



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

CONTROL BIOLÓGICO DE LA PROCESIONARIA DEL PINO.

Aroa Rodríguez López

Máster Universitario Biotecnología Aplicada

(Especialidad/Itinerario *Biotecnología y Medio Ambiente*)

Centro de Estudios de Postgrado

Año Académico 2021-22

CONTROL BIOLÓGICO DE LA PROCESIONARIA DEL PINO

Aroa Rodríguez López

Trabajo de Fin de Máster

Centro de Estudios de Postgrado

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2021-22

Palabras clave del trabajo:

Thaumetopoea pityocampa, procesionaria del pino, parasitoides, hospedadores alternativos, plaga, puestas, huevos, Mallorca.

Nombre Tutor/Tutora del Trabajo: Miguel Ángel Miranda Chueca

Índice

Resumen.....	3
Abstract	3
1. Introducción	4
1.1 Descripción de la especie	4
1.2 Historia y distribución	4
1.3 Ciclo biológico	6
1.4 Importancia sanitaria de la especie	10
1.5 Importancia económica y ecológica de la especie	11
1.6 Control biológico	11
2. Materiales y métodos	13
2.1 Obtención de los huevos de <i>T. pytiocampa</i>	13
2.2 Análisis de las puestas de <i>T. pityocampa</i>	14
2.3 Mantenimiento, cría e identificación de los parasitoides en el laboratorio	16
2.4 Captura de adultos de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	16
2.5 Tratamiento de los datos	19
2.6 Análisis estadístico	19
3. Resultados	19
3.1 Obtención de las muestras.....	19
3.2 Análisis de las puestas de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	20
3.2.1 relación de los huevos y la longitud de la puesta	21
3.2.2 Porcentaje de parasitismo en las puestas	23
3.2.3 Viabilidad de las puestas	25
3.2.4 Preferencia de los parasitoides por alguna zona de la puesta.....	27
3.3 Emergencia de los parasitoides de <i>T. pityocampa</i>	30
3.4 Captura de adultos de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	30
3.5 Identificación de parasitoides	31
3.6 Parasitismo en hospedadores alternativos	33
4. Discusión	34
5. Conclusiones.....	37
6. Agradecimientos	37
7. Referencias.....	38

Resumen

Se estudió el grado de parasitismo de 129 puestas de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) recogidas en cinco municipios de la isla de Mallorca (Islas Baleares). El parasitismo se estudió por punto de muestreo, por municipio de recolección y por el tipo de hábitat donde fueron recolectadas las puestas, así como parasitismo por zona de la puesta (apical, central y basal). Las puestas fueron recogidas después del período de eclosión de las larvas. Se identificaron dos especies de parasitoides *Bariscapus servadeii* y *Ooencyrtus pityocampae*, estas especies son dos microhimenópteros cuyo porcentaje de parasitismo en las puestas es muy diferentes ya que el 91.7% de los parasitoides que emergieron durante el estudio pertenecían a la especie *B. servadeii* mientras que *O. pityocampae* presentó un 7.56%. Se encontraron diferencias significativas sobre el parasitismo dependiendo del municipio de recolección y del tipo de hábitat de recolección, así como diferencias significativas sobre el porcentaje de parasitismo dependiendo de la zona de la puesta. Se intentó una cría de estos microhimenópteros tanto con la especie *Samia ricini* como con huevos de procesionaria obtenidos en laboratorio tras la captura de ejemplares adultos.

Abstract

The level of parasitism of 129 egg batches of the pine processionary (*Thaumetopoea pityocampa*) collected in five municipalities from Majorca (Balearic Islands) was studied. Parasitism was studied by sampling point, by municipality of collection and by the type of habitat where the egg batches were collected, as well as parasitism by egg batch area (apical, middle and basal). The egg batches were collected after the larval hatching period. Two species of parasitoids *Bariscapus servadeii* and *Ooencyrtus pityocampae* were identified, these species are two microhymenoptera whose percentage of parasitism 91.7% for *B. servadeii* and 7.55% for *O. pityocampae*. Significant differences were found on parasitism depending on the municipality of collection and habitat, as well as on the percentage of parasitism depending the zone off the egg batch. Rearing of these microhymenoptera was attempted with *Samia ricini* species and with pine processionary eggs obtained in the laboratory after the capture of adult specimens.

1. Introducción

1.1 Descripción de la especie

Los Lepidópteros son uno de los órdenes de insectos más diversos (Hossler, 2010). La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff., 1775)) pertenece a este grupo de insectos (Tabla 1). Es un lepidóptero defoliador nocturno de la familia Thaumetopoeidae que se caracteriza por presentar un comportamiento gregario, así como una forma característica de desplazamiento que se denomina procesión y que le confiere su nombre común (Vega et al., 2011).

Tabla 1: Clasificación de *T. pityocampa* (Den. & Schiff. 1775).

Clasificación	
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Subfilo	Hexapoda
Clase	Insecta
Orden	Lepidoptera
Superfamilia	Noctuoidea
Familia	Thaumetopoeidae
Género	<i>Thaumetopoea</i>
Especie	<i>T. pityocampa</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)

Es una plaga forestal que afecta a numerosas especies del género *Pinus*, aunque diversos factores como la calidad del alimento o la selección de una determinada especie a la hora de la oviposición, pueden influir en la susceptibilidad de cada especie vegetal (Arnaldo & Torres, 2006). Para su defensa han desarrollado tricomas urticantes con varias toxinas (Hossler, 2010), la diferenciación de la glándula productora de toxinas se produce en el primer estadio larvario, cuando la oruga alcanza el tercer estadio y la glándula es lo suficientemente grande, empieza la formación de quetas urticantes que provocan dermatitis a causa de la proteína thaumetopoeina, la cual se sintetiza en estas mismas glándulas (Novak & Lamy, 1986).

La procesionaria del pino ha sido y es una de las más importantes plagas en el área mediterránea. En España se puede localizar en la península y en las Islas Baleares (Torres Muros, 2016) donde fue detectada en Mallorca en el año 1942 (Gomboc et al., 2004). La expansión de esta plaga tanto a nivel latitudinal como altitudinal ya es notable debido al incremento de las temperaturas invernales asociado al cambio climático (Battisti et al., 2006; Hodar et al., 2004).

1.2 Historia y distribución

El nombre del género *Thaumetopoea* deriva del griego y significa (insecto que) “hace cosas maravillosas”, se le nombró de esta manera por sus características como el tener todo el cuerpo

recubierto de quetas urticantes para protegerse de sus enemigos, sus largas procesiones o sus nidos de sedas brillantes en la copa de los árboles (Battisti et al., 2015).

La procesionaria del pino se extiende por toda la costa mediterránea, desde el norte de África a todo el sur de Europa, y desde la costa atlántica hasta la parte occidental de Turquía (figura 1). Dentro de España, se puede localizar por toda la península y en las Islas Baleares (Torres Muros, 2016). La expansión de esta plaga, tanto a nivel latitudinal como altitudinal ya es notable, como consecuencia del incremento de las temperaturas invernales, que están asociadas al cambio climático (Barceló, 1992; Battisti et al., 2005; Hódar & Zamora, 2004).

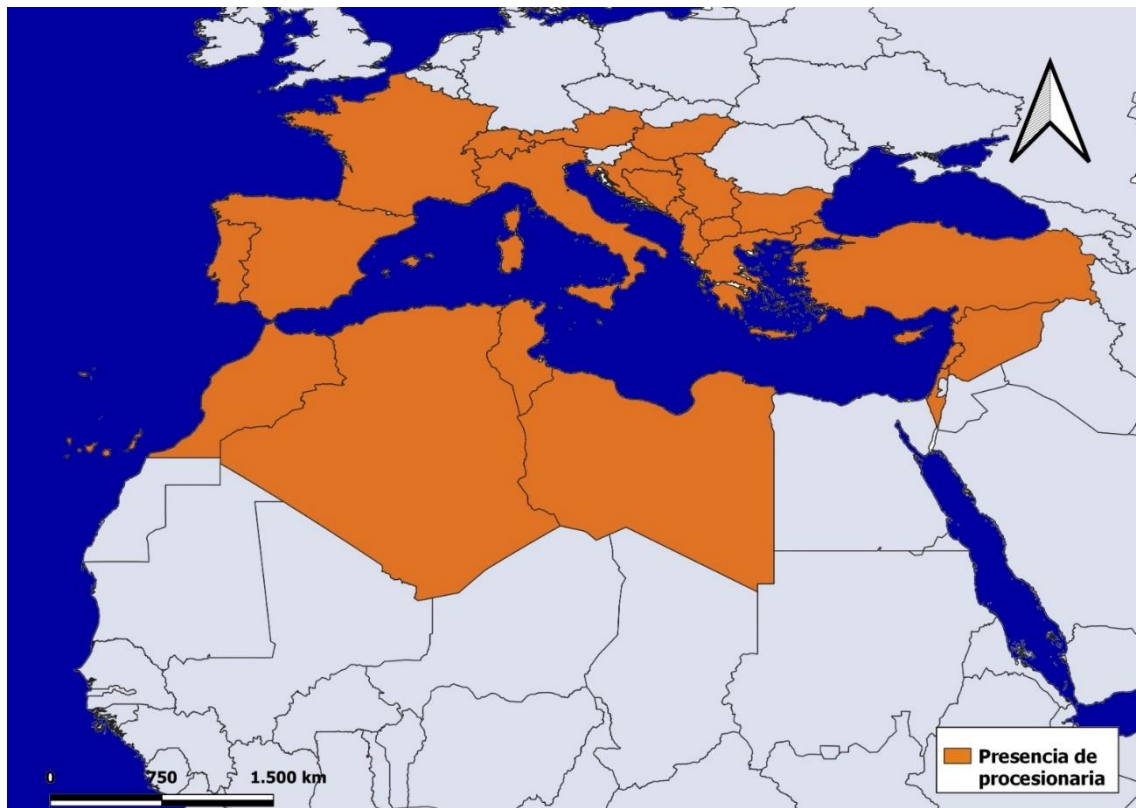


Figura 1. Distribución global de *Thaumetopoea pityocampa*. (Fuente: EPPO)

Las polillas de procesionaria identificadas en la cuenca mediterránea pertenecen a nueve especies, de las cuales cuatro se encuentran en la Península Ibérica, *Thaumetopoea processionea* (Linnaeus, 1758); *Thaumetopoea herculeana* (Rambur, 1840); *Thaumetopoea pinivora* (Treichske, 1834); y *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775), siendo esta última una de las plagas defoliadoras más importantes de nuestros pinares (López, 2014).

La habilidad de los insectos herbívoros de completar su desarrollo en diferentes huéspedes es un requisito para favorecer su expansión y distribución (Gutierrez & Thomas, 2000; Stastny et al., 2006). Ya en el siglo XX Démolin (1969) puso de manifiesto la relación las defoliaciones producidas por *T. pityocampa* y la temperatura. Posteriormente se relacionó el aumento de las temperaturas con los movimientos altitudinales (Hodar & Zamora, 2004) y latitudinalmente (Rousselet et al., 2010) de la procesionaria del pino ya que los inviernos suaves incrementan su tasa de supervivencia (Battisti et al., 2005).

Es por esto que actualmente la procesionaria del pino se encuentra ampliamente distribuida en muchos de los países del sur de Europa así como del norte de África (Arnaldo & Tortes, 2006). Esta especie es considerada como una de las plagas más importantes de los bosques de coníferas

en la región mediterránea (Sbadjji et al., 2015) y la mayor de las plagas de insectos defoliadores de los pinares españoles.

Como se ha dicho anteriormente, fue en el año 1942 cuando se introdujo en el archipiélago balear, más concretamente en Mallorca en forma de pupa en pinos procedentes de la península ibérica (Berbiela et al., 2005). Desde ese momento la procesionaria se ha ido extendiendo a las demás islas del archipiélago, detectándose en primer lugar en Menorca en el año 1979, después en Ibiza en 1975 y por último en la isla de Formentera en el año 2007 (Núñez, 2013). Actualmente, la procesionaria del pino se encuentra ampliamente distribuída por la isla de Mallorca, teniendo ésta diferentes niveles de afectación en los pinares de la isla en función de los daños ocasionados (Figura 2).

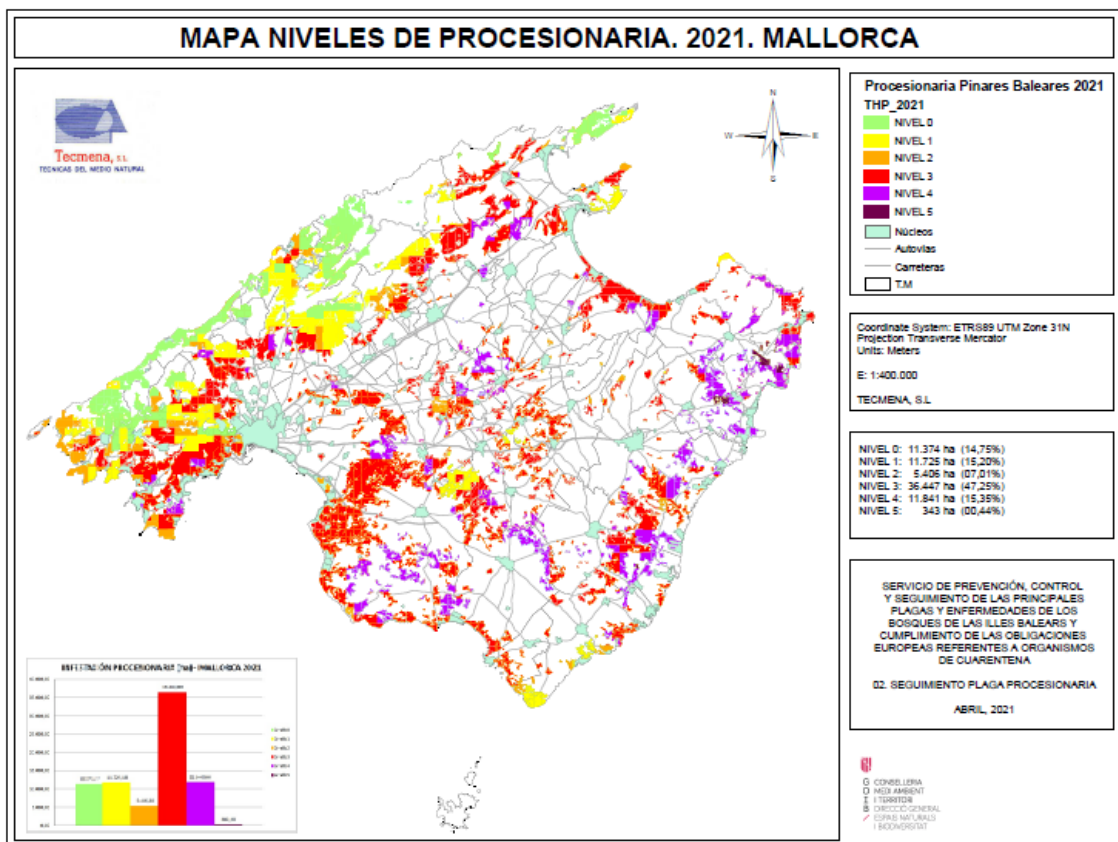


Figura 2. Mapa de afectación de la procesionaria del pino en el año 2021. (Fuente: CAIB).

1.3 Ciclo biológico

Como el resto de especies del orden Lepidoptera, la procesionaria del pino presenta una metamorfosis de tipo holometábola (Hossler, 2010), con cuatro fases diferentes: huevo, larva, pupa e imago (Villas-Boas et al., 2018).

El ciclo biológico de la procesionaria del pino suele durar un año, aunque en algunos casos puede prolongarse dos o más años debido a la diapausa. Este ciclo comprende dos estadios que se desarrollan en dos estratos diferentes del ecosistema, uno que se puede denominar aéreo o epigeo, sobre el pino (fases de adulto, huevo y larva) y otro que sería subterráneo o hipogeo (fase de pupa) (Gómez, 2020). El paso de una fase a la otra se caracteriza por una migración

colectiva de las orugas maduras y otra fase en verano, con la emergencia de los adultos, que asegura su regreso al hospedador vegetal (López Sebastián, 2014).

En general, las hembras suelen vivir alrededor de dos días mientras que, para los machos, este tiempo, es un poco mayor (Zhang & Paiva, 1998b). Las hembras cuando emergen se instalan en un lugar elevado y se quedan inmóviles, al cabo de 2-4h de inactividad atraen a los machos emitiendo feromonas, éstos son atraídos mediante olfacción antenal (Cadahia et al., 1975; Camps et al., 1988). El acoplamiento dura alrededor de una hora, una vez ambos sexos se separan la hembra busca un pino sobre el que poner su única puesta guiada por estímulos tanto morfológicos como químicos (Stastny et al., 2006). La selección del árbol donde van a poner la puesta está influida por varios motivos: el tamaño del árbol, su posición, el grosor de las acículas, la forma de la copa y la orientación (Stastny et al., 2006), empezando así el ciclo de la procesionaria.

Las hembras depositan los huevos con un movimiento helicoidal empezando por la parte basal de la acícula hacia la parte más apical (Montoya, 1981), éstas envuelven los huevos entre dos acículas de un mismo braquiblasto (Arnaldo & Torres, 2006; Battisti, 1988; Stastny et al., 2006); a continuación, la hembra recubre los huevos con escamas de su abdomen, formando una estructura bien organizada de hileras de huevos a lo largo de dos acículas (Figura 3). Una hembra puede poner entre 150 y 350 huevos en una sola puesta, que eclosionan en julio en lugares más fríos y en octubre en lugares más cálidos (Zhang & Paiva, 1998a).



Figura 3. Puesta de huevos de *Thaumetopoea pityocampa* en *Pinus halepensis* (Mallorca).
Autora: A. Rodríguez.

A los 30-40 días de la puesta por parte de las mariposas, nacen las orugas, las cuales tienen un comportamiento gregario durante toda su vida, éstas se alimentan de las acículas en las que se sujetan las puestas y pasaran por cinco estadios de desarrollo (L1a L5) (Pérez-Contreras & Tierno de Figueroa, 1997). En función de las condiciones ambientales, las tres primeras fases larvarias se completan entre los 70 y los 90 días, siendo al final del tercer estadio larvario cuando forman los bolsones (Montoya, 1981).

La alimentación de las orugas es estrictamente crepuscular y nocturna. Durante su primer estadio larvario, las orugas se desplazan en busca de nuevos ramillos y construyen nidos provisionales de seda los cuales están recubiertos por sus heces (Figura 4).



Figura 4. Nido provisional de las orugas de *Thaumetopoea pityocampa*. Autora: A. Rodríguez.

Transcurridos 8-12 días, las orugas sufren la primera muda y pasan al segundo estadio, en este estadio las orugas aumentan su capacidad de movimiento, realizan menos desplazamientos, pero éstos son más largos (Molina & Ocete, 1996). Durante los dos primeros estadios la colonia puede cambiar varias veces su emplazamiento hasta encontrar una situación que sea más favorable desde el punto de vista térmico (Montoya, 1981).

Realizada la segunda muda (12-18 días), las orugas pasan al tercer estadio, donde aparecen las quetas urticantes, se produce el emplazamiento definitivo con la formación de los bolsones (Figura 5 y 6). Tras unos 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas de la localidad, se abre paso el cuarto estadio de la fase larvario (Montoya, 1981). Las orugas suelen mudar a quinto estadio pasado el período invernal. Se alimentan activamente y, en caso de defoliación, las colonias bajan al suelo para subir a otros árboles en busca de más alimento. Este último estadio tiene una duración aproximada de unos 30 días, prolongables por condiciones climáticas desfavorables. Durante los meses de febrero-marzo, una vez alcanzada la madurez, las orugas se preparan para enterrarse y formar la crisálida. Éstas abandonan los nidos y se dirigen a un lugar para enterrarse. Cada oruga teje un capullo de seda en el que quedará encerrada hasta su transformación definitiva en mariposa (Montoya, 1981).



Figura 5. Oruga de la procesionaria del pino (L3) que presenta quetas urticantes. Autora: A. Rodríguez.



Figura 6. Bolsones de *Thaumetopoea pityocampa*. Autora: A. Rodríguez.

En la Tabla 2 se resume el ciclo por meses de cada una de las fases del ciclo biológico de la procesionaria del pino en las Islas Baleares.

Tabla 2: Ciclo biológico de *Thaumetopoea pityocampa* en las Islas Baleares. (Fuente: CAIB).

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Adultos												
Huevos												
Orugas												
Nidos												
Procesión												
Pupas												

1.4 Importancia sanitaria de la especie

En general las orugas de lepidópteros no suelen causar problemas para la salud humana, no obstante, el hecho de tener depredadores mayores ha favorecido que ciertas especies de lepidópteros desarrollen estructuras defensivas como pelos irritantes, pinchos y toxinas (Hossler, 2010). Son más de 50 especies de lepidópteros distribuidas en unas 10 familias las que poseen estas estructuras que incluyen sustancias alérgicas.

Es en Europa y en el norte de África donde el género *Thaumetopoea* engloba la mayor parte de especies que suponen un problema desde el punto de vista sanitario. En el caso de la procesionaria del pino, son las orugas a partir de L3 cuando presentan en posición dorsal pequeños pelos glandulares que contienen la proteína thaumetopoeina (Pérez-Contreras & Tierno de Figueroa, 1997), esta proteína puede causar reacciones alérgicas con una diversa sintomatología que incluye desde quemaduras o inflamaciones hasta síntomas más graves como vómitos o bronquitis (Siebers et al., 2004). Esta proteína no solo causa reacción alérgica a los humanos, sino que también puede causar alergia a otras especies de mamíferos como por ejemplo ginetas, zorros o tejones (Arnaldo & Torres, 2006), no solo afecta a animales salvajes sino que también puede afectar a animales domésticos como perros, gatos, caballos u ovejas (Pérez-Contreras & Tierno de Figueroa, 1997).

Los síntomas relacionados con la estructura defensiva de la procesionaria del pino no solo son causados por contacto directo con una oruga, sino que éstas se desprenden de estos pelos urticantes a voluntad, los cuales, se desprenden de la oruga muy fácilmente (Werno & Lamy, 1990). Los pelos son de pequeño tamaño (80 - 415µm de longitud y 3 - 6µm de diámetro), éstos se dispersan alrededor de la oruga y además pueden ser aerotransportados contaminando el medio (Oliveira et al., 2003; Vega et al., 2011; Werno & Lamy, 1990). Cada oruga posee alrededor de 1.000.000 tricomas, los dos extremos de los tricomas son afilados, pero en uno de ellos aparecen púas con forma de anzuelo por lo que al clavarse dificultan la extracción, lo que, al efecto del veneno, hay que sumarle el daño físico al clavarse en la piel por contacto facilitando así la infección de la herida.

Los tricomas de la procesionaria pueden permanecer activos durante un largo período de tiempo (7 años) (Lamy et al., 1985). La thaumetopoeina genera una serie de síntomas en los que se incluyen picor repentino, hinchazón, enrojecimiento, leucocitosis y linfagitis. A veces

también pueden aparecer otros síntomas como flojera, linfadenopatía, pústulas y, en caso de alergia, choque anafiláctico (Novak & Lamy, 1986). Los tricomas de esta especie pueden producir heridas y pústulas en las mucosas oral y nasal de los animales vertebrados, además, pueden producir ciertos desórdenes gastrointestinales como vómitos y diarreas. Si éstas entran en contacto con el sistema respiratorio provocan bronquitis aguda, congestión y tos severa. En caso del contacto sea con los ojos pueden causar heridas en la córnea. La gravedad de los síntomas que están ligados a la procesionaria del pino depende de factores como el tiempo de exposición, el área afectada y por supuesto, la susceptibilidad del sujeto (Legeas et al., 2005; Martin et al., 1986; Vega et al., 2003)

En caso de que las lesiones en la piel provoquen comezón severa, éstas pueden verse infectadas por bacterias oportunistas como *Staphylococcus aureus* Rosenbach, (1884). (López, 2014).

Otros estudios han podido identificar también cuadros alérgicos con hipersensibilización inmediata en personas ocupacionalmente expuestas (entomólogos, agentes forestales, capataces y operarios forestales, etc.) (Vega et al., 1999).

La gran magnitud de las infestaciones y de la superficie afectada cada año en la cuenca mediterránea, hace de esta plaga forestal un factor alérgico que puede causar auténticos problemas de salud, tanto en el ámbito rural como en las áreas tanto residenciales como turísticas.

1.5 Importancia económica y ecológica de la especie

Como hemos destacado antes, *Thaumetopoea pityocampa* es una de las principales plagas en muchos países mediterráneos (Arnaldo & Torres, 2006). Esta especie de lepidóptero presenta una alimentación polífaga, es decir, se alimenta de un amplio rango de especies, más concretamente de especies del género *Pinus* como por ejemplo *P. nigra*, *P. brutia* o *P. halepensis* (Hodar et al., 1990). Pero esta especie también puede ocasionar daños a especies pertenecientes al género *Cedrus* (Masutti & Battisti, 1990; Mubvumba et al., 2021). Los daños que provoca la procesionaria del pino sobre estas especies de coníferas dificultan el crecimiento del árbol, además de favorecer el ataque de otras especies fitófagas (Aldebis et al., 1994).

Además de las pérdidas ecológicas que provoca esta plaga, se ha observado que *T. pityocampa* se alimenta sobre todo de *Pinus pinea* del cual se obtienen los piñones para el consumo humano, de los que España es el principal productor a nivel mundial (Vega et al., 2011). A causa de la intensa defoliación que produce la procesionaria sobre los pinos, también pueden provocar pérdidas económicas en el sector de la madera (Arnaldo & Tortes, 2006; Hódar et al., 2003; Hódar & Zamora, 2004; Sbabdji et al., 2015).

1.6 Control biológico

Todas las especies vegetales y animales tienen enemigos naturales (parásitos, parasitoides, depredadores o patógenos) que atacan las diferentes etapas de su ciclo vital. El impacto de estos enemigos naturales va desde un efecto temporal o menor hasta la muerte del huésped o de la presa. El control biológico se define como la acción de parásitos, depredadores o patógenos que ayudan a mantener una menor densidad poblacional de un organismo en comparación con la que tendría si no estuvieran presentes (López Sebastián, 2014).

La necesidad de dar solución a los problemas causados por *Thaumetopoea pityocampa* ha requerido la aplicación de diferentes métodos de control contra esta especie en Europa. Estos métodos pueden ser de tipo mecánico, químico o biológico. El control mecánico, como es la eliminación de las bolsas (Masutti & Battisti, 1990), no es un método muy efectivo en grandes áreas o en árboles de gran altura (Semiz et al., 2006) y, por otra parte, es considerado como un método caro (Masutti & Battisti, 1990). Los métodos químicos, como el uso de insecticidas o de inhibidores de la síntesis de quitina, como el Diflubenzurón, han demostrado tener efectos negativos sobre otros organismos (Kashian & Dodson, 2002). Sin embargo, los insecticidas microbianos basados en *Bacillus thuringiensis* se han aplicado con éxito en el control de plagas de interés agrícola y forestal por ser una bacteria selectiva y específica (Aldebis et al., 1994; Cebeci et al., 2010). Por otro lado, también son habituales las trampas de feromonas para la captura masiva de machos (Athanassiou et al., 2007) aunque su eficacia ha sido discutida por autores como Houry & Doughan, (2006) mostrando que las trampas de luz eran más eficaces que las de feromonas.

En el caso de la procesionaria del pino existe un gran número de organismos diferentes que afectan a esta especie en algunas de las fases de su ciclo biológico y que pueden causar una elevada mortalidad (Biliotti et al., 1962). Estos organismos van desde los nematodos, que son parásitos de las pupas (Oreste et al., 2015), hasta numerosas aves que se alimentan de las orugas (Battisti et al., 2015).

El complejo de depredadores de la procesionaria del pino está formado por numerosos organismos que se alimentan de las poblaciones de procesionaria del pino en distintas épocas del año. Entre los invertebrados cabe destacar la incidencia de las familias Tettigoniidae y Formicidae, mientras que entre los vertebrados cabe mencionar la acción de aves y mamíferos insectívoros, especialmente paseriformes y microquirópteros (López Sebastián, 2014). Los tetigónidos son una importante familia de ortópteros depredadores y polípagos, en su mayoría de hábitos crepusculares o nocturnos, algunas de estas especies en determinadas épocas del año, pueden convertirse en uno de los principales enemigos naturales de *T. pityocampa*, atacando huevos sin eclosionar y los primeros estadios de las orugas (Martínez et al., 2006).

En el caso de del género *Formica*, unas 8 especies del género son depredadores muy importantes de insectos fitófagos en los estadios de larva y pupa y mantienen niveles endémicos de numerosas especies de plagas forestales en Alemania, Rusia e Italia (Finnegan, 1974). Se calcula que, por término medio, una colonia de hormigas puede consumir 15 kg de insectos al año. Por estos motivos, en Italia se diseñaron programas de gestión de estos insectos para potenciar la lucha contra la procesionaria del pino, translocando las colonias de una zona a otra (Tohmé & Tohmé, 1982).

En el caso de las aves (Paridae-Upupidae-Cuculidae-Caprimulgidae) Sweetman, (1958) descubrió que entre el 50 y el 67% del alimento que consumen las aves son insectos. Los lepidópteros son la base de la dieta de las aves insectívoras forestales. La procesionaria del pino suele escapar a la depredación de la mayoría de las aves insectívoras, aunque algunas especies muestran importantes adaptaciones como evitar la ingestión de los tricomas urticantes (Cuculidae), desenterrar las pupas y frotarlas en el suelo (Upupidae), consumir los imagos (Caprimulgidae) y consumir los huevos, las larvas en L1-L2 o extraer el tubo digestivo en los estadios urticantes tras separar la cápsula cefálica con el pico (Paridae) (López Sebastián, 2014).

En último lugar están los mamíferos, ya que varios órdenes se comportan como insectívoros estrictos o complementan regularmente su dieta con artrópodos de todo tipo. Los más

destacados son Insectivora (topos y musarañas), Rodentia (algunos ratones domésticos y de campo, lirones y musarañas) y Chiroptera (murciélagos). Los insectívoros y roedores incluyen varias especies que se alimentan de insectos forestales y, en algunos casos, como *Sorex cinereus* Kerr (1792), se han utilizado como agentes de control biológico (Coppel & Mertins, 1978).

Otro de los métodos de control de plagas es mediante patógenos de la especie, en el caso de la procesionaria del pino se han descrito un importante contingente de enfermedades víricas y bacterianas con sintomatologías muy variadas, aunque los niveles de incidencia y versatilidad de los virus de la poliedrosis y de las bacterias del grupo *Bacillus cereus - thuringiensis* han orientado los estudios hacia estos microorganismos para su aplicación en el campo del control biológico (Demolin & Martin, 1998; Sobal et al., 2007). La aparición de infecciones por bacilos coliformes se manifiesta principalmente durante la vida en el nido (Biliotti et al., 1962), y algunas bacterias como *Pseudomonas* spp. pueden causar trastornos digestivos cuando se varía la composición del alimento de las orugas (Biliotti et al., 1962).

Los cambios drásticos de temperatura, de humedad relativa, la dieta y los periodos de inanición pueden desarrollar espontáneamente una epizootia, aunque las causas ecológicas que pueden desencadenar episodios de ataques de patógenos en la naturaleza son aún desconocida, se ha observado que las enfermedades causadas por virus son más propensas a producirse en condiciones de alta temperatura y humedad, mientras que los ataques bacterianos se producen con mayor frecuencia a altas temperaturas y en ambientes más secos (López Sebastián, 2014).

Por último, los parasitoides de huevos, son una alternativa al control biológico de esta plaga, siendo uno de sus reguladores más importantes (Mirchev et al., 2012).

El control de la procesionaria del pino mediante parasitoides de huevos parece ser uno de los sistemas de control más prometedores, entre los organismos con una acción más relevante en este ámbito se encuentran los himenópteros ooparasitoides, que desarrollan su fase larvaria en el interior de los huevos de la procesionaria del pino (Biliotti, 1958; Plamen et al., 2012). Para una población en equilibrio natural constante, el parasitismo de los huevos podría estar en torno al 35% (Sabatini et al., 1997; Tiberi, 1990). En la cuenca mediterránea, este complejo de parasitoides es un factor importante en la contención de las poblaciones de procesionaria del pino, variando su nivel de incidencia principalmente con la densidad de la plaga y las condiciones meteorológicas (Halperin, 1990). La localización de los huevos por parte de estos himenópteros se basa principalmente en la detección de rastros de feromona sexual emitida por los lotes de huevos de lepidópteros (Masutti & Battisti, 1990), y la puesta se realiza mediante diferentes estrategias que les permiten acceder a los huevos bajo la capa de escamas (Schmidt et al., 1999).

Por esa razón en este trabajo se plantea el estudio de estos enemigos naturales de esta especie de lepidóptero. Nos centramos en la incidencia de los parasitoides sobre las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* en la isla de Mallorca. Pretendemos evaluar si desde el año 94 los parasitoides han aumentado su incidencia en la procesionaria del pino. También se intentó su cría para un posible control biológico.

2. Materiales y métodos

2.1 Obtención de los huevos de *T. pityocampa*

Para la obtención de las puestas de *T. pityocampa* se realizó un muestreo por diferentes zonas de la isla de Mallorca. Se recogieron un total de 129 puestas, las zonas donde se obtuvieron las puestas fueron: El Toro, Cala del Mago, Sierra de Na Burguesa, Museo San Carlos, UIB, Carrer

del Formiguer, Área recreativa de Sant Marçal, Son Veri Nou, Camí de Son Puigserver, Es Sabinar, Torrent de S'Amarador, Playa de S'Amarador.

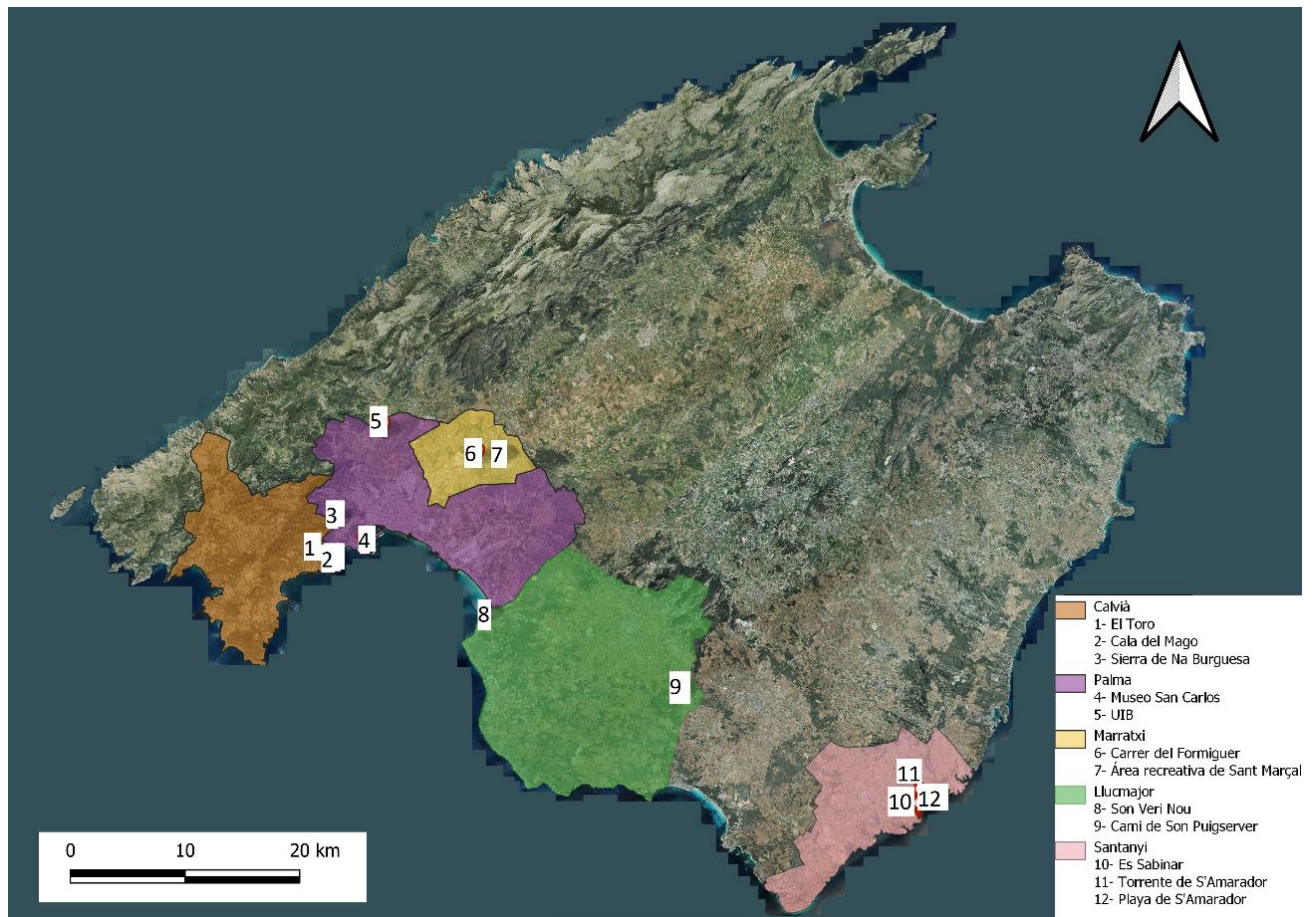


Figura 7. Puntos de muestreo de puestas de *Thaumetopoea pityocampa* en la isla de Mallorca. Autora: A. Rodríguez

Estas localizaciones abarcan cinco municipios (Calvià, Palma, Marratxí, Lluçmajor y Santanyí), a su vez las puestas se clasificaron dependiendo hábitat en la que fueron recogidas (forestal, litoral o suburbana) para conocer si había diferencia en el parasitismo de las puestas de procesionaria dependiendo del municipio o su zona de recolección.

Las salidas de campo se realizaron desde el día 19/01/2021 hasta el día 24/03/2021. Todas las puestas fueron recogidas después de la eclosión de las orugas y sobre *Pinus halepensis*. Una vez fueron recogidas se trasladaron al insectario del grupo de Zoología Aplicada de la UIB donde se entubaron y etiquetaron de forma individual a una temperatura constante de 20°C y un fotoperíodo 12:12.

2.2 Análisis de las puestas de *T. pityocampa*

Para llevar a cabo el estudio de las diferentes variables de las puestas, en primer lugar, se retiraron las escamas que cubren los huevos con un alfiler entomológico con cuidado de no

dañar las puestas. Con un calibre se midieron las puestas para comprobar si existe relación entre la longitud de la puesta y el número total de huevos de éstos.

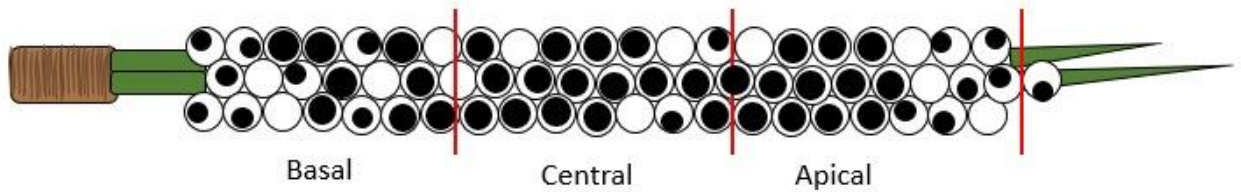


Figura 8. Esquema de una puesta dividida en zonas (basal, central, apical) para el conteo de los huevos de *T. pityocampa*. Modificado de (Alemany et al., 1994).

Como se muestra en la figura anterior, la puesta fue dividida en 3 partes o zonas (basal, central y apical) para poder analizar si los parasitoides tienen preferencia por alguna de las zonas de la puesta. La división de la puesta se realizó en función de la longitud de ésta, dividiéndose en tres partes iguales, si la cantidad de huevos por columna no era múltiplo de 3 se intentó que la zona basal y apical tuvieran el número más semejante posible. Esto no siempre fue posible debido al estado de alguna de las puestas.

Como la distribución de los huevos sobre las acículas del pino es de forma helicoidal, el método de conteo se basa en multiplicar el número de filas por el número de columnas, esta cantidad se corrige con los huevos que están en los márgenes según el método de Alemany et al., (1994).

De cada una de las zonas de la puesta se tuvo en cuenta el número total de huevos que se dividió entre huevos no eclosionados (que no presentan orificio), huevos eclosionados por oruga de *T. pityocampa* (orificio grande), huevos parcialmente eclosionados (huevos que han eclosionado, pero en su interior se encuentra una larva de *T. pityocampa* muerta) y por último huevos eclosionados por parasitoides (con un orificio mucho más pequeño). Son éstos últimos los que nos indicarán si los parasitoides tienen alguna preferencia por la zona de la puesta (Figura 9).

Para conocer si los parasitoides tienen alguna preferencia por las distintas zonas de la puesta se tuvo en cuenta el número de huevos en cada zona, de éstos se consideró el número de huevos que no había eclosionado, los eclosionados por oruga, los eclosionados por parasitoides y los parcialmente eclosionados (con oruga de *T. pityocampa* en su interior).

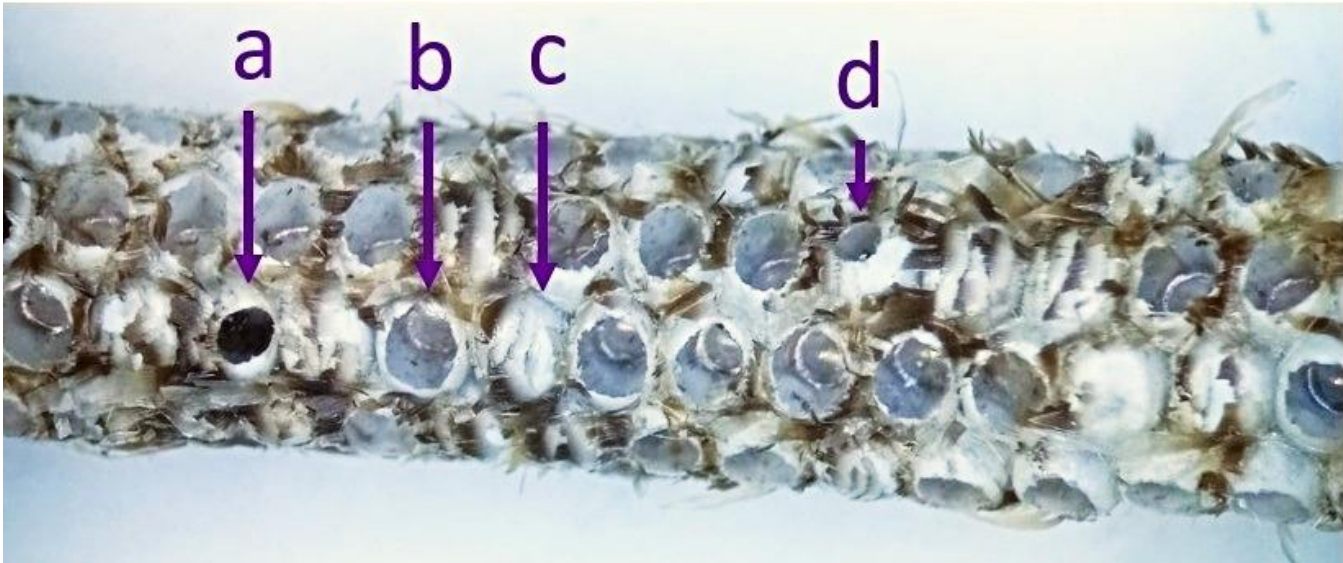


Figura 9. Diferentes tipos de huevos que nos podemos encontrar en una puesta. a) huevo parcialmente eclosionado, b) huevo eclosionado por *T. pityocampa*, c) huevo no eclosionado, d) huevo eclosionado por parasitoide. Autora: A. Rodríguez

2.3 Mantenimiento, cría e identificación de los parasitoides en el laboratorio

Tras la emergencia de los parasitoides de las puestas de *T. pityocampa*, los adultos fueron alimentados cada dos días con azúcar refinado o miel disuelto en agua e incubados a 20°C, esto se realizó en el insectario del Laboratorio de Zoología de la UIB.

Una vez los parasitoides adultos emergieron de las puestas de la procesionaria del pino, se colocaron 5 individuos por tubo junto a 20 huevos de la especie *Samia ricini* (Lepidoptera; Saturniidae) estos huevos se obtuvieron de la empresa "Time to breed" (Parma, Italia). Como alimento se utilizó algodón que se bañaba en una disolución de agua con azúcar (Azúcar blanco Hacendado, España) o agua con miel (Mil flores, Hacendado, España). Los parasitoides junto con los huevos fueron colocados en una estufa a 25°C para posteriormente, observar el parasitismo de los huevos de *S. ricini* y obtener una segunda generación de parasitoides.

Para la manipulación de los parasitoides se utilizó CO₂ a fin de mantenerlos anestesiados el tiempo necesario.

2.4 Captura de adultos de *Thaumetopoea pityocampa*

Durante los meses de agosto y septiembre de 2021 y de acuerdo con el ciclo biológico de la procesionaria del pino en las Islas Baleares, se realizaron trampeos nocturnos de adultos de *T. pityocampa* mediante una trampa de luz actínica blanca. Las trampas de luz se colocaron en lugares despejados con pinares cerca para que así las mariposas fueran atraídas por la luz (Figura 10).



Figura 10. Trampa de luz para la captura de adultos (Marratxi, Mallorca). Autora: A. Rodríguez

Este muestreo se llevó a cabo con el fin de conseguir puestas de *T. pityocampa* en el laboratorio para que fueran puestas sin parasitar y exponerlas a los parasitoides que emergieron en el laboratorio.

El muestreo se realizó en Marratxí ya que fue el lugar de donde más puestas de *T. pityocampa* se obtuvieron.

Una vez capturadas las mariposas, se trasladaron al insectario de zoología de la UIB, donde se metieron en cajas entomológicas con ramas de pino obtenidas de la zona de muestreo introducidas en un bote con agua para su mantenimiento, esperando así obtener puestas sin parasitar. Las mariposas fueron sometidas a un fotoperíodo 12:12 y una temperatura de 25°C.



Figura 11. Mantenimiento en laboratorio de los adultos de *Thaumetopoea pityocampa*.
Autora: A. Rodríguez

Las mariposas que no hicieron puesta en el laboratorio, pero se observaba que tenían huevos en su interior fueron diseccionadas para extraer estos huevos sin parasitar y juntarlos con los parasitoides que seguían emergiendo de las puestas.



Figura 12. Disección de una hembra de *Thaumetopoea pityocampa*. Autora: A. Rodríguez.

2.5 Tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos se ha realizado con la hoja de cálculo Microsoft Excel, con el cual se han calculado los porcentajes de viabilidad de las puestas, el porcentaje de parasitismo en las puestas y por zonas de la puesta, así como también el porcentaje de parasitoides de cada especie. Los cálculos se han realizado respecto al total de huevos de las puestas.

2.6 Análisis estadístico

Se ha utilizado el programa estadístico R para calcular las medianas y las desviaciones típicas pertinentes de cada parámetro. Para el análisis estadístico se han realizado las pruebas de Levene (homogeneidad de varianzas) y Shapiro Wilk (normalidad). Se han realizado test tanto paramétricos como no paramétricos dependiendo de si los datos provenían de una distribución normal o no normal. Así pues, se ha realizado un ANOVA para estudiar las diferencias entre el número de huevos y la longitud de la puesta, se realizó un test de correlación de Pearson para la relación entre la longitud de la puesta y el número total de huevos. El test de Kruskal Wallis se realizó para las diferencias de porcentaje de parasitismo de las puestas, la preferencia de los parasitoides por alguna zona de la puesta y la viabilidad de las puestas.

Por último, ha usado un modelo lineal general (GLM) con distribución Poisson para verificar el efecto de la zona geográfica (litoral, forestal y urbana) y la zona en la puesta (apical, central y basal) sobre la prevalencia de parasitoides. Los modelos incluyen la prevalencia de parasitoides como variable dependiente, expresada en porcentaje. Las variables zona geográfica y zona en la puesta se han incluido como factores fijos.

Todos los análisis se han realizado en R versión (R Core Team 2017) y los GLM se han hecho usando el paquete "car".

3. Resultados

3.1 Obtención de las muestras

Se han analizado un total de 129 puestas de procesionaria del pino. Las muestras se han dividido por su zona de procedencia, el municipio al que pertenecen y el tipo de zona encontrada tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3: Número de puestas de *Thaumetopoea pityocampa* por punto de muestreo

Localización	Municipio	Tipo de zona	Número de puestas
El Toro	Calvià	Litoral	2
Cala del Mago	Calvià	Litoral	3
Sierra Na Burguesa	Calvià	Forestal	9
Son Veri Nou	Llucmajor	Suburbana	3
Camí de Son Puigsever	Llucmajor	Suburbana	4
Carrer del Formiguer	Marratxí	Suburbana	28
Área recreativa de Sant Marçal	Marratxí	Suburbana	13
Museo San Carlos	Palma	Suburbana	18
UIB	Palma	Suburbana	1
Cala des Sabinar	Santanyí	Litoral	10
Torrent S'Amarador	Santanyí	Forestal	20
Playa S'Amarador	Santanyí	Litoral	18

Tabla 4: Número de puestas y huevos de *Thaumetopoea pityocampa* según el municipio al que proceden

Municipio	Número de puestas	Número de huevos
Calvià	14	2363
Llucmajor	7	1226
Marratxí	41	7625
Palma	19	3559
Santanyí	48	8668

Tabla 5: Número de puestas y de huevos de *Thaumetopoea pityocampa* según el tipo de hábitat de recolección

Zona	Número de puestas	Número de huevos
Litoral	33	6020
Forestal	29	5011
Suburbana	67	12410

3.2 Análisis de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa*

3.2.1 Relación de los huevos y la longitud de la puesta

Se obtuvieron un total de 129 puestas en los cinco municipios muestreados.

Las puestas de procesionaria del pino estudiadas presentaron una variación de entre 59 huevos la puesta más pequeña, hasta 290 huevos la mayor, haciendo un total de 23.441 huevos estudiados.

Tabla 6: Relación del número de huevos y la longitud de la puesta según el punto de muestreo. (Prueba ANOVA $p > 0.05$)

Localización	Municipio	Número de puestas	Número de huevos	Media del número de huevos	Media de la longitud (cm)
El Toro	Calvià	2	430	215 ± 5.66	2.98 ± 0.32
Cala del Mago	Calvià	3	518	182.42 ± 43.10	2.60 ± 0.58
Sierra de Na Burguesa	Calvià	9	1415	157.22 ± 51.97	2.41 ± 0.83
Son Veri Nou	Llucmajor	3	518	172.67 ± 22.12	2.47 ± 0.38
Camí de Son Puigsever	Llucmajor	4	708	177 ± 34.30	2.70 ± 0.67
Carrer del Formiguer	Marratxí	28	5131	183.25 ± 53.16	2.68 ± 0.69
Área recreativa de Sant Marçal	Marratxí	13	2394	191.85 ± 69.80	2.88 ± 0.85
Museo San Carlos	Palma	18	3377	187.61 ± 37.40	2.70 ± 0.65
UIB	Palma	1	182	-	2.2
Cala des Sabinar	Santanyí	10	1865	186.50 ± 42.42	2.68 ± 0.612
Torrent S'Amarador	Santanyí	20	3596	179.80 ± 52.77	2.64 ± 0.64
Playa S'Amarador	Santanyí	18	3207	178.17 ± 48.18	2.53 ± 0.61
Total		129	23441	181 ± 40.80	2.64 ± 0.64

Tabla 7: Relación del número de huevos y la longitud de la puesta según el municipio de muestreo. (Prueba ANOVA $p > 0.05$)

Municipio	Número de puestas	Número de huevos	Media del número de huevos	Media de la longitud (cm)
Calvià	14	2463	168.79 ± 46.43	$2,50 \pm 0,72$
Llucmajor	7	1226	175.14 ± 27.51	$2,60 \pm 0,54$
Marratxí	41	7625	185.98 ± 58.19	$2,74 \pm 0,74$
Palma	19	3559	187.31 ± 36.37	$2,63 \pm 0,47$
Santanyí	48	8668	180.58 ± 48.16	$2,61 \pm 0,61$

Tabla 8: Relación del número de huevos y la longitud de la puesta según el tipo de hábitat de muestreo. (Prueba ANOVA $p > 0.05$)

Tipo de hábitat	Número de puestas	Número de huevos	Media del número de huevos	Media de la longitud (cm)
Litoral	33	6020	182.42 ± 43.10	2.6 ± 0.583
Forestal	29	5011	172.79 ± 50.80	2.57 ± 0.70
Suburbana	67	12410	185.22 ± 49.94	2.70 ± 0.73

No ha habido diferencias significativas en la longitud de las puestas ni por localidad de muestreo, ni por municipio de muestreo ni por tipo de hábitat de recolección. Así mismo tampoco se han encontrado diferencias significativas en las medias del número de huevos por puesta en ninguna de las clasificaciones anteriores. No obstante, se realizó un test de correlación para comprobar si había relación entre la longitud de las puestas y el número de puestas ($p = 2.2e^{-6}$; $cor = 0.86296$) resultando una relación positiva de manera que cuanto mayor longitud tiene la puesta mayor número de huevos posee ésta (Figura 13).

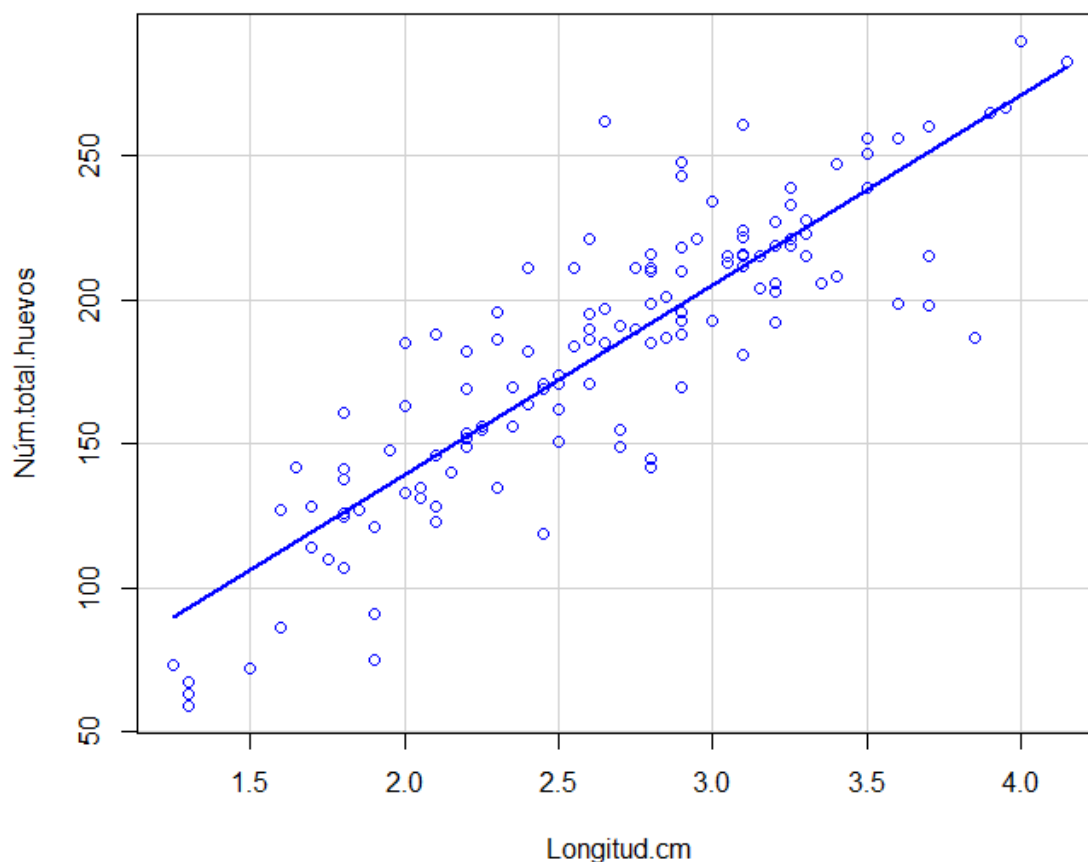


Figura 13. Relación entre el número total de huevos por puesta y longitud de la puesta (cm). La línea de regresión es $y = 5.515 + 66.793x$

3.2.2 Porcentaje de parasitismo en las puestas

Las 129 puestas analizadas hicieron un total de 23441 huevos, de éstos 4032 estaban parasitados, lo que hace un porcentaje de parasitismo total de 17,20%. en las puestas de Mallorca para el presente estudio. En las tablas 9, 10 y 11 se observa el parasitismo total por punto de muestreo, por municipio de muestreo y por tipo de zona de muestreo.

Se han encontrado diferencias significativas en los porcentajes de parasitismo para los diferentes puntos de muestreo en la isla de Mallorca (Kruskal Wallis $p= 0.0387$).

Tabla 9: Porcentaje total de parasitismo por punto de muestreo con desviaciones

Localización	Municipio	Número de puestas	Número de huevos	Huevos parasitados	Porcentaje de parasitismo
El Toro	Calvià	2	430	150	34.88 ± 6.08
Cala del Mago	Calvià	3	518	62	11.97 ± 10.37
Sierra Na Burguesa	Calvià	9	1415	390	27.56 ± 25.21
Son Veri Nou	Llucmajor	3	518	74	14.29 ± 3.27
Camí de Son Puigsever	Llucmajor	4	708	142	20.06 ± 16.52
Carrer del Formiguer	Marratxí	28	5131	796	15.51 ± 10.66
Área recreativa de Sant Marçal	Marratxí	13	2494	282	11.31 ± 7.40
San Carlos	Palma	15	3377	464	13.74 ± 15.30
UIB	Palmar	1	182	0	0
Cala des Sabinar	Santanyí	10	1865	363	19.46 ± 12.84
Torrent S'Amarador	Santanyí	20	3596	757	21.05 ± 13.59
Playa S'Amarador	Santanyí	18	3207	542	16.90 ± 15.85

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje de parasitismo en la isla de Mallorca dependiendo del municipio de muestreo, presentando Calvià los valores más elevados con un 30.70% frente a Palma con el menor de los valores con tan solo un 13.47%.

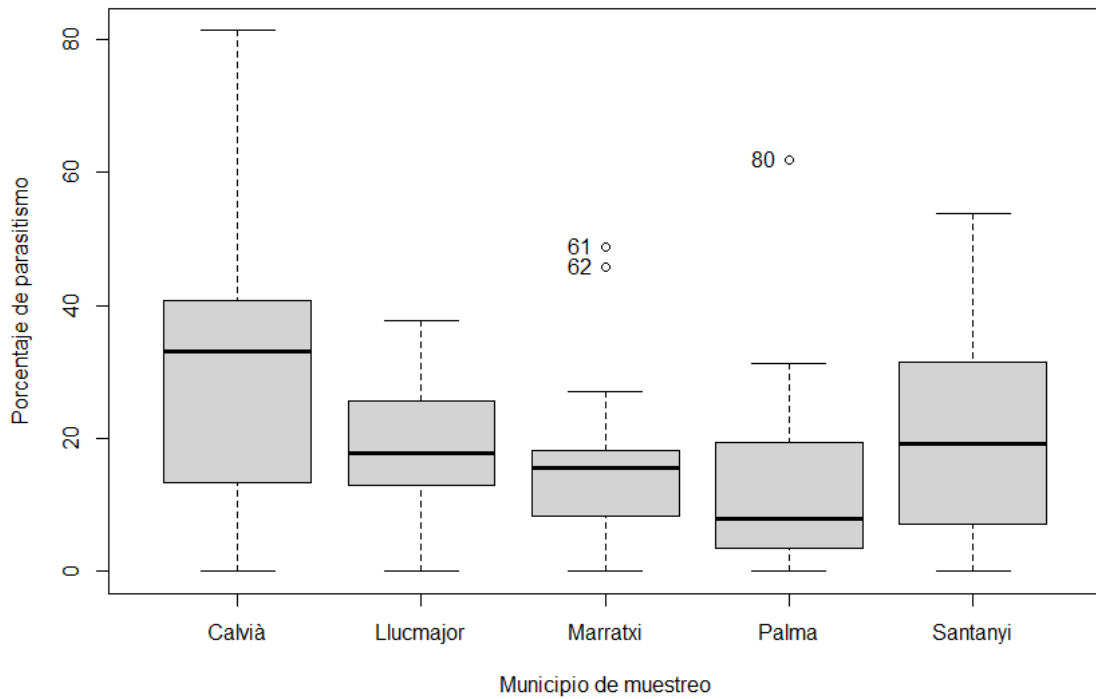


Figura 14. Representación de las medianas y los errores del porcentaje de parasitismo por municipio de muestreo en la isla de Mallorca.

Por último, se analizó el porcentaje de parasitismo por tipo hábitat de muestreo para comprobar si existían diferencias dependiendo si las muestras procedían de una zona forestal, litoral o suburbana.

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de parasitismo según el tipo de hábitat de muestreo, siendo el hábitat forestal la que presenta un parasitismo mayor frente a la zona suburbana donde el parasitismo es el menor de los tres. (Kruskal Wallis $p=0.01484$).

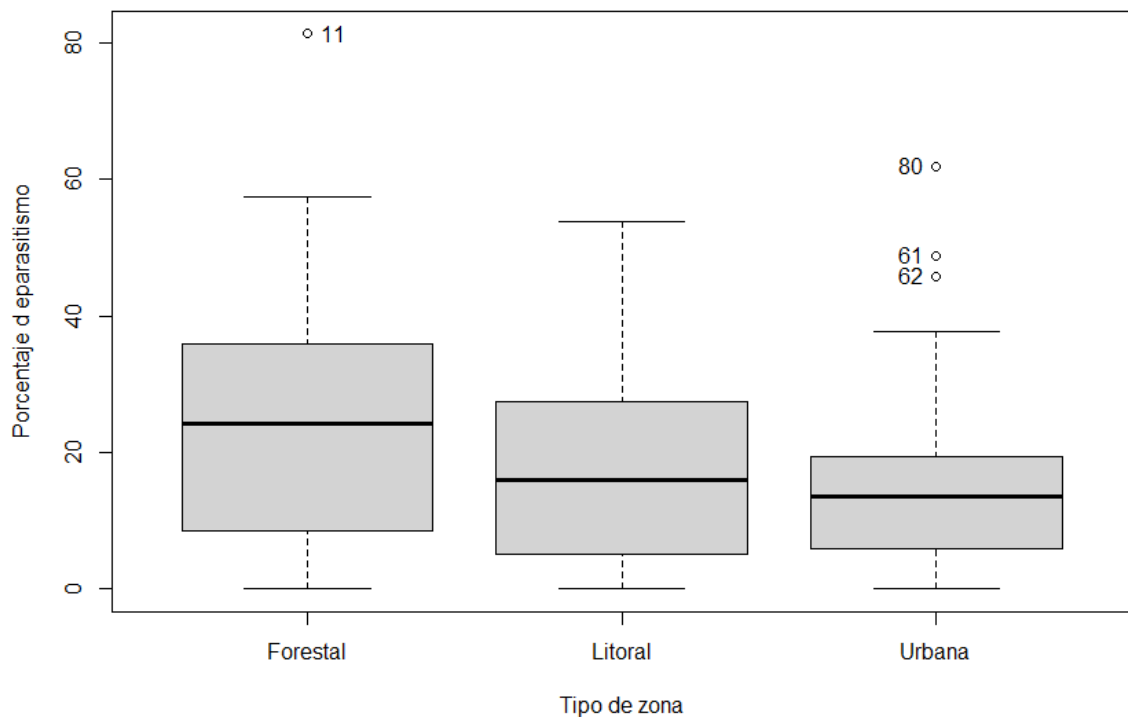


Figura 15. Representación de las medianas y de los errores del porcentaje de parasitismo de las puestas clasificadas por tipos de hábitat de recolección en la isla de Mallorca.

3.2.3 Viabilidad de las puestas

En las puestas de procesionaria se han encontrado huevos que no habían eclosionado y por lo tanto sin ningún orificio, además de otros huevos que sí que presentaban orificio, pero con la larva de *Thaumetopoea pityocampa* en su interior (huevos parcialmente eclosionados). Del total de puestas analizadas, los huevos no eclosionados presentaron un 10,75%, en el caso de los huevos parcialmente eclosionados el porcentaje fue bastante menor, en concreto un 0,47%.

La viabilidad de las puestas es el resultado de restarle al número de huevos totales los huevos que han sido parasitados, los parcialmente eclosionados y los no eclosionados siendo el porcentaje de viabilidad total un 71,59%. En las tablas 11, 12 y 13 se representan la viabilidad de las puestas según localización, municipio y zona de recolección respectivamente.

Tabla 10: Viabilidad de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* en porcentaje por punto de muestreo con las desviaciones

Localización	Municipio	Huevos no eclosionados (%)	Huevos parcialmente eclosionados (%)	Media de Huevos parasitados (%)	Viabilidad (%)
El Toro	Calvià	20.45	0.94	43.57	35.04 ± 6.08
Cala del Mago	Calvià	6.65	0.40	11.25	81.71 ± 10.37
Sierra Na Burguesa	Calvià	11.60	0.24	34.32	53.84 ± 25.21
Son Veri Nou	Llucmajor	8.86	0.58	14.57	75.99 ± 3.27
Camí de Son Puissever	Llucmajor	16.49	0.42	22.27	60.82 ± 16.52
Carrer del Formiguer	Marratxí	13.15	0.51	16.33	70.01 ± 10.66
Área recreativa de Sant Marçal	Marratxí	14.13	0.22	11.07	74.58 ± 7.39
San Carlos	Palma	7.46	0.37	14.18	77.00 ± 15.30
UIB	Palma	0	0.55	0	99.45
Cala des Sabinar	Santanyí	12.62	0.20	20.72	66.46 ± 12.84
Torrent S'Amarador	Santanyí	11.19	1.09	20.35	67.37 ± 12.09
Playa S'Amarador	Santanyí	8.40	0.36	16.57	74.67 ± 15.85
Total		11.20	0.49	18.07	70.23 ± 20.04

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas para los porcentajes de viabilidad de las puestas clasificadas por su punto de recolección. (Kruskal Wallis $p=0.05969$).

Tabla 11: Viabilidad de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* en porcentaje según el municipio de recolección con desviaciones

Municipio	Media Huevos no eclosionados (%)	Media Huevos parcialmente eclosionados (%)	Media Huevos parasitados (%)	Viabilidad (%)
Calvià	11.80	0.37	30.69	57.13 ± 23.08
Llucmajor	13.22	0.49	18.97	67.32 ± 12.53
Marratxi	13.46	0.42	14.66	71.46 ± 9.9

Palma	7.07	0.38	13.43	79.12 ± 15.22
Santanyi	10.44	0.63	19.01	69.92 ± 14.27

No se han encontrado diferencias significativas para la viabilidad de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* según el municipio de recolección. (Kruskal Wallis $p = 0.0921$).

Tabla 12: Viabilidad de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* en porcentaje y desviaciones según el tipo de zona de recolección

Zona	Media Huevos no eclosionados (%)	Media Huevos parcialmente eclosionados (%)	Media Huevos parasitados (%)	Viabilidad (%)
Litoral	11.20	0.38	17.66	70.76 ± 15.34
Forestal	11.31	0.49	18.24	69.96 ± 17.96
Suburbana	11.62	0.41	14.76	73.20 ± 11.83

Por último tampoco se han encontrado diferencias significativas para la viabilidad de las puestas de procesionaria del pino dependiendo del tipo de zona de donde se recogieron, mostrando valores muy próximos entre las tres zonas.

3.2.4 Preferencia de los parasitoides por alguna zona de la puesta

Se ha analizado el parasitismo en las diferentes zonas de las puestas de *T. pityocampa* para comprobar si los parasitoides tienen preferencia por alguna de las zonas. En la tabla 14. Se muestran los resultados obtenidos por punto de muestreo.

Tabla 14: Porcentaje de parasitismo por zonas de la puesta según el punto de muestreo

Localización	Municipio	Basal%	Central%	Apical%	% Total
El Toro	Calvià	19.09	14.67	9.81	43.57
Cala del Mago	Calvià	6.38	0.91	3.96	11.25
Sierra Na Burguesa	Calvià	13.95	9.08	11.29	34.32
Son Veri Nou	Llucmajor	5.35	4.53	4.68	14.57
Camí de Son Puissever	Llucmajor	10.05	4.80	7.43	22.27
Carrer del Formiguer	Marratxí	7.99	2.86	5.49	16.33
Área recreativa de Sant Marçal	Marratxí	3.42	1.95	5.70	11.07
San Carlos	Palma	5.40	3.61	5.17	14.18

UIB	Palma	0	0	0	0
Cala des Sabinar	Santanyí	7.99	5.08	7.65	20.72
Torrent S'Amarador	Santanyí	8.94	5.13	6.29	20.35
Playa S'Amarador	Santanyí	6.89	4.22	5.46	16.57
Total		7.65	4.27	6.24	18.16

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de la puesta, siendo la zona apical la que presenta un mayor parasitismo seguida de la zona basal y por último la central. (Kruskal Wallis $p= 1.18 \times 10^{-6}$)

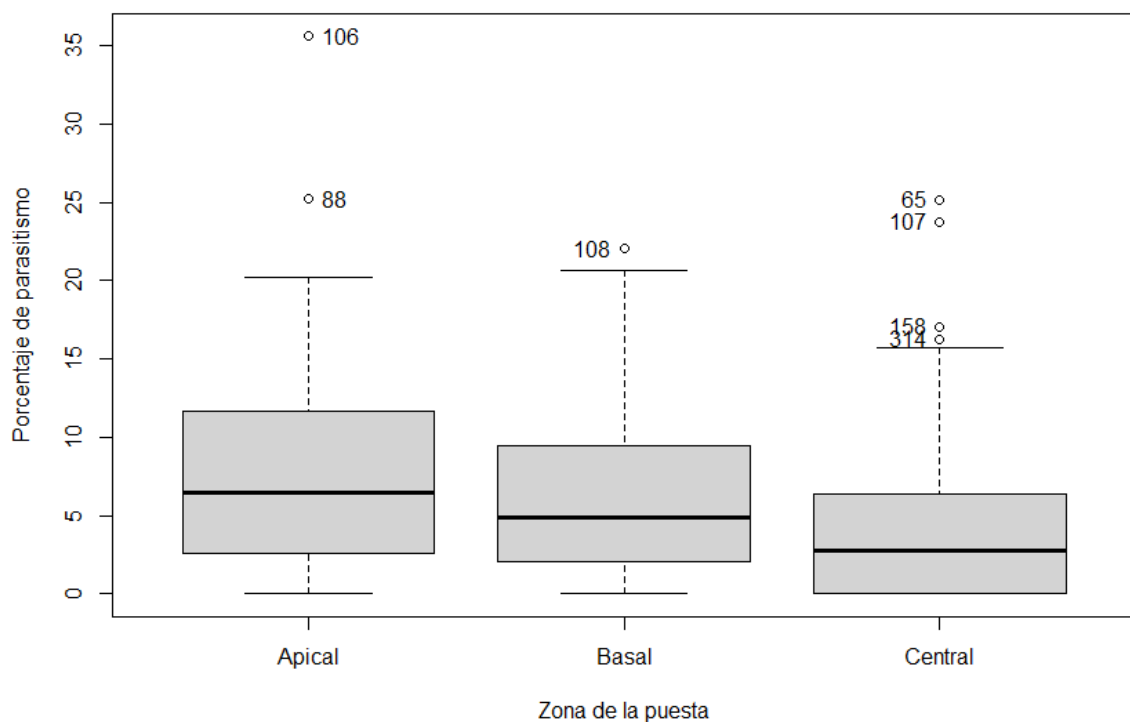


Figura 16. Representación de las medianas y los errores del porcentaje de parasitismo dependiendo de la zona de la puesta (apical, central y basal).

Por último, se ha realizado un modelo lineal general (GLM) con distribución Poisson para verificar el efecto de la zona geográfica (litoral, forestal y urbana) y la zona en la puesta (apical, central y basal) sobre la preferencia de los parasitoides.

En este GLM se puede observar una interacción negativa en el tipo de zona litoral (Estimate: -0.262; Std Error: 0.054; P-valor: 1.53×10^{-6}) y urbana (Estimate: -0.514; Std Error: 0.049; P-valor: $2e^{-16}$), lo que indica que en estas zonas el parasitismo es menor que en la zona forestal, además la interacción es negativa también en las zonas de la puesta central (Estimate: -0.591; Std Error: 0.053; P-valor: $2e^{-16}$) y basal (Estimate: -0.212; Std Error: 0.047; P-valor: 8.16×10^{-6}) lo que indica que el parasitismo también es menor en estas zonas en comparación con la zona apical.

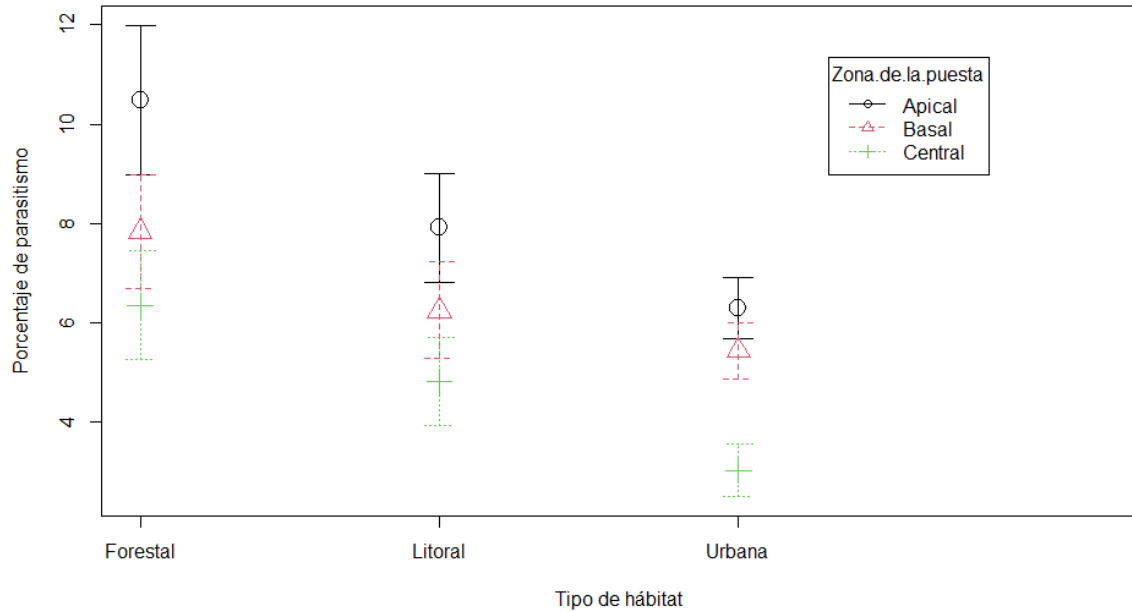


Figura 17. Representación gráfica de las medias de parasitismo por zona de la puesta según el tipo de zona de recolección

Al hacer el GLM según el municipio de muestreo, observamos que existe una interacción negativa para los municipios de Lluçmajor (Estimate: -0.4815; Std Error: 0.0992; P-valor: 1.24×10^{-6}), Marratxi (Estimate: -0.738; Std Error: 0.0631; P-valor: 2×10^{-16}), Palma (Estimate: -0.826 ; Std Error: 0.079; P-valor: 2×10^{-16}) y Santanyi (Estimate: -0.493; Std Error: 0.0583; P-valor: 2×10^{-26}), por lo que se concluye que el parasitismo es mayor en el municipio de Calvià. Siendo también la interacción en basal (Estimate: -0.207; Std Error: 0.047; P-valor: $1,47 \times 10^{-5}$) y central negativa (Estimate: -0.553; Std Error: 0.053; P-valor: 2×10^{-16})

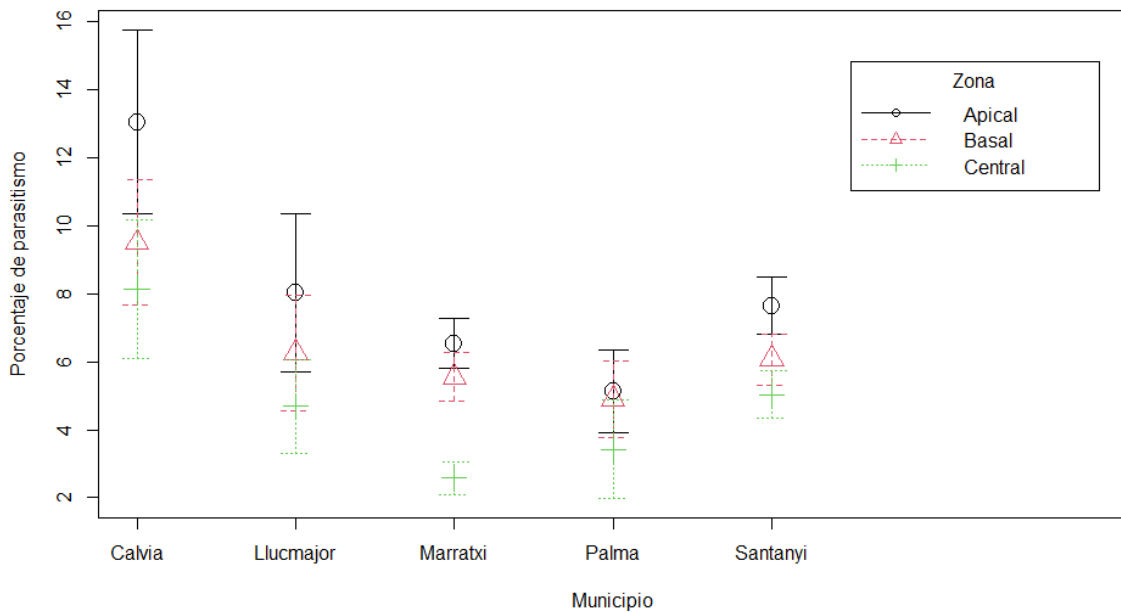


Figura 18. Representación gráfica de las medias de parasitismo por zona de la puesta según el municipio de muestreo.

3.3 Emergencia de los parasitoides de *T. pityocampa*

Los parasitoides obtenidos de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* recolectadas en el 2021, empezaron a emerger el día 24/04/2021. Teniendo en cuenta el ciclo biológico de la procesionaria del pino esta fecha resultó ser demasiado temprana, no obstante la emergencia de estos parasitoides tuvo su máximo en el mes de julio con un total de 1211 individuos, seguido del mes de Agosto con un total de 857 individuos, finalizando la emergencia de los parasitoides el día 10/10/2021. En la figura 25 se observa el número total de parasitoides emergidos por mes.

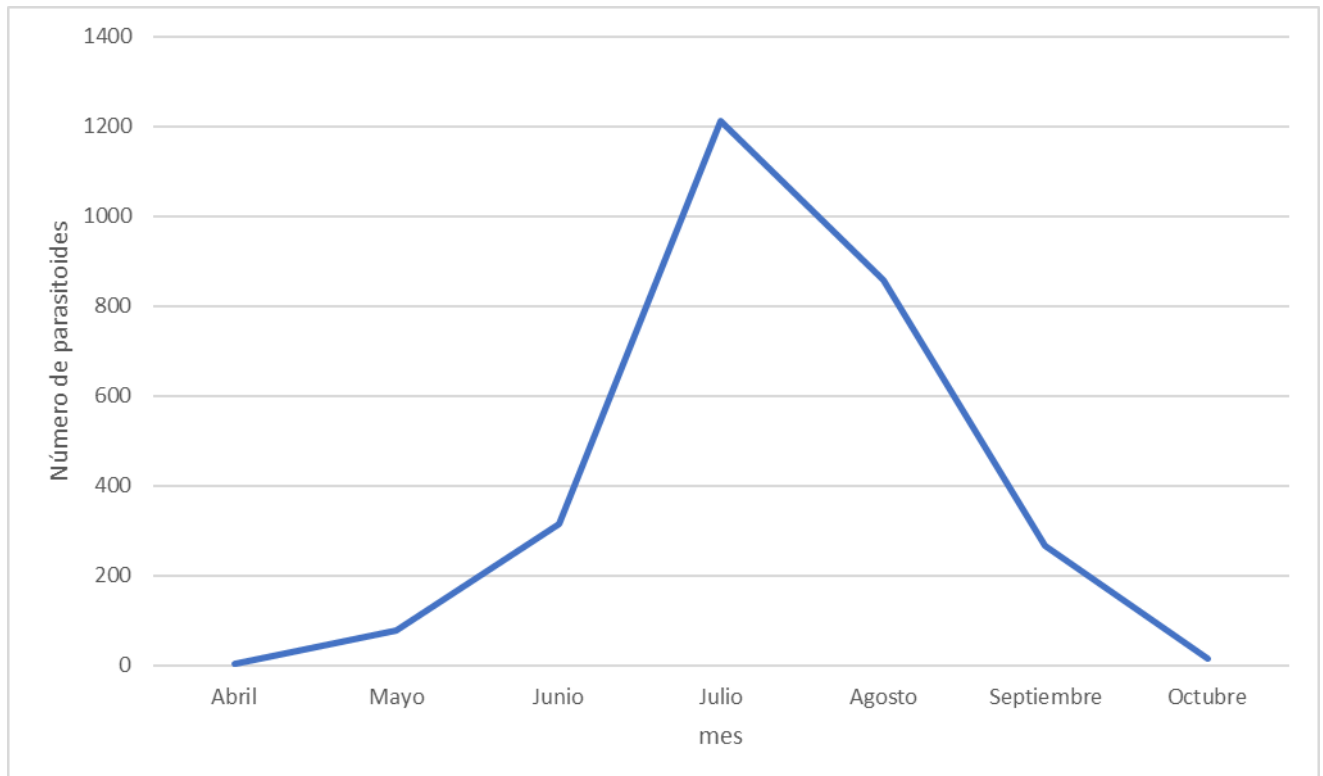


Figura 19. Número total de parasitoides emergidos en cada mes de 2021 provenientes de puestas de procesionaria recogidas.

3.4 Captura de adultos de *Thaumetopoea pityocampa*

Durante los meses de agosto y septiembre se pusieron trampas de luz en zonas con incidencia de procesionaria del pino.

En el mes de agosto no se obtuvo ningún adulto de *Thaumetopoea pityocampa* mientras que los resultados del mes de septiembre se muestran a continuación en la tabla 15

Tabla 15: Captura de adultos de *Thaumetopoea pityocampa*, hembras con huevos y puestas en laboratorio

Fecha	Machos	Hembras	Hembras con huevos	Número de puestas en laboratorio
02/09/2021	67	16	5	0
04/09/2021	2	12	1	0
09/09/2021	44	7	0	1
11/09/2021	20	0	0	0

3.5 Identificación de parasitoides

De las puestas recolectadas eclosionaron un total de 2654 parasitoides de la procesionaria del pino.

Se obtuvieron principalmente dos especies: *Baryscapus servadeii* (Hym: Eulophidae) y *Ooencyrtus pityocampae* (Hym: Encyrtidae). De *B. servadeii* emergieron un total de 2509 individuos mientras que de *O. pityocampae* se identificaron 207 individuos. También emergieron también 20 individuos de una especie que se encuentra pendiente de clasificación. Los porcentajes de estos parasitoides se observan en la Figura 20.

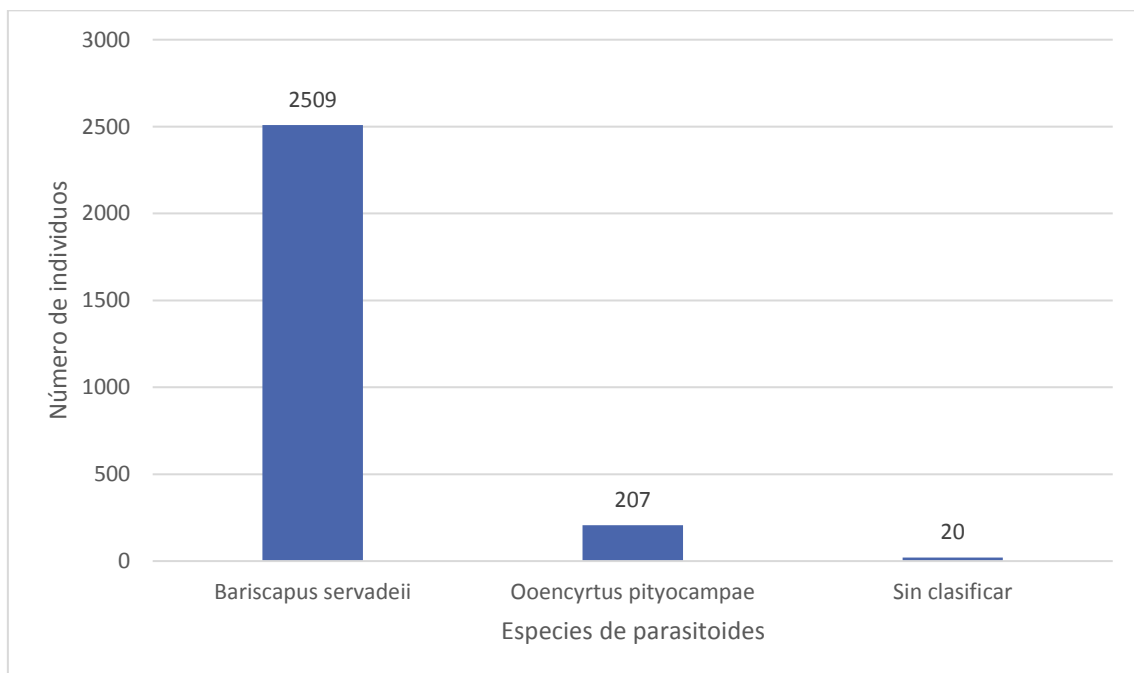


Figura 20. Representación gráfica del número total de parasitoides emergidos de las puestas de *T. pityocampa* en el laboratorio clasificados.

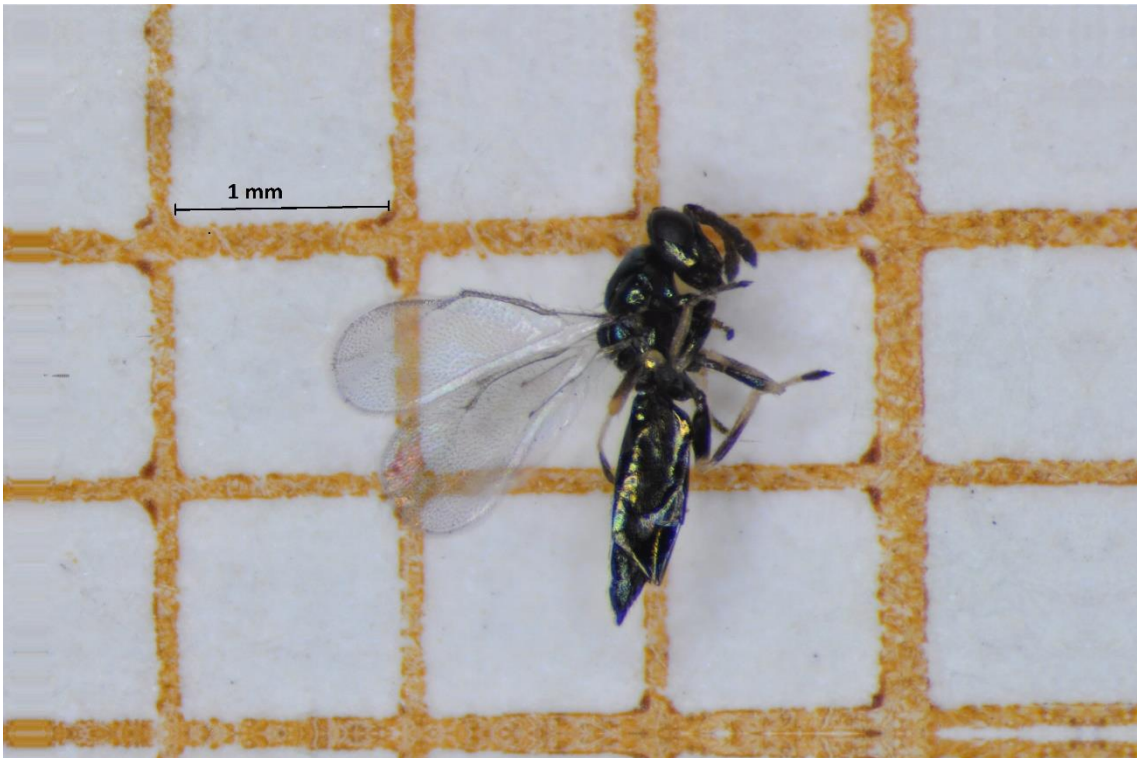


Figura 21. Imagen a escala del parasitoide *Baryscapus servadeii*. (Hym: Eulophidae) emergido de las puestas de *T. pityocampa* en el laboratorio.

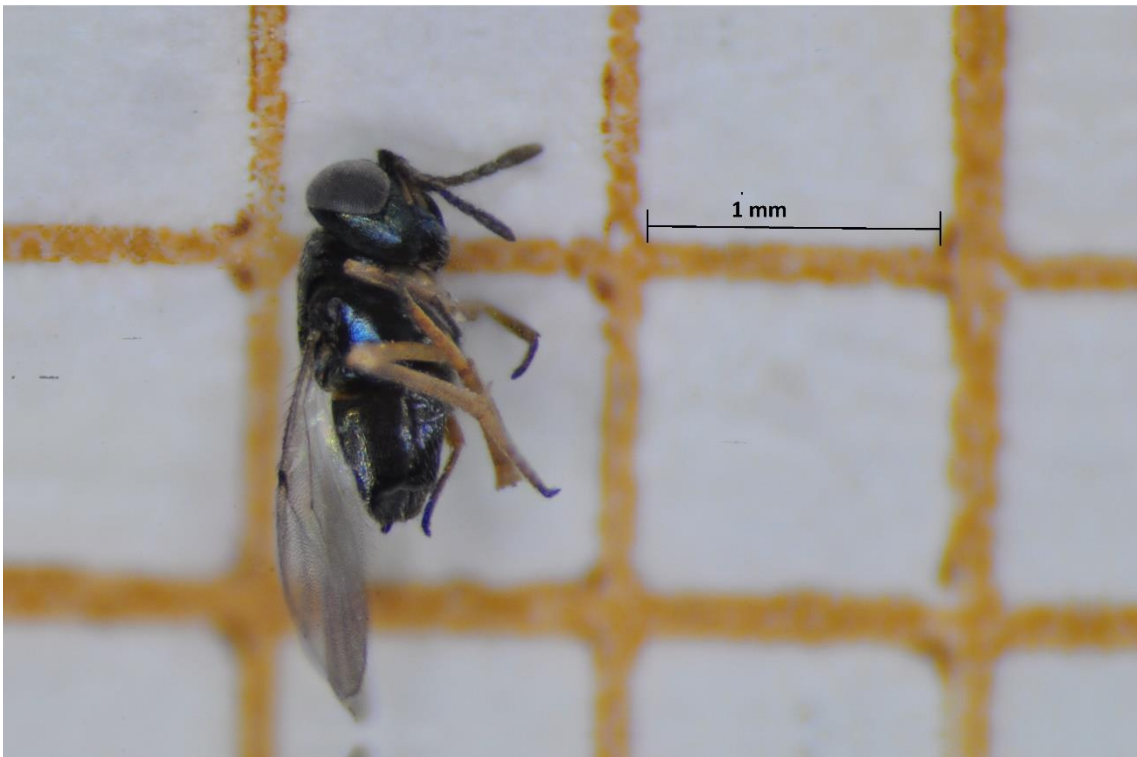


Figura 22. Imagen a escala del parasitoide *Ooencyrtus pityocampae*. (Hym: Encyrtidae) emergido de las puestas de *T. pityocampa* en el laboratorio.



Figura 23. Imagen a escala del parasitoide pendiente de clasificar emergido de las puestas de *T. pityocampa* en el laboratorio

3.6 Parasitismo en hospedadores alternativos

Cómo prueba para la puesta a punto de la cría de parasitoides de la procesionaria en hospedadores alternativos se colocaron 5 individuos de parasitoides que emergieron en el laboratorio junto con 20 huevos de la especie de lepidóptero *Samia ricinii*, realizándose un total de 347 ensayos. Esto se realizó desde la emergencia de los primeros parasitoides el día 24/04/2021 hasta la finalización de éstos el 10/10/2021. Basándonos en el artículo de (Tunca et al., 2016), los parasitoides emergidos de las puestas de *T. pityocampa* se criaron en tubos de plástico de 15 ml de capacidad (120mm de longitud) en una estufa a 25°C y alimentándolos cada dos días. No se obtuvo en ninguno de los ensayos una segunda generación de parasitoides.

En el mes de septiembre, tras la recolecta de adultos de *T. pityocampa* los parasitoides se expusieron a huevos de esta especie, por una parte, con la única puesta obtenida en laboratorio (por lo que no presentaban parasitismo previo) así como con huevos que se obtuvieron tras una disección de las hembras que no habían realizado puesta. Tampoco se obtuvo una segunda generación de parasitoides.

4. Discusión

En nuestro estudio, todos los puntos de muestreo dieron una media menor de 200 huevos por puesta excepto la localización de “El Toro”, por lo que si comparamos los resultados de este estudio con los obtenidos por Alemany et al. (1994), observamos que la media de huevos totales por puesta es menor en nuestro caso ya que para la isla de Mallorca estos autores obtuvieron una media de 213 huevos/puesta. Nuestros resultados también difieren de los obtenidos por Mirchev et al. (2012) y por los obtenidos por Tsankov, (1996) ya que obtuvieron puestas que presentaban de media más de 200 huevos, por lo que las puestas obtenidas en este estudio claramente tienen un menor número de huevos. No obstante, nuestros resultados sí que se asemejan a los obtenidos por Mirchev et al., (2010) en su estudio en las islas griegas de Kalogris, Atenas, Amfissa y Asprovalta ya que la media de huevos por puesta no llega a 200 de la misma forma que los resultados obtenidos por Ribas & Miranda (2017) y Barros & Miranda (2018) ya que las medias tampoco llegan a 200 huevos por puesta

Entre los factores que influyen en la cantidad de huevos de las puestas de *Thaumetopoea pityocampa* se encuentran entre otros la alimentación durante la fase larvaria, ya que cuanto mayor sea la alimentación del individuo en dicha fase más grandes serán los imagos y más huevos pondrán las hembras ya que éstas dispondrán de más cantidad de recursos destinados a la reproducción (Riziero Tiberi et al., 2015).

La longitud media de las puestas obtenidas en este estudio es de 2.64cm, pudiéndose comparar con las longitudes medias obtenidas por Alemany et al. (1994) ya que son muy similares, al igual que los resultados de Pérez-Contreras & Soler, (2004). Además, en los resultados de Pérez-Contreras & Soler (2004) se aprecia un incremento del número total de huevos por puesta conforme aumenta la longitud de ésta, relación que corroboran Arnaldo & Tortes (2006) en su estudio, en este trabajo también se ha analizado esta relación resultando positiva y corroborando así que a mayor longitud de la puesta mayor número de huevos. No obstante, es cierto que la variación del número de acículas que puede usar la hembra para realizar la puesta puede dar lugar a diferentes grosores de ésta por lo que la puesta puede presentar más columnas y menos filas haciendo que la puesta sea más corta, pero posea el mismo número de huevos o incluso más, lo que explica los valores atípicos que se pueden observar en la figura 13. Por lo que con estos resultados queda demostrado que la cantidad de huevos en una puesta de *T. pityocampa* está influida por la longitud de la puesta y no por el grosor.

Se han encontrado diferencias entre el grado de parasitismo de las puestas en las 3 formas de clasificación, ya sea por punto de recogida, municipio o tipo de hábitat. Si bien es cierto que las diferencias que se han encontrado en el porcentaje de parasitismo por punto de localización se pueden deber al bajo número de muestras en algunas localizaciones (1 sola puesta en UIB). No obstante, se han encontrado diferencias en el porcentaje de parasitismo por municipio (siendo Calvià el municipio con mayor porcentaje) y tipo de hábitat siendo la zona forestal la que presenta mayor porcentaje de parasitación. A pesar que las diferencias climáticas dentro de Mallorca son pequeñas, es cierto que hay ciertas variaciones en las temperaturas y precipitaciones de las diferentes partes de la isla (Pastor, 1995) que influyen en el porcentaje de parasitismo; la variación de la altitud sobre el nivel del mar, las temperaturas y las precipitaciones. Los enemigos naturales de la procesionaria del pino como los parasitoides pueden verse afectados negativamente por las altas temperaturas (Tiberi et al., 2015), lo que provoca una menor tasa de parasitismo.

Según los datos obtenidos en este estudio la región forestal tiene un grado de parasitismo mayor que la litoral o la suburbana, demostrando las preferencias de los parasitoides. Tiberi (1990) mencionó que los parasitoides de los huevos de la procesionaria del pino rara vez se encuentran de forma aislada, sino que se encuentran juntos creando complejos de varias especies resultando más activas las especies *O. pityocampae* y *B. servadeii* en los bosques de pinos concordando con los resultados obtenidos. Por otra parte, con nuestros resultados podemos ver que los valores de parasitismo en la isla de Mallorca han aumentado desde el año 1994 ya que se ha encontrado un parasitismo total de un 18.35% frente al 11.98% encontrado por Alemany et al. (1994). No obstante, El porcentaje de parasitismo en nuestro estudio es menor que el que encontró Battisti (1989) para el norte de Italia (40%), y Tiberi (1980) para la zona central de Italia (33%). Las poblaciones de parasitoides fluctúan de un año a otro, si bien, una explicación de este aumento en el parasitismo total en las puestas de la procesionaria del pino puede deberse al tiempo que lleva la plaga en la isla ya que existe un margen de casi 30 años en cuanto a adaptación de los parasitoides de esta plaga se refiere, por lo que es de esperar que el parasitismo sea mayor. No obstante, aunque el parasitismo haya aumentado, si nos fijamos en los valores mencionados anteriormente, es obvio que sigue siendo una reducida tasa de parasitación.

Respecto a la viabilidad de las puestas estudiadas por localidad, podemos observar en los valores de la tabla 10 que el mayor porcentaje de huevos no eclosionados se presenta en El Toro con un 20.44%. En cuanto a los municipios, los que presentan mayores valores son Marratxí seguido de Llucmajor. Por tipo de hábitat de recogida de la puesta no se han encontrado apenas diferencias ya que poseen valores muy similares. Es por esto que podemos deducir que el porcentaje de huevos no eclosionados se puede deber a la influencia de factores abióticos como por ejemplo, condiciones ambientales extremas y posiblemente a infecciones tanto bacterianas como víricas (Castagneyrol et al., 2014). Si comparamos nuestros resultados con estudios anteriores en la isla de Mallorca, observamos que en lo general ha habido una reducción en la viabilidad de las puestas respecto a los resultados obtenidos por Alemany et al., (1994) ya que las puestas presentaban tasas de fertilidad del 81.67%, asemejándose más nuestros resultados a los obtenidos por Mirchev et al. (2012), Pérez-Contreras & Soler (2004) y Arnaldo & Torres (2006) ya que en sus resultados las puestas presentaban viabilidades de entre el 60% hasta el 75.5%.

En este trabajo se observó que las zonas que la zona que presentaba un mayor parasitismo en la puesta era la apical, seguido de la basal y por último la central. Las escamas que deposita la hembra adulta de *T. pityocampa* realizan una función protectora que dificulta el acceso a los parasitoides, por lo que el acceso a las zonas donde las escamas son menos abundantes (basal y apical) suele ser mayor, presentando estas áreas valores más elevados de parasitismo que la región central (Mirchev et al., 1999). Que la región apical presente un mayor parasitismo que la basal se puede deber a que la región basal se encuentra más protegida ya que está rodeada de más acúcilas de pino mientras que la región apical tiene una exposición mayor.

Los parasitoides que se encontraban en las puestas de este estudio comenzaron a emerger a finales de abril, y continuaron hasta el mes de julio donde tuvieron su máximo, seguido de agosto, a partir de ese momento siguieron emergiendo parasitoides pero en mucha menor medida. Para que un buen control de plagas sea preciso es necesario conocer los patrones de desarrollo y las diferencias, en caso de que las hubiera, de las diversas poblaciones. Los datos de los parasitoides emergidos en el laboratorio no se corresponden exactamente con las características ecológicas de la procesionaria, si bien es cierto que su pico de emergencia fue en

el mes de julio seguido del mes de agosto, lo que indicaría un buen acoplamiento con el ciclo biológico de la procesionaria del pino en las Islas Baleares, se aprecia a la vez una emergencia muy temprana que no se acoplaría con el ciclo de este lepidóptero. Esta emergencia tan temprana puede deberse por un lado a las condiciones artificiales del laboratorio o a que los parasitoides no sean específicos de la procesionaria y puedan parasitar otras especies de lepidópteros (G. T. Georgiev et al., 2021; Plamen Mirchev et al., 2014).

En nuestro estudio las especies de parasitoides encontradas fueron *Baryscapus servadeii* (Hymenoptera: Eulophidae) y *Ooencyrtus pityocampae* (Hymenoptera: Encyrtidae), lo que concuerda con los estudios anteriores de Alemany et al., (1994), Ribas & Miranda (2017) y Martínez & Miranda (2018). Respecto a la especie que está sin clasificar, no se ha citado ningún otro parasitoide de los huevos de la procesionaria del pino hasta la fecha en las islas Baleares, como se ha citado anteriormente la procesionaria del pino es relativamente reciente en las islas Baleares por lo que cabe de esperar que poblaciones de otras especies de microhimenópteros poco a poco empiecen a parasitar los huevos de la procesionaria, de hecho, en la península Ibérica además de *O. pityocampae* y *B. servadeii* están citados como parasitoides de la procesionaria *Bariscapus transversalis*, *Anastatus bifasciatus* y *Trichogramma* sp. (Tanzen & Bellin, 1999) así como en Francia y en Bulgaria (Georgiev, et al., 2021), en Turquía además de estas especies se encuentra también *Pediobius bruchicida* como parasitoide de los huevos de la procesionaria del pino (Mirchev et al., 2004). La especie mayoritaria de nuestras puestas fue *B. servadeii*, a esta especie de microhimenóptero solo se la relaciona con la procesionaria del pino (Georgiev, et al., 2021; Graham, 2003) mientras que *O. pityocampae* es un parasitoide más generalista (Torres-leguizamon et al., 2015). Estas dos especies se han encontrado también en otros países acompañadas de otros parasitoides como *Trichogramma* sp. o *Anastatus bifasciatus* (Tsankov, 1996) además son especies que se encuentran sincronizadas con el ciclo de la procesionaria del pino (Arnaldo & Torres, 2006). La dominancia de *B. servadeii* frente a *O. pityocampae* concuerda con los estudios de (Alemany et al., 1994; Martínez & Miguel Ángel, 2018; Ribas & Miranda, 2017) así como con los estudios de autores como Mirchev et al. (2012) y Tsankov (1996). Esta dominancia de *B. servadeii* puede deberse al hecho de que esta especie, a diferencia de *O. pityocampae* muestra una tolerancia más elevada a altas temperaturas (Tiberi et al., 2015). Por otra parte *O. pityocampae* ha sido descrita como especie dominante en presencia de *B. servadeii* en estudios en Albania. Si bien es cierto que ambas especies son bastante específicas, como hemos dicho antes, *O. pityocampae* ha sido descrita como más generalista, de hecho, se ha citado que es capaz de parasitar a otras especies de lepidópteros de la familia Notodontidae como por ejemplo *T. wilkinsoni* y *T. pinivora*; de la familia Lasiocampidae como *Dendrolimus pini* o de la familia Sphingidae como *Hyloicus pinastri*. En condiciones de campo puede parasitar a más órdenes de insectos como los hemípteros y los heterópteros (López, 2014).

El hecho de que los parasitoides no se consideren en Mallorca uno de los factores clave de la mortalidad de la procesionaria no hace que estos enemigos naturales de la plaga sean menos importantes que otros, sino que hay que favorecer su presencia, evitando tanto la degradación como la fragmentación de su hábitat. Para un buen control de plagas lo óptimo sería métodos de control que no supongan peligro para otras especies, con una buena combinación de enemigos naturales, favoreciendo desde las aves que se alimentan de las orugas hasta los parasitoides, ya que en islas como Formentera donde la procesionaria es una plaga no nidifican depredadores naturales de la procesionaria.

5. Conclusiones

- Comparado con estudios anteriores, parece que ha habido una reducción en la viabilidad de las puestas de *T. pityocampa* en los últimos 30 años.
- Los valores de parasitismo para la procesionaria del pino han aumentado en los últimos 30 años, pero aun así son valores relativamente bajos comparados con otros países europeos.
- La zona geográfica y el tipo de hábitat tienen efecto sobre el porcentaje de parasitismo siendo las zonas forestales las que presentan mayor parasitismo, seguidas de las litorales y por último las suburbanas.
- Existen diferencias en el parasitismo dependiendo la zona de la puesta, siendo la zona apical la que presenta mayor parasitismo.
- *B. servadeii* es el parasitoide de los huevos de la procesionaria del pino más abundante en la isla de Mallorca, seguido por *O. pityocampae*.
- En Baleares existen al menos 3 especies de microhimenópteros que son parasitoides de los huevos de la procesionaria del pino.

6. Agradecimientos

Después de un año duro, por fin puedo decir que llegó el día, termina para mí una etapa de aprendizaje y sacrificio con el que me llevo miles de recuerdos fascinantes.

Al no haber realizado la carrera en esta Universidad, no sé lo que es vivir esas famosas “biofiestas”. Pero lo que sí sé, es que aquí me he sentido como si fuera mi casa. Por ello, me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que han estado a mi lado en todos los pasos del camino, enseñándome, motivándome, y dándome siempre una oportunidad.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi tutor, Miguel Ángel Miranda, ya que sin él nada de esto hubiera sido posible, además de darme la oportunidad de poder aprender y trabajar a su lado (aunque me prohibieran la entrada a algún que otro sitio...). Al igual que a Julia por su cariño y su comprensión, los memes y stickers en los momentos de más agobio, a Rafa, la primera persona que me brindó su ayuda y cariño en este maravilloso equipo y a Carlos por ser a quien acudo con mis chismes o en busca de ellos.

Gracias también a todos mis amigos porque ellos me han aportado toda esa ayuda emocional y vital que siempre fortalece en los momentos más complicados, Mar y Miguel, mis eternos compañeros de vida, al “Dream Team” porque este será nuestro verano, otoño, invierno y primavera, todo junto, Alfre por demostrarme que las amistades pueden durar incluso después de años de no tener contacto... a todos vosotros, GRACIAS, gracias por estar ahí, por haberme hecho sentir como en casa, y por todas esas risas reconfortantes, y esos momentos mágicos que me habéis hecho vivir este tiempo.

Y, por último, gracias a mi familia, a mi hermana Vanessa por seguir riéndonos juntas como cuando era pequeña, a mi hermana Nerea por distraerme de mis propios problemas, tenerme siempre una camita lista y ser mi saco de boxeo (casi literalmente) a mi cuñado Sergio por regalarme el “kit de soltera de oro” que tanto me ha ayudado estos meses de crisis, a mi sobrina Isis por enseñarme lo que relaja pintar acuarelas (¡y que bien me ha venido!) y por último quisiera dar las gracias a mi madre, por ser siempre el pilar que me sostiene, la voz de la razón

y animarme siempre a haga lo que me hace feliz sin mirar atrás porque ya vendrá ella a verme.
De todo corazón ¡GRACIAS!

7. Referencias

- Aldebis, H. K., Cándido, S.-Á., & Osuna, E. V. (1994). *Caracterización serológica de cepas de Bacillus thuringiensis Berliner aisladas de insectos españoles*.
https://www.researchgate.net/publication/28161881_Caracterizacion_serologica_de_cepas_de_Bacillus_thuringiensis_Berliner_aisladas_de_insectos_espanoles
- Aldebis, H., Muñoz Ledesma, J., Santiago Álvarez, C., & Vargas Osuna, E. (1994). Patógenos y parásitos para el control de la procesionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa* (D. y Schiff.) (Lep.: Notodontidae). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 20(2), 511–515.
- Aleman, A., Miranda, M., & Morell, P. (1994). Primeros resultados del estudio sobre parasitismo en huevos de *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schif.), en Baleares. In *Bol. San. Veg. Plagas* (Vol. 20).
- Arnaldo, E. P. S., & Tortes, L. M. (2006). Effect of Different Hosts on *Thaumetopoea pityocampa* Populations in Northeast Portugal. *Phytoparasitica*, 34(5), 523–530.
<http://www.phytoparasitica.org>
- Arnaldo, P. S., & Torres, L. M. (2006). Effect of different hosts on *Thaumetopoea pityocampa* populations in Northeast Portugal. *Phytoparasitica*, 34(5), 523–530.
<https://doi.org/10.1007/BF02981209>
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Gakis, S. F., Kyrtza, L. A., Mazomenos, B. E., & Gravanis, F. T. (2007). Influence of trap type, trap colour, and trapping location on the capture of the pine moth, *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122(2), 117–123. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00490.x>
- Barceló, M. À. (1992). *Vista de Cavidades de la Serra de na Burguesa. Zona 1: S'Hostalet (Calvià, Mallorca)*. <https://www.raco.cat/index.php/Endins/article/view/104346/153463>
- Battisti, A. (1988). Host-plant relationships and population dynamics of the Pine Processionary Caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology*, 105(1–5), 393–402. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0418.1988.TB00202.X>
- Battisti, Andrea, Avci, M., Avtzis, D. N., Jamaa, M. L. B., Berardi, L., Berretima, W., Branco, M., Chakali, G., El Alaoui El Fels, M. A., Frérot, B., Hódar, J. A., Ionescu-Mălăncuș, I., İpekdağ, K., Larsson, S., Manole, T., Mendel, Z., Meurisse, N., Mirchev, P., Nemer, N., ... Zamoum, M. (2015). Natural history of the processionary moths (spp.): New insights in relation to climate change. In *Processionary Moths and Climate Change: An Update* (pp. 15–79). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9340-7_2
- Battisti, Andrea, Stastny, M., Buffo, E., & Larsson, S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12(4), 662–671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01124.x>
- Battisti, Andrea, Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., & Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15(6), 2084–2096.
<https://doi.org/10.1890/04-1903>
- Berbiela, L., Núñez, L., & Casado, J. (2005). *Memoria del plan integral para el Control de*

laprocesionaria del pino 2003-2005. Conselleria de Medio Ambiente. Govern de les IllesBalears.

- Biliotti, E. (1958). Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Entomophaga*, 3(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/BF02372196>
- Cadahia, D., Enriquez, L., & Sanchez, A. (1975). Sexual attraction in *Thaumetopoea pityocampa*. *Boletin, Servicio de Defensa Contra Plagas e Inspeccion Fitopatologica*, 1, 1–11.
- Camps, F., Fabriàs, G., Gasol, V., Guerrero, A., Hernández, R., & Montoya, R. (1988). Analogs of sex pheromone of processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*: Synthesis and biological activity. *Journal of Chemical Ecology*, 14(5), 1331–1346. <https://doi.org/10.1007/BF01020138>
- Castagneyrol, B., Jactel, H., Charbonnier, Y., Barbaro, L., & Dulaurent-Mercadal, A. M. (2014). Egg mortality in the pine processionary moth: Habitat diversity, microclimate and predation effects. *Agricultural and Forest Entomology*, 16(3), 284–292. <https://doi.org/10.1111/afe.12056>
- Cebeci, H. H., Oymen, R. T., & Acer, S. (2010). Control of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* with *Bacillus thuringiensis* in Antalya, Turkey. *Journal of Environmental Biology*.
- Coppel, H. C., & Mertins, J. W. (1978). Biological insect pest suppression. *Agriculture and Environment*, 4(2), 162–163. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(78\)90021-8](https://doi.org/10.1016/0304-1131(78)90021-8)
- David Gutierrez, & Chris D. Thomas. (2000). *Marginal range expansion in a host-limited butterfly species Gonepteryx rhamni*.
- Démolin, G. (1969). Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. Forest*, 26(1), 81–102. <https://doi.org/10.1051/forest/19690104>
- Demolin, G., & Martin, J.-C. (1998). *Lutte contre la Processionnaire du pin : Efficacité et persistance d'action de deux formulations à base de Bacillus thuringiensis : Sylviculture*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Lutte-contre-la-Processionnaire-du-pin-%3A-Efficacité-Demolin-Martin/aeadc7a4fbb098d407ae2022459202b4ccd56039>
- Emile Biliotti, Constantin Vago, & Joseph Halperin. (1962). *Une virose de thaumetopoea wilkinsoni tams et ses rapports avec la polyédrie cytoplasmique de thaumetopoea pityocampa schiff*. <https://www.worldcat.org/search?q=no%3A1243943500>
- Finnegan, R. J. (1974). *Ants as predators of forest pests*.
- Georgiev, G., Rousselet, J., Laparie, M., Robinet, C., Georgieva, M., Zaemdzhikova, G., Roques, A., Bernard, A., Poitou, L., Buradino, M., Kerdelhue, C., Rossi, J., Matova, M., & Boyadzhiev, P. (2021). *áreas en Francia y Bulgaria*. 324–331.
- Georgiev, G., Rousselet, J., Laparie, M., Robinet, C., Georgieva, M., Zaemdzhikova, G., Roques, A., Bernard, A., Poitou, L., Buradino, M., Kerdelhue, C., Rossi, J. P., Matova, M., Boyadzhiev, P., & Mirchev, P. (2021). Comparative studies of egg parasitoids of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*, Den. & Schiff.) in historic and expansion areas in France and Bulgaria. *Forestry*, 94(2), 324–331. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa022>
- Georgiev, G. T., Zaemdzhikova, G., & Georgieva, M. (2021). *Impact of Egg Parasitoids on Pine Processionary Moth Thaumetopoea Impact of Egg Parasitoids on Pine Processionary*

Moth Thaumetopoea pityocampa (Denis & Schiffermüller , 1775) (*Lepidoptera* : *Notodontidae*) in a New Habitat. *March*.

Gomboc, S., Evans, H., & Martin, J. C. (2004). *Thaumetopoea pityocampa*. *EPPO Bulletin*, 34(2), 295–297. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2004.00731.x>

Gómez, L. (2020). *Valoración de una estrategia de control de la procesionaria del pino, Thaumetopoea pityocampa (Lepidoptera, Notodontidae) basada en la utilización de semioquímicos relacionados con la oviposición*. Universidad Politécnica de Valencia.

Graham, B. (2003). *Chalcidoidea , Eulophidae) , nuevo hiperparasitoide asociado a la procesionaria del pino en la Península Ibérica*. 1991, 243–245.

Halperin, J. (1990). Natural enemies of *Thaumetopoea* spp. (Lep., Thaumetopoeidae) in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 109(1–5), 425–435. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1990.tb00073.x>

Hódar, J. A., Castro, J., & Zamora, R. (2003). *Pine processionary caterpillar Thaumetopoea pityocampa as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming*. www.elsevier.com/locate/biocon

Hódar, J. A., & Zamora, R. (2004). Herbivory and climatic warming: A Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity and Conservation*, 13(3), 493–500. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000009495.95589.A7>

Hodar, J. A., Zamora, R., Castro, J., & Baraza, E. (1990). The effect of an outbreak of pine processionary caterpillar in the autochthonous woodlands of Sierra Nevada (SE Spain): suggestions for the plague control. *Orest Research: A Challenge for an Integrated European Approach*, 1, 327–332.

Hodar, Jose A, Zamora'', R., & Zamora'', Z. (2004). *Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species'' species' species''*.

Hodar, Jose A, & Zamora, R. (2004). *Herbivory and climatic warming: A Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species*. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000009495.95589.a7>

Hossler, E. W. (2010). Caterpillars and moths. Part I. Dermatologic manifestations of encounters with Lepidoptera. In *Journal of the American Academy of Dermatology* (Vol. 62, Issue 1, pp. 1–10). *J Am Acad Dermatol*. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2009.08.060>

Houri, A., & Doughan, D. (2006). Behaviour Patterns of the Pine Processionary Moth (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams; *Lepidoptera*: *Thaumetopoeidae*). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(1), 1–05. <https://laur.lau.edu.lb:8443/xmlui/handle/10725/3328>

Kashian, D. R., & Dodson, S. I. (2002). Effects of common-use pesticides on developmental and reproductive processes in *Daphnia*. *Toxicology and Industrial Health*, 18(5), 225–235. <https://doi.org/10.1191/0748233702th146oa>

Lamy, M., Pastureaud, M. E., & Ducombs, G. (1985). La thaumétopoéine, une protéine urticante de la chenille Processionnaire du Pin (*Thaumetopaea pityocampa* Schiff)(*Lepidoptères*, *Thaumetopoeidae*). *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences., Série 3*, (Sciences de la vie), 301(5), 173-176.

Legéas, M., Grojean, A.-L., Baudouin, C. de, & Flamant, S. (2005). *Incidences environnementales*

et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France.

- López, E. (2014). *Estudio de la dinámica poblacional del lepidóptero Thaumetopoea pityocampa (Denis & Schiffermüller, 1775) (Notodontidae) en la provincia de Valencia (España).*
- López Sebastián, E. (2014). *Estudio de la dinámica poblacional del lepidóptero Thaumetopoea pityocampa.* 305.
- Martin, X., Uffer, S., & Gailloud, C. (1986). Ophthalmia nodosa and the oculoglandular syndrome of Parinaud*. *British Journal of Ophthalmology*, 70, 536–542. <https://doi.org/10.1136/bjo.70.7.536>
- Martínez, M. de los Á. V., Arlandis, J. S. i, & López-Sebastián, E. (2006). *Sobre “Holcogaster weberi” (Hemiptera: Pentatomidae) como oófago esporádico de “Thaumetopoea pityocampa” (Lepidoptera: Notodontidae) en el norte de Valencia (España) - Dialnet.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2050858>
- Martínez, N. B., & Miguel Ángel, M. C. (2018). *Investigación de parasitoides de huevos de procesionaria como método de control biológico de la plaga de esta especie . Estudio experimental en Ibiza y Formentera . Exp . 10 / 17.*
- Masutti, L., & Battisti, A. (1990). Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiff.) in Italy Bionomics and perspectives of integrated control. *Journal of Applied Entomology*, 110(1–5), 229–234. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1990.tb00117.x>
- Mirchev, P., Schmidt, G. H., Tsankov, G., & Avci, M. (2004). Egg parasitoids of Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) and their impact in SW Turkey. *Journal of Applied Entomology*, 128(8), 533–542. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00837.x>
- Mirchev, P, Schmidt, G. H., Tsankov, G., & Pillana, S. (1999). Egg parasitoids of the pine processionary moth Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiff.) collected in Albania. *Boll. Zool. Agr. Bachic.*, 31(2), 152–165.
- Mirchev, Plamen, Georgiev, G., Boyadzhiev, P., & Matova, M. (2012). *Impact of Entomophages on Density of Thaumetopoea pityocampa in Egg Stage near Ivayvovgrad, Bulgaria.* https://www.researchgate.net/publication/259531169_Impact_of_Entomophages_on_Density_of_Thaumetopoea_pityocampa_in_Egg_Stage_near_Ivayvovgrad_Bulgaria
- Mirchev, Plamen, Georgiev, G., & Matova, M. (2014). Comparative studies of egg parasitoids of Thaumetopoea pityocampa and T. Solitaria inhabiting a common habitat in the Eastern Rhodopes. *Silva Balcanica*, 15(1), 116–121.
- Mirchev, Plamen, Tsankov, G., Douma-Petridou, E., & Avtzis, N. (2010). Comparative analysis of participation of egg parasitoids of pine processionary moth, thaumetopoea pityocampa (den. & shiff.) (lep.: Thaumetopoeidae) in Northern and Southern Mainland Greece. *Silva Balcanica*, 11, 73–97.
- Molina Rodríguez, J. M. Ocete, E. (1996). Diagnósis de las tres primeras fases larvianas de Thaumetopoea pityocampa (Denis & Schiff.), (Lep. Thaumetopoeidae). *Dep. Zoología, Facultad de Biología. Sevilla, España. Actas Do II Congreso Ibérico de Entomología.*
- Montoya, R. (1981). La procesionaria del pino. Plagas de Insectos en las Masas Forestales Españolas. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.*
- Mubvumba, P., DeLaune, P. B., & Hons, F. M. (2021). Soil water dynamics under a warm-

- season cover crop mixture in continuous wheat. *Soil and Tillage Research*, 206(October 2020), 104823. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104823>
- Novak, F., & Lamy, M. (1986). Cyto-differentiation de la glande urticante de la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* schiff. (Lepidoptera : Thaumetopoeidae) au cours de son développement larvaire. *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 15(1–2), 27–33. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(86\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0020-7322(86)90004-8)
- Núñez, L. (2013). *Evolución de la población de procesionaria del pino (Thaumetopoea pityocampa Den. & Schiff.) en Formentera y actuaciones de control*. https://www.researchgate.net/publication/329098954_Evolucion_de_la_poblacion_de_procesionaria_del_pino_Thaumetopoea_pityocampa_Den_Schiff_en_Formentera_y_actuaciones_de_control_6CFE01-418
- Oliveira, P., Arnaldo, P. S., Araújo, M., Ginja, M., Sousa, A. P., Almeida, O., & Colaço, A. (2003). Cinco casos clínicos de intoxicação por contacto com a larva *Thaumetopoea pityocampa* em cães. *CIÊNCIAS VETERINÁRIAS*.
- Oreste, M., Tarasco, E., Triggiani, O., & Zamoum, M. (2015). *Natural enemies emerged from Thaumetopoea pityocampa (Denis & Sciffermüller) (Lepidoptera Notodontidae) pupae in Southern Italy*. https://www.researchgate.net/publication/286932663_Natural_enemies_emerged_from_Thaumetopoea_pityocampa_Denis_Sciffermuller_Lepidoptera_Notodontidae_pupae_in_Southern_Italy/figures?lo=1
- Pastor, J. A. G. (1995). Aspectes bioclimàtics del carst de Mallorca / Bioclimatic aspects of karst in Mallorca. *Endins: Publicació d'espeleologia*, 20, 17–26.
- Pérez-Contreras, T., & Tierno de Figueroa, J. M. (1997). Estudio de la puesta de *Thaumetopoea pityocampa*, Schiff. 1775 (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) en relación al pino parasitado. *Asociación Española de Entomología*, 21, 119–125. https://www.researchgate.net/profile/Tomas-Perez-Contreras/publication/259500525_Estudio_de_la_puesta_de_Thaumetopoea_pityocampa_a_Schiff_1775_Lepidoptera_Thaumetopoeidae_en_relacion_al_pino_parasitado/links/02e7e531eed3e57a27000000/Estudio-de-la-puesta-de-Thaumetopoea-pityocampa-Schiff-1775-Lepidoptera-Thaumetopoeidae-en-relacion-al-pino-parasitado.pdf
- Pérez-Contreras, Tomás, & Soler, J. J. (2004). Egg parasitoids select for large clutch sizes and covering layers in pine processionary moths (*Thaumetopoea pityocampa*). *Annales Zoologici Fennici*, 41(4), 587–597.
- Plamen, M., Georgiev, G., Peter, B., & Maria, M. (2012). Impact of Entomophages on Density of *Thaumetopoea pityocampa* in Egg Stage near Ivayvovgrad, Bulgaria. *ACTA ZOOLOGICA BULGARICA Acta Zool. Bulg.*, 103–110. <https://www.researchgate.net/publication/259531169>
- Ribas Marqués, E., & Miranda, M. Á. (2017). *Parasitisme a les postes de Thaumetopoea pityocampa a Mallorca*.
- Rousselet, J., Zhao, R., Argal, D., Simonato, M., Battisti, A., Roques, A., & Kerdelhué, C. (2010). The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37(8), 1478–1490. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2699.2010.02289.X>
- Sabatini, G., PEVERIERI, I., FAGGI, M., MARZIALI, L., & TIBER, R. (1997). *Life cycle of Tomicus*

destruens in a pine forest of central Italy.

https://www.researchgate.net/publication/242224363_Life_cycle_of_Tomicus_destruens_in_a_pine_forest_of_central_Italy

- Sbadjji, M., Lambs, L., Haddad, A., & Kadik, B. (2015). Effect of periodic defoliations by *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. on radial growth in cedar woodland in Chr ea, Algeria. *Revue d'écologie*, July.
- Schmidt, G. H., Tanzen, E., & Bellin, S. (1999). Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Entomology*, 123(8), 449–458. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.1999.00405.x>
- Semiz, G., Cetin, H., Isik, K., & Yanikoglu, A. (2006). Effectiveness of a naturally derived insecticide, spinosad, against the pine processionary moth *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) under laboratory conditions. *Pest Management Science*, 62(5), 452–455. <https://doi.org/10.1002/ps.1181>
- Siebers, R. W., Lane, J. M., & Crane, J. (2004). Lavender in pillows. No effect on Der p 1 accumulation. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 59(2), 231–232. <https://doi.org/10.1046/J.1398-9995.2003.00381.X>
- Sobal, M., Morales, P., & Bonilla, M. (2007). 2.1 El Centro de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles (CREGENHC) del Colegio de Postgraduados. ... *Spp En México*, 1–14. <http://mushroomtime.org/wp-content/uploads/2014/06/02-El-cultivo-de-setas-Pleurotus-en-México.-SANCHEZ-J.-et-al.-ECOSUR-.pdf#page=28>
- Stastny, M., Battisti, A., Petrucco-Toffolo, E., Schlyter, F., & Larsson, S. (2006). Host-plant use in the range expansion of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*. *Ecological Entomology*, 31(5), 481–490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00807.x>
- Sweetman, H. L. (1958). The Principles of Biological Control. Interrelation of Hosts and Pests and Utilization in Regulation of Animal and Plant Populations. *The Principles of Biological Control. Interrelation of Hosts and Pests and Utilization in Regulation of Animal and Plant Populations.*, Revd. edn. 11 1/4 × 8 1/2.
- Tanzen, G. H. S. E., & Bellin, S. (1999). Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula.
- Tiberi, R. (1990). Egg parasitoids of the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in Italy: distribution and activity in different areas. *Journal of Applied Entomology*, 110(1–5), 14–18. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1990.tb00090.x>
- Tiberi, Riziero, Bracalini, M., Croci, F., Tellini Florenzano, G., & Panzavolta, T. (2015). Effects of climate on pine processionary moth fecundity and on its egg parasitoids. *Ecology and Evolution*, 5(22), 5372–5382. <https://doi.org/10.1002/ece3.1664>
- Tohmé, H., & Tohmé, G. (1982). Action de quelques espèces de Fourmis sur la chenille processionnaire *Thaumetopoea wilkinsoni* (Tams) (Lepidoptera) au Liban et leur comportement en présence de cette chenille. *Bulletin de La Société Entomologique de France*, 87(7), 321–325.
- Torres-leguizamon, M., Rossi, J., & Kerdelhu, C. (2015). *Incongruent evolutionary histories of*

two parasitoids in the Mediterranean Basin : influence of host specialization and ecological characteristics. 1040–1051. <https://doi.org/10.1111/jbi.12495>

- Torres Muros, L. (2016). *Estudio de la dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el espacio natural de Sierra Nevada, dentro del marco de cambio global. Análisis aplicado para una gestión adaptativa*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/42606>
- Tsankov, G. (1996). Parasitism of egg-batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in various regions of Bulgaria. *Journal of Applied Entomology*, 120(2), 93–105. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1996.tb01572.x>
- Tunca, H., Colombel, E. A., Ben Soussan, T., Buradino, M., Galio, F., & Tabone, E. (2016). Optimal biological parameters for rearing *Ooencyrtus pityocampae* on the new laboratory host *Philosamia ricini*. *Journal of Applied Entomology*, 140(7), 527–535. <https://doi.org/10.1111/jen.12282>
- Vega, J.M., Moreno, I., Armentia, A., Vega, J., Fuente, R., & Fernández, A. (1999). Reacciones ocupacionales de hipersensibilidad inmediata a procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*). *Esp. Alergol Inmunol Clin*, 14, 19–22.
- Vega, José María, Moneo, I., Ortiz, J. C. G., Palla, P. S., Sanchís, M. E., Vega, J., Gonzalez-Muñoz, M., Battisti, A., & Roques, A. (2011). Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in an adult population. *Contact Dermatitis*, 64(4), 220–228. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.2011.01884.x>
- Vega, M. L., Vega, J., Vega, J. M., Moneo, I., Sánchez, E., & Miranda, A. (2003). Cutaneous reactions to pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in pediatric population. *Pediatric Allergy and Immunology*, 14(6), 482–486. <https://doi.org/10.1046/j.0905-6157.2003.00066.x>
- Villas-Boas, I. M., Bonfá, G., & Tambourgi, D. V. (2018). Venomous caterpillars: From inoculation apparatus to venom composition and envenomation. *Toxicon*, 153(February), 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.08.007>
- Werno, J., & Lamy, M. (1990). [Atmospheric pollution of animal origin: the urticating hairs of the processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) (Insects, Lepidoptera)]. *Comptes Rendus de L'academie Des Sciences. Serie III, Sciences de La Vie*, 310(8), 325–331. <https://europepmc.org/article/med/2111200>
- Zhang, Q. H., & Paiva, M. R. (1998a). Female calling behaviour and male response to the sex pheromone in *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae). *Journal of Applied Entomology*, 122(7), 353–360. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0418.1998.TB01512.X>
- Zhang, Q. H., & Paiva, M. R. (1998b). Female calling behaviour and male response to the sex pheromone in *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae). *Journal of Applied Entomology*, 122(7), 353–360. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01512.x>