



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-489

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Influencia de las variables de masa forestal en las recapturas de *Monochamus galloprovincialis*

MAS I GISBERT, H.¹, GALLEGO, D.², PASTOR, C.¹; BORDÓN, P.¹, BIEL, M.J.¹, ROVIRA, J.³, MARCO, M.³, PÉREZ-LAORGA, E.³, ETXEESTE, I.⁴

¹ Laboratori de sanitat forestal. cief. avda.comarques del país valencià, 114, 46930, quart de poblet (valència) vaersa-generalitat valenciana. hugo.mas@gmail.com

² Econex s.l. calle mayor, 15b, 30149 siscar - santomera, murcia

³ Conselleria d'agricultura, medi ambient, canvi climàtic i desenvolupament rural (generalitat valenciana)

⁴ Neiker-tecnalia arkaute, nekazal eta elikadura campusa, 01192 gasteiz, araba. inaki@goisolutions.net

Resumen

La eficacia de las trampas utilizadas para el seguimiento y control de insectos forestales depende de múltiples factores relacionados con el insecto diana, el atrayente empleado, el diseño de la trampa y estrategia de muestreo, y la ubicación y entorno del punto de muestreo. Con el objetivo de optimizar la eficacia de las trampas empleadas para muestrear *Monochamus galloprovincialis*, vector europeo del nematodo de la madera del pino, *Bursaphelenchus xylophilus*, en relación con las variables de masa, tres experimentos de marcaje-liberación-recaptura de *M. galloprovincialis* fueron realizados en la provincia de Castelló (Jérica, Altura y Atzeneta del Maestrat) entre los años 2010 y 2012. El diseño experimental común a todos los experimentos fue la colocación de un conjunto de trampas, cebadas con atrayentes, a distancias concretas alrededor de un punto fijo desde el cual fueron liberados individuos previamente marcados. Los resultados mostraron que las capturas de *M. galloprovincialis* están vinculadas a la presencia de material hospedante y que la relación entre ambos es lineal y directa, de forma que a medida que aumentan los valores de las variables de masa (densidad de pies, área basimétrica, volumen y altura dominante), aumentan también las capturas. Asimismo la colocación óptima de las trampas, de cara a maximizar el número de capturas en un rodal, debería adecuarse a una alta visibilidad y una ubicación en zonas límite de la masa..

Palabras clave

Bursaphelenchus xylophilus, trampeo, feromona, Cerambycidae

1. Introducción

Monochamus galloprovincialis (Olivier,1795), y en general todas las especies de su género, son consideradas de hábitos secundarios, colonizadoras de pinos muy debilitados y preferentemente con presencia de escolítidos (VIVES 2000). Prueba de ello es la respuesta de *M. galloprovincialis* a un compuesto caimonal emitido por el hospedador y dos compuestos de la feromona emitida por escolítidos del género *Ips* y *Orthotomicus* de acuerdo con PAJARES et al (2004) e IBEAS et al (2007), señales características de coníferas estresadas y que están siendo colonizadas por estos insectos.

El interés por el estudio del género *Monochamus* se ha incrementado significativamente en los últimos años ya que sus especies son los únicos vectores conocidos del nematodo de la madera del pino (NMP), *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhrer). El desarrollo en los últimos tiempos de un atrayente caim-feromonal muy eficaz en la captura de *M. galloprovincialis* como fruto de los trabajos de PAJARES et al (2004), IBEAS et al (2007), PAJARES et al (2010), así como el incremento de la eficacia del dispositivo de captura tras las mejoras implementadas en las trampas (ÁLVAREZ et al 2015) han permitido por un lado la realización de estudios de marcaje-liberación-recaptura de *M. galloprovincialis* que tiempo atrás habrían sido inabordables e infructuosos, pero por otro proveen a gestores e investigadores con sendas herramientas de monitorización de este insecto. Por ejemplo, la capacidad dispersiva de *M. galloprovincialis* en campo ha podido ser estimada al utilizarse estas herramientas en métodos de captura-marcado y recaptura (ETXEESTE et al 2015).

Durante el proceso de detección de la fuente de emisión de los atrayentes, la disponibilidad de señales visuales de la propia fuente de olor, la distribución aérea de olor afectada por turbulencias, el viento o los niveles de luz, entre otras variables, influyen en el éxito de los insectos en detectar, en este caso, las trampas (CARDÉ 1996). La caracterización de la influencia de estas variables puede, a su vez, ayudar a optimizar la eficiencia de los dispositivos de investigación y monitoreo de *M. galloprovincialis*.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es proporcionar información sobre la influencia de las variables de masa forestal en los vuelos y la dispersión del *M. galloprovincialis* mediante experimentos de marcaje-liberación-recaptura realizados en campo al objeto de optimizar el uso de trampas cebadas con atrayentes cairomonales.

3. Metodología

Un conjunto de 3 experimentos fueron instalados en la provincia de Castelló entre los años 2010 y 2012 (Figura 1). Los dispositivos de captura estuvieron formados por trampas cross-vane (Crosstrap®) o multi-embudo modificadas (ÁLVAREZ et al. 2015) cebadas con atrayente cairomonal-feromonal Galloprotect Plus (PAJARES et al. 2004, IBEAS et al. 2007, PAJARES et al. 2010) colgadas entre dos árboles mediante una cuerda o de ramas bajas de manera que el recipiente colector de las mismas quedase, al menos, por encima de los 50 cm del suelo y nunca por encima de los 150 cm. La renovación de los cebos se realizó cada 6 semanas.

La liberación de insectos no nativos supuso su cría en laboratorio. Ésta se realizó a partir de trozas provenientes de árboles colonizados por *M. galloprovincialis* en condiciones naturales. Las trozas fueron transportadas a laboratorio e introducidas en jaulas y bidones de cría a temperatura ambiente a la espera de la emergencia de los adultos. El marcado de los insectos fue individualizado mediante etiquetas adheridas al pronoto mediante un pegamento a base de cianoacrilato.

Experimento 2010 (Jérica, Castelló)

Se realizó en el MUP La Muela, Roquetillo y Feliciano (Jérica, Castelló) entre el 29 de mayo y el 01 de noviembre de 2010. El área de muestreo es una repoblación naturalizada de *Pinus halepensis* Mill. Se distribuyeron 16 trampas en tres círculos concéntricos alrededor de un punto de liberación (4 trampas a 100 m, 4 trampas a 250 m y 8 trampas a 500 m; Figura 2). Otras 6 trampas multi-embudo modificadas fueron colocadas fuera del área de muestreo principal a 2500 m de distancia del punto de liberación y 3 más a aproximadamente 5000 m. La frecuencia de muestreo fue semanal. Un total de 487 individuos de *M. galloprovincialis* fueron liberados en la zona de estudio desde el punto central (Figura 2), habiendo sido criados en laboratorio. Asimismo un total de 670 insectos (430♀, 240♂) capturados fueron marcados y liberados de nuevo desde el punto de liberación.

Experimento 2011 (Altura, Castelló)

Un segundo experimento se desarrolló en el MUP Las Boqueras (Altura, Castelló) entre el 15 de junio y el 20 de noviembre de 2011. La amplia zona de estudio (> 48.000 ha) estuvo dominada por rodales irregulares de *P. halepensis*, aunque pudieron encontrarse otras especies de pino, nunca en proporciones superiores al 5% del rodal. Por un lado, un total de 19 trampas se colocaron con una distribución regular al tresbolillo (disposición 3-4-5-4-3) en un rodal de pinos continuo aunque heterogéneo en su estructura de masa de aproximadamente 400 ha. Por otra parte, 17 trampas adicionales fueron instaladas en manchas de bosque con un predominio de *P. halepensis* en dos anillos concéntricos a distancias de 4 a 6 km y 10 km adaptándose la distribución de las manchas de vegetación a esas distancias (Figura 3). Un total de 1568 ejemplares de *M. galloprovincialis* fueron

liberados en la zona de estudio desde el punto central (Figura 3). Para más detalles, los procedimientos y resultados de esta experiencia se hallan redactados en ETXEBESTE et al. (2015).

Experimento 2012 (Atzeneta del Maestrat, Castelló)

Un experimento de marcaje-liberación-recaptura de *M. galloprovincialis* fue realizado en una parcela de 1,5 km por 1,5 km en el término municipal de Atzeneta del Maestrat (Castelló) en el año 2012. El paisaje del área de estudio es un fondo de valle de matriz agrícola de secano con un mosaico forestal en el cual predominan masas adultas de *P. halepensis*, formando manchas de extensión variable. El valle se encuentra flanqueado por dos elevaciones de terreno que se extienden en dirección noreste-suroeste a lo largo de más de 10 km y ocupadas por masas forestales adultas de *P. halepensis* relativamente continuas (Figura 5). En la parcela de estudio fueron colocadas un total de 16 trampas tipo Crosstrap® modificada (GALLEGO et al. 2012), dispuestas en gradilla con una separación entre trampas de 500 m. Un total de 476 individuos de laboratorio *M. galloprovincialis* fueron liberados en la zona de estudio. La liberación de los insectos inmaduros se realizó desde el punto central de la gradilla (Figura 4). Se realizó un muestreo semanal de todas las trampas.

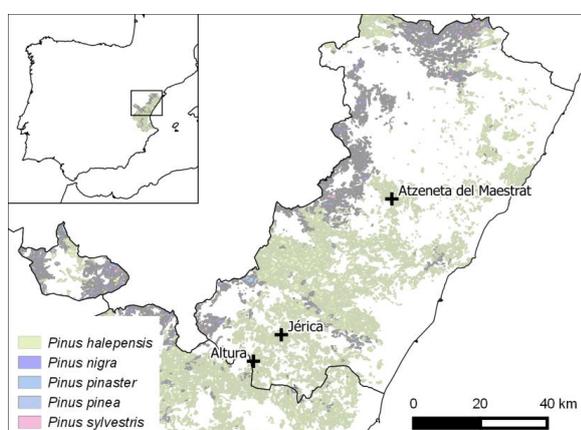


Figura 1. Localización de las diferentes áreas de estudio donde han sido realizados los experimentos: Jérica, (Exp2010), Altura (Exp2011) y Atzeneta del Maestrat (Exp2012), todos ellos en la provincia de Castelló.



Figura 2. Localización de las 16 trampas del Exp2010 en el área de muestreo principal, con el punto de liberación en el centro. Fuera de esta área fueron colocadas otras 6 trampas vigía de vuelos de larga distancia. En color verde las masas forestales de *P. halepensis* según el IFN3 (2008).

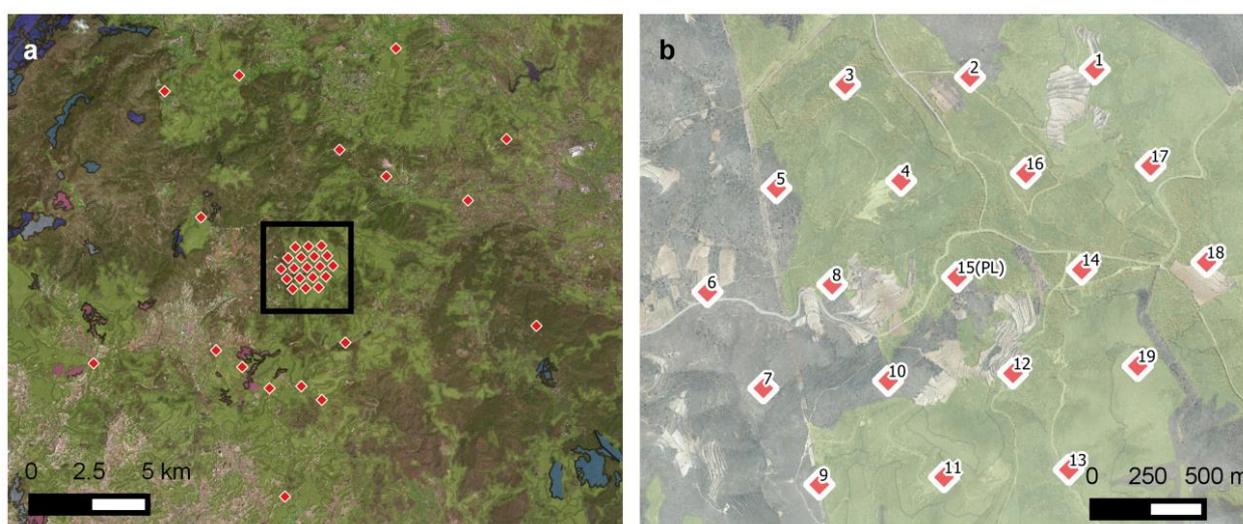


Figura 3. Localización general de las trampas del Exp2011, ubicado en Altura (Castelló) en el área de estudio total (a) y en el área central

(b), respectivamente.



Figura 4. Localización general de las trampas y el punto de liberación central en el área de estudio del Exp2012, ubicado en Atzeneta del Maestrat (Castelló).

Todos los cálculos y representaciones han sido realizados bajo el entorno de programación y lenguaje estadístico R (R CORE TEAM 2015). La influencia de las características de masa así como de otras variables sintéticas que pudieran relacionadas con la tasa de capturas de las trampas fue evaluada, de manera secuencial, para los experimentos: Exp2010, Exp2011 y Exp2012. En todos ellos, diferentes características del rodal donde fue ubicada cada una de las trampas fueron determinadas en un inventario silvícola cualitativo para cada uno de los experimentos (Tabla 1). Se aplicaron modelos lineales generalizados y se realizaron análisis de varianza para cada variable y el sexo, y para insectos nativos y capturados-liberados-recapturados. Sólo se tuvieron en cuenta los niveles de los factores que tuvieron tres o más trampas asociadas.

Tabla 1. Características de masa y variables sintéticas utilizadas en la valoración de la colocación óptima de las trampas.

Variables	Clasificación
Espesura	Trabada, Completa, Incompleta clara, Incompleta hueca, Completa en bosquetes, Incompleta en FCC
FCC	>70% (Alta), 40%-70% (Media), 10%-40% (Baja), <10% (Muy Baja)
Edad	Maduro, Joven
Estado	Diseminado, Repoblado, Monte bravo, Latizal, Fustal
Visibilidad	Buena, Regular, Mala
Topografía	Loma, Ladera, Barranco, Llano
Ubicación trampa	Dentro de masa, Límite de masa, Fuera de masa
Exposición	Solana, Umbría
Orientación	N, S, E, O
Naturalización	Naturalizado, En proceso, No naturalizado

Debido al tamaño y a la fragmentación del paisaje en el área de estudio del Exp2011, se analizó la influencia de variables de masa continuas sobre el número de capturas. Para el cálculo de las variables, se realizó un inventario LiDAR con un pixel de 25 metros a partir de los modelos de inventario LiDAR ajustados para el Monte de Utilidad Pública (V42) Dehesa del Rebollo. Para ello se utilizó la información LiDAR proveniente del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA-LiDAR) con una densidad de 0,5 puntos/m² (1 pulso LIDAR cada 2 m²) y que fue capturada en el año 2009. Para cada uno de los pixeles de 25 metros del área de estudio, a partir de la altura sobre el suelo de cada retorno de la nube de puntos LiDAR, se estimó una batería de estadísticos de estructura de la

vegetación (altura mínima, máxima, mediana, media, desviaciones típicas, percentiles de alturas, estadísticos de dispersión, etc.). Se definió una altura sobre el suelo de 2 metros para diferenciar los retornos LiDAR correspondientes a vegetación arbórea de los estratos inferiores (matorral o estrato de regeneración). Los estadísticos estimados permitieron describir la estructura de la vegetación de forma continua en la superficie del territorio y se mostró su relación con las principales variables de masa forestal. La fracción de cabida cubierta del LiDAR (LFCC) se definió para cada pixel como el porcentaje de primeros retornos por encima de 2 m. Los modelos LiDAR utilizados permitieron estimar, a partir de los estadísticos de estructura de la vegetación del LiDAR, las siguientes variables de masa: i) número de pies (N), área basimétrica (G), diámetro cuadrático medio (Dg), altura dominante (Ho), volumen con Corteza (VCC), incremento en Volumen (IAVC) y Biomasa aérea (W). Los modelos utilizados fueron potenciales y multivariados, ajustados con el método de mínimos cuadrados ordinarios a partir de la linealización de los modelos aplicando logaritmos a ambos lados (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del sesgo, error absoluto medio (eam) y error cuadrático medio (ecm) para los valores absolutos y relativos obtenidos en el ajuste de los modelos aplicados al área de estudio.

Estrato	Variable	promedio	sesgo	Sesgo relativo (%)	eam	eam relativo (%)	ecm	ecm relativo (%)
Pinus halepensis	Ho	12,90	0,90	7,00	1,70	13,50	2,20	17,10
	N	237,60	18,20	7,70	73,40	30,90	107,50	45,30
	G	10,30	-0,20	2,20	1,80	17,90	2,60	25,00
	V	45,40	-0,20	0,50	10,00	22,00	13,20	29,00
	IAVC	1,30	0,00	0,30	0,30	26,80	0,40	35,30
	W	23,00	-0,10	0,40	5,00	21,80	7,10	31,00

Los promedios de cada variable de masa fueron obtenidos de la superficie contenida en un radio de 500 m alrededor de la trampa, como aproximación al área de muestreo efectivo (*sampling effective area*) establecido para estos dispositivos de trampeo por ETXEBESTE et al (2015). Asimismo, para incluir también la competencia entre los pies de la masa como variable analizada, fue utilizado el índice de Hart (RUIZ-PEINADO et al 2001). El procesado espacial general de todos los datos fue realizado utilizando el programa Quantum - GIS 2.10.1-Pisa.

4. Resultados

Influencia de las variables de masa forestal

Año 2010. Exp2010

En el experimento Exp2010 (Jérica, Castelló) se capturaron un total de 1228 *M. galloprovincialis*, de los cuales 1141 lo fueron en una única ocasión. La proporción de sexos total en las trampas fue 0,81 machos por hembra (Figura 5)

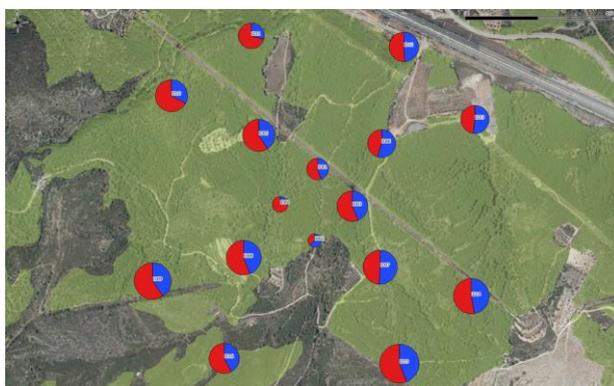


Figura 5. Capturas totales de *M. galloprovincialis* por trampa discriminadas por sexo (en rojo las hembras, en azul los machos) en el área de estudio del Exp2010

Los resultados de los análisis realizados en el año 2010 (Exp2010) no mostraron correlación entre las capturas de insectos nativos y las recapturas de insectos capturados-marcados-liberados totales por trampa ($\rho = 0,25$, $p = 0,342$). Respecto a la captura de insectos nativos se observó efecto de las siguientes variables cualitativas sobre el número de capturas: Espesura ($F_{2,12} 5,64$, $p = 0,019$), mostrando más capturas la espesura incompleta en bosquetes; Visibilidad de la trampa ($F_{2,28} 4,04$, $p = 0,029$), se obtuvieron más capturas en las trampas más visibles; Orientación ($F_{1,22} 5,95$, $p = 0,023$), se capturó un mayor número de insectos a orientación norte que a orientación “todas direcciones”; y ubicación relativa de la trampa con respecto a la masa forestal ($F_{1,27} 23,37$, $p < 0,05$), las trampas colocadas en el límite de la masa mostraron mayor número de capturas que las colocadas en el interior. No se observó efecto significativo de las variables Cobertura y Topografía. El estado de la masa no pudo ser evaluado por poca representatividad en el muestreo. Respecto a las recapturas, no se observó efecto significativo de ninguna variable sobre la recaptura de las trampas.

Año 2011. Exp2011

En el Experimento Exp2011 (Altura, Castelló) se capturaron 1835 *M. galloprovincialis*, de los cuales 135 lo fueron en una única ocasión. La proporción de sexos total en las trampas fue 0,66 machos por hembra (Figura 6).



Figura 6. Capturas de *M. galloprovincialis* nativos por trampa en Altura (Castelló) en el año 2011 (Exp2011). En rojo la proporción de hembras y en azul la proporción de machos. El tamaño del círculo es mayor a mayor número de capturas

Los resultados del experimento realizado en 2011 (Exp2011) mostraron una correlación $\rho = 0,62$, con probabilidad 0,004, entre las capturas y las recapturas totales por trampa. En dicho experimento, respecto a la captura de insectos nativos, se observó efecto significativo de las siguientes variables cualitativas sobre el número de capturas: cobertura: la cobertura alta (FCC > 70%) mostró mayores capturas que la cobertura entre 40-70% de FCC ($F_{1,27} 4,9$, $p = 0,035$); espesura: la espesura completa mostró mayores capturas ($F_{3,33} 4,36$, $p = 0,011$), visibilidad de la trampa: las trampas colocadas bajo dosel arbóreo mostraron significativamente mayores capturas ($F_{1,31} 12,98$, $p = 0,001$); ubicación relativa de las trampas: las trampas colocadas en el interior de las masas capturaron significativamente un mayor número de insectos ($F_{1,31} 7,0$, $p = 0,013$); estado de la masa: los fustales mostraron un mayor número de capturas que los latizales ($F_{1,31} 6,05$, $p = 0,019$); edad: Los rodales maduros mostraron mayores capturas que los jóvenes ($F_{1,35} 5,02$, $p = 0,032$). El resto de variables analizadas (orientación y topografía) no mostraron efectos significativos sobre el número de capturas. En los análisis realizados para los insectos recapturados, aunque se detectaron patrones muy similares a los descritos para los insectos nativos, no se observó efecto significativo de ninguna de las variables analizadas, probablemente como consecuencia del menor tamaño de la muestra. Los análisis de las variables de masa continuas obtenidas del inventario LIDAR mostraron altas correlaciones con el número de capturas de insectos nativos (Tabla)

Tabla 3. Matriz de correlaciones de las variables de masa obtenidas mediante inventario LiDAR (LFCC, fracción de cabida cubierta; Ho, altura dominante; G, área basimétrica y V, volumen) y el número de capturas (Mongal).

	Mongal	MEANLFCC	SUMLFCC	MEANHo	SUMHo	MEANG	SUMG	MEANV	SUMV
Mongal	1	0,66	0,66	0,69	0,69	0,69	0,69	0,66	0,66
MEANLFCC	0,67	1	1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97
SUMLFCC	0,67	1	1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97
MEANHo	0,69	0,97	0,97	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
SUMHo	0,69	0,97	0,97	0,99	1	0,99	0,99	0,99	0,99
MEANG	0,69	0,98	0,98	0,99	0,99	1	1	0,99	0,99
SUMG	0,69	0,98	0,98	0,99	0,99	1	1	0,99	0,99
MEANV	0,66	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1	1
SUMV	0,66	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1	1

Como ejemplo, en la Figura 7 se muestra la relación lineal existente entre número de capturas y la fracción de cabida cubierta (FCC) así como la altura dominante (Ho).

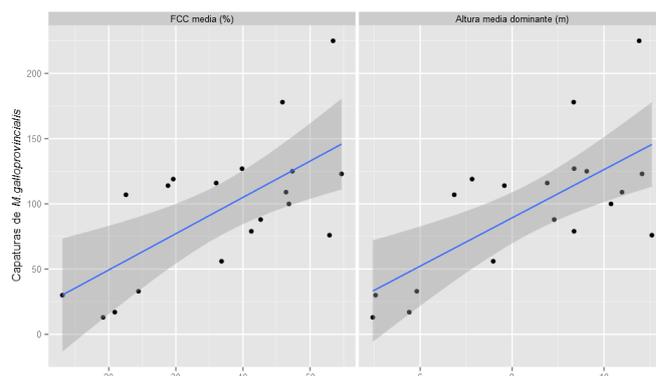


Figura 7. Representación gráfica de la relación entre la captura de *M. galloprovincialis* y las variables fracción de cabida cubierta (FCC) y altura dominante (Ho) obtenidas de inventario LiDAR en el ensayo realizado en Altura (Castelló) en 2011 (Exp2011).

En las Figura 8 y Figura 9, pueden observarse las variables tomadas de referencia para el ajuste de un modelo (Ho y FCC) representadas en el área de estudio junto a la localización de las trampas.

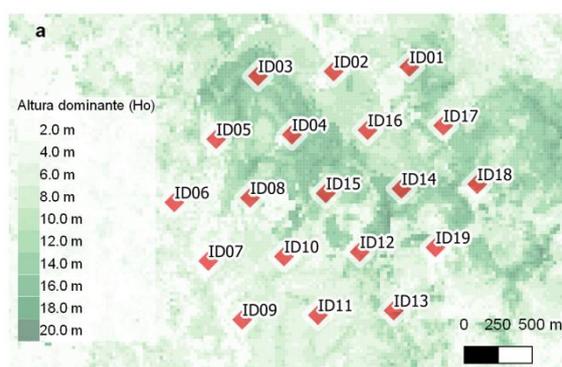


Figura 8. Representación gráfica de las alturas dominantes (Ho) en el área de estudio (mayor altura representada con mayor intensidad de color).

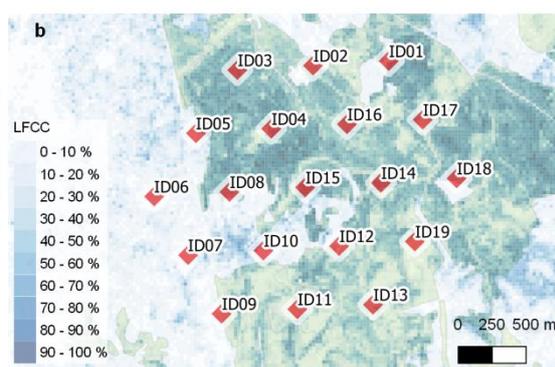


Figura 9. Representación gráfica de la fracción de cabida cubierta (LFCC) en el área de estudio (mayor cobertura representada con mayor intensidad de color).

Asimismo también fue posible observar altas correlaciones significativas entre dichas variables y el número de recapturas (Tabla).

Tabla 4. Matriz de correlaciones de las variables de masa obtenidas mediante inventario LiDAR (LFCC, fracción de cabida cubierta; Ho, altura dominante; G, área basimétrica y V, volumen) y el número de recapturas de *M. galloprovincialis* (Recapts).

	Recapts	MEANLFCC	SUMLFCC	MEANHo	SUMHo	MEANG	SUMG	MEANV
Recapts	1	0,62	0,62	0,65	0,65	0,65	0,64	0,61
MEANLFCC	0,62	1	1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97
SUMLFCC	0,62	1	1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97
MEANHo	0,65	0,97	0,97	1	1	0,99	0,99	0,99
SUMHo	0,65	0,97	0,97	0,99	1	0,99	0,99	0,99
MEANG	0,65	0,98	0,98	0,99	0,99	1	1	0,99
SUMG	0,65	0,98	0,98	0,99	0,99	1	1	0,99
MEANV	0,62	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1
SUMV	0,61	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1

Los modelos ajustados (Figura 0) también mostraron una relación lineal entre el aumento del número de recapturas y el aumento de la fracción de cabida cubierta (FCC) así como el de la altura dominante (Ho), como ya sucedió con respecto al número de capturas. También fue estudiada la relación entre el número de capturas y la competencia, expresada a través del índice de competencia de Hart para *P. halepensis* en la península ibérica (MONTERO et al. 2000). El modelo ajustado mostró una relación lineal entre el aumento de capturas y la disminución del índice de competencia de Hart ($t = -4,635$, $p < 0,05$) (Figura 1)

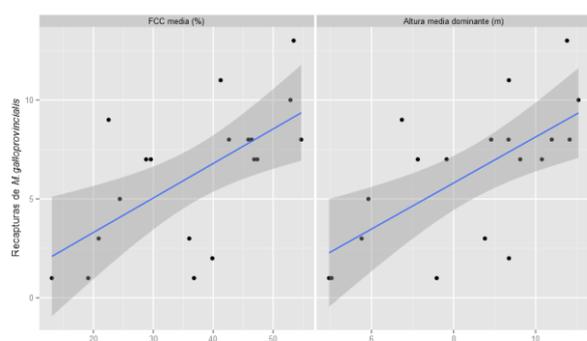


Figura 10. Representación gráfica de la relación entre las recapturas de *M. galloprovincialis* y las variables fracción de cabida cubierta (FCC) y altura dominante (Ho) obtenidas de inventario LiDAR en el ensayo realizado en Altura (Castelló) en 2011 (Exp2011).

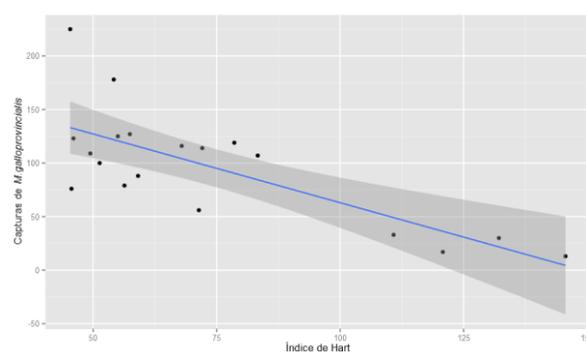


Figura 11. Representación gráfica de la relación entre las capturas de *M. galloprovincialis* y el Índice de Hart, calculado sobre variables obtenidas de inventario LiDAR en el ensayo realizado en Altura (Castelló) en 2011 (Exp2011).

Año 2012. Exp2012

En el experimento Exp2012 (Atzeneta del Maestrat, Castelló) se capturaron un total de 1547 *M. galloprovincialis* nativos. Un total de 85 insectos fueron recapturados de los 476 inmaduros liberados. La sex-ratio total en las trampas fue de 1,17 machos por cada hembra. Respecto a la captura de insectos nativos (

Figura 2), se repiten los mismos patrones de efecto de las variables sobre las capturas observados en 2011. En resumen puede constatarse efecto significativo, fundamentalmente, de la ubicación de la trampa dentro o fuera de los parches de vegetación ($F_{2, 28} 28,23$, $p < 0,05$) y, consecuentemente, de todas las variables vinculadas a la presencia de pinar en el área de estudio, es decir, máximas capturas en: coberturas altas, mayores al 70% ($F_{1, 27} 19,4$, $p < 0,05$); espesuras completas ($F_{1, 24} 27,57$, $p < 0,05$), y ubicación de la trampa en el interior de la masa ($F_{1, 28} 21,31$, $p < 0,05$), así como de la orientación Oeste ($F_{1, 29} 38,9$, $p < 0,05$) y la ubicación topográfica en ladera frente a llano ($F_{1, 29} 38,9$, $p < 0,05$). Sin embargo, el efecto observado no fue significativo en el caso de la visibilidad de la trampa (sin tener en cuenta las trampas ubicadas fuera de la masa forestal que, naturalmente, siempre son visibles). A modo de resumen, la relación del porcentaje de superficie ocupada por masa forestal en los 500 m alrededor de cada trampa con el número de capturas obtenido también mostró una correlación significativa ($R=0,94$, $p < 0,001$). Los resultados de los análisis no mostraron correlación significativa entre las capturas de insectos nativos y las recapturas de insectos criados-marcados-liberados totales por trampa ($\rho = 0,09$, $p = 0,747$).

En los análisis realizados para los insectos criados en laboratorio, liberados y recapturados, no se observó efecto significativo de ninguna de las variables analizadas, la presencia de masa forestal alrededor de la trampa no influyó significativamente en el número de recapturas ($R=0,08$, $P=0,768$). No obstante el 79% de las recapturas se dio exclusivamente en dos trampas, ubicadas ambas en la masa forestal más cercana al punto de liberación, aproximadamente a 250 m de distancia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3**).

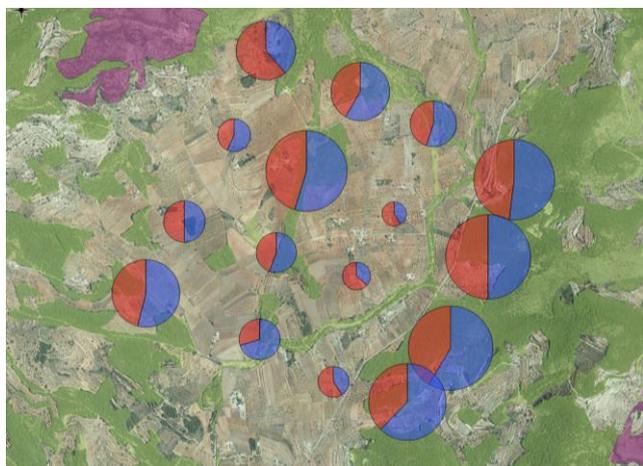


Figura 12. Capturas de *M. galloprovincialis* nativos por trampa en Atzeneta del Maestrat (Castelló) en el año 2012 (Exp2012). En rojo la proporción de hembras y en azul la proporción de machos. El tamaño del círculo es mayor a mayor número de capturas.



Figura 13. Capturas por trampa de *M. galloprovincialis* inmaduros y liberados en la zona de estudio (Altura, Castelló) en el año 2012 (Exp2012). El tamaño del círculo es mayor a mayor número de capturas.

5. Discusión

Los análisis de las variables discretas (cobertura, espesura, estado, edad, visibilidad de la trampa, ubicación, topografía u orientación) en el año 2010 (Exp2010) muestran, fundamentalmente, correlaciones de las capturas máximas con la espesura incompleta por bosquetes, con la alta visibilidad de las trampas y con la ubicación de éstas en el límite de las masas forestales. El hecho de que la zona de estudio sea una masa continua y que los promedios de las capturas de insectos nativos fueran similares en todas las trampas (Figura 5), permite interpretar que las variables correlacionadas con los máximos de capturas representan razonablemente bien los criterios básicos para la optimización de las capturas de *M. galloprovincialis* mediante el trampeo en una misma zona de muestreo, y que, en definitiva, la colocación óptima de las trampas, para maximizar el número de capturas de un rodal, debería adecuarse a una alta visibilidad y una ubicación en zonas límite de la masa. Las máximas capturas en espesuras incompletas en bosquetes parecen reforzar esta misma idea.

En 2011 (Exp2011), sin embargo, el área muestreada fue considerablemente más extensa y más fragmentada que en 2010, y en ella fue posible observar rodales bien diferenciados con estructura de masa muy diferente: desde zonas absolutamente despobladas hasta fustales maduros con espesura completa (Figura 6). El análisis de la relación entre dichas variables de masa y el número de capturas de insectos nativos por trampa muestra correlaciones de capturas máximas con: coberturas altas ($FCC > 70\%$), espesuras completas, baja visibilidad de las trampas, ubicación de éstas en interior de la masa, rodales maduros y fustales (frente a latizales). Estos resultados, aunque en aparente contradicción con los obtenidos en 2010, representan un enfoque diferente, realizado a mayor escala y, por tanto, complementan los análisis previos para explicar con mayor detalle la presencia y las capturas de *M. galloprovincialis* en campo. Al tratarse de una superficie mayor y con alta diversidad en su estructura forestal, los resultados obtenidos indican preliminarmente que los lugares, dentro de un paisaje claramente fragmentado, en los que es más probable encontrar altas

poblaciones de *M. galloprovincialis* son las masas forestales maduras y densas, lo cual parece estar relacionado, obviamente, con la presencia de material hospedante para la alimentación y la reproducción de *M. galloprovincialis*.

En efecto, en consonancia con lo expuesto, un análisis más detallado de la correlación de las capturas con las diferentes variables de masa, pero tomando esta vez variables continuas obtenidas mediante un inventario LiDAR, y asumiendo un radio de acción de las trampas de 535 m de promedio (ETXEBESTE et al 2015), mostró relaciones lineales y altas correlaciones (Tabla 3) entre las capturas y las diferentes variables: densidad de pies, altura dominante, área basimétrica, fracción de cubida cubierta y volumen (Figura 7). Esto parece corroborar que, efectivamente, la presencia de *M. galloprovincialis* en el territorio está vinculada a la presencia de material hospedante y que la relación entre ambos es lineal y directa, de forma que a medida que aumentan los valores de las variables de masa, aumentan también las capturas de *M. galloprovincialis*.

En el año 2012, se avanzó un paso más allá en el estudio de la fragmentación del paisaje y el ensayo fue realizado en un mosaico agrícola-forestal, absolutamente fragmentado, con zonas completamente desprovistas de pino y manchas de pinar de dimensiones variables esparcidas por el área de muestreo. En este caso, la variable fundamentalmente correlacionada con la captura de *M. galloprovincialis* es la presencia de material hospedante en el lugar de colocación de la trampa, es decir, si ésta ha sido ubicada en una masa forestal o fuera de ella, y cuál es el porcentaje de masa forestal en el entorno de las mismas. Las mismas correlaciones observadas en el ensayo anterior (Exp2011) son corroboradas aquí de nuevo aunque aparecen algunos matices que pueden ser explicados: la influencia significativa de la orientación o la topografía se debe a que, como puede observarse en las Figura 8 y 9, dentro del área de estudio, la única zona de pinar relativamente continuo y extenso está ubicada en la elevación de terreno que existe al este de la parcela de estudio, y en esa zona las trampas están ubicadas en una ladera con orientación oeste, mientras que el resto de ellas se ubican en el llano contiguo, por lo que estas dos variables están correlacionadas con la presencia de masa forestal. Por otro lado, la alta correlación entre el porcentaje de masa forestal de la superficie englobada en un radio de 500 m alrededor de la trampa y el número de capturas avala la necesidad de acometer estudios dirigidos a analizar el efecto de la fragmentación del paisaje en la densidad de *M. galloprovincialis*.

Nuestros resultados parecen mostrar que, no sólo la cobertura de pinar de las diferentes regiones, sino también la fragmentación del paisaje, pueden tener grandes implicaciones en las densidades de población locales de *M. galloprovincialis* y, consecuentemente, en las estrategias de control de la enfermedad en Europa, a través, principalmente, de unos análisis de riesgo ajustados. De hecho, es paradigmático el caso de Bélgica, donde el muestreo de 100 trampas sobre 30500 km² sólo ha capturado 7 *Monochamus* adultos lo largo de 3 años (J.C. Grégoire, Com. Pers.), lo cual parece estar relacionado, también, con la cobertura local de coníferas. En este sentido, se avala la necesidad de acometer estudios a escala europea con el objetivo de tratar de relacionar la abundancia de *Monochamus* spp. con las características del paisaje, tales como la cobertura local de pino o de otras coníferas, la edad de los rodales, la densidad, el estado sanitario, la fragmentación, etc. y, definitivamente, la resistencia del paisaje y la conectividad.

La propia biología del insecto está, naturalmente, relacionada con estos resultados en la medida en que *M. galloprovincialis* es considerada una plaga secundaria que coloniza árboles recién muertos o moribundos (VIVES 2000). La alta competencia entre los pies de una masa forestal está directamente relacionada con la falta de vigor, la debilidad del arbolado y, finalmente, la muerte de ejemplares. Diversos índices de competencia, utilizados en gestión forestal para la programación de las claras (Índice de Har-Becking, Reineke), pueden servir de indicadores de la aparición de pies debilitados o muertos en las masas forestales por excesiva competencia, y suponer una aproximación más completa y directa de la presencia de material hospedante para *M. galloprovincialis* que las variables de masa, en la medida en que estos índices integran varias de ellas en sus expresiones

(RUIZ-PEINADO et al 2001). Los análisis de la relación entre el número de capturas y el índice de Hart (S) muestran, efectivamente, una relación lineal inversa entre ambas variables, de forma que a menores valores del índice (mayor competencia) las capturas de *M. galloprovincialis* son mayores. No obstante, el índice de Hart adecuado para el mantenimiento de una masa forestal en el estado adecuado de competencia de forma que se minimice la debilidad provocada por ésta en el arbolado depende de la calidad de estación y de la edad (RUIZ-PEINADO et al 2001) por lo que no es posible dar un valor genérico que minimice la abundancia de *M. galloprovincialis*.

Las tablas de producción proporcionadas por RUIZ-PEINADO et al (2001) para *P. halepensis* en la península ibérica muestran un rango de valores del índice de Hart entre 30 y 51 para diferentes calidades de estación, siendo mayores los valores para calidades de estación bajas. Dentro de ese intervalo se dan, precisamente, los máximos de capturas en nuestro ensayo (Figura 11), nuestros resultados parecen indicar que las calidades de estación más altas de los pinares de *P. halepensis* de la península ibérica van a estar correlacionadas con abundancias elevadas de *M. galloprovincialis* mientras que son esperables índices de Hart mayores en las calidades de estación inferiores (no productivas) y, por tanto, menores abundancias del insecto.

En términos generales, nuestros resultados parecen abrir la puerta a que, desde la perspectiva del control de la enfermedad, puedan ser planteados modelos de gestión enfocados a llevar a las masas forestales hacia estructuras de baja densidad y baja competencia con el objetivo de minimizar la abundancia del vector allá donde fuere necesario. Por último, aparte de lo discutido hasta aquí, merece la pena mencionar que los análisis del Exp2012 ofrecen un sorprendente resultado: la proporción de sexos total en los insectos nativos capturados está sesgada a favor de los machos, y este sesgo es contrario a todas las observaciones realizadas en los estudios acometidos hasta la fecha (HERNÁNDEZ et al 2011, GALLEGO et al 2012, ETXEBESTE et al 2015, SANCHEZ-HUSILLOS et al 2015). Puesto que la feromona utilizada en los dispositivos de captura es segregada por los machos (PAJARES et al 2010), es esperable que, aunque captura individuos de ambos sexos, la proporción de los mismos muestre un sesgo favorable a las hembras, como ha sido constatado hasta la fecha en un gran número de experimentos. La explicación a esta observación podría estar en el carácter pionero de los machos en la búsqueda de nuevos entornos (MORBAY & YDENBERG 2001), lo cual sería coherente con una mayor presencia de este sexo en las zonas muy fragmentadas.

En resumen, el análisis de la influencia de la estructura de la masa en la captura de *M. galloprovincialis* a lo largo de estos tres ensayos secuenciales muestra que, en primer lugar, la abundancia de *M. galloprovincialis* está relacionada significativamente con la abundancia de material hospedante, de manera que el insecto está presente fundamentalmente dentro de las masas forestales, y que esta abundancia es mayor a medida que aumentan las diferentes variables de la masa (densidad de pies, área basimétrica, volumen y altura dominante). Los resultados muestran también que existe una relación lineal inversa entre el índice de competencia de Hart y la abundancia de *M. galloprovincialis*, por lo que el aumento de competencia dentro de las masas también está relacionado con el aumento de la abundancia del insecto. También la fragmentación del paisaje puede influir en la abundancia de *M. galloprovincialis* así como en la proporción de sexos presentes en las manchas de vegetación. Y en segundo lugar, los resultados muestran que, a igualdad de condiciones de abundancia de *M. galloprovincialis*, las trampas serán más eficientes en la captura si son colocadas en zonas visibles y en el límite de las masas objeto de muestreo.

6. Conclusiones

Existe una correlación directa entre las variables de masa (Área Basimétrica, Densidad, Volumen, etc.) que definen los rodales de material hospedante y la captura de *M. galloprovincialis*. Las capturas de *M. galloprovincialis* están también relacionadas con la ubicación de las trampas, optimizándose en posiciones de borde de masa y en zonas visibles.

7. Agradecimientos

A Gloria Romero y Pau Ferrer, Agentes Medioambientales Salvador, Miguel Ángel, Papapi y León, al personal del CIEF, especialmente, Vicent, Jesu e Isidre.

8. Bibliografía

ÁLVAREZ, G., I. ETXEBESTE, D. GALLEGRO, G. DAVID, L. BONIFACIO, H. JACTEL, E. SOUSA y J. A. PAJARES (2015). Optimization of traps for live trapping of Pine Wood Nematode vector *Monochamus galloprovincialis*. *Journal of Applied Entomology* **139**(8): 618-626.

CARDÉ, R. T. (1996). Odour plumes and odour-mediated flight in insects. *Olfaction in mosquito-host interactions* 200: 54-70.

ETXEBESTE, I., E. SANCHEZ-HUSILLOS, G. ÁLVAREZ, H. MAS I GISBERT y J. PAJARES (2015). Dispersal of *Monochamus galloprovincialis* (Col.: Cerambycidae) as recorded by mark-release recapture using pheromone traps. *Journal of Applied Entomology*: In press.

GALLEGO, D., F. SANCHEZ-GARCÍA, H. MAS, M. CAMPO y J. L. L. GUTIÉRREZ (2012). Estudio de la capacidad de vuelo a larga distancia de "*Monochamus galloprovincialis*"(Olivier 1795).(Coleoptera: Cerambycidae) en un mosaico agro-forestal. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas* **38**(1): 109-124.

HERNÁNDEZ, R., A. ORTIZ, V. PÉREZ, J. GIL y G. SÁNCHEZ (2011). " *Monochamus galloprovincialis*"(Olivier, 1795)(Coleoptera: Cerambycidae), comportamiento y distancias de vuelo. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas* **37**(1): 79-96.

IBEAS, F., D. GALLEGRO, J. DIEZ y J. PAJARES (2007). An operative kairomonal lure for managing pine sawyer beetle *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerymbyidae). *Journal of Applied Entomology* **131**(1): 13-20.

MAS, HUGO (2015). Fenología y capacidad de dispersión de *Monochamus galloprovincialis* (Olivier 1795) en la Península Ibérica = Phenology and dispersal ability of *Monochamus galloprovincialis* (Olivier 1795) at Iberian Peninsula. Tesis (Doctoral). Doctorado en Ingeniería de Montes PhD. Universidad Politécnica de Madrid, 247.

MONTERO, G., GRAU, J. M., PEINADO, R. R., ORTEGA, C., & CANELLAS, I. (2000). Tablas de producción para *Pinus halepensis* Mill. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 10.

MORBEY, Y. E. y R. C. YDENBERG (2001). Protandrous arrival timing to breeding areas: a review.

PAJARES, J. A., G. ALVAREZ, F. IBEAS, D. GALLEGRO, D. R. HALL y D. I. FARMAN (2010). Identification and field activity of a male-produced aggregation pheromone in the pine sawyer beetle, *Monochamus galloprovincialis*. *Journal of Chemical Ecology* **36**(6): 570-583.

PAJARES, J. A., F. IBEAS, J. J. DIEZ y D. GALLEGRO (2004). Attractive responses by *Monochamus galloprovincialis* (Col., Cerambycidae) to host and bark beetle semiochemicals. *Journal of Applied Entomology* **128**(9-10): 633-638.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

RUIZ-PEINADO, R., G. M. GONZÁLEZ y I. C. R. DE VIÑAS (2001). Growth and yield models for *Pinus halepensis* Mill. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* **10**(1): 179-201.

SANCHEZ-HUSILLOS, E., I. ETXEBESTE y J. PAJARES (2015a). Effectiveness of mass trapping in the reduction of *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Col.: Cerambycidae) populations. *Journal of Applied Entomology*.

VIVES (2000). Insecta, Coleoptera, Cerambycidae. *Serie Fauna Ibérica. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid.* 12.