8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La Ciencia forestal y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

8CFE - 247

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza

Descripción y análisis de comunidades de insectos forestales asociados al rango de distribución de *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica

GIMÉNEZ TERUEL, M.[1]; SANCHIS LEAL, A.[1]; GALLEGO CAMBRONERO, D[1,2].

[1] Departamento de Ecología, Universidad de Alicante.
[2] SANIDAD AGRÍCOLA ECONEX S.L.

Resumen

El estudio de las comunidades de insectos forestales está cobrando mucha importancia por su papel en la ecología del bosque. En este trabajo nos hemos centrado en el estudio de comunidades de insectos saproxílicos de dos bosques de *Pinus sylvestris*, uno en su límite de su distribución, la Sierra de Baza (Granada), y otro en el Monte de Valsaín (Segovia), próximo a su óptimo ecológico. Se utilizaron trampas con atrayentes multiespecies a fin conocer la diversidad de especies y comunidades, a dos niveles taxonómicos (especies y familia) y a dos niveles no taxonómicos (grupos tróficos de imagos e inmaduro) en relación con ciertas variables ambientales, mediante el uso de modelos lineales. Se concluye que las comunidades ligadas a *P. sylvestris* poseen una alta complejidad funcional, y que Baza y Valsaín presentan ciertas diferencias. La biodiversidad aumenta con la altitud en ambas zonas y disminuye hacia las zonas más cálidas y secas. Valsaín tiene unas condiciones óptimas para el desarrollo del bosque de *P. sylvestris* y, sin embargo, encontramos mayor diversidad en Baza, que presenta unas condiciones más estresantes, pero que pueden estar compensadas por localizarse en el hotspot de diversidad de las Sierras Béticas.

Palabras clave

Entomofauna, índice de Shannon-Weaver, riqueza de especies, insectos saproxílicos, variables ambientales.

1. Introducción

Los bosques maduros son ecosistemas arbolados que persisten a lo largo de periodos de tiempo prolongados. Durante su existencia, el ecosistema forestal se desarrolla desde su establecimiento hasta alcanzar un estado de madurez, mientras cambia su composición, estructura y funciones simultáneamente (Franklin and Spies, 1991). Uno de las características de los bosques maduros, albergan gran cantidad de madera muerta, tanto árboles en pie como en el suelo. Este elemento constituye una abundante fuente de alimento y refugio para numerosos organismos, tales como mamíferos, aves, insectos, hongos, etc., siendo además el microhábitat más importante para los insectos saproxílicos (Gil y Pajares, 1986; Micó et al., 2013). La descomposición de la madera es realizada fundamentalmente por la actividad de hongos y otros microorganismos. Sin embargo, suele estar favorecida o acelerada por la presencia de invertebrados saproxílicos (Harmon et al., 1986). La comunidad saproxílica abarca un amplio abanico taxonómico que incluye distintos gremios tróficos con base en su régimen alimenticio. De este modo, es posible encontrar especies depredadoras, saprófagas, xilófagas, saproxilófagas, xilomicetófagas y comensales (Micó et al, 2021). La presencia y abundancia de especies pertenecientes a cada uno de los gremios está claramente condicionada por el tipo de ambiente y la disponibilidad de recurso trófico. El resto de gremios cuentan con una riqueza de especies bastante equilibrada (a excepción del comensalismo ejercido por ciertas especies ligadas a especies de himenópteros). Destacan las especies saproxilófagas, que actúan sobre un estado de descomposición de la madera intermedio entre las xilófagas, en las que la madera no ha sido atacada previamente por hongos ni otros organismos saproxílicos, y las saprófagas, que se alimentan de la madera en un estado de descomposición muy avanzado, pero también de restos orgánicos de origen animal. El porcentaje de especies que se alimentan de las hifas de hongos de la madera, o incluso de mixomicetos, no es desdeñable, lo que pone de manifiesto la

importancia de los hongos y otros organismos relacionados, no solo en la descomposición de la madera si no también dando cobijo y alimento a buena parte de la comunidad saproxílica (Gallego y Campo, 2010).

Los insectos saproxílicos pueden agruparse en Las comunidades ecológicas son entidades complejas y dinámicas que están integradas por las poblaciones que, a su vez, son variables e interactúan de maneras muy diversas, como competencia, depredación, herbivorismo, parasitismo, polinización, etc., las cuales causan continuos cambios en la arquitectura de los flujos de materia y energía en el espacio y el tiempo (Dumm et al., 2009).

El pino silvestre (*Pinus sylvestris L.*) es una especie de pino de montaña que puede ser encontrada hasta en 5 subtipos fitoclimáticos distintos (Allue, 1990), aunque el fitoclima más representativo es el oroborealoide subnemoral, típico de las zonas con menor intervalo de sequía (Catalán, 1991). La especie *Pinus sylvestris* es de distribución paleártica, desde Siberia hasta la Península Ibérica y desde el norte de Asia hasta el mar de Japón (Oria, 2013). En la Península Ibérica se distribuye de forma natural en forma de manchas geográficamente localizadas a elevadas altitudes, donde el clima es más frío y húmedo, estando presente de forma natural en la porción nororiental de la Península, apareciendo puntualmente en las sierras Béticas, donde se presenta su límite meridional. Además, se asocia con pendientes bajas o moderadas y con una incidencia baja de radiación.

2. Objetivos

Se pretende la descripción de las comunidades de insectos forestales presentes en dos bosques de *P. sylvestris* de la Península Ibérica, ambos alejados biogeográficamente entre sí, localizado en el sistema central, el Monte de Valsaín (Segovia) y el otro en las cordilleras béticas, las cumbres de la Sierra de Baza (Granada), estudiando la diversidad de las comunidades de insectos forestales y la relación entre la diversidad de las comunidades y las variables ambientales extraídas de modelos climáticos globales usando Sistemas de Información Geográfica.

3. Metodología

Zonas de estudio

Para la realización de este trabajo se escogieron dos zonas de estudio: la Sierra de Baza, que se localiza en Granada, y el Monte de Valsaín, que se localiza en Segovia (Figura 1). Ambas zonas fueron seleccionadas debido a que, el Monte de Valsaín se localiza en el centro de la distribución de la especie arbórea a estudiar, mientras que la Sierra de Baza representa el límite sur de la misma.

La Sierra de Baza se encuentra en la parte oriental de Andalucía, al noreste de la provincia de Granada, limitando por el Este con la provincia de Almería. Desde el punto de vista geológico, forma parte de tres importantes complejos: Alpujárride, constituido por sustratos calizos y dolomíticos ricos en bases, que son predominantes en la zona; Nevado-filábride, compuesto por rocas metamórficas muy deformadas y Neógeno Cuaternario, que ocupan las zonas basales, constituídos por margas, conglomerados, brechas, canchales, piedemonte, depósitos y terrazas aluviales (Pujadas y Clemente, 1987).

Siguiendo la clasificación bioclimática, en la Sierra de Baza se desarrolla el bioclima xérico-oceánico, aunque, según se ha establecido en otras investigaciones (Gil et al., 1991), el sector de cumbres de esta zona se puede considerar el desarrollo de tipo pluviestacional continental, presentando las temperaturas más bajas y las precipitaciones más elevadas. El termotipo al que pertenece el dominio de vegetación es el mesomediterráneo superior, con temperaturas medias anuales de 13,4ºC y precipitaciones medias anuales de 400 mm. Con relación a la altitud, el Parque Natural de la Sierra de Baza forma parte de un macizo montañoso,

que en pocos kilómetros asciende de una cota de 845 metros, en la ciudad de Baza, a una de 2.269 metros, en el Calar de Santa Bárbara, (Junta de Andalucía, 2007).

Por otro lado, el Monte de Valsaín se encuentra situado en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama, provincia de Segovia, y está formado por dos montes, el Pinar y las Matas, siendo estos dos valles paralelos con orientación sur-norte. Estos montes se sitúan sobre suelos ácidos creados sobre rocas de granito y gneis (Tornero, 2005). El clima es nemoromediterráneo genuino, con temperaturas medias que oscilan entre los 10,5ºC y los 6,1ºC, mientras que las precipitaciones varían entre los 885 mm en las zonas más bajas y los 1.170 mm que podemos encontrar en las cumbres. La altitud varía desde los 1.100 metros en la zona más baja, hasta los 2.428 metros, donde encontramos el pico más alto, el Peñalara. En la Sierra de Baza las precipitaciones son más escasas y las temperaturas estivales son más elevadas que en el Monte de Valsaín, representando entonces Baza el límite meridional del *P. sylvestris*, puesto que es una especie que no tolera bien la sequía estival (Fernández, 2018). En estas condiciones los pinares naturales de *P. sylvestris* están restringidos a la zona de cumbre, por encima de los 1900 m. En el caso del Monte de Valsaín, los pinares de *P. sylvestris* son la formación vegetal más extendida, situándose dentro del óptimo de su distribución en la Península Ibérica (Sánchez, 2012). Podemos encontrarlos en altitudes que van desde los 1.200 metros hasta altitudes superiores a los 2.000 metros.

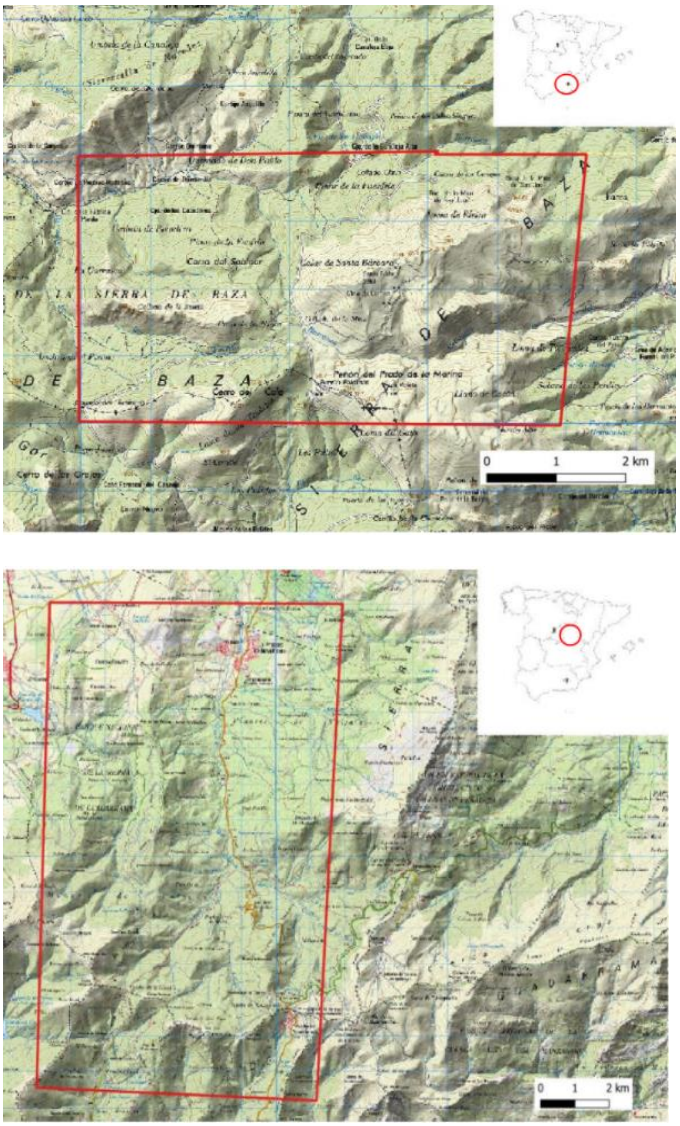


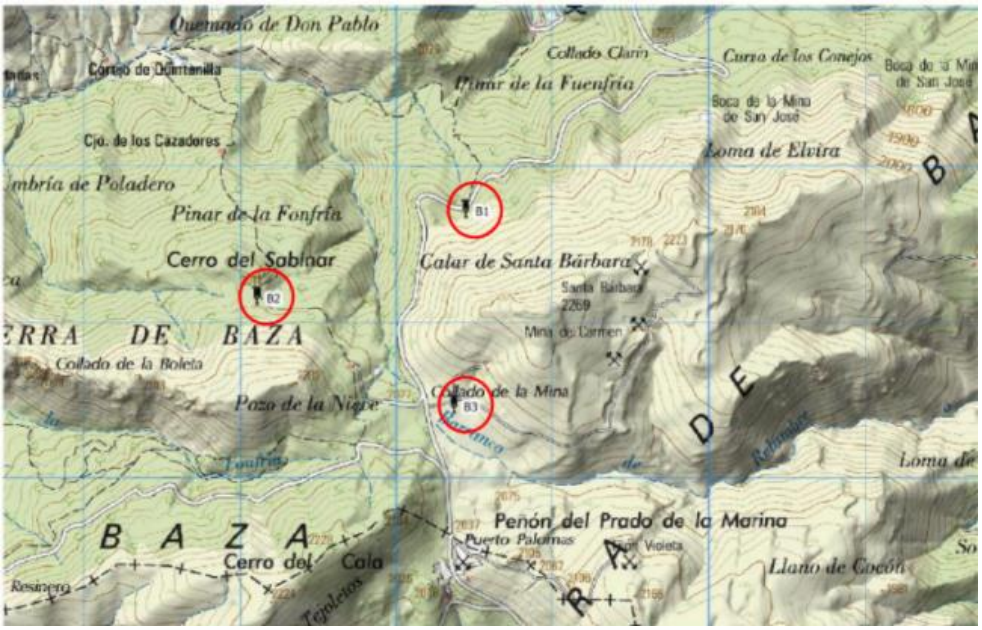
Figura 1 Localización de la zona de estudio en la Sierra de Baza (arriba) y Monte de Valsaín (abajo).

Para capturar los insectos se instalaron 12 trampas Crosstrap® mini cebadas con el atrayente (cebo) multiespecies Crosstrap® detection kit, a razón de 6 trampas por zona: 6 en la Sierra de Baza, y 6 en el Monte de Valsaín. Las trampas se repartieron en tres puntos en cada zona, a razón de dos trampas por punto, a modo de repetición. Las trampas se colocaron siguiendo el gradiente altitudinal, limitado a menor altitud por el ecotono entre los pinares de *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris* en Baza y el ecotono de formaciones de Quercus y paisaje agrícola y el pinar de *Pinus sylvestris* en Valsaín. En la Tabla 1 se pueden ver las coordenadas que indican la localización de los puntos de muestreo.

Tabla 1. Coordenadas y altitudes de los puntos de muestreo por lugar.

Zona	Punto	Altitud (m s.n.m)	Coordenadas (30T UTM)
Baza	B1	1920	513447; 4137725
Baza	B2	2021	512108; 4137167
Baza	B3	2060	513372; 4136472
Valsaín	V1	1450	411465; 4524705
Valsaín	V2	1640	411198; 4518607
Valsaín	V3	1790	410462; 4516413

Las trampas se instalaron a lo largo del camino forestal (Figura 2), a unos 30 metros de éste y cada par de trampas se separó unos 100 metros de distancia. La separación mínima entre puntos fue de 1 km de distancia lineal. Todas las trampas estaban ocultas a la vista y colgadas con cuerdas de las ramas inferiores de los árboles o entre dos árboles.



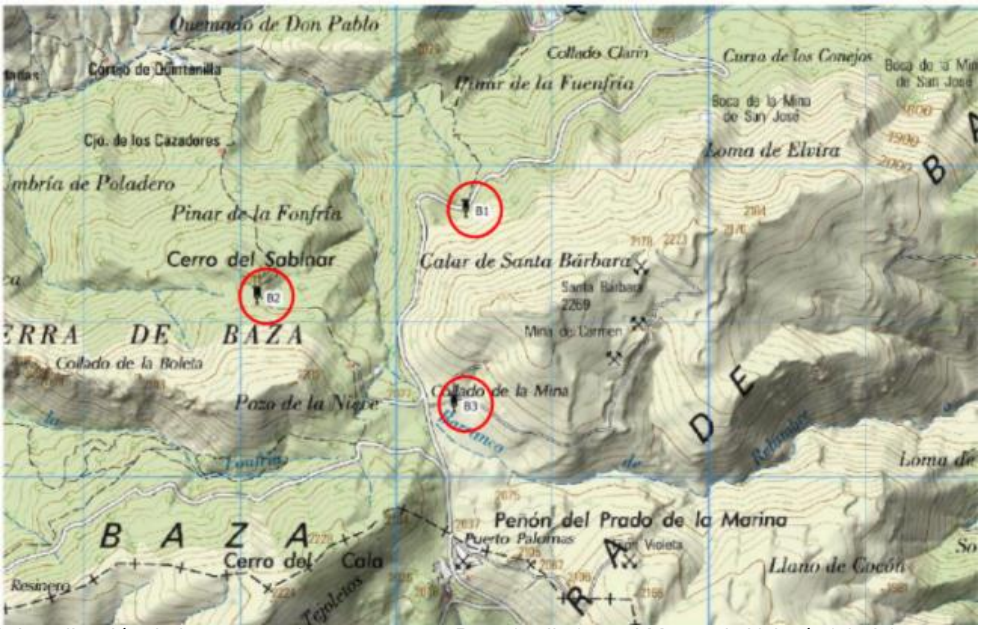


Figura 2: Localización de los puntos de muestreo en Baza (arriba) en el Monte de Valsaín (abajo).

Se han ultilizado trampas Crosstrap mini (ECONEX, España). Cada trampa consta de dos placas negras flexibles recubiertas de deslizante, posicionadas perpendicularmente entre ellas a modo de "X", y un embudo situado en la parte inferior, donde caen los insectos cuando resbalan al intentar posarse en las placas negras (Figura 3). Desde el embudo, caen dentro del tarro de capturas, que contiene 20 ml de propilenglicol diluido al 25% para la conservación de las capturas. Cada tarro se encontraba marcado con el punto de muestreo en el que se situaba la trampa.

Cada trampa se suplementa con atrayentes que simulan el olor que desprende un árbol enfermo, moribundo o recientemente muerto, distinguiendo dos tipos de atrayentes: el atrayente 1, de tres componentes, que contaba con un emisor de alfa-pineno, un emisor de etanol y con un cebo compuesto de feromonas (Ipsenol, ipsdienol y z-verbenol) en relación 1:1:1, y el atrayente 2, de dos componentes, compuesto por un emisor de alfa-pineno y un emisor de etanol.Las trampas se revisaron quincenalmente desde principios de mayo de 2018 hasta finales de noviembre de ese mismo año, y para ello, fue necesario el acceso de 1 o 2 personas a la zona del pinar donde se habían colocados las trampas, encargándose del reemplazo del tarro de capturas y, en caso de necesidad, renovar el atrayente. Conforme se recogieron los tarros de captura, se guardaron etiquetados con la fecha de recogida y el punto donde se encontraba la trampa. Todo el material se trasladó al laboratorio y se sometió a un cuidadoso lavado, para poder eliminar lo mejor posible los desechos y material vegetal. Seguidamente, se colocaban las muestras en una cubeta y se realizaba la identificación y recuento de los insectos capturados. La identificación de los insectos se realizó mediante claves dicotómicas (Gil y Pajares, 1986) y con una caja entomológica de comparación, la cual contenía ejemplares identificados por especialistas.

Figura 3. Trampa Crosstrap atrayentes utilizados. Fotografía tomada en la Sierra de Baza.

Finalmente, los datos fueron tratados con el programa estadístico R (R Core Team, 2017) con el que se calcularon los análisis de varianza (ANOVA) para encontrar diferencias entre el número de especies capturadas con los diferentes atrayentes utilizados (2 y 3 componentes). Se estudió también la variación del número de especies, familias y grupos funcionales entre los puntos de las distintas zonas de muestreo. Además también se utilizó la librería Vegan (Oksanen et al., 2017) de R para realizar el cálculo del índice de diversidad de Shannon-Wiener, para estimar el valor de diversidad alfa usando las capturas totales de cada trampa. Además, se ha estudiado la relación entre las variables ambientales extraídas y la diversidad alfa, mediante el índice de Shannon-Wiener, se usó la extensión Vegan (Oksanen et al., 2019). De esta forma, primero se realizó un ANOVA ($p<0,05$) para poder detectar diferencias significativas entre los diferentes niveles de diversidad (especies, familias y grupos tróficos) entre ambas zonas de estudio. Los datos ambientales se extrajeron de mapas climáticos que se descargaron de la página https://worldclim.org/, la cual oferta modelos climáticos, para todo el mundo, a partir de datos acumulados desde 1970 hasta los años 2000, a escala de 1 km^2.

Seguidamente, se extrajeron, usando el SIG QGIS, y para cada uno de los 6 puntos de muestreo de ambas zonas, la información de las variables climáticas que se iban a utilizar (Tabla 2) de acuerdo al procedimiento ilustrado en la Figura 4.

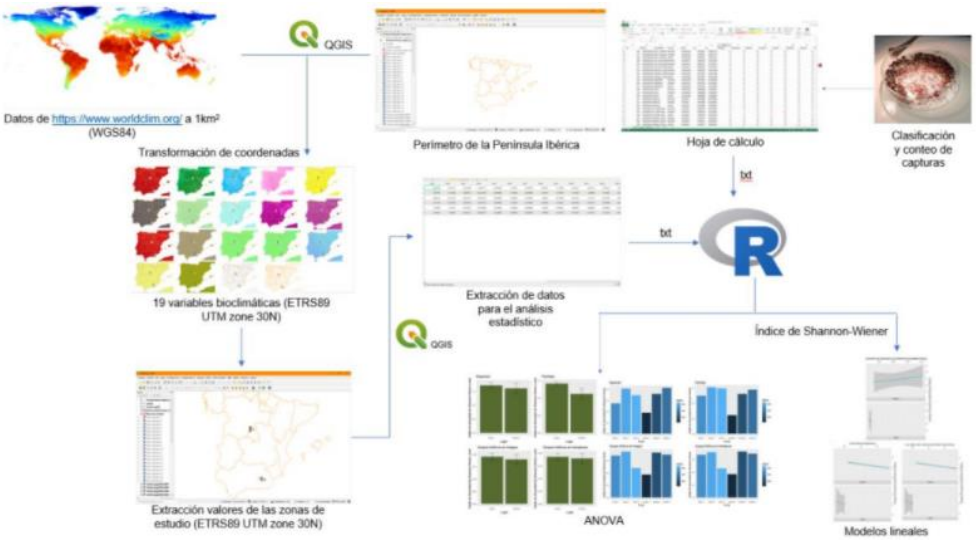


Figura 4. Proceso metodológico para extracción de valores ambientales usando QGIS, y su posterior análisis mediante R.

Con todos los datos de las 19 variables se calcularon regresiones lineales para ambas zonas de estudio en conjunto y para cada zona por separado, en las que se relacionaba cada variable ambiental con los respectivos niveles de diversidad alfa para observar si se establecía alguna relación de covariación significativa.

Tabla 2. Variables climáticas utilizadas para analizar ambas zonas de estudio. (Fuente: https://worldclim.org/).

Código	Elemento
BIO1	Temperatura media anual (ºC)
BIO2	Rango Diurno Medio (Promedio de mensual (T máx. – T min.) (ºC)
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) ×100 (ºC)
BIO4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar × 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido (ºC)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (ºC)
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5 - BIO6) (ºC)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo (ºC)
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco (ºC)
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido (ºC)
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío (ºC)

BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
BIO14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO15	Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

4. Resultados

El recuento total de insectos capturados fue de 2902 individuos de 33 especies, pertenecientes a 14 familias distintas, de los cuales, 1575 ejemplares de 27 especies diferentes se capturaron en la Sierra de Baza, y 1327 ejemplares de 21 especies distintas en el Monte de Valsaín.

La especie más abundante en la Sierra de Baza fue *Orthotomicus erosus* (Scolytinae), con 517 individuos, seguido de *Rhizophagus depressus* F. (Monotomidae), con un total de 367 ejemplares. En el caso del Monte de Valsaín, la especie capturada en mayor número fue *Ips sexdentatus* B. (Scolytinae), con un total de 821 ejemplares, seguido de *Spondylis buprestoides* L. (Cerambycidae), con un total de 94 ejemplares.

La Figura 5 muestra los resultados de la diversidad alfa:

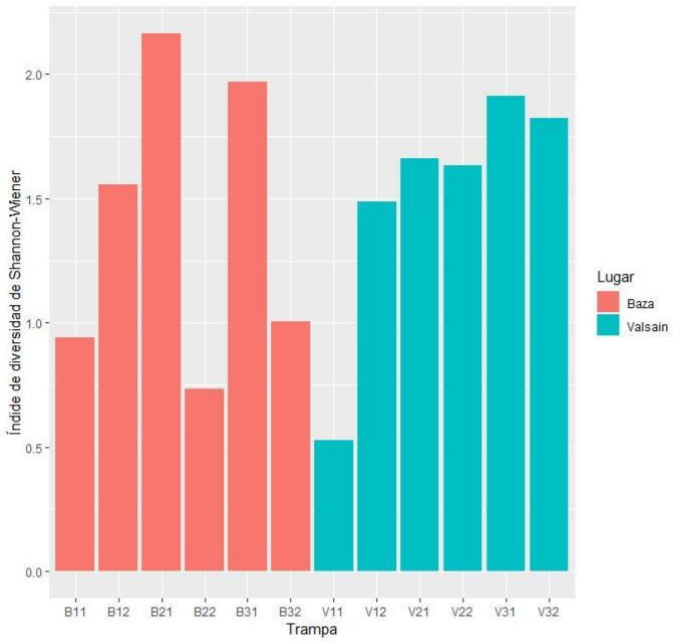


Figura 5. Índice de diversidad de Shannon-Wiener por trampa en cada una de las zonas de muestreo.

Se puede observar como en el caso de Baza, es en los puntos de muestreo B2-1 y B3-1 en los que hay una mayor diversidad, mientras que en el caso de Valsaín la diversidad es mayor en la trampa V3-1 y V3-2. Por otro lado, se realizó también se estudió la variación del índice de diversidad de Shannon en relación a la altitud en cada uno de las zonas de muestreo (Figura 6), sumando las capturas de las dos trampas que componen cada punto. De esta figura podemos observar cómo a medida que aumenta la altitud en ambas zonas de muestreo, aumenta a su vez la diversidad de especies. Cabe destacar el punto de menor altitud del M. de Valsaín que presenta una muy baja diversidad de especies.

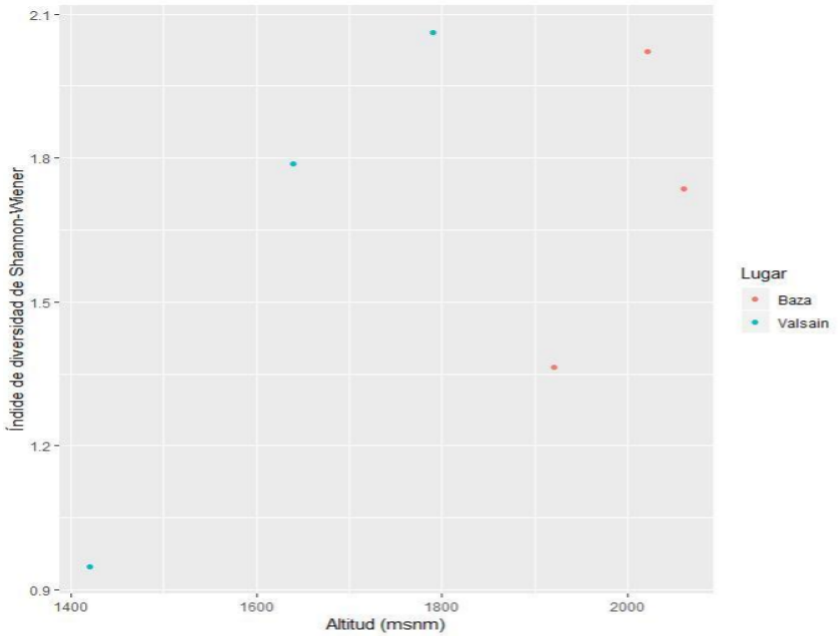


Figura 6. Índice de diversidad de Shannon-Wiener en relación a la altitud en cada una de las zonas de muestreo.

Para las variables que dieron una regresión significativa al analizar de forma conjunta ambas zonas de estudio de forma conjunta, se observa que las tres están relacionadas con la temperatura: temperatura media anual (BIO1), temperatura media del mes más húmedo (BIO8) y temperatura media del mes más frío (BIO11). De esta forma, observamos que son similares en cuanto a la tendencia que presentan (todos los coeficientes son negativos), disminuyendo el índice de diversidad conforme aumenta la temperatura, es decir, la diversidad alfa de especies disminuye hacia zonas más cálidas. Como las tres gráficas en las que se representa la regresión lineal mostraron una información muy parecida, sólo se incluye la más representativa de las tres (Figura 7a).

Cabe destacar que cuando se analizaron por separado las zonas de estudio, sólo se obtuvieron regresiones significativas para el Monte de Valsaín, mientras que para la Sierra de Baza no hay ninguna regresión significativa.

Si se analizan las zonas por separado, se observa que las regresiones con las variables ambientales BIO1, BIO5, BIO9, BIO11 y BIO12, tienen la misma tendencia, aunque se pueden apreciar algunas diferencias entre ellas que se observan en la Figura 7b. Por otro lado, para la variable ambiental BIO11 (temperatura media del trimestre más frío), se observa un comportamiento diferente al resto (Figura 8), que se comentará también más adelante. En la Figura 7b se observa que hacia zonas más cálidas disminuye la diversidad, encontrando que hay un rango mayor de distribución en el Monte de Valsaín respecto a la Sierra de Baza, siendo éste muy estrecho. Además, se observa también que incluso el rango de la Sierra de Baza es más estrecho que el punto más bajo de biodiversidad que se encuentra en el Monte de Valsaín, que está mucho más separado.

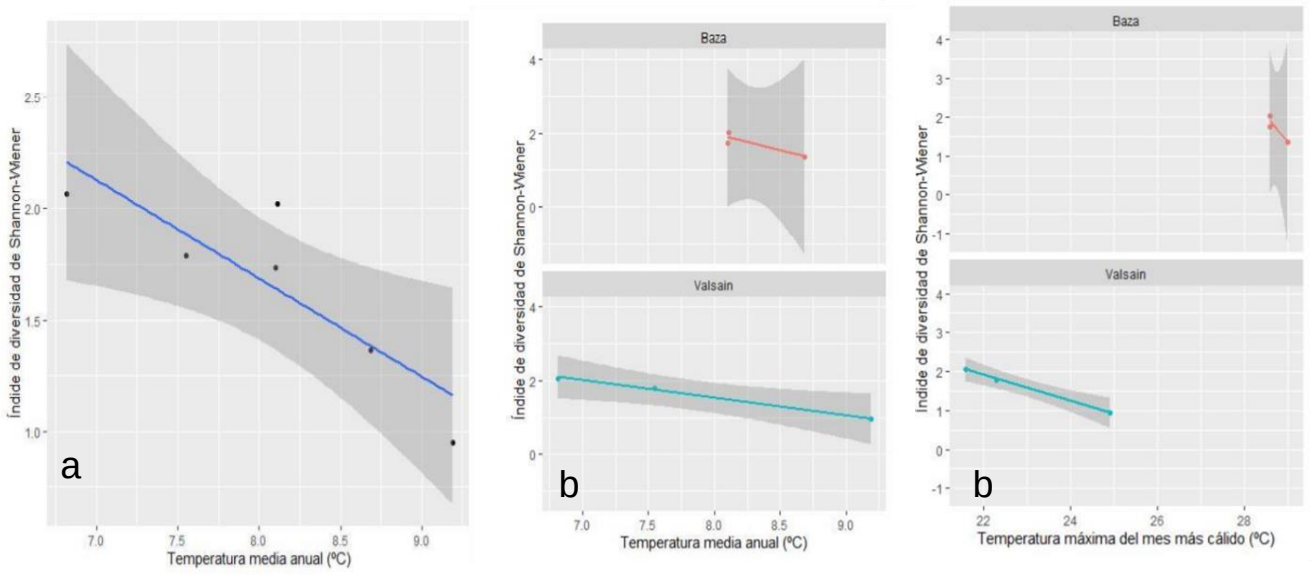


Figura 7. a. Recta de regresión del índice de diversidad de Shannon-Wiener en función de la temperatura media anual (BIO1); b. Rectas de regresión del índice de diversidad de Shannon-Wiener en función de la temperatura media anual (Izquierda) y temperatura máxima del mes más cálido (Derecha).

En la Figura 7b se observa que la temperatura de la Sierra de Baza es superior a la del Monte de Valsaín, y de la misma forma, observamos que conforme nos acercamos a las zonas cálidas disminuye la diversidad. No obstante, se puede ver claramente que hay una discontinuidad entre las temperaturas, ya que mientras que en el Monte de Valsaín las temperaturas van en un rango de entre los 21 ºC aproximadamente hasta los 25 ºC, la Sierra de Baza da un salto y no baja del rango de los 28 ºC durante los meses más cálidos, que se corresponde con la época estival. De esta forma, el rango de distribución para la Sierra de Baza es muy estrecho y cae rápidamente en zonas con temperaturas que alcanzan los 29ºC, mientras que en el Monte de Valsaín el rango es mucho mayor. En la Figura 8 se observa la misma tendencia para la regresión con la variable BIO9, la temperatura media del trimestre más seco. Las variables climáticas BIO10 y BIO12, rango anual de temperatura y precipitación anual respectivamente, presentan una tendencia similar.

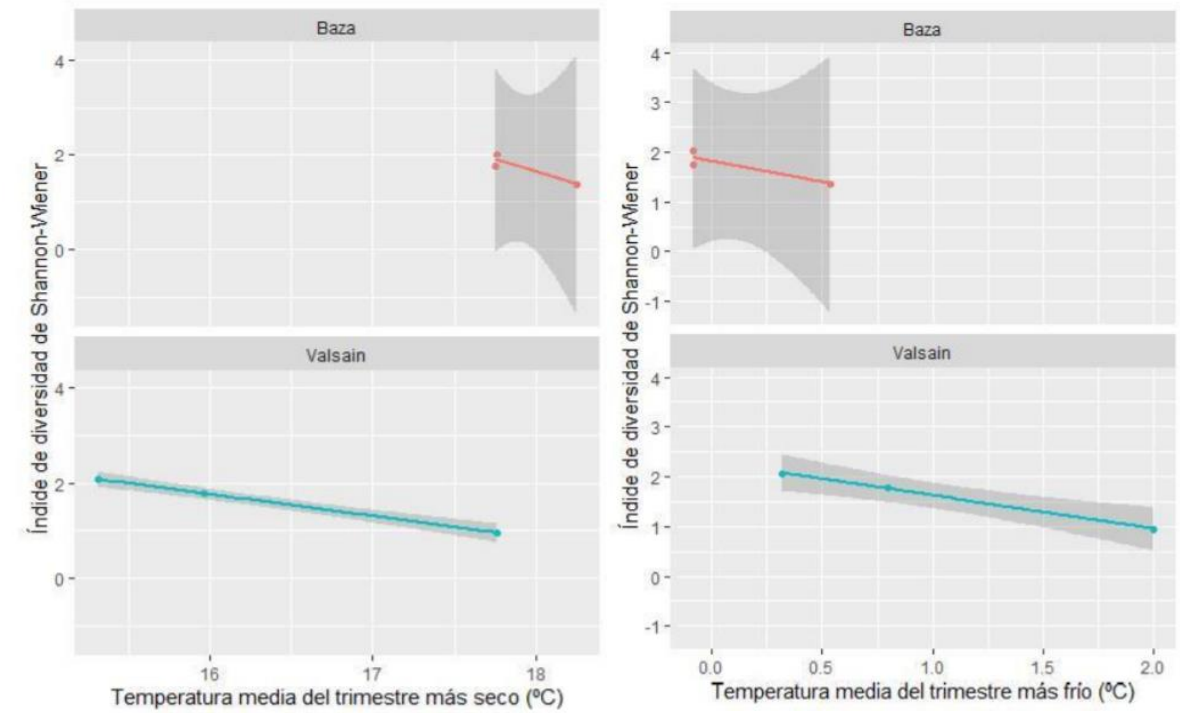


Figura 8. Rectas de regresión del índice de diversidad de Shannon-Wiener en función de la temperatura media del trimestre más seco (Izquierda) y temperatura media del trimestre más frío (Derecha).

Para las tres variables se puede observar que, hacia zonas cálidas (BIO9 y BIO10) o más secas (BIO12), disminuye la diversidad alfa y, además, se observa que en la Sierra de Baza hay un rango menor de la distribución con una disminución más acusada de la diversidad de especies, mientras que en el Monte de Valsaín las temperaturas son inferiores y el rango de distribución es mayor.

En la Figura 8 se observa una disminución de la diversidad hacia las zonas más cálidas. Así mismo, se ve claramente que, en la Sierra de Baza, la temperatura media es inferior en el trimestre más frío, que se corresponde con el periodo invernal, encontrando que el rango de distribución es mucho más estrecho y mucho menor que en Valsaín. En la Sierra de Baza encontramos mayores pluviometrías y variaciones en las temperaturas, siendo más elevadas que en Valsaín en la época más calurosa, pero siendo inferiores en la época más fría del año.

5. Discusión

Tras examinar los resultados obtenidos, se observan evidentes diferencias entre ambas zonas de muestreo. Es muy evidente que, en la Sierra de Baza la especie más abundante es *O. erosus*, con un total de 508 individuos, mientras que en el caso del Monte de Valsaín lo es la especie *I. sexdentatus*, con un total de 821 individuos.

Así mismo, en la Sierra de Baza el punto de muestreo que más especies ha capturado es el punto de muestreo 2 (2021 m) empleando el cebo 3, mientras que utilizando el cebo 2, el punto con un mayor número de capturas es el punto 3 (2060 m de altitud), aunque sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. En el caso del Monte de Valsaín, el punto de muestreo 3 (1790 m) es el que ha obtenido un mayor número de capturas con el cebo 3, mientras que con el cebo 2 ha sido el punto 1 (1450 m), igualmente sin diferencias estadísticamente significativas. Se puede observar como en la Sierra de Baza se han capturado un mayor número de individuos a elevadas altitudes, mientras que en el Monte de Valsaín el mayor número de individuos han sido capturados en las altitudes más bajas, esto se puede deber a la que estas especies tienen menos preferencia por las formaciones de otros árboles

como *Pinus nigra* y *Quercus ilex* de las zonas bajas de la Sierra de Baza. Por otro lado, los claros abiertos de matorral de las zonas bajas del Monte de Valsaín pueden facilitar el vuelo y la dispersión de estas especies, aumentando así su abundancia de capturas.

En relación a la diversidad alfa, podemos ver como en la Sierra de Baza se necesita una mayor altitud para conseguir unos valores de diversidad similares a los del Monte de Valsaín, esto se puede deber a que cuanto mayor es la altitud, mejores son las condiciones climáticas de temperatura y humedad, permitiendo una mayor diversidad. Cabe destacar que, en el punto de menor altitud del Monte de Valsaín, existe una muy baja diversidad de especies. Esto último se debe, posiblemente, a que en esa zona los compita mejor *P. nigra* , pero esta hipótesis debería ser contrastada en futuros estudios. En contra de lo esperado, el ANOVA no encuentra diferencias significativas entre la diversidad de Baza y Valsaín, pese a las evidentes diferencias ambientales que separan ambos sitios.

Para ambas zonas de estudio, se detectan relaciones lineales positivas entre la diversidad de especies en las zonas de mayor altitud. De esta forma, donde se registró una menor diversidad de especies fue en el punto más bajo de Valsaín (V1), el cual se encuentra a 1450 m, mientras que el punto de muestreo más bajo de Baza (B1) se encuentra a 1920 m, con una diversidad mayor que el punto más bajo de Valsaín. De forma más clara, se ve que es en las zonas con mayor altitud (donde las temperaturas son más bajas y las precipitaciones más elevadas), donde se alcanzan los máximos de diversidad y, por tanto, una mayor complejidad de las comunidades, lo que podría interpretarse como que estas comunidades que se encuentran más cerca de su óptimo.

En relación a las temperaturas medias, son más elevadas en la Sierra de Baza, aunque las temperaturas del trimestre más frío son más bajas en Baza que en Valsaín. Además, en Baza, el rango de distribución de la diversidad es muy estrecho y la ésta disminuye de forma drástica, mientras que en el Monte de Valsaín hay un rango mucho más amplio en la diversidad. A pesar de ello, Baza presenta una mayor diversidad de especies, sobre todo en los puntos de muestreo de mayor altitud, en comparación con Valsaín.

En relación con las variables de pluviometría, se observa que en zonas más húmedas la diversidad también aumenta, encontrando un rango de variación mucho más estrecho en Baza que en Valsaín. Además, se observa que, a pesar de que en Baza la cantidad de precipitaciones totales es mayor, la estacionalidad de las precipitaciones también lo es. En cambio, en Valsaín se registra una pluviometría menor, pero con mayor continuidad a lo largo del año. La estacionalidad nos proporciona información sobre cómo quedan restringidas las precipitaciones a un periodo concreto, es decir, cómo de homogéneos son los valores de precipitación anuales. De acuerdo con los resultados, cuanto más irregulares sean las precipitaciones a lo largo del año, la diversidad de la comunidad de insectos forestales tiende a aumentar.

Teniendo en cuenta estos resultados, los puntos de muestreo situados en las zonas de mayor altitud en Baza se encuentran en la zona más fría, registrando una mayor diversidad tanto de especies como de familias. Hay que recordar que la altitud de Baza es superior a la de Valsaín y, sin embargo, se observa una diferencia muy importante respecto a las temperaturas: en el trimestre más frío, las temperaturas son mucho más bajas en Baza que en Valsaín, mientras que, durante el periodo más cálido, esta zona registra temperaturas superiores a las de Valsaín, por lo que es de suponer que puede ser un ambiente muy estresante para *Pinus sylvestris*.

Pero estas variables climáticas también deben estar relacionadas con una mejor o peor calidad del bosque. Lo esperado sería que las comunidades más complejas deberían encontrarse en bosques situados más cerca de su óptimo, siguiendo los rangos de altitud, temperatura y precipitación, aunque es aparentemente contradictorio con que la diversidad de Baza sea igual, o incluso puntualmente mayor, que la de Valsaín.

Esto se puede entender de forma que, en Baza, donde las oscilaciones en las temperaturas anuales son muy grandes (veranos cálidos e inviernos muy fríos), el bosque puede encontrarse lejos de su óptimo, de forma que la especie de *P. sylvestris* puede verse afectado ante esta situación tan estresante, afectando de alguna forma a la complejidad de las comunidades de insectos forestales que dependen estos árboles. No obstante, uno de los motivos por los que Baza no da regresiones significativas en cuanto a diversidad de en el nivel taxonómico de especie, puede ser debido a que las dos zonas de muestreo de la cumbre están separadas sólo 1 km, lo que da lugar a una diferencia ambiental muy pequeña, como se observa en las Figuras correspondientes, donde se ven dos puntos muy juntos en la zona de Baza.

Por otro lado, en Valsaín, el bosque debe encontrarse más cerca de su óptimo, lo que también se puede relacionar con la altitud y la climatología, ya que, en las zonas más elevadas, las temperaturas son más bajas y las precipitaciones registradas son mayores. Hay que tener en cuenta que la Sierra de Baza se encuentra incluida en las montañas béticas, consideradas un hotspot de diversidad (Myers et al., 2000), por lo que es esperable altos niveles de diversidad, lo que podría estar alterando las tendencias esperadas. Además, hay que tener en cuenta que el bosque de *P. sylvestris* y las comunidades de insectos estudiadas en la Sierra de Baza podrían considerarse como una situación de montaña isla (Valdés, 2011). Las montañas isla son zonas óptimas en sus condiciones climáticas que se encuentran aisladas debido a la interposición de hábitats no propicios para las especies de las habitan. Debido a esto, las especies que necesitan este tipo de hábitat se concentran normalmente en las zonas de elevada altitud, sin la posibilidad de dispersarse por las zonas más bajas. Para estas montañas isla, se suelen esperar unos valores de diversidad menores, de acuerdo con la teoría de MacArthur and Wilson (1967) y suelen presentar un elevado riesgo de extinción debido al cambio climático, ya que la única forma que tienen las especies que componen esa comunidad de sobrevivir es ir subiendo en altitud, y como en el caso de Baza, esto será imposible. De acuerdo con estas consideraciones, aunque el pinar de Baza se encuentre lejos del óptimo, encontramos altos valores de diversidad alfa de especies, y esto puede ser debido al equilibrio entre encontrarse en un hotspot de diversidad y ser una montaña isla. Conforme a esto, se esperaría, por un lado, que al ser un hotspot aumentase la diversidad de especies, y, sin embargo, al comportarse como una montaña isla, esta diversidad tiende a disminuir. No obstante, cabe destacar que, en el gradiente altitudinal de la Sierra de Baza, bajo el pinar de *P. sylvestris* encontramos un pinar de *P. nigra* y por debajo de éste pinares de *P. halepensis*. De esta forma, el cambio climático puede ocasionar que las especies de los pinares de menor altitud puedan acceder a mayores altitudes, produciendo un aumento temporal de la diversidad, al mezclarse las especies de ambas comunidades. Como resultado, valores más altos de diversidad que los esperados se mantendrían en esta zona de estudio. Todo ello en contraposición a lo que podría ocurrir en el Monte de Valsaín, ya que bajo el pinar de *P. sylvestris* se encuentra el paisaje agrícola y formaciones de encinas, lo que permitirá un menor intercambio de especies entre ecosistemas. Como consecuencia, el resultado de una mayor diversidad de especies en Baza puede darse por el equilibrio de estos tres factores mencionados anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, es muy probable que el pinar de *P. sylvestris*, y muchas de las especies que alberga, se acaben extinguiendo en Baza debido al cambio global. No obstante, si el pinar de esta zona tiene suficiente resiliencia, es decir, las especies tienen la capacidad de mantenerse donde están y sobrevivir a pesar de que las condiciones no son óptimas, podría mantenerse, aunque las condiciones del bosque no serían las adecuadas y las comunidades que alberga posiblemente se irán haciendo cada vez más simples.

6. Conclusiones

Los bosques de *P. sylvestris* en la Península Ibérica albergan comunidades de saproxílicos complejas, compuesta al menos por un total de 37 especies pertenecientes a 14 familias, con una alta complejidad de grupos funcionales tróficos.

Los valores de diversidad están relacionados con parámetros ambientales de modo que en las zonas más cálidas y secas, la diversidad de especies disminuye de forma drástica, aumentando considerablemente esta diversidad cuando hacia las zonas más frías y húmedas.

Pese a las condiciones ambientales más desfavorables en la Sierra de Baza, encontramos que la diversidad es aparentemente mayor que en Valsaín, pudiendo ser debido a la conjunción de factores por encontrarse un hotspot de diversidad y de tratarse de una montaña isla al mismo tiempo, pero también por la posible colonización de otras especies que de otras formaciones forestales de zonas de menor altitud.

7. Agradecimientos

Especial agradecimiento a José Luis Lencina por su maravillosa caja entomológica de comparación, que facilitó la identificación de las especies, y a Eduardo González, Lalo, por instalar y recoger las trampas de Valsaín.

8. Bibliografía

ALLUE, J.L. (1990). Atlas fitoclimático de España. INIA. MAPA. Madrid.

BACARO, G.; ROCCHINI, D.; GHISALA, A.; MARCANTONIO, M.; NETELER, M.; CHIARUCCI, A. (2012). The spatial domain matters: Spatially constrained species rarefaction in a Free and Open Source environment. *Ecological Complexity*, 12: 63-69.

BASELGA A., ORME D., VILLEGER S,. DE BORTOLI, J. and LEPRIEUR, F. (2017). betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components. R package version 1.4-1. https://CRAN.R-project.org/package=betapart

CASTROVIEJO, Santiago et al. (eds.) (1986). Flora ibérica. [...] Vol. I. Lycopodiaceae-Papaveraceae.

CATALÁN, G. (eds.) (1991). Regiones de Procedencia de Pinus sylvestris L., Pinus nigra Arn. Subsp. salmannii (Dunal) Franco. MAPA, Madrid, 5 pp.

CORNELL, H.V. , J.H. LAWTON. (1992). Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: A theoretical perspective. *J. Anim. Ecol.*, 61: 1-12.

DOLLIN, P.E.; MAJKA, C.G.; DUINKER, P.N. (2008). Saproxylic beetle (Coleoptera) communities and forest management practices in coniferous stands in southwestern Nova Scotia, Canada, *Zookeys* 2: 291-336.

DUMM, D. & CRUTCHFIELD, J.P. (2006). Insects, Trees, and Climate: The Bioacoustic Ecology of Deforestation and Entomogenic Climate Change. *Santa Fe Institute Working Paper*, 120: 23-32.

FRANKLIN, J. F., SPIES, T.A. (1991). Ecological Definitions of Old-Growth Douglas-Fir Forests. In: Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-Fir Forests. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-285. Portland, OR: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, pp. 61-69.

GALLEGO, D. y CAMPO, M.T. (2010). El bosque ante el cambio climático. *Murcia, Enclave Ambiental*, 25, 18-29.

GÓMEZ TORNERO, J. (2005). Los Montes de Valsaín. Edita: O. A. Parques Nacionales

GOTELLI, N.J. & CHAO, A. (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data.

GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4): 379-391.

GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. (2011). Estimating species richness. *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*, 12: 39-54.

GIL, P.; GALERA, R. M.; MARTÍN, S.; AGUNDEZ, D.; ALIA, R. (1991). Regiones de procedencia de Pinus sylvestris L. y Pinus nigra Arn, subsp. salzamannii (Dunal) Franco de España: Servicio de Material Genético (ICONA) y Departamento de Sistemas Forestales (INIA), Madrid: 13-19.

GIL y PAJARES (1986). Los escolítidos de las coníferas en la Península Ibérica. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), Madrid, 194 pp.

JUNTA DE ANDALUCÍA (2007). Guía del Parque Natural Sierra de Baza y su entorno, Sevilla: Consejería de Turismo, Comercio y Deporte: 25-29.

GROVE, S (2002). Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 1-23.

HARMON, ME; FRANKLIN, JF; SOLLINS, P; GREGORY, SV; LATTIN, JD; ANDERSON, NH; CLIME, SP; AUMEN, NG; SDELL, JR; CROMACK, K and CUMMINS, KW (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in Ecological Research, 15: 133-302

LLORENTE, B. J; MORRONE, J. J. (2001). Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, concepto, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias. UNAM, México D.F.

LÓPEZ F. (2007). Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares. 3a edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

MARCOS, M A. (1986). Nuevas citas para la fauna ibérica de sírfidos (Diptera). *Miscelánea Zoológica*, 10: 205-211.

MACARTHUR, R. H. and WILSON, E. O. (1967). The theory of island biogeography. Princeton, University Press, Princeton.

MICÓ, E.; MARCOS GARCÍA, M. A.; GALANTE E. (eds.) (2013). Los Insectos saproxílicos del Parque Nacional de Cabañeros, 2: 41-45.

MICÓ, E.; MARCOS GARCÍA, M. A.; GALANTE E.; RAMÍREZ, A. (2021). El bosque adehesado como refugio de una entomofauna muy diversa, Cap 3.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

OKSANEN, J., BILANCHET, F.G., MICHAEL FRIENDLY, KINDT,R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P.R., O'HARA R.B, SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS M.H., SZOECS, E. and WAGNER, H. (2017). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-5. https://CRAN.R-project.org/package=vegan

ORIA DE LA RUEDA, J.A. (2013). Guía de árboles y arbustos de Castilla y León. Ediciones Cálamo, Valladolid, 12 pp.

PUJADAS, A. and CLEMENTE, M. (1987) Mathiola. In Valdés, B., Talavera, S. and Fernandez Galiano, E. (Eds.) Flora de andalucía Occidental 1:387-390. Barcelona.

R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: https://www.R-project.org/

SÁNCHEZ SALGUERO, R.; NAVARRO CERILLO, R.M.; CAMARERO, J.J.; FERNÁNDEZ CANCIO, A.; SWETNAM, T.W.; ZAVALA, M.A. (2012). Vulnerabilidad frente a la sequía de repoblaciones de dos especies de pinos en su límite meridional en Europa. *Ecosistemas*, 21(3):31-40.

SANCHIS, A. (2019): Descripción de las comunidades de insectos forestales asociados a *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica.

SPEIGHT, M. C. D. (1989). Saproxylic invertebrates and their conservation. Nature and environment series 42. Council of Europe, Strasbourg.

VALDÉS, A. (2011). Modelos de paisaje y análisis de fragmentación: de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo. *Ecosistemas* 20(2-3):11-20.

WHITTAKER, R.H. 1960. Vegetation in the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.*, 30: 279-338.