



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



La importancia del análisis en las superficies cubiertas por tratamientos fitosanitarios aéreos. La procesionaria del pino en la isla de Formentera

MANZANO SERRANO, M.J.¹, FOLGUEIRAS GONZÁLEZ, R.¹, BELVIS DE MIGUEL, G¹, CLOSA SALINAS S², NÚÑEZ VÁZQUEZ, L² y SANTIAGO LOZANO, M.I.²

¹ Estudios Medioambientales S.L. (ESMA)

² Govern Illes Balears. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Servei de Sanitat Forestal

Resumen

Desde el año 2017 y hasta 2020 el Servicio de Sanidad Forestal del Govern de les Illes Balears ha venido planificando tratamientos aéreos contra la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.) sobre masas de pino carrasco (*Pinus halepensis*) en la isla de Formentera. Para ello, se ha empleado un bioinsecticida microbiológico que actúa por ingestión aplicado mediante helicóptero.

La aeronave utilizada incorpora una tecnología DGPS (Differential GPS) con la que graba digitalmente el área rociada, generando un conjunto de archivos georreferenciados. Mediante el software NavViewW, de posicionamiento en tiempo real, se obtiene la ubicación y recorrido que ha realizado el helicóptero, discriminando entre las zonas donde se ha pulverizado el producto (*spray on*) y aquellas en las que no (*spray off*).

Los archivos se analizan de forma exhaustiva con programas de sistemas de información geográfica (Geographical Information System -GIS-) y se comparan con la superficie objeto de tratamiento en cada temporada de actuación, examinando las zonas tratadas dentro y fuera de cada polígono, observando detalladamente que se respetan las áreas de exclusión (asentamientos apícolas, áreas de agricultura ecológica, límite línea de costa, etc...) y distinguiendo que el grado de cubrición de los polígonos resulte correcto. Con todo ello, se calcula la superficie íntegra tratada cada año y, por lo tanto, la efectividad real respecto a lo programado.

Palabras clave

GIS, polígono, pulverizar, tratamiento, software, superficie, fitosanitario, aéreo, calidad, procesionaria, bioinsecticida.

1. Introducción

Las primeras citas de procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.) en la isla de Formentera datan de 2007 (NÚÑEZ, 2013), cuando se capturaron 405 imágnes de este lepidóptero mediante la colocación de 30 trampas con feromona sexual de nombre comercial *Pityolure* (Z-13-hexadecen-inil acetato 23,5%). En 2008 se aprueba el Plan de Control Integral de la procesionaria del pino en las Islas Baleares 2008-2011, según el cual cada año se realizaría un proyecto de control y seguimiento de este lepidóptero. En dicho Plan, se detallan las actuaciones a

llevar a cabo en las islas mayores. En el año 2009, y tras eliminarse la isla de Formentera de la declaración de zona protegida de procesionaria de la Unión Europea (Reglamento CE 690/2008) se declara como agente nocivo a la procesionaria del pino para las islas de Ibiza y Formentera, calificándose de utilidad pública los tratamientos fitosanitarios necesarios para su control. En 2010 se descubren los primeros bolsones, llegándose a contabilizar un total de 84 de ellos. En noviembre de 2011 se aprueba la Resolución del Conseller d'Agricultura, Medi Ambient i Territori por la cual se declara un foco incipiente de plaga de procesionaria en Formentera, se identifica dicho foco y se insta a establecer y aplicar las medidas de control que se consideren oportunas, entre las que se incluyen tratamientos fitosanitarios terrestres con cañón pulverizador y destrucción manual de bolsones, realizando para los de difícil acceso disparos de escopeta con mostacilla (NÚÑEZ, et al. 2012). A pesar de estas medidas, la población de procesionaria en la isla ha mostrado desde entonces una tendencia ascendente, incrementándose anualmente la superficie afectada.

Además de la disminución en el estado de salud del arbolado por las defoliaciones que produce, la oruga de la procesionaria del pino es causante de afecciones cutáneas y otras patologías en personas y animales. A partir de su tercer estadio larvario (L3), las orugas presentan unos pelos urticantes con capacidad para desprenderse fácilmente del tegumento ante cualquier tipo de agresión o estimulación mecánica y que pueden ser transportados por el viento (MUÑOZ, et al. 2003). Estos pelos, de entre 150 y 200 micras de longitud, son verdaderos arpones preparados para clavarse en la piel produciendo distintas patologías, entre las que destaca la afectación cutánea que se manifiesta fundamentalmente como urticaria de contacto y dermatitis papulosa. También son capaces de clavarse e irritar la mucosa conjuntival y de penetrar en la vía respiratoria produciendo manifestaciones a este nivel. En los últimos años, incluso, se han descrito varios casos de reacciones anafilácticas por este insecto.

Mediante técnicas para detectar polen o diversos microorganismos aerotransportados se ha comprobado la presencia en el aire de estos pelos, por lo que pueden ocasionar problemas sin tener contacto directo con las orugas. La abundancia de pelillos en el aire se relaciona con la distancia a las zonas de producción, las condiciones meteorológicas (mayor cantidad y mayor distancia de desplazamiento los días de viento) y momento del ciclo biológico (aumentan progresivamente desde el estadio larvario L3, llegando a tener cada oruga en su último estadio -L5- más de 1.000.000 de pelillos urticantes). Pueden engancharse en objetos (ropa, madera, piñas,...) o en el pelo de los animales y ocasionar síntomas ya fuera de la ubicación de los pinares. Además, son capaces de permanecer durante largos períodos de tiempo, incluso años, en el medio ambiente, por lo que las reacciones se pueden presentar a lo largo de todo el año (VEGA et al., 2011).

La isla de Formentera, por sus valores naturales, dispone de vastos atractivos paisajísticos que la convierten en un importante lugar de turismo. El pino carrasco (*Pinus halepensis*) es uno de los elementos que dotan a esta isla de tan elevado valor medioambiental. Se trata de una especie autóctona en las islas Pitiusas, que de hecho deben su nombre a esta especie forestal, pues la raíz etimológica proviene del griego *piti-* (pino) –*oussa* (isla), habiendo sido ya advertida la abundancia de pinos en ellas por el autor clásico Diodoro Sículo en el siglo I a. C. En la isla de Formentera las masas de pino carrasco ocupan una superficie de 2.422 ha, siendo esta especie la única en la isla sobre la que la procesionaria prospera implantando sus colonias. Mantener estables los sistemas naturales y

garantizar la seguridad de los habitantes y turistas de la isla, es una responsabilidad y obligación por parte de las autoridades competentes, y que la procesionaria del pino puede llegar a comprometer.

Por estos motivos, y ante la importancia que esta plaga empieza a adquirir, el Servicio de Sanidad Forestal de la Conselleria de Medi Ambient i Territori, inicia la puesta en marcha de un Plan de Control Integral, que incluye el tratamiento aéreo con bioinsecticida para evitar su expansión. En 2016 se aprueba el tratamiento aéreo contra la procesionaria del pino en la isla de Formentera para los siguientes 4 años.

Son múltiples los factores que influyen en el resultado final del control de la procesionaria mediante tratamientos aéreos. La elección del producto bioinsecticida, el tipo de aeronave a emplear, la época y momento de aplicación, el número de aplicaciones, las condiciones meteorológicas durante la pulverización y las 24 horas posteriores, las características fisiográficas de las áreas a tratar o la pericia del piloto, etc., todas ellas van a ser determinantes para la consecución de los objetivos de control.

Con el fin de conocer el grado de cumplimiento de estos objetivos, los tratamientos aéreos llevados a cabo en la isla de Formentera son sometidos a un control de calidad, realizado por una empresa independiente, en el que, entre otros parámetros, se analiza la superficie real pulverizada con producto bioinsecticida a partir de los datos registrados por el GPS diferencial que lleva instalado la aeronave. Esta labor es indispensable para determinar la calidad del trabajo realizado, ya que no sólo permite obtener la efectividad de la pulverización y por lo tanto del tratamiento, sino que además detalla la superficie rociada fuera de la zona de tratamiento, así como las fracciones de terreno que han recibido dosis doble de bioinsecticida por solapes entre pasadas de la aeronave.

2. Objetivos

El objetivo central del trabajo recogido en esta comunicación es dotar a los técnicos encargados de la sanidad forestal de un material que les permita conocer la precisión con la que se llevan a cabo los tratamientos aéreos. Mediante la documentación generada por el control de calidad se dispone de información exacta sobre la superficie tratada, diferenciando entre las pulverizaciones realizadas en el interior del polígono de tratamiento, de las realizadas fuera de él, las zonas en las que se han solapado las pulverizaciones por doble pasada de la aeronave mientras extendía el producto bioinsecticida y aquellas que ha sobrevolado la aeronave sin pulverizar cantidad alguna.

3. Metodología

El análisis de la efectividad se encuentra supeditado al diseño del tratamiento. De tal manera, el número de aplicaciones o pasadas para llevarlo a cabo, las características de la cartografía utilizada o la propia aeronave y el equipo pulverizador empleado van ser importantes condicionantes en el cálculo del porcentaje de la superficie cubierta por el bioinsecticida con respecto a la proyectada.

En todo caso, el diseño del tratamiento debe cumplir íntegramente con lo dispuesto en el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

Número de aplicaciones por tratamiento - Los tratamientos aéreos llevados a cabo en la isla de Formentera se realizan mediante dos aplicaciones completas separadas en el tiempo por un mínimo de 10 días. Ello se debe a que el producto fitosanitario empleado (*Bacillus thuringiensis* variedad *kurstaki*) tiene su mayor efectividad en orugas recién eclosionadas y hasta que estas alcanzan su tercer estadio larvario (L3). El periodo de nascencia de las orugas de procesionaria es amplio, esto implica que se puedan solapar en el tiempo puestas sin eclosionar con orugas en su tercer estadio larvario, por lo que con una única aplicación quedarían orugas fuera del rango de desarrollo para el que este producto sea más efectivo. Realizando dos pulverizaciones con la suficiente separación temporal se consigue abarcar una mayor población de orugas durante los tres primeros estadios de desarrollo larvario. El análisis de las superficies cubiertas por el bioinsecticida pulverizado se realiza para cada una de las dos aplicaciones, siendo la eficiencia final del tratamiento el promedio de ambas aplicaciones.

Generación de cartografía base - La base sobre la que se realiza el trabajo de análisis es la capa cartográfica resultante de la digitalización de los polígonos de tratamiento propuestos. La selección de las masas a tratar, según los criterios fijados por los técnicos competentes, es un proceso delicado que resulta determinante en la calidad final del trabajo. La fragmentación del terreno, la irregularidad de los límites de las masas y la existencia de parcelas a excluir (por diferentes cuestiones) dentro de las zonas de tratamiento son factores que van a condicionar en gran medida la eficiencia del trabajo. El Real Decreto 1311/2012 determina que en los tratamientos aéreos hay que excluir, entre otras superficies, aquellas ocupadas por asentamientos apícolas, por agricultura ecológica y masas de agua. Ello es decisivo en la elaboración de la capa de tratamiento, la cual presentará unas condiciones de regularidad menor cuanto mayor sea el número de elementos de esta tipología integrados en la zona de tratamiento.

La capa cartográfica sobre la que se trabaja se genera en formato *shapefile* (*shp*) de ESRI, se trata de un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Este formato es soportado igualmente por el software *NavViewW* con el que se planifican los vuelos de tratamiento en los dispositivos de la propia aeronave y por *QGIS*, sistema de información geográfica de software libre y de código abierto de la Fundación OSGeo, con el que se realiza el análisis posterior.

NavViewW es un paquete de software GIS creado por la empresa AG-NAV, reconocida por el desarrollo de tecnología GPS aplicada a usos agrícolas y forestales, que permite crear y guardar funciones básicas de procesamiento de datos, tales como crear mapas de vuelo, editar los datos de entrada y salida, análisis de datos, convertir datos de vuelo a formatos compatibles con otros softwares, generar informes de vuelo o crear salidas gráficas (AG-NAV, 2014).

Tras editar el piloto la capa en *NavViewW* para planificar los vuelos, los polígonos de tratamiento son cargados en el sistema de navegación AG-NAV 2 instalado en la aeronave. Se trata de un sistema de navegación DGPS diseñado para satisfacer las necesidades específicas de la aviación agrícola y forestal en los tratamientos fitosanitarios de cultivos agrarios y bosques. Proporciona al piloto información sobre la forma de proceder durante la pulverización, mostrando la orientación direccional o línea de vuelo para conseguir la cobertura adecuada de la zona de tratamiento y otras informaciones de navegación necesarias para la realización de las aplicaciones

aéreas de alta precisión. Igualmente, registra tanto las trazadas en las que se pulveriza el bioinsecticida (*Spray on*) como el recorrido de la aeronave sin pulverizar (*Spray off*).

Aeronave - La isla de Formentera se caracteriza por presentar el territorio distribuido en un mosaico agroforestal que le confiere un alto valor medioambiental y paisajístico. Sin embargo, esta misma propiedad convierte los tratamientos aéreos de los pinares en un trabajo complejo de ejecutar por la irregularidad de los polígonos resultantes. Además, en cumplimiento del Real Decreto 1311/2012, a estos polígonos hay que excluir aquellas zonas en las que existen asentamientos apícolas y cultivos de agricultura ecológica, lo que ocasiona una mayor irregularidad en las formas de los polígonos. Debido a ello, la aeronave a emplear para esta labor debe disponer de una elevada capacidad de maniobra, agilidad y facilidad de operación cerca de suelo, siendo el helicóptero la que mejor cumple con estos requisitos y la que con mayor precisión ejecuta los trabajos de tratamiento aéreo.

El modelo de helicóptero empleado es *BELL 206 JET RANGER III*, el cual se caracteriza por presentar dos palas tanto en el rotor principal como en el de cola y estar dotado de un motor turboeje *Rolls Royce 250 C20J* de 420 CV, (TOAL, J. 2012). Esta aeronave, por su fiabilidad y maniobrabilidad, reúne las mejores características para esta actividad.

El equipo de carga y almacenamiento del producto con el que está dotado es un *Equipo SIMPLEX Systems 4900*, compuesto por un depósito de 530 litros de capacidad con sus correspondientes sistemas de bombeo.

La distribución del bioinsecticida se realiza a ultra bajo volumen (ULV) por medio de dos pétigas dotadas cada una con 3 dosificadores *MICRONAIR AU 7000*. Estos difusores generan una masa de microgotas muy homogénea por la combinación del movimiento rotativo del dosificador con la traslación del helicóptero. Este modelo de atomizador está dotado de una válvula de control de diafragma y un corte secundario dentro del propio atomizador que asegura un corte de caudal inmediato y preciso al final de cada carrera de rociado, eliminando el riesgo de pérdida de producto bioinsecticida en tierra por goteo.

El conjunto aeronave-equipo de distribución empleado presenta la franja óptima de pasada para tratamientos a ultra bajo volumen (ULV) en los 25 metros de anchura, que es la utilizada en este trabajo, para lo que la altura de vuelo sobre las copas debe estar entre los 10 y 12 m (KILROY, B. 2003).

Comprobaciones previas a los vuelos de tratamiento – Antes de dar la orden de comienzo de los vuelos de tratamiento se realizan las debidas comprobaciones de calibración de equipos y de ancho de pasada.

La comprobación de la calibración consiste en una simulación de aplicación realizada en tierra en la que se mide el volumen de producto emitido por cada atomizador en un minuto, suponiendo una velocidad de crucero media de 90 km/h. Siendo el ancho de pasada de 25 m, en un minuto a 90 km/h se llegan a tratar 3,75 ha, por lo que el volumen total recogido debe ser 3,75 veces la dosis a aplicar por hectárea según lo establecido por el fabricante del producto bioinsecticida.

La comprobación del ancho de pasada se lleva a cabo realizando una pulverización real sobre una línea perpendicular a la dirección de avance de la aeronave en la que se han dispuesto testigos con papel hidrosensible a una distancia de separación entre ellos de 2 m hasta cubrir al menos 30 m de distancia. El helicóptero sobrevuela transversalmente esta línea por su punto medio pulverizando el producto bioinsecticida, que queda impregnado en los papeles hidrosensibles previamente dispuestos. Esta comprobación, además de permitir corroborar que la aplicación de la aeronave cubre el ancho de banda establecido, muestra el tamaño de gota y la densidad de las mismas a lo largo de la anchura de aplicación.

Estas comprobaciones son de gran importancia, pues de la precisión en la calibración de los equipos de pulverización, así como de la correcta aplicación en el ancho de banda determinado, depende el resultado final del tratamiento.

Vuelos de tratamiento – Una vez validadas las comprobaciones previamente llevadas a cabo, se da comienzo a los vuelos de tratamiento. El helicóptero cuenta con un equipo de control de flujo *AUTOCALL II* interconectado electrónicamente a la vez con el sistema de navegación AG-NAV 2 y con el equipo que bombea el fluido a los difusores. De tal manera, mediante la lectura continuada de los parámetros de velocidad del helicóptero, presión de bombeo y dosis seleccionada, el equipo de control de flujo permite obtener una distribución del producto exacta, garantizándose así la uniformidad de la dosis en las zonas a tratar.

Diariamente, una vez concluidos los vuelos, los registros de las trazadas almacenados en el sistema de navegación AG-NAV 2 son descargados en formato *shp* para su posterior análisis. A continuación, se muestra un ejemplo de la representación gráfica del registro de trazadas almacenadas en el sistema de navegación AG-NAV 2 (Figura 1), durante un tratamiento completo (varios días). Se observan diferentes colores, correspondientes al encendido/apagado del sistema.

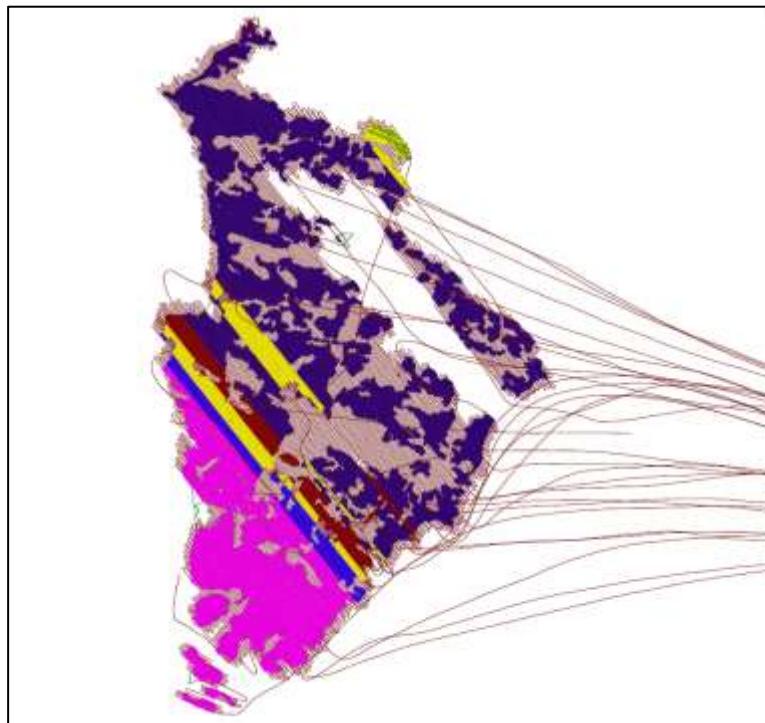


Figura 1. Representación gráfica del registro de trazadas almacenadas en el sistema de navegación AG-NAV 2

Análisis de la efectividad – El análisis de la efectividad se realiza para cada aplicación de las que se compone un tratamiento. La metodología explicada seguidamente se refiere a una aplicación, habiendo que replicar el mismo proceso para la segunda aplicación y así obtener la eficiencia total del tratamiento como promedio de ambas.

A través de las herramientas de geoprocessos del software QGIS se unen las capas de trazadas pulverizadas (capas de líneas generadas cada día de vuelo en modo *Spray on*) en una única. A partir de esta nueva capa se crea un *buffer* de 12,5 m de distancia, de manera que la anchura total del *buffer* sea 25 m, que coincide con la anchura de pasada con la que trabaja el helicóptero. Es importante indicar que el estilo de terminación tiene que ser plano, ya que de otra forma se añadiría superficie al análisis que no ha sido realmente tratada. El *buffer* es una capa creada en formato *shp* que tiene una geometría tipo polígono.

Mediante la herramienta precisa de geoprocreso se extrae la parte de esta capa *buffer* que se encuentra incluida dentro de la capa de polígonos de tratamiento (capa 1). Esta nueva capa creada (capa 2) se compone de tantos polígonos como trazadas ha realizado el helicóptero, teniendo una anchura constante de 25 m y una longitud igual a la de la trazada dentro de la zona de tratamiento. En las zonas donde solapan dos trazadas se duplica la superficie, por lo que para eliminar estas duplicidades se vuelve a someter a una nueva operación de geoprocreso que es la disolución. Aplicando la herramienta necesaria se convierte a la totalidad de los polígonos de la capa en un único polígono (capa 3), de manera que las superficies comunes de polígonos adyacentes se disuelven en una sola (QGIS, 2020).

Seguidamente, se realiza el cálculo de las superficies de ambas capas: por un lado la de los polígonos cortados con la capa de tratamiento, pero aún sin disolver (capa 2), y por otro la capa ya sometida al proceso de disolución (capa 3). La diferencia resultante entre ambas superficies coincide con la superficie que ocupan los solapes dentro de la zona de tratamiento.

El análisis de la efectividad, o porcentaje de cubrición real con bioinsecticida de la zona de tratamiento, resulta del cociente de dividir la superficie de la capa disuelta (capa 3) entre la capa de polígonos de tratamiento (capa 1).

Adicionalmente, se calcula la superficie que se ha pulverizado fuera de la zona de tratamiento recortando a la capa *buffer* originalmente creada la capa de tratamiento (capa 1).

El análisis de la efectividad se completa, por tanto, con datos de la superficie solapada dentro de los polígonos de tratamiento y con la superficie pulverizada fuera de estos.

Este mismo procedimiento se repite para la segunda aplicación de la que se compone el tratamiento, siendo la efectividad media de ambas aplicaciones la efectividad final del tratamiento.

Validación del tratamiento – Se establece un criterio de validación del tratamiento según el cual, en función del porcentaje de superficie de tratamiento pulverizada, se certifica el trabajo.

Si el porcentaje de la superficie de tratamiento cubierta por bioinsecticida es superior al 85% el trabajo es automáticamente certificado.

Cuando este porcentaje se encuentra entre el 85 y el 70% hay que estudiar las causas para determinar si resulta apto. En ocasiones concurren situaciones en puntos dentro de la zona de tratamiento que exigen cortar la pulverización al volar sobre ellos (concentraciones de personas, edificaciones y piscinas no segregadas, presencia de ganado, etc.). En estos casos justificados se planimetría la superficie que queda sin tratar y se resta a la superficie total para calcular nuevamente la efectividad.

Porcentajes menores del 70%, suponen en cualquier caso la no certificación del trabajo.

Este baremo se emplea en cada aplicación, de manera que para poder certificar el tratamiento hay que obtener la calificación de apto en cada una de las aplicaciones.

Redacción de informe y generación de cartografía – Los resultados del análisis son recogidos en un informe en el que se incluye cartografía al detalle de la zona de tratamiento, comentándose las posibles peculiaridades e incidencias que hayan podido influir en el trabajo realizado por la aeronave.

4. Resultados

La superficie de tratamiento en los cuatro años de estudio ha experimentado un incremento debido a la expansión de la procesionaria hacia el norte y el este de la isla (Figura 2).

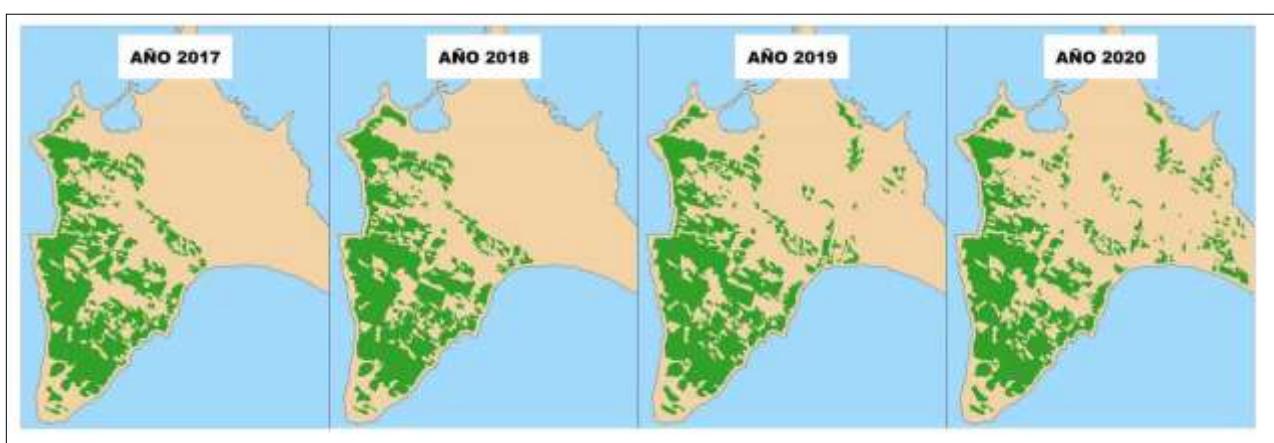


Figura 2. Representación gráfica de la variación de la superficie de tratamiento durante el periodo 2017-2020

En 2017, año de comienzo de los tratamientos aéreos contra la procesionaria, la superficie de pulverización fue modificada entre la primera y la segunda aplicación por decisión técnica, al incorporarse una parcela al tratamiento. Se trataba de un pinar que había sufrido un incendio en el mes de mayo de ese año que, en principio, quedó excluida del tratamiento. Durante la primera aplicación se comprueba en campo que varios pies han sobrevivido al incendio, quedando aislados y bien soleados, al haber eliminado el fuego la vegetación que los rodeaba. Esta circunstancia los

convierte en potencial reservorio de procesionaria, por lo que se decide incluir el rodal incendiado en el tratamiento para la segunda aplicación.

En el resto de temporadas la superficie de tratamiento ha permanecido constante entre aplicaciones, variando únicamente de un año a otro.

Resultados obtenidos en el año 2017 - La primera aplicación tuvo lugar entre en la primera quincena de octubre y en ella se empleó un volumen total de 3.000 l de *Belthirul F* mezclados con 1.500 l de agua. Para su aplicación, fueron necesarios 15 vuelos, soltándose en cada uno 300 l de caldo (200 l de *Belthirul F* y 100 l de agua).

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis al que se sometieron los datos obtenidos del DGPS para el cálculo de la efectividad (Tabla 1). La superficie tratada que se indica fuera de polígono, se obtuvo una vez corregidos los solapados. La superficie de solapados se refiere sólo a la considerada en el interior del polígono de tratamiento (ESMA, 2017).

Tabla 1. Resultados de la primera aplicación del tratamiento del año 2017

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapados (ha)	% Solapados
1.374,96	1.367,26	1.264,57	102,69	91,97%	87,30	6,90%

El estudio de la efectividad para la primera aplicación arroja un resultado del 91,97%, por lo que se considera el trabajo realizado como apto.

La segunda aplicación tuvo lugar a finales de octubre, empleándose las mismas cantidades que en la primera aplicación (3.000 l de *Belthirul F* mezclados con 1.500 l de agua), aplicando 300 l de caldo por vuelo del helicóptero y empleándose 15 vuelos.

El estudio de la efectividad para la segunda aplicación (Tabla 2) arroja un resultado del 92,21%, por lo que igualmente se considera el trabajo efectuado como apto.

Tabla 2. Resultados de la segunda aplicación del tratamiento del año 2017

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapados (ha)	% Solapados
1.441,31	1.392,88	1.329,02	63,86	92,21%	133,79	10,07%

El resultado total del análisis considerando al completo la superficie tratada, en las aplicaciones 1 y 2, se expone a continuación para el año 2017 (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del tratamiento del año 2017

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
2.816,27	2.760,14	2.593,59	166,55	92,09%	221,09	7,85%

El análisis conjunto de ambas aplicaciones devuelve que la efectividad media del tratamiento es del 92,09%.

Al presentar tanto la aplicación 1 como la 2 una efectividad superior al 85%, y ser clasificadas como aptas, el trabajo íntegro resultante del tratamiento realizado en 2017 queda perfectamente certificado.

Resultados obtenidos en el año 2018 - La primera aplicación se inició el día 10 de Octubre utilizando un total de 3.000 l de *Belthirul F* mezclados con 1.500 l de agua y otros 200 l de *Foray 48B*. Para su aplicación, fueron necesarios 17 vuelos, de los cuales en 14 de ellos se esparcieron 300 l de caldo (200 l de *Belthirul F* y 100 l de agua), en otro vuelo 200 l de *Foray 48B*; y finalmente se necesitaron 2 vuelos más para esparcir otros 300 l de caldo compuesto por *Belthirul F* y agua.

Al igual que en el tratamiento correspondiente al año 2017, se muestran los resultados del análisis de los datos obtenidos del DGPS para el cálculo de la efectividad de la primera aplicación realizada en octubre (Tabla 4). La superficie tratada fuera de polígono indicada se obtuvo una vez corregidos los solapes. La superficie de solapes se refiere sólo a la considerada en el interior del polígono de tratamiento (ESMA, 2018).

Tabla 4. Resultados de la primera aplicación del tratamiento del año 2018

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.529,23	1.473,77	1.342,57	131,20	87,79%	86,55	6,45%

El estudio de la efectividad para la primera aplicación arroja un resultado del 87,79%, por lo que se considera el trabajo realizado como apto.

En la segunda aplicación, que se inició el día 7 de noviembre, se empleó un volumen total de 3.400 l de *Belthirul F* mezclados con 1.700 l de agua. Fueron necesarios 17 vuelos, suministrándose en cada uno 300 l de caldo (200 l de *Belthirul F* y 100 l de agua).

En este caso, el estudio de la efectividad (Tabla 5) arroja un resultado del 93,11%, por lo que se considera el trabajo como apto para esta segunda aplicación.

Tabla 5. Resultados de la segunda aplicación del tratamiento del año 2018

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.529,23	1.615,92	1.423,92	192,00	93,11%	87,17	6,12%

El análisis en conjunto de ambas aplicaciones (Tabla 6), alcanza que la efectividad media del tratamiento se corresponda con el 90,45%.

Tabla 6. Resultados medios del tratamiento del año 2018

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
3.058,46	3.089,69	2.766,49	323,2	90,45%	173,72	5,68%

Al presentar tanto la aplicación 1 como la 2 una efectividad superior al 85%, se califican como aptas y, por lo tanto el trabajo realizado en 2018 queda así certificado en base a los resultados obtenidos por el análisis GIS realizado.

Resultados obtenidos en el año 2019 – Al igual que en años anteriores, la primera pasada de tratamiento tuvo lugar a primeros de octubre, en concreto se iniciaron los vuelos el día 9. En este tratamiento aéreo se utilizó una nueva formulación del producto bioinsecticida *Belthirul F*, que no requería ser mezclado con agua, empleándose un volumen total de 4.000 l de *Belthirul*, sin mezclar con agua. Para su aplicación, fueron necesarios 15 vuelos, de los cuales en 12 de ellos se esparcieron 300 l de *Belthirul F* y en otros dos 200 litros.

Los resultados del análisis al que se sometieron los datos registrados por el DGPS de la aeronave se exponen a continuación (Tabla 7). Al igual que en los tratamientos anteriores, la superficie tratada fuera de polígono indicada se obtuvo una vez corregidos los solapes y la superficie de solapes se refiere sólo a la considerada en el interior del polígono de tratamiento (ESMA, 2019).

Tabla 7. Resultados de la primera aplicación del tratamiento del año 2019

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.606,51	1.518,25	1.446,96	71,29	90,07%	81,25	5,62%

El estudio de la efectividad para esta primera aplicación del año 2019 aporta un resultado del 90,07%, por lo que se considera el trabajo realizado como apto.

La segunda aplicación tuvo lugar después del 15 de noviembre, en concreto los vuelos comenzaron el día 19, para ello se empleó un volumen total de 4.038 l de *Belthirul F*, igualmente sin mezclar con agua. En esta segunda aplicación fueron necesarios 17 vuelos para completar las áreas proyectadas en el tratamiento.

Los resultados del estudio de la efectividad dan un resultado del 92,19% (Tabla 8), por lo que se considera el trabajo como apto, en esta segunda aplicación.

Tabla 8. Resultados de la segunda aplicación del tratamiento del año 2019

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.606,51	1.548,11	1.481,09	67,02	92,19%	82,35	5,56%

El análisis conjunto de ambas aplicaciones (Tabla 9) para el año 2019 devuelve que la efectividad media del tratamiento ha sido del 91,13%.

Tabla 9. Resultados medios del tratamiento del año 2019

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
3.213,02	3.066,36	2.928,05	138,31	91,13%	163,60	5,09%

Al presentar tanto la aplicación 1 como la 2 una efectividad superior al 85%, se califican como aptas, y el trabajo realizado en 2019 es igualmente certificado.

Resultados obtenidos en el año 2020 - La primera pasada se inició el día 15 de octubre, empleándose un volumen total de 4.000 l de *Belthirul F*. Para su aplicación, fueron necesarios 17 vuelos, de los cuales en 10 de ellos se esparcieron 300 l de *Belthirul F*, en otros 3 vuelos 200 litros y los 400 litros restantes fueron repartidos en otros 3 vuelos.

Los resultados del análisis obtenido, partiendo de los datos registrados por el DGPS de la aeronave, se presentan en la siguiente tabla (Tabla 10); y, al igual que en los tratamientos anteriores, la superficie tratada fuera de polígono se presenta una vez corregidos los solapes. Además, la superficie de solapes que se aporta se refiere sólo a la considerada en el interior del polígono de tratamiento (ESMA, 2020).

Tabla 10. Resultados de la primera aplicación del tratamiento del año 2020

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.573,99	1.499,16	1.418,52	80,64	90,12%	80,77	5,69%

El estudio de la efectividad para la primera aplicación del año 2020 obtiene un resultado del 90,12%, por lo que el trabajo realizado se considera como apto.

El comienzo de la segunda pasada fue el 29 de octubre, utilizándose un volumen total de 3.950 l de *Belthirul F* y siendo necesarios 15 vuelos para su aplicación.

Los resultados del estudio de la efectividad fueron del 91,00%, con los datos de superficies expuestos en la tabla descrita para esta segunda aplicación (Tabla 11). Con este resultado de efectividad se considera el trabajo como apto.

Tabla 11. Resultados de la segunda aplicación del tratamiento del año 2020

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
1.573,99	1.503,89	1.432,26	71,63	91,00%	73,05	5,10%

Como cómputo final, y realizando el análisis conjuntamente de la primera y segunda aplicación, se obtiene un valor de la efectividad media del tratamiento aéreo completo (Tabla 12) del 90,56%.

Tabla 12. Resultados medios del tratamiento del año 2020

Superficie Polígono (ha)	Superficie tratada (ha)	Superficie tratada en interior de polígono (ha)	Superficie tratada fuera de polígono (ha)	Efectividad %	Superficie solapes (ha)	% Solapes
3.147,98	3.003,05	2.850,78	152,27	90,56%	153,82	4,89%

Al presentar tanto la aplicación primera como la segunda, una efectividad superior al 85%, que se corresponde como aptas, el resultado final del trabajo realizado en 2020 queda automáticamente certificado.

5. Discusión

El periodo de tiempo de 10 años, transcurridos entre la detección de la procesionaria del pino en la isla de Formentera y el primer tratamiento aéreo, ha permitido a este lepidóptero expandirse por la mitad occidental de la isla.

La aplicación del Plan de Control Integral, que incluye a los tratamientos aéreos con bioinsecticida, se ha demostrado como la mejor herramienta para mantener a este agente nocivo en unos niveles poblacionales aceptables con los objetivos de sanidad vegetal y seguridad planteados. No obstante, se observa que, pese a los tratamientos llevados a cabo, la procesionaria ha experimentado en los últimos 4 años una expansión hacia el norte y el este de la isla.

La explicación a este hecho se encuentra en que el diseño de los tratamientos cumple escrupulosamente con lo dispuesto en el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. En el punto 6 del Anexo VI, relativo a las condiciones generales para la realización de aplicaciones aéreas, se expone lo siguiente:

“No se aplicarán productos fitosanitarios por medios aéreos sobre núcleos urbanos o masas de agua (ríos, lagunas o embalses), asentamientos apícolas ni cultivos ecológicos no objeto de tratamiento, dejando a su alrededor una franja de seguridad mínima de 100 metros en la cual no podrá realizarse ningún tratamiento por medios aéreos. En casos debidamente justificados en el plan de aplicación autorizado por el órgano competente, esta distancia podría reducirse.”

En cumplimiento de esta normativa, al diseñar la zona de tratamiento se establece una zona buffer de 100 m con respecto a la línea de costa en la que no se pulverizará. Ello supone excluir del tratamiento una amplia superficie de pinar que actúa como reservorio de la plaga, lo que está permitiendo su expansión a otras partes de la isla.

Sería conveniente contemplar la posibilidad de reducir esta distancia para sucesivos tratamientos aéreos. El empleo de un producto insecticida biológico como el *Belthirul F*, autorizado para agricultura ecológica y no clasificado como peligroso de acuerdo al Reglamento (CE) nº

1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, confiere cierta seguridad sobre el bajo riesgo en el medio ambiente que supone su uso.

A pesar de ello, el Plan de Control Integral está resultando de gran utilidad, pues se confirma que donde se llevan a cabo tratamientos aéreos las poblaciones de procesionaria se mantienen en unos niveles reducidos.

Vista la importancia que toman las zonas que pueden actuar como reservorios de la procesionaria, el análisis de las superficies cubiertas por tratamientos aéreos adquiere especial trascendencia. Gracias a este trabajo, es posible determinar con precisión las superficies de pinar en las que no se ha aplicado producto bioinsecticida, incluso si se encuentran dentro de la zona de tratamiento. Esto supone una ayuda más para predecir la evolución futura de la plaga y, en consecuencia, mejorar el plan de control de esta plaga en sucesivas campañas.

6. Conclusiones

La implementación de un control de calidad que incluya el análisis de la superficie cubierta en los trabajos de tratamiento aéreo es una acción que dota a los Servicios de Sanidad Forestal de una herramienta de gran utilidad para la gestión integral de las plagas forestales.

Por un lado, permite a los técnicos conocer las zonas que pueden suponer un reservorio de la plaga por haber quedado sin tratar, así como estimar el volumen de producto bioinsecticida que se pierde entre solapes y pulverización fuera de los polígonos de tratamiento.

Por otro lado, se comprueba que aquellas superficies que se excluyen de la zona de tratamiento por su sensibilidad quedan efectivamente sin pulverizar. La realización de tratamientos fitosanitarios aéreos no siempre está bien vista por la población y el avistamiento de una aeronave portando equipos de fumigación y sobrevolando ciertas zonas puede causar alarma social. La cartografía que se genera en este control de calidad permite a los técnicos responsables demostrar que, pese a que la aeronave haya podido sobrevolar zonas pobladas, no ha pulverizado cantidad alguna de bioinsecticida sobre ellas.

Aplicado a distintos diseños de tratamientos aéreos (con diferentes aeronaves, distintas fisiografías del terreno, etc.) resulta de gran utilidad para establecer comparativas entre ellos y optar por la mejor solución. Aporta, por lo tanto, luz sobre el tipo de aeronave más apropiado en función de las características de los polígonos a tratar y del presupuesto a invertir; permite estimar con precisión la cantidad de bioinsecticida a emplear, considerando las pérdidas por solape y pulverización fuera de polígono según el tipo de aeronave empleado; así como obtener la eficiencia media de cada compañía aérea y empresa aplicadora.

Todo ello redunda en una optimización de los recursos destinados a la lucha contra las plagas forestales en aquellos casos en los que se llevan a cabo tratamientos aéreos.

A lo largo de las sucesivas campañas en las que se ha realizado este trabajo, la experiencia adquirida ha permitido ir depurando y mejorando la metodología, a la vez que ha supuesto una valiosa instrucción para identificar con antelación las posibles complicaciones que pueden surgir

durante un tratamiento aéreo, permitiendo anticiparse a ellas aportando la mejor solución con el fin de obtener el mejor resultado respecto al análisis de las superficies pulverizadas.

7. Agradecimientos

Al Consell Insular de Formentera y en concreto al técnico de Medio Ambiente, Javier Asensio Ruano y al personal del Instituto Balear de la Naturaleza (IBANAT); así como, al equipo técnico de ROTORSUN S.L, compañía aérea de helicópteros. Gracias a la constante colaboración de todos ellos se ha podido llevar a cabo este trabajo de forma satisfactoria.

8. Bibliografía

AG-NAV INTERNACIONAL; 2014. Manual de Operaciones Guía. 300. Ontario.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES S.L. (ESMA); CONSELLERIA MEDI AMBIENT, AGRICULTURA I PESCA, GOVERN ILLES BALEARS; 2017. Control de calidad de la realización de tratamientos aéreos contra la procesionaria del pino en la isla de Formentera. Año 2017.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES S.L. (ESMA); CONSELLERIA MEDI AMBIENT, AGRICULTURA I PESCA, GOVERN ILLES BALEARS; 2018. Control de calidad de la realización de tratamientos aéreos contra la procesionaria del pino en la isla de Formentera. Año 2018.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES S.L. (ESMA); CONSELLERIA MEDI AMBIENT I TERRITORI, GOVERN ILLES BALEARS; 2019. Control de calidad de la realización de tratamientos aéreos contra la procesionaria del pino en la isla de Formentera. Año 2019.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES S.L. (ESMA); CONSELLERIA MEDI AMBIENT I TERRITORI; GOVERN ILLES BALEARS; 2020. Control de calidad de la realización de tratamientos aéreos contra la procesionaria del pino en la isla de Formentera. Año 2020.

KILROY, B. 2003. Aerial Application Equipment Guide. Departament of Agriculture. Forests Service. 250 p. United State.

NÚÑEZ, L.; 2013. Evolución de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.) en Formentera y actuaciones de control. 6º Congreso Forestal Español.

NÚÑEZ, L.; BARCELÓ, A.; CLOSA, S.; 2012. Evolución de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.) y situación actual en Formentera (2012). Marco legal y actuaciones de control. Revista Foresta Nº 56 56 - 66.

QGIS PROJECT; 2020. PyQGIS developer cookbook. Versión 3.4.

TOAL, J. 2012. Flying the Bell 206 JetRanger: A training manual for pilots. CreateSpace independent publishing platform. 213 p.

VEGA, J.; VEGA, J.M.; MONEO, I.; 2011. Manifestaciones cutáneas originadas por la oruga procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*). Actas Dermo-Sifiliográficas. Vol. 102. Nº 9 658 - 667.