



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-505

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 la altitud y la temperatura en las capturas de *Monochamus galloprovincialis*

GONZÁLEZ ROSA, E.¹, MAS I GISBERT, H.², GALLEGO, D.³, SÁNCHEZ, G.⁴, JEREZ DE LA VEGA, M.⁵, DONÉS, J.⁶, ETXEBESTE, I.⁷

¹. Silco S.L. C. Escalinata, 12 B, esc 3, 2 D, 28440, Guadarrama (Madrid).

². Laboratori de Sanitat Forestal. Cief. Avda.Comarques Del País Valencià, 114, 46930, Quart De Poblet (València) Vaersa-Generalitat Valenciana. Hugo.Mas@Gmail.Com

³. Econex S.L. Calle Mayor, 15B, 30149 Siscar - Santomera, Murcia

⁴. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

⁵. Delegación Territorial de Segovia. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.

⁶. Centro Montes y Aserradero de Valsaín. Organismo Autónomo parques nacionales. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

⁷. Neiker-Tecnalia Arkaute, Nekazal eta Elikadura Campusa, 01192 Gasteiz, Araba. inaki@goisolutions.net

Resumen

La temperatura es uno de los factores principales que regula el desarrollo de los insectos. El conocimiento de la fenología de aquellos organismos que afectan a los bosques es a su vez de vital importancia para la elaboración de programas óptimos de gestión forestal. Un total de 3 experimentos han servido para el estudio de la relación de la temperatura y la altitud con la captura de *Monochamus galloprovincialis*, vector europeo del nematodo de la madera del pino, *Bursaphelenchus xylophilus*. Durante los años 2011, 2012 y 2013 un conjunto de trampas fue instalado en la Sierra de Guadarrama abarcando un gradiente altitudinal y las orientaciones Norte y Sur del Sistema Central peninsular, las vertientes. La zona muestreada cubrió una masa natural adulta de *Pinus sylvestris*. Los resultados mostraron que existe una influencia de una variable sintética como la altitud en la población de *M. galloprovincialis*, de forma que a partir de 1350 msnm las capturas decrecen y el periodo de vuelo se acorta por ambos flancos. Asimismo, el inicio de su periodo de vuelo está correlacionado con los primeros periodos en los meses de mayo o junio durante los cuales la media de las temperaturas supera los 14-15°C.

Palabras clave

Bursaphelenchus xylophilus, fenología, umbral térmico, rango altitudinal.

1. Introducción

Monochamus galloprovincialis (Olivier), es el vector europeo del Nematodo de la Madera del Pino (NMP), *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Bühner), causante de la Enfermedad del Marchitamiento del Pino (*Pine Wilt Disease*, PWD).

La temperatura es la variable ambiental que más condiciona la ontogenia y fenología de los seres vivos, y particularmente la de los insectos, que, al ser organismos poiquiloterms, son afectados directamente por las fluctuaciones de la temperatura ambiental (GILBERT y RAWORTH 1996, GILLOOLY et al. 2002). En este sentido, aunque hay diversos estudios que evalúan cómo afecta la temperatura al desarrollo larvario de *M. galloprovincialis* (KOUTROUMPA et al. 2008, NAVES y DE SOUSA 2009), no se conoce con suficiente profundidad la incidencia de ésta sobre el periodo de vuelo del insecto adulto. En consecuencia, tampoco se conoce detalladamente la influencia de variables ambientales complejas, como la altitud, en la supervivencia o en el establecimiento de sus poblaciones en zonas de alta montaña. El trabajo publicado recientemente por HARAN et al. (2015) muestra que, en Pirineos, a altitudes superiores a los 1590 msnm y con mínimas medias en invierno por debajo de los -7°C, las poblaciones de *M. galloprovincialis* son tan bajas que estos valores ambientales pueden ser propuestos como límite de distribución de la especie.

En efecto, algunos autores han estudiado la influencia de la temperatura en el desarrollo larvario de *M. galloprovincialis* (KOUTROUMPA et al. 2008, NAVES y DE SOUSA 2009), basándose en

modelos de acumulación de calor que vinculan los requerimientos térmicos a la finalización de un periodo de dormancia invernal. Sin embargo, otros estudios sugieren que la temperatura del otoño e invierno posteriores a la ovoposición también podrían influir en este desarrollo provocando adelantos o retrasos en la fenología de las emergencias de los insectos (GALLINAT et al. 2015, MAS 2016). En consonancia con esta sugerencia, HARAN et al. (2015) propusieron la media de las temperaturas mínimas de los meses de invierno como variable relacionada con la supervivencia y la capacidad de dispersión de *M. galloprovincialis* en zonas frías. Hay que tener en cuenta que este parámetro puede afectar a las larvas de un insecto cuyo desarrollo se expande desde el verano hasta la primavera del año siguiente, incluso llegando a tener ciclos semivoltinos en las zonas más frías de su amplia distribución geográfica (TOMMINEN 1993).

Por otro lado, en la zona afectada por el *B. xylophilus* en Portugal, existen masas importantes de *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus pinea* L., y algunos pies dispersos de *P. halepensis* Miller. Sin embargo, *P. pinaster* ha sido el principal afectado por la enfermedad. Además *P. pinaster* está considerado el hospedador local más importante para *M. galloprovincialis*. Esta especie de pino ocupa casi un millón de hectáreas en Portugal, alrededor del 30% de la superficie forestal del país (DAS FLORESTAS 2001). Por el contrario, en Europa del Norte y Central, *Pinus sylvestris* L. es el hospedador más importante de *M. galloprovincialis* (HELLRIGL 1971, FRANCARDI y PENNACCHIO 1996). Además, al ser *P. sylvestris* la especie de *Pinus* más extendida del mundo, y tener su límite de distribución suroccidental en la península ibérica (RICHARDSON et al. 1998), la interacción de *M. galloprovincialis* con esta especie cobra especial relevancia. Por lo tanto, si bien la preocupación sobre la potencial dispersión de la enfermedad a lo ancho de Europa se centra en el tándem *M. galloprovincialis*/*P. pinaster* (FVO-CE, Food and Veterinary Office – European Commission, Com. Pers.), los estudios sobre la idoneidad de otras especies hospedadoras para el desarrollo de *M. galloprovincialis* sugieren que tanto *P. sylvestris* como *P. halepensis* podrían ser adecuados para la alimentación y la oviposición del insecto en Portugal, por lo que también podrían serlo en el resto de Europa (NAVES et al. 2006, SANCHEZ-HUSILLOS et al. 2013). Además, la reciente detección del NMP en pies de *P. nigra* Arnold y *P. radiata* Don amplía el espectro de hospedantes a considerar (INÁCIO et al. 2015, ZAMORA et al. 2015).

El caso de *P. sylvestris* es especialmente delicado por diversas razones: en primer lugar está ampliamente extendido por todo el continente europeo y se trata de una especie de alto valor ecológico y comercial. En segundo lugar es una especie altamente susceptible a la enfermedad causada por el NMP (NUNES DA SILVA et al. 2015); y por último, como se ha comentado, *M. galloprovincialis* muestra una alta atracción hacia esta especie en sus preferencias tanto para la alimentación como para la ovoposición (NAVES et al. 2006, SANCHEZ-HUSILLOS et al. 2013). En la península ibérica, *P. sylvestris* ocupa los ecosistemas de los pisos oromediterráneo y subalpino, generalmente a altitudes comprendidas entre 800 y los 2040 msnm, en las zonas más elevadas de las cadenas montañosas peninsulares.

Desde esta perspectiva, uno de los pinares de *P. sylvestris* más extensos, valiosos e importantes de la península ibérica es el Pinar de Valsaín, ubicado en la Sierra de Guadarrama, dentro del Sistema Central, y que ha sido declarado recientemente Parque Nacional. Este pinar, ocupando las cotas más altas, forma parte de una masa forestal más extensa que, en su vertiente sur, entra en contacto con formaciones vegetales dominadas por *P. pinaster* formando un corredor forestal casi continuo que cruza de Este a Oeste el Sistema Central, desde Guadarrama, pasando por la Sierra de Gredos, hasta la Sierra de Gata (donde han sido detectados los últimos dos focos de la enfermedad en España) y la portuguesa Serra da Malcata. Este corredor forestal supone una de las zonas con mayor riesgo para dispersión natural de la enfermedad en la península y a su vez una de las mejores zonas donde estudiar la influencia de la altura en el vuelo de *M. galloprovincialis* (MAGRAMA 2015b). Por ello, un segundo objetivo de este trabajo es estudiar la incidencia del gradiente altitudinal de alta montaña sobre la curva de vuelo y en las poblaciones de *M. galloprovincialis* en dicha región.

2. Objetivos

Estudiar la influencia de la altitud en las capturas de *M. galloprovincialis*, y la influencia de las temperaturas en el inicio de su periodo de vuelo.

3. Metodología

Un total de 3 experimentos de captura de *M. galloprovincialis* mediante trampas cebadas con atrayentes cairomonales y feromonales fueron llevados a cabo en las provincias de Segovia y Madrid entre los años 2011 y 2013. La metodología fue común a todos ellos en lo referente al dispositivo de captura. Se utilizaron trampas de bandas cruzadas modelo Crosstrap® (ECONEX, Murcia). Se realizó captura con muerte (en húmedo con propilenglicol). Como atrayente se utilizó el cebo comercial para *M. galloprovincialis* (Galloprotect Plus, SEDQ S.L., Barcelona) que libera dos componentes feromonales de escolítidos (ipsenol y 2-metil-3buten-1-ol, a 2.5 y 12 mg/día respectivamente), una cairomona del hospedador (α -pineno, a 500 mg/día) y una feromona específica del género *Monochamus* (2-undecyloxy-1-ethanol a 2 mg/día (PAJARES et al. 2010, MACIAS-SAMANO et al. 2012, PAJARES et al. 2013). La renovación de los cebos se realizó según las indicaciones del fabricante (cada 6 semanas) y la revisión de las trampas fue realizada periódicamente (semanal o quincenalmente) hasta la finalización del periodo de vuelo del insecto. Se realizó un registro de temperatura en los diferentes periodos de muestreo, que fueron recogidos en estaciones cercanas al área de estudio o mediante sensores de temperatura HOBO pendant UA-001-64 (Onset, USA) instalados en las diferentes zonas de estudio.

En los 3 ensayos, un conjunto de trampas fue instalado consecutivamente durante los años 2011, 2012 y 2013 en la Sierra de Guadarrama (Madrid/Segovia) muestreando la variabilidad altitudinal y las dos orientaciones principales del Sistema Central peninsular, las vertientes Norte y Sur (Figura 1). En la vertiente Norte de la Sierra, el transecto de trampeo discurrió por el monte Pinar de Valsaín (Real Sitio de San Ildefonso, Segovia), desde la Cruz de la Gallega hasta el Puerto de la Fuenfría, y desde allí, por la vertiente Sur, descendió hasta la Colonia de las Dehesas de Cercedilla, Madrid (Figura 3.2). La zona muestreada cubrió una masa natural adulta de *P. sylvestris*.

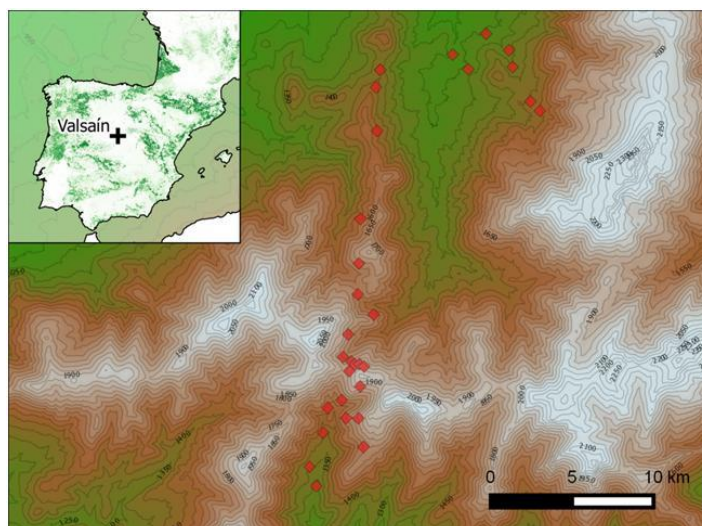


Figura 1. Mapa de la península ibérica con la cobertura estimada de coníferas según EFI y la localización de los experimentos desarrollados en la Sierra de Guadarrama (Segovia-Madrid)

En 2011 se instalaron 17 trampas, 9 de ellas en Valsaín (exposición Norte), en un rango aproximado entre los 1350 y los 1850 metros de altitud, y las 8 restantes en Cercedilla (exposición

Sur), en el mismo rango altitudinal. El periodo de trapeo se extendió desde el 27 de mayo al 28 de octubre. Se instaló un sensor de temperatura modelo HOBO Pendant UA-001-64 (Onset, USA) a 1700 m para obtener los datos de temperatura en la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue semanal. Durante el año 2011 también fueron incorporadas al estudio un grupo de 5 trampas colocadas para el muestreo de *M. galloprovincialis* en el entorno de un aserradero en la parte más baja del Pinar de Valsaín entre los 1150 y los 1450 m de altitud (Tabla 1). Durante 2012 se amplió el dispositivo de trampas hasta las 27 trampas. El itinerario en vertiente Norte se continuó en descenso hasta los 1150 metros y se incrementó el número de trampas hasta las altitudes superiores. En el itinerario en vertiente Sur, el trapeo descendió hasta los 1250 m. El dispositivo fue revisado desde el 1 de junio hasta el 29 de octubre. Se instalaron un total de cinco sensores meteorológicos HOBO Pendant UA-001-64 (Onset, USA) siguiendo un gradiente altitudinal (Tabla 1). En 2013 se mantuvo el dispositivo de 27 trampas del año anterior. El periodo de revisiones comprendió desde el 7 de julio al 14 de octubre. Se mantuvieron únicamente los sensores meteorológicos a 1600 metros de altitud en ambas vertientes, así como el sensor ubicado a 1800 m. La frecuencia de muestreo fue quincenal.

Tabla 1. Distribución del número de trampas, por año y altitud, ubicadas en la Sierra de Guadarrama

Altitud	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1850
2011	4	0	3	4	3	5	3	1
2012	1	3	4	3	3	5	5	3
2013	1	3	4	3	3	5	5	3

Para el estudio de la influencia de las temperaturas en el inicio del periodo de vuelo de *M. galloprovincialis* fue utilizado el ensayo realizado en la Sierra de Guadarrama en el año 2012, descrito en el apartado anterior. En este caso, del total de las 27 trampas utilizadas en este ensayo y colocadas entre los 1150 y los 1850 msnm, fue registrada la temperatura en 5 de ellas (ubicadas a 1363 m, 1431 m, 1644 m, 1685 m, y 1693 m sobre el nivel del mar, respectivamente) mediante la colocación de cinco sensores de temperatura HOBO pendant UA-001-64 (Onset, USA). La revisión se llevó a cabo entre el 1 de junio y el 29 de octubre de 2012. La frecuencia de muestreo fue quincenal (Figuras 3.2).

Todos los cálculos y representaciones han sido realizados bajo el entorno de programación y lenguaje estadístico R (R CORE TEAM 2015). Para el estudio de la influencia de la altitud en las capturas se analizó, además de la altitud, la posible influencia de otras variables, como la exposición de la ladera o la cobertura de coníferas, en las capturas de *M. galloprovincialis* durante los años 2011, 2012 y 2013. Para ello fue realizada una modelización lineal generalizada mixta, tomando el año de estudio como factor aleatorio, y la altitud, exposición y cobertura de coníferas como variables fijas. La transformación de la exposición para el análisis fue realizada según ROBERTS y COOPER (1989). Asimismo fue utilizado un modelo de regresión logístico binomial relacionando la altura con las capturas relativas acumuladas para cada año de estudio. Este análisis fue realizado siguiendo dos aproximaciones distintas: capturas acumuladas por trampas individuales y capturas de trampas acumuladas por diferentes rangos altitudinales. Asimismo se analizó la influencia de la altitud en la duración del periodo de vuelo mediante una regresión polinomial. Para el estudio de la influencia de las temperaturas en el inicio del periodo de vuelo de *M. galloprovincialis*, en primer lugar, se modelizó la variación local de la temperatura con la altitud. Posteriormente, se realizó una regresión lineal, para estudiar la influencia de las temperaturas (máximas, mínimas y medias) en el periodo de vuelo. Complementariamente, este estudio también se abordó calculando la acumulación de calor como la suma de temperaturas durante cada periodo (grados-hora) y llevando a una gráfica las capturas proporcionales.

4. Resultados

Un total de 1394 *M. galloprovincialis* fueron capturados en el total de los tres ensayos realizados (402 en 2011, 635 en 2012 y 357 en 2013). No se observó ningún patrón claro en la distribución de las capturas en función ni de la orientación ni tampoco de la cobertura de coníferas en el área de muestreo de cada trampa. No obstante, sí que pudo observarse cierto patrón en la distribución de las frecuencias de captura en función de la altitud (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Las curvas de vuelo acumuladas para el año 2011, organizadas según el rango de altitud en el que se ubicaron, y ajustadas a un modelo de regresión logística binomial puede observarse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Los análisis realizados para las capturas de 2012 mostraron patrones muy semejantes pese a que la frecuencia de muestreo fue menor. La inclusión de la variable altitud en el modelo (Tabla) no mejora el ajuste ($p=0.203$), por lo que no hay influencia de la altitud en la forma de la curva de vuelo.

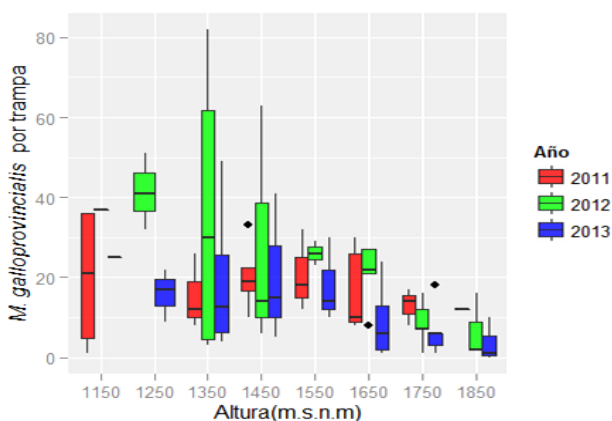


Figura 2. Capturas de *M. galloprovincialis* por trampa en función de la altitud de muestreo para los experimentos desarrollados en la Sierra de Guadarrama durante el periodo de 2011 a 2013.

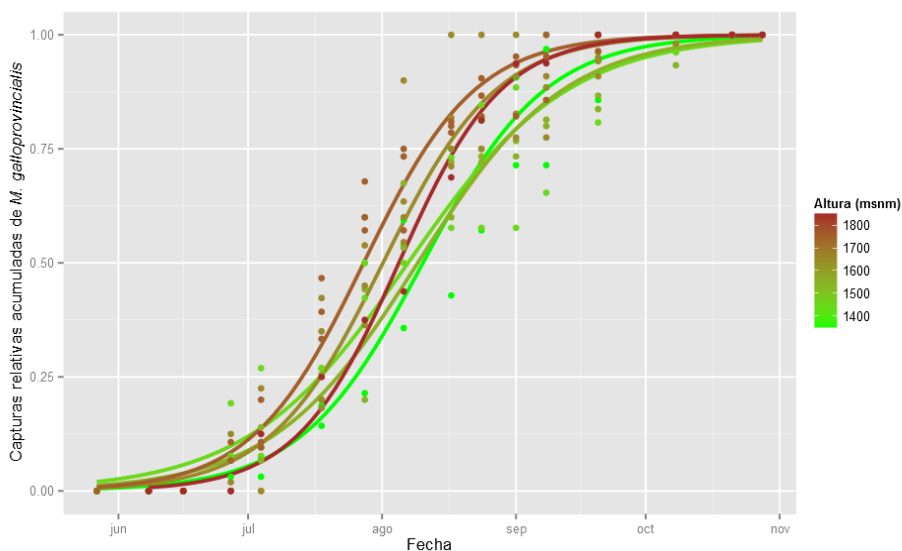


Figura 3. Capturas acumuladas de *M. galloprovincialis* por intervalos de 100m en la altitud de muestreo para el año 2011. Se representa también las curvas de capturas relativas acumuladas ajustadas a cada altura mediante un modelo de regresión logística binomial

Tabla 2. Parámetros ajustados por una modelización lineal generalizada y estadísticos asociados.

	Estimador	SE	z	Pr(> z)
Intercepto	-14.57	1.94	-7.5	<0.001
Fecha ordinal	0.067535	0.009	7.6	<0.001

Fueron también analizadas las diferencias en las curvas de capturas acumuladas para las dos laderas del área de estudio (ladera sur de Cercedilla y ladera norte del Pinar de Valsaín) en el año 2011, pero no pudo observarse diferencia alguna entre las curvas en función de la altitud, ni en función de la orientación de la ladera. Los resultados concluyen que el vuelo de *M. galloprovincialis* no se da de forma diferente en función de la altitud, aunque el porcentaje de capturas acumuladas por fecha y altitud muestra que el periodo de tiempo en la que se éstas se producen se hace más corto según se asciende en altitud (Figura 4). Asimismo, la representación gráfica de la duración del periodo de vuelo en función de los rangos altitudinales muestra una variación de forma análoga a la variación de la abundancia de *M. galloprovincialis* a lo largo del gradiente altitudinal estudiado en 2011 (Figura 4). El análisis de los datos de 2012 muestra patrones muy similares a los aquí comentados.

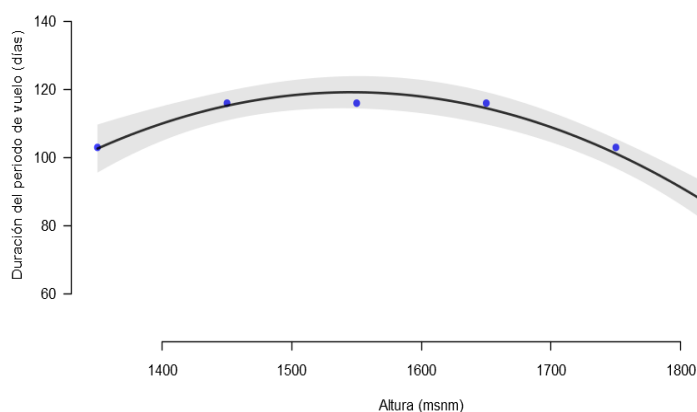


Figura 4. Duración del periodo de vuelo de *M. galloprovincialis* en función de la altitud de muestreo para el año 2012 en la Sierra de Guadarrama.

En el estudio de la influencia de la temperatura en el inicio del periodo de vuelo de *M. galloprovincialis*, en primer lugar, se procedió a la modelización de la variación de la temperatura con la altitud. Los modelos ajustados relacionaron un descenso de 0,7 grados cada 100 de ascensión. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5** puede observarse la evolución de las temperaturas con la altitud y las capturas obtenidas en las trampas anejas a los registradores de temperatura, en el año 2012. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.6** se muestran las capturas proporcionales en función de la temperatura media en la parte inicial del vuelo de *M. galloprovincialis* para el año 2012. Asimismo se observó un efecto significativo de la temperatura media en las capturas ($F_{1, 13} = 8,48$ $p=0.012$), que no fue observado en el caso de contabilizar temperaturas máximas ni temperaturas mínimas. De ambas figuras puede deducirse que el vuelo de *M. galloprovincialis* se inicia en el mes de mayo-junio, cuando las temperaturas medias son superiores a los 14-15°C.

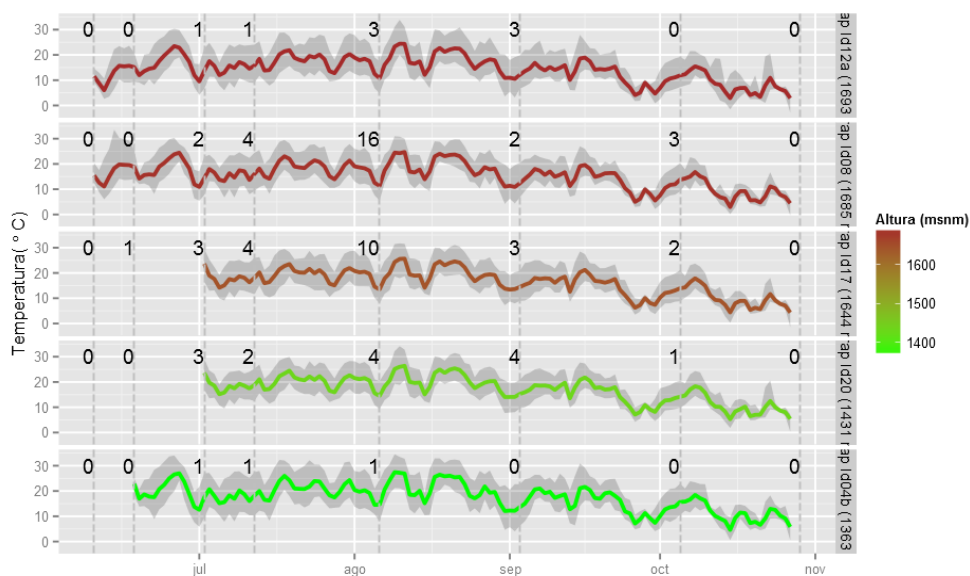


Figura 5. Evolución de las temperaturas (máximas, medias y mínimas) de los meses de verano y otoño de 2012 para las diferentes altitudes muestreadas. Las líneas discontinuas verticales marcan los días en los que se registraron las capturas, y las capturas correspondientes al tramo anterior están a la izquierda de tales líneas.

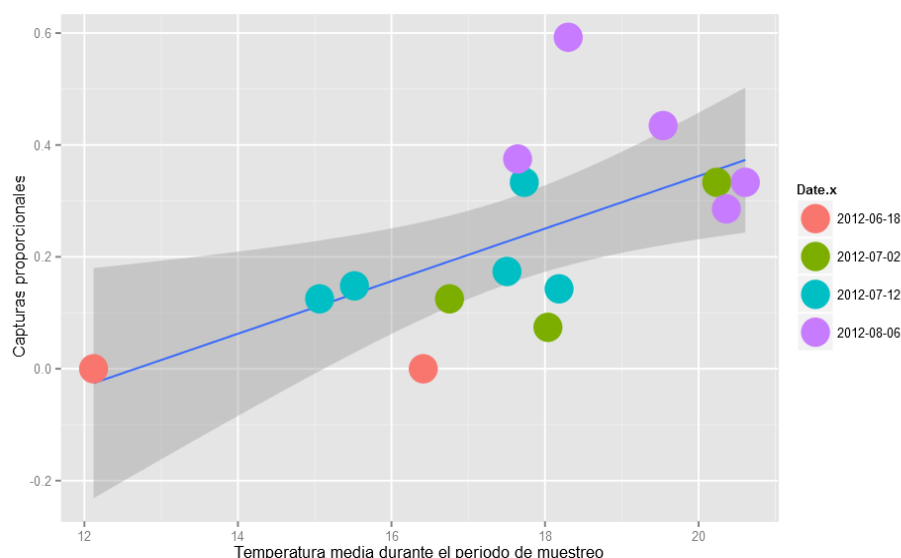


Figura 6. Distribución de las capturas proporcionales de *M. galloprovincialis* en el inicio del periodo de vuelo en función de la temperatura media en el año 2012 en la Sierra de Guadarrama (Segovia-Madrid).

5. Discusión

La incidencia de la temperatura en la biología de *M. galloprovincialis* ha sido poco estudiada hasta la fecha. Algunos estudios evalúan su efecto sobre el desarrollo larvario (KOUTROUMPA *et al.* 2008, NAVES Y DE SOUSA 2009) y recientemente también se ha estudiado su influencia sobre la capacidad de dispersión del insecto, aunque sólo en el caso concreto de los Pirineos como barrera a la propagación de la enfermedad (HARAN *et al.* 2015). De igual manera, aunque es conocida la amplia distribución global de *M. galloprovincialis*, su distribución altitudinal tampoco ha sido estudiada en profundidad (HARAN *et al.* 2015).

Nuestros resultados muestran, en primer lugar, que efectivamente existe una influencia de una variable sintética como la altitud en la población de *M. galloprovincialis*, registrada ésta como frecuencia de capturas en trampas cebadas con atrayentes. Sin embargo, la altitud se halla correlacionada con otras variables de alta significación biológica como la temperatura, la humedad, o la irradiación. Los resultados representados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2** sugieren que a partir de 1350 msnm la captura de estos insectos decrece, y que los modelos no detectan efectos ni de la orientación de la ladera ni de la cobertura de pinar en esa zona en este decrecimiento, sino esencialmente los parámetros correlacionados con la altitud. Por otro lado, si bien el transecto estudiado recoge una variabilidad suficiente para el estudio de la influencia de la altitud en la abundancia de *M. galloprovincialis*, es posible que otras variables locales así como las condiciones microclimáticas de cada punto de muestreo hayan incidido en el nivel de capturas. Sin embargo, esta incidencia no debería ser muy fuerte ya que la comparación a lo largo de los tres años de estudio muestra un patrón similar para los niveles de capturas en las diferentes altitudes estudiadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Estos resultados son coherentes, en términos generales, con el reciente trabajo de HARAN et al. (2015) en la cordillera de los Pirineos. En él, no obstante, se plantean los 1590 msnm como umbral de máxima altitud para la supervivencia de *M. galloprovincialis*, puesto que, a esta altitud, se dan medias de temperaturas mínimas inferiores a -7°C y se observan capturas muy bajas (10 individuos en más de 3 meses de muestreo). Estas frecuencias de capturas son coherentes con los modelos obtenidos en nuestros ensayos a una mayor altitud, superior a los 1700 m (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Pero no lo son tanto a los 1600 m, donde las capturas obtenidas en Valsaín son algo mayores que las citadas por HARAN et al. (2015) para Pirineos. Además, en este mismo sentido, nuestros resultados apuntan a que existe una alta probabilidad de encontrar *M. galloprovincialis* a más de 1900 msnm (y presumiblemente hasta el límite altitudinal al cual es posible encontrar *P. sylvestris*), si bien es cierto que esta extrapolación debe ser tomada con cautela ya que las altitudes superiores a los 1900 msnm quedan fuera del rango de la modelización (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). De cualquier forma la influencia de la latitud puede permitir esos desfases altitudinales, recordando siempre que la altitud en sí misma no es un parámetro de significación biológica, sino que lo son los parámetros con ella correlacionados.

En cualquier caso, estas diferencias entre las capturas observadas en Pirineos y en el Sistema Central podrían tener que ver con la propia geomorfología de ambas cadenas, y en concreto con el porcentaje de superficie existente por encima del límite de 1590 msnm citado por HARAN et al. (2015) en ambas cordilleras, ya que el Sistema Central es una cadena montañosa con una altitud general considerablemente menor que la de los Pirineos (2592 m de altitud máxima en el Sistema Central frente a 3404 m en Pirineos). Además, según HARAN et al. (2015), si bien la parte central de Los Pirineos (zona donde se acumulan las mayores altitudes) podría constituir cierta barrera natural a la dispersión del insecto, la presencia de corredores biológicos a ambos flancos de la cadena montañosa hace permeable dicha barrera y en consecuencia podría no afectar a la expansión del NMP hacia el norte de Europa. Consecuentemente, en el caso del Sistema Central, la existencia de corredores biológicos con material hospedante es mucho mayor debido a que es muy poca, y muy inconexa, la superficie que está por encima de los 1590 msnm en dicho sistema montañoso. Por ello parece razonable pensar que el campeo de *M. galloprovincialis* por las zonas más elevadas del Sistema central sea mayor que el de Pirineos.

Por otro lado, este efecto de la altitud sobre la frecuencia de capturas, no se manifiesta en el perfil temporal de las mismas, es decir, en la forma de las curvas de vuelo. Nuestros resultados, de hecho, muestran patrones o formas de curva de vuelo muy similares a las diferentes altitudes estudiadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 3**). Y no obstante sí que es posible detectar una influencia de la altitud en la duración de dicho periodo de vuelo, de forma que a mayores

altitudes la duración del mismo tiende a ser más corta, y este acortamiento se da por ambos flancos de la curva: un inicio del vuelo más tardío y una finalización del mismo más temprana (Figura).

El inicio del periodo de vuelo, tratándose de una especie que atraviesa el periodo invernal en estado larvario, está influido necesariamente por la ocurrencia de la emergencia y por las variables ambientales que la determinan. MAS (2016) muestra que, en términos generales, las curvas de emergencia de las zonas más frías de la península ibérica son más tardías que las de las zonas más cálidas, lo cual es coherente con un inicio del periodo de vuelo también más tardío en las zonas más frías (y en consecuencia en las zonas más altas).

No obstante, respecto al inicio del periodo de vuelo, debe tomarse en consideración que la técnica utilizada para la monitorización de las curvas de vuelo (trampas cebadas con atrayentes feromonales y cairomonales) no parece ser eficaz hasta que el adulto de *M. galloprovincialis* ha completado su maduración sexual (PAJARES *et al.* 2010, SANCHEZ-HUSILLOS *et al.* 2015, MAS 2016). Para alcanzarla, los adultos recién emergidos necesitan alimentarse, fundamentalmente de corteza tierna de ramillos de pino, durante un periodo de tiempo determinado, que diversos autores citan siempre menor a los 14 días (HELLRIGL 1971, FRANCARDI Y PENNACCHIO 1996; SÁNCHEZ-HUSILLOS Com. Pers., NAVES *et al.* 2008, DAVID *et al.* 2014). Estas observaciones son consistentes con las descritas por MAS (2016), en las que, durante un ensayo realizado en una masa pequeña y aislada (<10 ha), se obtuvo una alta tasa de recapturas (aproximadamente el 36,7% de los insectos liberados) y las más tempranas se dieron tan sólo 8 días después de la liberación de los insectos inmaduros. Por lo tanto, para una correcta monitorización del periodo de vuelo mediante trampas cebadas debe ser tenido en cuenta este lapso de tiempo en el cual los adultos de *M. galloprovincialis* ya han emergido pero son sexualmente inmaduros y, por tanto, no susceptibles de ser capturados por las trampas.

En esta cuestión, y en definitiva, nuestros resultados muestran que el inicio del periodo de vuelo está correlacionado con los primeros periodos en los meses de mayo o junio durante los cuales la media de las temperaturas supera los 14-15°C (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.6**). Estos resultados son consistentes con los mostrados por HOCH *et al.* (2015) para la región de Baden en Austria, con inicios del periodo de vuelo exactamente a las mismas temperaturas. Dicho estudio es el único en el que se ha realizado, hasta la fecha, un análisis de la influencia de la temperatura en la curva de vuelo de *M. galloprovincialis*. El resto de publicaciones al respecto, se limitan a análisis descriptivos de los periodos en Portugal (NAVES *et al.* 2008) y España (MAGRAMA 2015b). Todos estos estudios coinciden en que el periodo de vuelo se extiende aproximadamente, y de manera continua, desde mediados de mayo hasta finales de octubre o principios de noviembre, siendo el inicio del vuelo más temprano en el Sur de Europa (España, Portugal continental y en Madeira) que en Europa Central (Austria).

6. Conclusiones

M. galloprovincialis aparece hasta alturas próximas a los 1900 msnm en el Sistema Central. La altitud (y la variable correlacionada temperatura) modulan las capturas y el periodo de vuelo de *M. galloprovincialis*, de modo que el insecto se hace más raro y su periodo de vuelo es más corto a partir de ciertas altitudes. El inicio del periodo de vuelo está correlacionado con las temperaturas medias diarias, y se inicia cuando se superan los 14°C en los meses de mayo o junio.

7. Agradecimientos

A los Agentes Medioambientales de Segovia.

8. Bibliografía

- DAS FLORESTAS, D. D. G. (2001). Inventário Florestal Nacional. 3ª Revisão. *Direcção Geral de Florestas, Lisboa*.
- DAVID, G., B. GIFFARD, D. PIOUS y H. JACTEL (2014). Dispersal capacity of *Monochamus galloprovincialis*, the European vector of the pine wood nematode, on flight mills. *Journal of Applied Entomology* **138**(8): 566-576.
- FRANCARDI, V. y F. PENNACCHIO (1996). Note sulla bioecologia di *Monochamus galloprovincialis galloprovincialis* (Olivier) in Toscana e in Liguria (Coleoptera Cerambycidae). *Redia* **79**: 153-169.
- GALLINAT, A. S., R. B. PRIMACK y D. L. WAGNER (2015). Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in ecology & evolution* **30**(3): 169-176.
- GILBERT, N. y D. A. RAWORTH (1996). Insects and temperature - A general theory. *Canadian Entomologist* **128**(1): 1-13.
- GILLOOLY, J. F., E. L. CHARNOV, G. B. WEST, V. M. SAVAGE y J. H. BROWN (2002). Effects of size and temperature on developmental time. *Nature* **417**(6884): 70-73.
- HARAN, J., A. ROQUES, A. BERNARD, C. ROBINET y G. ROUX (2015). Altitudinal Barrier to the Spread of an Invasive Species: Could the Pyrenean Chain Slow the Natural Spread of the Pinewood Nematode? *PLoS ONE* **10**(7): e0134126.
- HELLRIGL, K. G. (1971). Die Bionomie der europäischen *Monochamus*-Arten (Coleopt., Cerambycid.) und ihre Bedeutung für die Forstund Holzwirtschaft. *Redia* **52**: 367-509.
- HOCH, G., D. MITTERMAYR y H. KREHAN (2015). *Monochamus*-Arten als potenzielle Vektoren des Kiefernholzneematoden in Österreich: Lockstofffallen zum Monitoring des Fluges. *Forstschutz Aktuell* **60**(61): 61.
- INÁCIO, M. L., F. NÓBREGA, P. VIEIRA, L. BONIFÁCIO, P. NAVES, E. SOUSA y M. MOTA (2015). First detection of *Bursaphelenchus xylophilus* associated with *Pinus nigra* in Portugal and in Europe. *Forest Pathology* **45**(3): 235-238.
- KOUTROUMPA, F. A., B. VINCENT, G. ROUX-MORABITO, C. MARTIN y F. LIEUTIER (2008). Fecundity and larval development of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera Cerambycidae) in experimental breeding. *Annals of Forest Science* **65**(7).
- MACIAS-SAMANO, J. E., D. WAKARCHUK, J. G. MILLAR y L. M. HANKS (2012). 2-Undecyloxy-1-ethanol in combination with other semiochemicals attracts three *Monochamus* species (Coleoptera: Cerambycidae) in British Columbia, Canada. *The Canadian Entomologist* **144**(06): 764-768.
- MAGRAMA. (2015a). "Nematodo de la madera del pino." 2015, de <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/nematodo-de-la-madera-del-pino/#>.
- MAGRAMA (2015b). Trabajos de seguimiento y control del vector del nematodo de la madera del pino. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Internal report*: 32 pages.
- 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.
- NAVES, P. y E. DE SOUSA (2009). Threshold temperatures and degree-day estimates for development of post-dormancy larvae of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Pest Science* **82**(1): 1-6.

- NAVES, P. M., E. M. DE SOUSA y J. A. QUARTAU (2006). Feeding and oviposition preferences of *Monochamus galloprovincialis* for certain conifers under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* **120**(2): 99-104.
- NAVES, P. M., E. SOUSA y J. M. RODRIGUES (2008). Biology of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) in the pine wilt disease affected zone, Southern Portugal. *Silva Lusitana* **16**(2): 133-148.
- NUNES DA SILVA, M., A. SOLLA, L. SAMPEDRO, R. ZAS y M. W. VASCONCELOS (2015). Susceptibility to the pinewood nematode (PWN) of four pine species involved in potential range expansion across Europe. *Tree Physiology*: 1-13.
- PAJARES, J. A., G. ÁLVAREZ, D. R. HALL, P. DOUGLAS, F. CENTENO, N. IBARRA, M. SCHROEDER, S. A. TEALE, Z. WANG y S. YAN (2013). 2-(Undecyloxy)-ethanol is a major component of the male-produced aggregation pheromone of *Monochamus sutor*. *Entomologia experimentalis et applicata* **149**(2): 118-127.
- PAJARES, J. A., G. ALVAREZ, F. IBEAS, D. GALLEGO, 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.
- R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- RICHARDSON, D. M., P. W. RUNDEL y D. RICHARDSON (1998). Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction. *Ecology and biogeography of Pinus*: 3-46.
- SANCHEZ-HUSILLOS, E., G. ÁLVAREZ-BAZ, I. ETXEBESTE y J. A. PAJARES (2013). Shoot feeding, oviposition, and development of *Monochamus galloprovincialis* on *Pinus pinea* relative to other pine species. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*: 1-10.
- SANCHEZ-HUSILLOS, E., I. ETXEBESTE y J. PAJARES (2015). Effectiveness of mass trapping in the reduction of *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Col.: Cerambycidae) populations. *Journal of Applied Entomology*: 1-11.
- TOMMINEN, J. (1993). Development of *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Coleoptera, Cerambycidae) in Cut Trees of Young Pines (*Pinus sylvestris* L.) and Log Bolts in Southern Finland. *Entomologica Fennica* **4**(3): 137-142.
- ZAMORA, P., V. RODRÍGUEZ, F. RENEDO, A. V. SANZ, J. C. DOMÍNGUEZ, G. PÉREZ-ESCOLAR, J. MIRANDA, B. ÁLVAREZ, A. GONZÁLEZ-CASAS, E. MAYOR, M. DUEÑAS, A. MIRAVALLES, A. NAVAS, L. ROBERTSON y A. B. MARTÍN (2015). First Report of *Bursaphelenchus xylophilus* Causing Pine Wilt Disease on *Pinus radiata* in Spain. *Plant Disease*: PDIS-03-15-0252-PDN.