



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-404

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Desarrollo de un sistema de monitorización, alarma y gestión de las plagas forestales

MANZANO SERRANO, M.J.¹, SANJURJO LÓPEZ D.¹, SAN PEDRO SANTIAGO D.¹, PRIETO BLAZQUEZ, J.M.¹

¹ESMA-Estudios Medioambientales S.L. mjmanzano@esmasl.es, dsanjurjo@esmasl.es, dsanpedro@esmasl.es, jmprietob@gmail.com

Resumen

Utilizando la información de los seguimientos y evaluación de plagas, que la Comunidad de Madrid está realizando desde el año 2000 para gestionar la evolución de las plagas forestales en su territorio, se ha intentado mejorar estos sistemas de gestión con el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al medio natural.

En este sentido, los datos de los seguimientos que se realizan para la detección temprana de las plagas producidas por diferentes agentes son gestionados y actualizados diariamente mediante una BBDD relacional, conteniendo datos de capturas, georreferenciación de trampas y recorridos, datos climatológicos, etc. Con ellos se calculan desde las curvas de vuelo de los agentes hasta los niveles de infestación del momento o de la serie histórica.

Como novedad en la integración y explotación de los datos, se ha creado una aplicación que reporta un informe semanal por agente nocivo con un mapa de distribución (técnicas geoestadísticas) junto con las capturas de cada localización, la curva de vuelo en el año de muestreo y su comparación con los años anteriores, además de la curva media de vuelo de la serie histórica. Esta comparación será clave para determinar si los niveles actuales de capturas se ajustan a la normalidad o se desvían del modelo. Si es así, el informe presenta una alarma que avisa al gestor de la posibilidad de un problema incipiente de plaga.

Palabras clave

Aplicación informática, mapa, geoestadística, SIG, base de datos, muestreo.

1. Introducción

Desde el año 2000 se vienen realizando en la Comunidad de Madrid campañas de seguimiento de los agentes nocivos que provocan las principales plagas forestales, cuyos resultados se almacenan sistemáticamente en una base de datos. Esto ha generado un volumen de información que permite no solo evaluar el estado poblacional de cada agente durante la campaña en curso, sino además realizar un estudio con perspectiva histórica gracias a los datos acumulados para poder realizar predicciones sobre la evolución demográfica de estos agentes y la posible aparición de una plaga.

Desde hace ya mucho tiempo se reconoce la utilidad de estos análisis de redes de trampas con feromonas para la detección temprana de explosiones de las poblaciones de insectos (W. M. Cielsa, D. Cadahía y F. Robredo 1976). A pesar de esto, los sistemas de alerta frente a plagas forestales actuales se basan directamente en el número de ejemplares capturados. No se han encontrado referencias a ningún sistema basado en el estudio de la

evolución de las poblaciones de los agentes patógenos comparándolo con los registros históricos para detectar anomalías que puedan sugerir el inicio de un fenómeno de plaga.

2. Objetivos

En el presente trabajo se exponen los métodos desarrollados para poder realizar simultáneamente ambas tareas: seguimiento de las poblaciones de los principales agentes que pueden dar lugar a plagas forestales, y alerta en el caso de que la evolución de estos indique, en función de los datos históricos almacenados, la posibilidad de una alteración demográfica que pueda originar la aparición de una plaga forestal.

3. Metodología

Para la realización de esta tarea se ha contado con el siguiente material de trabajo:

- Base de datos en formato MS-Access donde se incorporan los resultados de las distintas campañas de trampeo, especificando los datos geográficos de cada trampa (figura 1) las fechas de revisión, así como el número de capturas individualizadas para cada fecha. Se cuenta con esta información desde las campañas de 2000 hasta la actualidad.

- Mallas en formato Arc/Info ASCII con la información de la vegetación susceptible de ser atacada por cada agente estudiado. Esta malla tendrá la resolución adecuada a la densidad de trampeo existente, así como la necesaria para proporcionar mapas en una escala de trabajo adecuada. Estas capas de vegetación vectoriales tienen su origen en el Mapa Forestal Español 1:50.000 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente; y en el Mapa del Terreno Forestal de la Comunidad de Madrid 1:25.000.

- Mapa base de la Comunidad de Madrid con los límites municipales.

Así mismo se cuenta con el paquete estadístico R, junto con las correspondientes librerías de geoprocetos, geoestadística y gráficos.

La base de datos, es una base de datos relacional compuesta de un modelo de entidad relación propio para los objetivos que se persiguen. Los seguimientos de agentes de las masas forestales se realizan semanalmente para todos los agentes, es decir, cada semana se recogen los datos de todas trampas que se encuentran repartidas a lo largo de la superficie forestal de la Comunidad de Madrid. Estos lugares, provistos con los dispositivos de trampeo, se denominan seguimientos, para un mismo agente y zona, y pueden variar en número, espacio o lugar cada temporada según las necesidades. Por ejemplo, en 2012 han sido objeto de seguimiento permanente 16 agentes nocivos, repartidos en 75 seguimientos, compuestos en su mayoría por 6 tipos diferentes de métodos de captura (Trampas G, Theyson, Delta, feromona más adhesivo, Trampas Lindgren o Cross-Trap) que se aplican según el agente; todo ello supone un control semanal de casi 300 sistemas de trampeo. Una vez recogidas las capturas de cada trampa, se procede a la identificación de los agentes y su conteo. Estos datos serán los introducidos en la base de datos, con la clave de seguimiento, coordenadas geográficas y demás datos asociados de interés; para su posterior explotación estadística, tanto analítica como espacial.

La elaboración de los mapas y curvas de vuelo se realiza mediante un *script* de R que ejecuta una consulta que proporciona el resultado semanal de capturas, tanto de forma absoluta (número de semana en el año) como relativo (número de semana desde la primera captura). Con estos datos se elaboran los siguientes gráficos:

- Curva de vuelo con cronología absoluta. Se representa en este gráfico las curvas obtenidas en los sucesivos años para los que se disponen datos, junto con la curva media y la zona de valores a una distancia de esta media menor o igual a dos veces la desviación típica. Esta curva permite el estudio de la fenología del agente, y comprobar si en el año en curso su ciclo biológico se encuentra adelantado o retrasado respecto al habitual (generalmente debido a causas climáticas). Al generarse esta salida se produce un aviso si el último valor de capturas se encuentra fuera de esta zona, anunciando una desviación del ciclo biológico inusual.

- Curva de vuelo con cronología relativa. Las diferentes condiciones climáticas en cada temporada conducen a adelantar o atrasar al ciclo biológico de los agentes estudiados, de tal manera que la curva de vuelo de un año no se corresponde con la de otro si se comparan directamente, dificultando el estudio de la evolución de la población si no se tiene este hecho en cuenta. Para evitar este efecto de la variabilidad del ciclo biológico de los agentes, las distintas curvas de vuelo se ajustan para hacer coincidir el inicio de las capturas. Análogamente a la curva de cronología absoluta, se presenta la curva de cada año, la curva media, y la zona en torno a esta a una distancia igual o menor de dos desviaciones típicas. En este caso la aparición de valores por encima de esta zona presagia un fenómeno de plaga asociado a este agente, y se produce un aviso para que se puedan tomar las medidas preventivas oportunas.

- Mapas de evolución con cronología absoluta. Mediante técnicas geoestadísticas se realizan dos series de mapas distintas: evolución media de capturas y evolución en la temporada actual (figura 1). La primera serie se obtiene realizando una interpolación de los datos semanales empleados en la elaboración de las curvas de vuelo. Para su elaboración se toman los valores medios de capturas recogidos para cada semana, permitiendo realizar una estimación más o menos ajustada de la evolución *a priori* de las poblaciones del agente en el territorio potencial de dicho agente. La serie correspondiente a la evolución en la temporada actual, así mismo generada mediante un proceso de interpolación, se realiza a partir de los datos de capturas en la temporada en curso, esto permite comparar esta serie con los mapas de evolución medios obtenidos anteriormente para realizar estimaciones más ajustadas.

- Mapas de evolución con cronología relativa. De forma similar a como se ha procedido con las curvas de vuelo, se realiza un ajuste de las cronologías para hacer coincidir los inicios de capturas de cada temporada. De esta manera, y aplicando las mismas técnicas que en los mapas con cronología absoluta, se genera una serie de mapas con la evolución media de capturas en cada semana, indicando con que semana de la temporada actual se correspondería cada mapa con vistas a poder comparar la situación actual con los datos históricos eliminando el sesgo debido a la climatología particular de cada temporada. De esta manera se pueden realizar predicciones más precisas con un componente espacial añadido respecto a las realizadas con la curva de vuelo.

Con los distintos mapas y gráficos elaborados a partir de los datos presentes en la base de datos se genera un informe que semana a semana ofrece al gestor una visión clara de la

situación particular de cada agente, así como de la evolución prevista en la población del mismo, permitiéndole tomar las decisiones más adecuadas para asegurar el control de cualquier plaga cuya incipiente aparición se haya podido detectar.

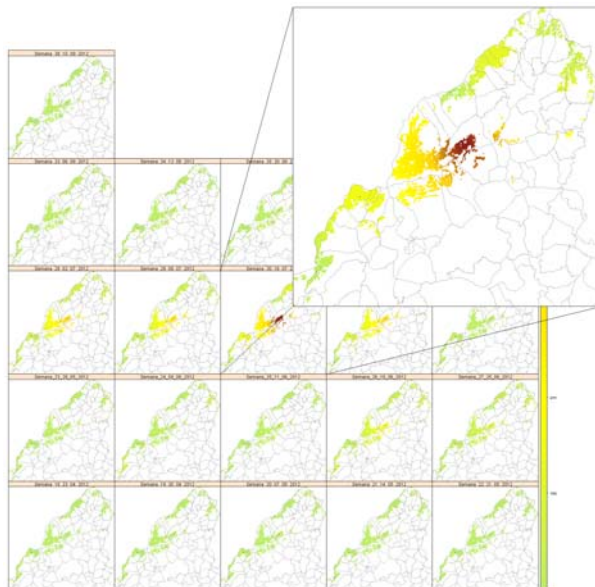


Figura 1. Mapas de evolución de *Ips acuminatus* en 2012

4. Resultados

Se han aplicado estas técnicas a los datos de poblaciones de *Diprion pini* obtenidos a partir de los muestreos realizados en la comunidad de Madrid desde 2000. Para asegurar la máxima homogeneidad de los datos obtenidos en las sucesivas campañas, se ha optado por omitir los datos de las dos primeras, tomando por tanto como definitivos los obtenidos a partir de la campaña correspondiente a 2002.

Curvas de vuelo con cronología absoluta (fig. 2): Estas curvas se han calculado con los datos de uno de los puntos de control (ESMA-11). En ellas se observa un mínimo en las capturas en torno a la vigésima sexta semana (numerada desde el comienzo del año). También se pueden detectar tres situaciones de alarma en 2003, 2006 y 2007. La correspondiente a 2003 comienza la vigésima séptima semana del año, extendiéndose durante las tres semanas siguientes. La alarma de 2006 comienza la vigésima primera semana y permanece activa las dos semanas siguientes. Por último, la alarma de 2007 aparece en la trigésima segunda semana y se extiende una semana más.

Curvas de vuelo con cronología relativa (fig. 3): Como se ha explicado, estas curvas se calculan tomando como semana 1 la primera semana en la que se han realizado capturas, con lo que se intenta eliminar el efecto debido a las condiciones climáticas iniciales de cada temporada. El mínimo detectado en la figura 2 se hace mucho más evidente en la figura 3, marcando la sexta semana una división clara entre dos incrementos poblacionales por temporada, aunque no todas las temporadas presentan ambos máximos igual de claros.

Se vuelven a detectar alarmas en las mismas temporadas que con las curvas de vuelo con cronología absoluta, con la diferencia que las temporadas 2003 y 2007, que presentaban una situación de alarma situado en el segundo incremento de población de la temporada, también presentan una situación de alarma durante el primer incremento de población, aunque de pequeña entidad y limitado a una única semana.

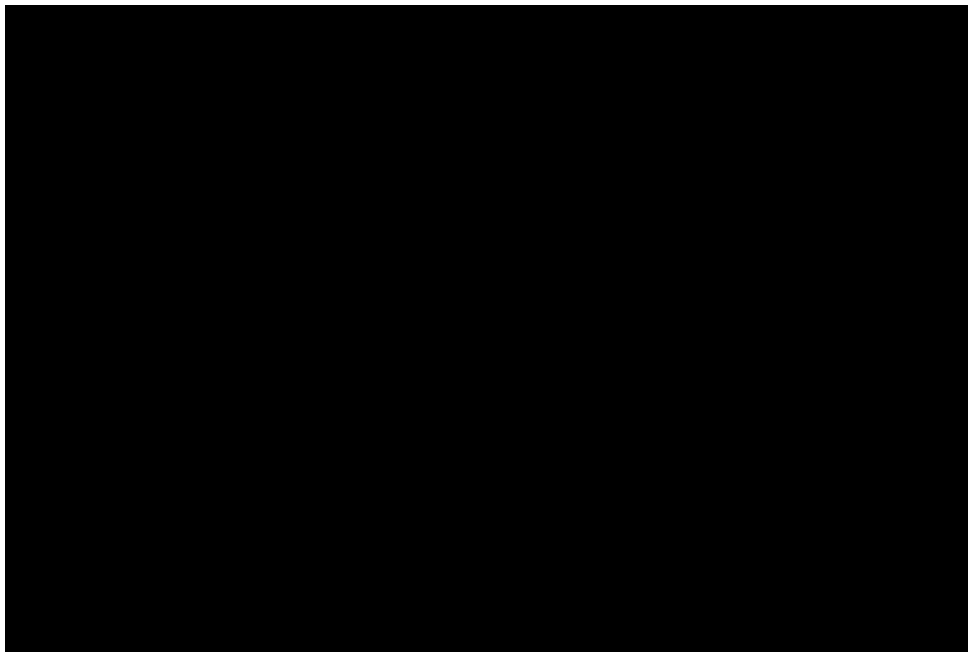


Figura 2. Curvas de vuelo absolutas para Diprion pini en el punto de control ESMA-11

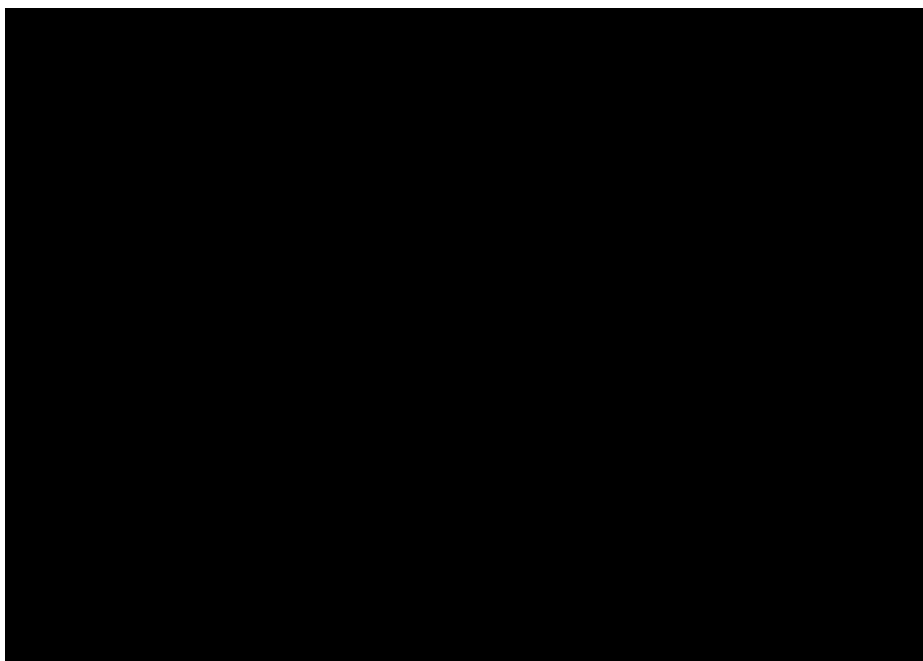


Figura 3. Curvas de vuelo relativas para Diprion pini en el punto de control ESMA-11

Mapas de evolución con cronología absoluta (fig. 4). Estos mapas presentan un resumen de la evolución de la situación a lo largo de 2012 en la comunidad de Madrid. Sobre el mapa se indican los puntos de muestreo, distinguiendo el punto ESMA-11, donde se han realizado las curvas de vuelo mostradas en rojo. El mapa se ha realizado mediante técnicas de interpolación sobre la porción de territorio susceptible de acoger al agente estudiado, en este caso pinares de *Pinus sylvestris*, que pueden ser atacados por *Diprion pini*. En caso de alarma el estudio de estos mapas permite hacer una primera estimación del área afectada, así como poner en contexto la evolución de la población del punto afectado en relación con los demás y establecer si la situación de alerta es local o puede afectar a más puntos.

Mapas de evolución con cronología relativa. Obtenidos de forma idéntica a los anteriores, la única diferencia consiste en numerar las semanas contando a partir de la primera detección del agente (semana 1), de forma que se puedan comparar las evoluciones de la población sobre el territorio estudiado teniendo en cuenta la fenología particular de cada temporada.

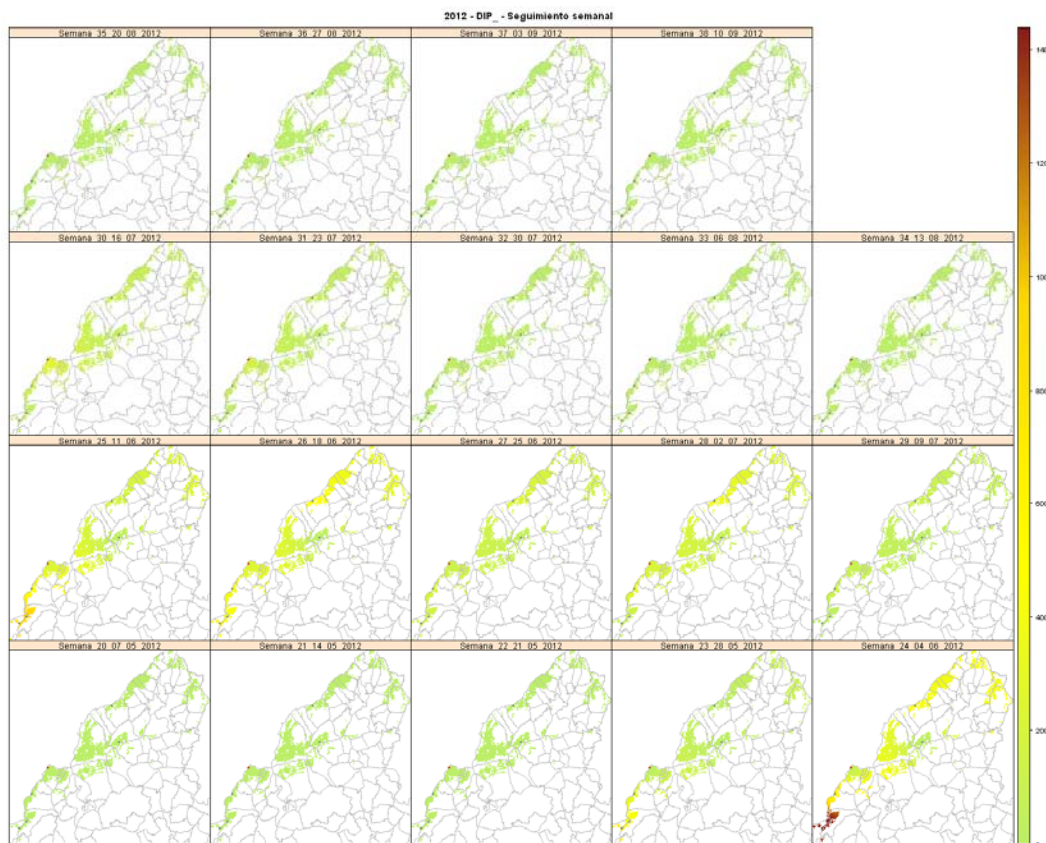


Figura 4. Evolución de la población (capturas) de *Diprion pini* en la comunidad de Madrid

4. Discusión

El sistema de monitorización y gestión propuesto ha de considerarse, también, un sistema abierto en su escalabilidad y mejora continua según necesidades. Surge con el propósito de aprovechar de una manera más eficaz los recursos destinados a esta área de gestión, y especialmente los datos que temporada tras temporada se han ido recopilando y

procesando. Se pretende que el sistema esté abierto a las mejoras de precisión, muestreo o explotación que se considere necesario implementar.

Durante la puesta en marcha del sistema y las primeras pruebas de obtención de resultados se ha comprobado que en muchos casos la superficie a estudiar (Masas forestales de la Comunidad de Madrid) ha de estar más densamente muestreada para la obtención de unos resultados de mayor precisión en las interpolaciones. La densificación actual se debe al seguimiento de zonas donde se ha detectado o se prevé riesgo, por lo tanto en los seguimientos existen zonas geográficas sin datos por no haber peligro *a priori*. Sería necesario pues realizar un estudio para que en base a la precisión deseada en el control y previsión de la evolución de cada población, se establezca un plan de muestreo apropiado.

Las zonas susceptibles de presencia de cada agente se han determinado directamente a partir de los distintos mapas de vegetación (nacionales y autonómicos) disponibles. Para asegurar el ajuste de la cartografía obtenida al área potencial de los agentes estudiados sería deseable la elaboración de mapas basados no solo en la vegetación, sino teniendo en cuenta las exigencias biológicas del agente objetivo (altitud, pluviosidad, temperatura, modificaciones antrópicas del medio...), realizando incluso determinados controles en campo para asegurar la precisión deseada.

La búsqueda de una adecuada precisión cartográfica persigue la identificación más exacta de las zonas (hábitats) potencialmente vulnerables para cada agente de estudio y su empleo como mapa base en el que realizar los diferentes estudios (interpolaciones, instalación de nuevas trampas, etc.).

Una vez se han recogido los datos y procesado, a medida que se avanza en su análisis las posibilidades de realizar diferentes estudios es cada vez mayor. En este sentido un avance sería el ajuste de la interpolación espacial de las poblaciones estimadas de cada agente, de forma que con los avisos generados cuando se detecta un crecimiento inusual de estas, se obtuviera una predicción en forma de cartografía de las zonas afectadas.

Inicialmente y como criterio para las pruebas del sistema se ha previsto generar los avisos o alarmas cuando en la comparación de poblaciones en las curvas de vuelo con cronología relativa, las capturas superan en más de dos desviaciones típicas la media histórica, tomando como normales variaciones de las poblaciones dentro de una probabilidad del 97,72% ($\sigma=2$), y asumiendo como alarmantes aquellas que se puede estimar estadísticamente que pertenecen al 2,28% superior para la semana estudiada. Aunque para una primera evaluación del sistema este criterio puede ser aceptable, evidentemente este deberá ser objeto de análisis y adaptarse a cada agente y situación particular, de forma que para cada uno se determinará el nivel de desviación sobre la media óptimo para generar los avisos o alarmas pertinentes en función de las prioridades y recursos disponibles por parte del gestor.

Otro avance sugerido en la mejora del sistema es la posibilidad de ampliar el tipo de datos recogidos. Entre las distintas posibilidades se considera prioritario incorporar los datos climáticos para poder realizar análisis con el objetivo de correlacionarlos con las curvas de vuelo y mejorar la precisión de las predicciones realizadas.

5. Conclusiones

Este sistema de monitorización pretende dar un paso más allá de la simple elaboración de gráficos o mapas. Se trata de conseguir una herramienta capaz de ayudar a la gestión, cada vez más compleja, de los recursos naturales, en este caso aplicada a la defensa fitosanitaria de las masas forestales de la Comunidad de Madrid.

La integración de datos de diferentes fuentes, junto con la utilización de las series históricas de datos recogidos durante años, además de ser una herramienta de futuro, pone en valor el trabajo y los recursos destinados a ello en temporadas precedentes. La explotación de los datos de temporadas pasadas, comparándolos con las temporadas presentes permite aprovechar la experiencia acumulada y contribuir a un mayor conocimiento de los acontecimientos actuales, por ejemplo prediciendo con anterioridad las explosiones poblacionales de determinados agentes cuyos ciclos biológicos superan la escala anual (*Lymantria dispar* o agentes con diapausa).

Quienes gestionan dichos recursos necesitan información que vaya más allá de los resúmenes tabulados para determinar dónde y cómo se puede producir el impacto forestal. Por ello, cada vez son más necesarios los sistemas basados en datos espaciales, datos analíticos interpretados y el aprovechamiento de datos y experiencias acumuladas a lo largo de las series históricas como herramienta para la toma de decisiones. De esta manera se pueden resumir rápidamente una gran cantidad de datos alfanuméricos y geográficos, que proporcionen a los gestores de tales recursos información clara y la posibilidad de tomar decisiones basadas en unos criterios bien establecidos, y gracias a ello organizar la distribución de recursos (humanos y económicos) de modo más eficiente.

6. Agradecimientos

Los autores quieren hacer constar su agradecimiento a todo el personal de la Sección de Defensa Fitosanitaria de la Comunidad de Madrid por su colaboración en el desarrollo técnico de los trabajos.

También, se agradece de manera especial, al personal técnico de ESMA por su diligencia en la recogida de datos sobre el terreno y el tratamiento y desarrollo de alternativas para mejorar la gestión fitosanitaria de la Comunidad de Madrid.

7. Bibliografía

W. M. CIELSA, D. CADAHÍA y F. ROBREDO; 1976. La detección de plagas de insectos y enfermedades forestales. Bol. Serv. Plagas 2: 37-53

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2000, Introducción a R (<http://cran.r-project.org/doc/contrib/R-intro-1.1.0-espanol.1.pdf>).

ROGER S. BIVAND, EDZER J. PEBESMA AND V. GÓMEZ-RUBIO, 2008, Applied Spatial Data Analysis with R, Springer Series UseR.

MUÑOZ, C. et al. 2003: Sanidad Forestal. Guía en imágenes de plagas, enfermedades y otros agentes presentes en los bosques. Mundi-Prensa, Madrid.

EDZER J. PEBESMA, 2001, Gstat user's manual, Dept. of Physical Geography, Utrecht University, <http://www.gstat.org/>.