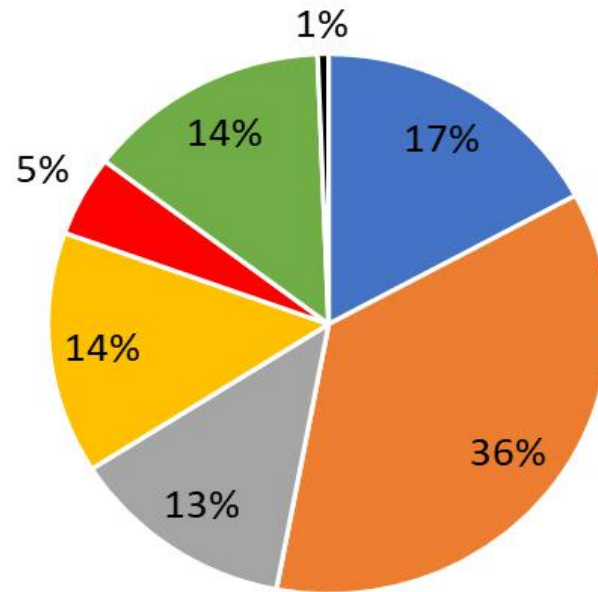
Peso de biomasa aérea por ha, krigging
A partir del inventario y las ecuaciones
Ajustadas con datos de los árboles muestra



Media: 104,4 tMS/ha, al 41,2% de humedad en base húmeda → 177,6 t verdes por ha.
Peso verde medio por árbol: 2,5 kg



Distribución de tiempos productivos (Ribeira)



- Desplazamiento (min)
- Apeo (min)
- Manejo suelo (min)
- Alimentación (min)
- Espera (min)
- Empacadora activa (min)
- Otros productivos (min)

Mucho tiempo de apeo y manejo en el suelo (49%), muy escaso de empacadora activa (14%). 5% de tiempo de espera ¿la empacadora es una máquina base demasiado cara para dedicar la mayor parte de su tiempo al apeo y apilado?

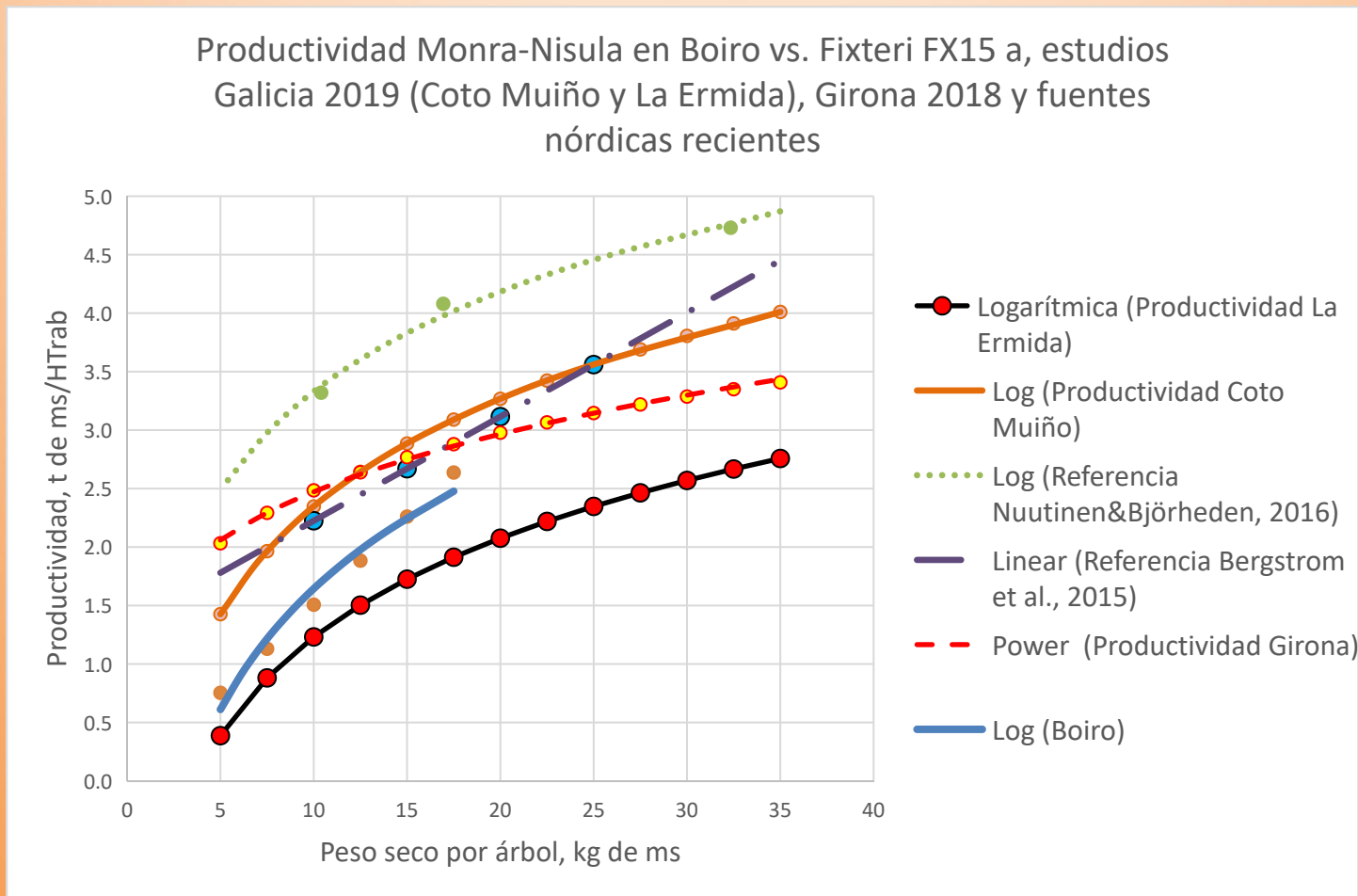
MODELOS DE PRODUCTIVIDAD (RIBEIRA): COMPARACIÓN CON OTROS

$$\text{Prod (tv/hProd)} = 0,247 \cdot P_u \text{ (kgMS/pie)}$$

R² ajustado del 21,0%, MAE = 0,49 tv/hProd.

$$\text{Prod (tv/hAct)} = 0,774 \cdot dn \text{ (cm)} - 0,000665 \cdot \text{Densidad(pies/ha)}$$

R² ajustado del 21,2%, MAE = 0,61 tv/hAct.



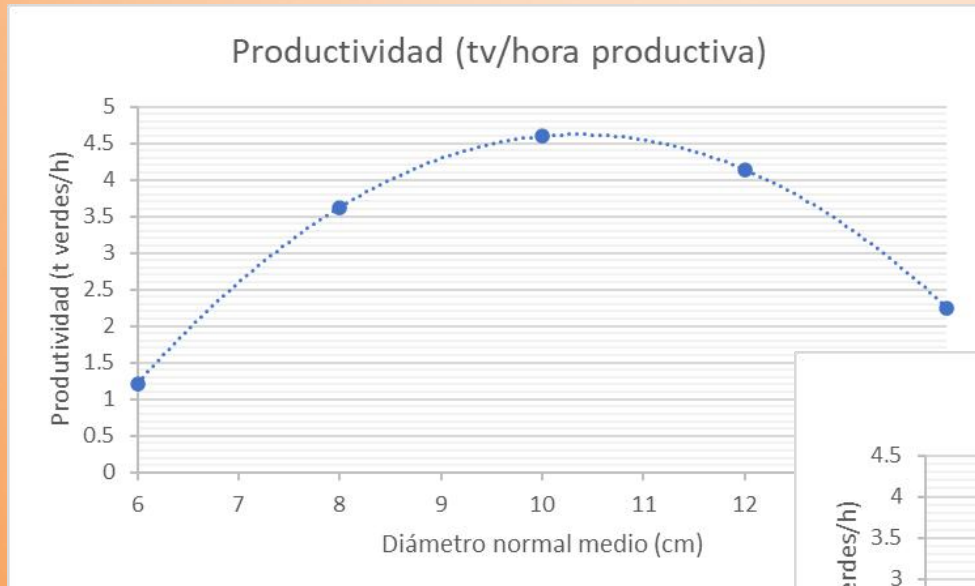
MODELOS DE PRODUCTIVIDAD: GUITIRIZ (PINAR)

$$\text{Prod (tv/hProd)} = -14,6 + 3,71 \cdot \text{dn(cm)} - 0,141 \cdot \text{dn(cm)}^2 - 3,24 \cdot \text{Ab (m}^2/\text{ha)}$$

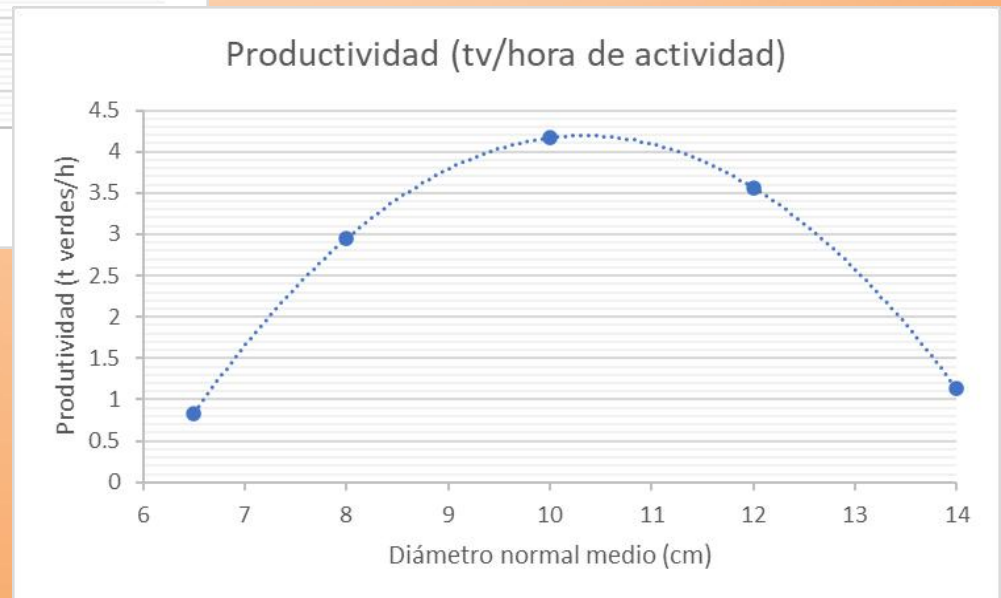
R² ajustado del 16,0%, MAE = 0,69 tv/hProd.

$$\text{Prod (tv/hProd)} = -14,6 + 3,71 \cdot \text{dn(cm)} - 0,141 \cdot \text{dn(cm)}^2 - 3,24 \cdot \text{Ab (m}^2/\text{ha)}$$

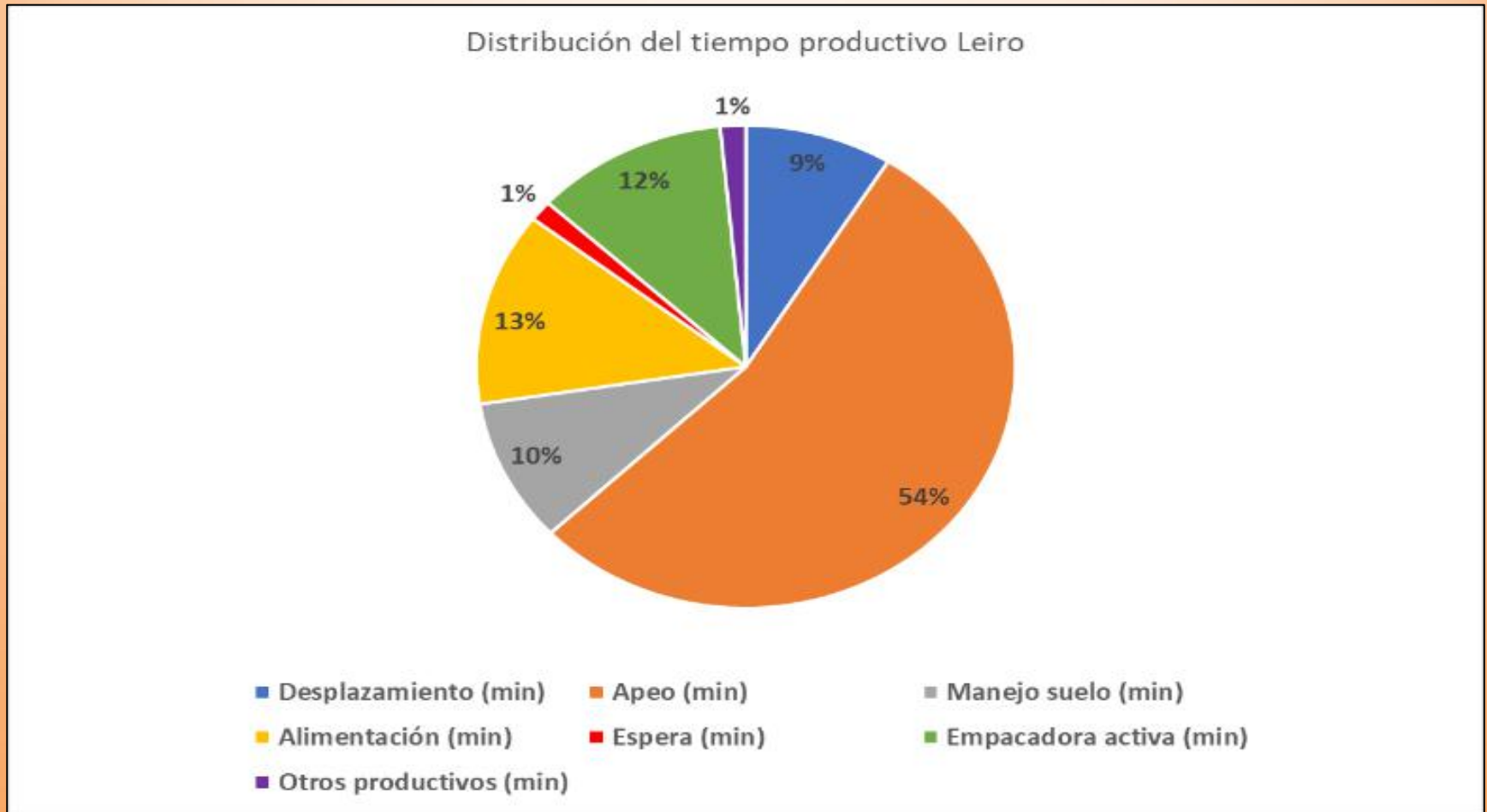
R² ajustado del 18,3%, MAE = 0,94 tv/hAct.



Representación de los modelos para densidad constante de 912 pies/ha:
El cabezal pierde productividad para diámetros “grandes”



DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS: LEIRO (ACACIAS)



Máximo tiempo de apeo y manejo en el suelo (64%), mínimo de empacadora activa (12%).

Está claro que esta tecnología de corta no se adecuaba a este tipo de masa, mucho menos con una máquina base cara como la empacadora.

MODELOS DE PRODUCTIVIDAD (LEIRO, ACACIAS)

No se pudieron ajustar, dada la escasa superficie y las muy pocas parcelas de las que obtener datos para hacer inferencia.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (I)

- El trabajo ha tenido **limitaciones importantes**, que deberían corregirse en futuros estudios, y que podrían hacer que los resultados obtenidos mejorasen notablemente, a saber:
 - **El cabezal ensayado tiene un diámetro máximo muy pequeño**, que es limitante en la práctica en muchos casos, como se puso de manifiesto en el eucaliptar y en el pinar.
 - **El montaje del cabezal fue deficiente**, se comenzaron las pruebas sin haber ensayado su operatividad y hecho los ajustes y reparaciones necesarios.
 - **El maquinista no tuvo un periodo de entrenamiento** que habría sido imprescindible para obtener resultados representativos.
- Estas lecciones aprendidas tienen como aspectos positivos que dejan un posible **margen de mejora a las productividades obtenidas**.
- **La tecnología ensayada puede ser útil en masas pequeñas no comerciales con árboles aislados de cierto tamaño a condición de montar un cabezal con mayor capacidad.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (II)

- **Salvo en masas muy pequeñas** en que el coste de transporte de dos máquinas fuera prohibitivo, el estudio de tiempos pone de manifiesto que **la máquina combinada ensayada dedica la mayor parte del tiempo al apeo mientras que el tiempo de actividad de la empacadora es reducido, lo que lastra su coste unitario.**
- Ese último hecho aconsejaría **utilizar como máquina base de la taladora apiladora una con un coste horario inferior a la empacadora (por ejemplo, una retroexcavadora ligera) y optar, salvo en montes muy pequeños, por un esquema de máquinas unifuncionales.**
- **Una posible máquina multifuncional más útil debería tener un mayor grado de automatismo en la fase de empacado, de modo que funcionase autónomamente durante el apeo y alimentación y no se redujera tanto el tiempo de utilización de la unidad de empacado, que es el elemento de trabajo más caro. En todo caso, es una tecnología inadecuada para las masas densas de acacias**



**Gracias por
vuestra atención!**

eduardo.tolosana@upm.es