

Delimitación de zonas forestales afectadas por vendaval mediante fotogrametría

R. Riera*

*Oficina Técnica de Prevención Municipal de Incendios Forestales. Diputación de Barcelona.
C/ Compte d'Urgell, 187. 08036 Barcelona*

Resumen

El vendaval que azotó el norte de la Península Ibérica y el sur de Francia en enero de 2009 provocó graves desperfectos en núcleos urbanos, urbanizaciones, zonas agrícolas e industriales y también en masas forestales. Los medios de comunicación difundieron sobre todo los desastrosos efectos en las masas forestales de Las Landas francesas. En Cataluña los daños fueron más localizados que en Las Landas, pero cayeron numerosos pies, sobre todo de coníferas, dejando los bosques intransitables. En el presente estudio se muestra la metodología utilizada para cartografiar las zonas con cubierta forestal afectada en el área más castigada de la provincia de Barcelona: la comarca del Baix Llobregat. Se realizó un vuelo fotogramétrico de 16.000 ha con una cámara DMC (*Digital Mapping Camera*), generando imágenes digitales RGB & CIR de aproximadamente 25 cm de píxel (GSD) y un solapamiento del 60-30%. Estas imágenes fueron restituidas mediante el software Purview, proporcionando visión estereoscópica de las imágenes, delimitando las zonas de cubierta forestal con árboles abatidos y definiendo el grado de afectación según el porcentaje de árboles derribados o partidos. El resultado ha sido una cartografía operativa para los ingenieros forestales, utilizada para la retirada de la madera tumbada en el bosque, donde además de la localización se aporta información de la dirección de caída de los árboles.

Palabras clave: fotogrametría, forestal, vendaval, DMC, fotografía aérea.

Abstract

Mapping forest windstorm damaged areas using photogrammetry

The windstorm that hit the Iberian Peninsula and southern France on January 2009 caused severe damage in villages, interface areas, agricultural and industrial areas and also forests. The mass media highlighted the impacts on the French Landes forests. In Catalonia, the damages were more localized but many pine trees fell leaving the forest impassable. This study describes the methodology used to map the damaged forest areas on the most affected area in the province of Barcelona: the Baix Llobregat County. RGB and CIR digital images with 25 cm pixel (GSD) and an overlap of 60-30%, were obtained from a photogrammetric flight with DMC camera (*Digital Mapping Camera*) over 16,000 ha. Digital stereo photogrammetry based on the aerial photographs through Purview software, was used to delineate forest damaged areas and specify impact severity according to the percentage of fallen or broken trees. The resulting operational maps can be used by forest engineers to remove fallen trees because not only damage location information is provided, but also tree fall layout.

Key words: photogrammetry, forestry, windstorm, DMC, aerial photography.

Introducción

A finales del mes de enero de 2009, el norte de la Península Ibérica y el sur de Francia se

vieron afectados de un modo excepcional por el ciclón extratropical Klaus. Fue principalmente la mañana del 24 de enero cuando el vendaval azotó de forma más virulenta a Cataluña. En la provincia de Barcelona, la máxima potencia se localizó en las comarcas de Anoia, Alt Penedès y Baix Llobregat, donde se regis-

* Autor para la correspondencia: rieratr@diba.cat
Recibido: 05-03-10; Aceptado: 21-03-11.

traron rachas máximas de viento de 139 km/h en las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) de Òdena y Font-rubí o de 131 km/h en Begues (Servei Meteorològic de Catalunya, 2006), con consecuencias devastadoras.

Las rachas de viento máximo fueron muy localizadas así como también sus afectaciones, provocando pérdidas de varios millones de euros. En las zonas urbanas los efectos fueron reparados con carácter de urgencia por bomberos, protección civil, y otras administraciones, restableciéndose rápidamente la normalidad. En las zonas forestales, los daños debían evaluarse, si no con la misma urgencia, sí con celeridad, para empezar cuanto antes los trabajos de retirada de árboles caídos.

Los medios de comunicación se hicieron eco de la destrucción en las masas forestales de Las Landas francesas, donde las primeras estimaciones apuntaban a más de 300.000 ha arrasadas de pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.) (Diariovasco.com, 2008). En el norte peninsular, más concretamente en Galicia, por lo menos 32.500 ha de pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) se vieron severamente afectadas (GIT, 2009), mientras que en Euskadi se hablaba de 350 ha dañadas (Diariovasco.com, 2008).

En Cataluña, muchos bosques quedaron salpicados de árboles aislados caídos. En las zonas más afectadas los daños se vieron aumentados a rodales de pinos derribados, mayoritariamente de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). Las dimensiones de los rodales de árboles caídos variaban de centenares de metros cuadrados a unas pocas hectáreas (Fig. 1). Las primeras evaluaciones realizadas por el cuerpo de agentes rurales de la Generalitat de Catalunya estimaban en 1.950 las hectáreas dañadas por el vendaval en las comarcas del Vallès Occidental, Anoia, Alt Penedès y Baix Llobregat. La Generalitat destinó un presupuesto inicial de 7 millones de euros para la retirada de elementos de riesgo en el medio natural (Generalitat de Catalunya, 2010).

Experiencias similares (como las del ciclón Gudrun en Suecia en enero de 2005 o los ciclones Lothar y Martín en el centro y norte de Francia en diciembre de 1999) han demostrado que tanto la teledetección, mediante imágenes ópticas o radar de muy alta resolución



Figura 1. Mancha de árboles caídos.

[*Very High Resolution* (VHR), resolución espacial igual o inferior a 1 m], como la fotogrametría, resultan ser métodos efectivos y económicos para cartografiar las zonas forestales dañadas (Maire y Yésou, 2003; Swedish Forest Agency, 2007).

Para el ciclón Klaus (24 de enero) en Francia, se activó el *International Charter* para la adquisición y entrega de datos espaciales en catástrofes naturales, y se hicieron las primeras evaluaciones de los daños con imágenes SPOT 5 (Spot Image, 2008); por el contrario, en Galicia no se utilizaron imágenes de satélite ni fotogrametría para el inventario de daños, sino inspecciones aéreas y trabajo de campo (GIT, 2009).

En la provincia de Barcelona se evaluó la relación entre medios propios, costes, precisión y rapidez en la disponibilidad de los datos, comparando distintas tecnologías y medios aplicables. Al tratarse de una situación de emergencia, el criterio principal fue la inmediata disponibilidad de los datos al menor coste posible. La precisión requerida fue ubicar las zonas con teselas de árboles derribados y estimar el porcentaje de árboles caídos con los medios de software y personal especializado con los que cuenta la Oficina Técnica de Prevención Municipal de Incendios Forestales (OTPMIF) de la Diputación de Barcelona, en las zonas dónde los propietarios forestales lo solicitaran.

La tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*) no se consideró adecuada debido al tiempo que requiere para el pre-procesamien-

to de los datos; los datos radar se desestimaron ya que la OTPMIF no dispone de medios propios para su procesamiento; las imágenes generadas a partir de cámaras ópticas implementadas en UAVs se descartaron por el elevado coste económico (5 €/ha); y las imágenes ópticas de muy alta resolución (VHR) también fueron descartadas por el alto coste económico debido a la necesidad de adquirir la totalidad de la imagen (resultando un coste de 0,5 €/ha teniendo en cuenta sólo el área de interés) y a la necesidad de realizar trabajo de campo para la comprobación de los resultados del proceso de las imágenes. Así pues, sólo la fotogrametría cumplía con la mayoría de requisitos (3 semanas inicialmente y 0,28 €/ha para las imágenes) y el objetivo propuesto: cartografiar las zonas afectadas a escala 1:5.000.

Zona de estudio

Los daños causados por el temporal se distribuyeron de forma irregular y localizada por toda la provincia de Barcelona. Después de una primera inspección aérea, se determinó que el Baix Llobregat era la comarca más afectada y con los daños en la masa forestal más generalizados, motivo por el cual se decidió centrar el estudio en dicha comarca.

El 14 de marzo de 2009, el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) realizó dos vuelos con el avión Partenavia P-68 sobre las zonas más afectadas del Baix Llobregat (Fig. 2), obteniendo dos rectángulos (ED1950 UTM Zona 31N: 414008E, 4580876N & 420598E, 4586034N)

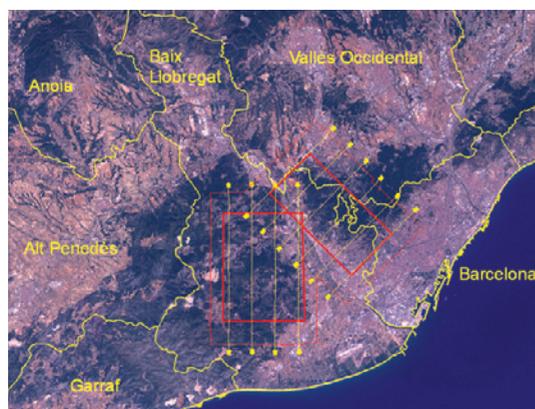


Figura 2. Localización de los dos vuelos (recuadros rojos) en la comarca del Baix Llobregat.

diseñados con el fin de optimizar el plan de vuelo y cubrir la máxima área forestal posible.

El área está localizada a ambos lados del río Llobregat, a sólo 10 km de su desembocadura. Por un lado en las Sierras del Ordal y por el otro en la montaña de Collserola. La orografía es abrupta y cambiante, con un rango de altitudes entre 5 y 500 msnm. El paisaje contiene un mosaico de zonas urbanas, urbanizaciones, matorral, campos de cultivo y bosques, en donde predominan los pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.).

Datos

Las imágenes fueron adquiridas con una cámara DMC 14, que permite obtener imágenes fotogramétricas digitales mediante un sensor electrónico. Opera en 5 canales espectrales (pancromático, rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) con 8 objetivos ópticos (4 pancromáticos y 4 multiespectrales). Con las imágenes de los 4 cabezales pancromáticos de alta resolución se sintetiza una imagen de 13.824×7.680 píxeles utilizada para convertir las imágenes multiespectrales de baja resolución (2.048×3.072 píxeles) en imágenes de alta resolución mediante el proceso de mejora «*pan sharpening*». El proceso se realiza a una resolución radiométrica de 12 bits, que es convertida a 8 bits mediante un proceso de compresión lineal con el fin de disminuir el tamaño de las imágenes (Alamús *et al.*, 2005; Colomer, 2005). En el presente estudio se dispuso de 157 imágenes en RGB y CIR (Fig. 3) con un solapamiento longitudinal y transversal del 60-30% respectivamente, una resolución radiométrica de 8 bits y un tamaño de píxel de 25 cm GSD (*Ground Sampling Distance*), lo que permite trabajar a una escala mínima de 1:5.000 (Jacobsen, 2005) y un error en la precisión vertical y horizontal de ± 1 m (I.S.M. International Systemap Corp., 2009).

Metodología y resultados

La identificación de las teselas de árboles caídos mediante interpretación visual de las imágenes en 3D depende de las aptitudes y co-

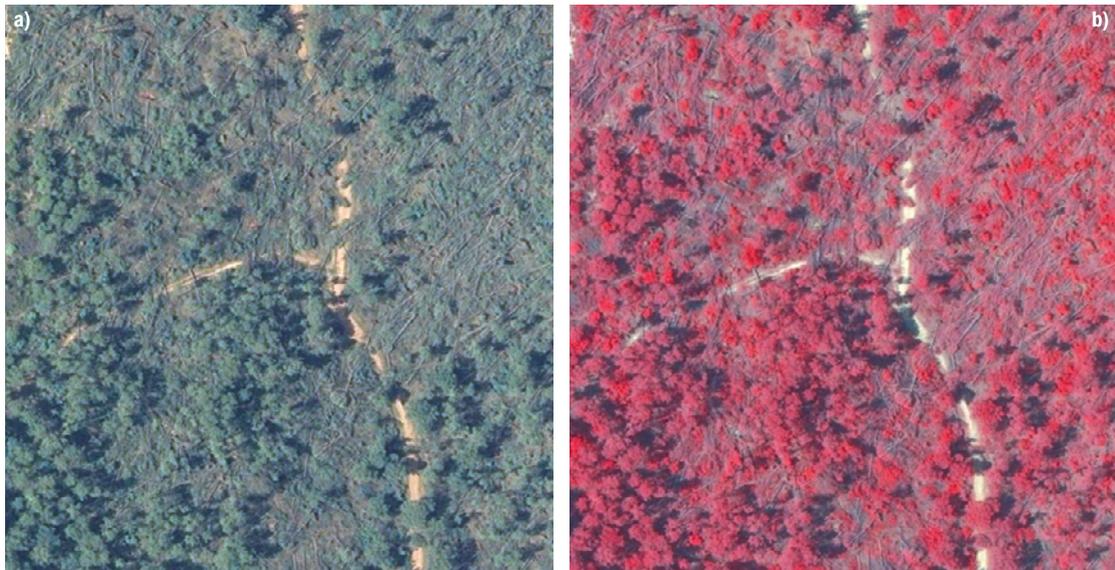


Figura 3. Imagen DMC de una zona afectada, con árboles abatidos sobre un camino forestal en RGB a) y en CIR (b).

nocimientos del operador (Quine y Bell, 1998) y de la resolución espacial de las imágenes (Miller *et al.*, 2000); con 25 cm GSD es suficiente para reconocer las zonas de bosque con árboles derribados o partidos mediante restitución fotogramétrica. La visualización es mejor con imágenes CIR respecto a las RGB, debido principalmente al realce de los troncos abatidos respecto a las otras cubiertas, y a que la diferencia entre copas de los árboles y suelo es más patente en las CIR. Con las imágenes en escala de grises, el operador pierde capacidad para la diferenciación de los troncos abatidos ya que se pueden confundir con el suelo. El único motivo por el que se podrían utilizar imágenes en escala de grises sería para optimizar el rendimiento del software a la hora de procesar y manejar las imágenes, pero la ganancia en tiempo no justifica la pérdida de calidad de la imagen.

El software Purview es una estación fotogramétrica que trabaja en el entorno de ArcGis con imágenes digitales y elementos de geodatabase superpuestos (I.S.M. International Systemap Corp., 2009). Para la orientación de las imágenes, se requieren sus correspondientes parámetros de orientación o georreferenciación, que se obtienen únicamente del archivo de soporte aéreo cinemático, sin necesidad de apoyo fotogramétrico (puntos de campo). El vuelo se realizó grabando los datos en un sen-

sor IMU; una vez finalizado el cálculo GPS y obtenidas las posiciones del centro de fase de la antena, se integraron los datos con las observaciones inerciales del IMU para obtener los ángulos de orientación de las imágenes parametrizados como *roll*, *pitch* y *heading*, obteniendo *omega*, *phi* y *kappa* por aerotriangulación, que junto con las coordenadas centrales (X, Y, Z) de cada fotograma, permite orientar y posteriormente rectificar las imágenes en el SIG gracias a tener el mismo sistema de coordenadas (UTM Zona 31N) y sistema de referencia (ED1950).

Una vez rectificadas las imágenes y con la cartografía de base superpuesta, se procede al reconocimiento de las zonas afectadas y la delimitación de su perímetro, definiendo el grado de afectación según el porcentaje de árboles derribados, base legal para la subvención extraordinaria para la recuperación del potencial forestal de las masas afectadas por nevadas, vendavales y sequía de los años 2008 y 2009, de la Generalitat de Catalunya:

- 75-100%.
- 50-75%.
- 25-50%.
- <25%.

Dada la situación de emergencia, en la primera fase del estudio se inventariaron únicamente aquellas fincas en que el propietario forestal lo solicitó, mediante su adscripción a la

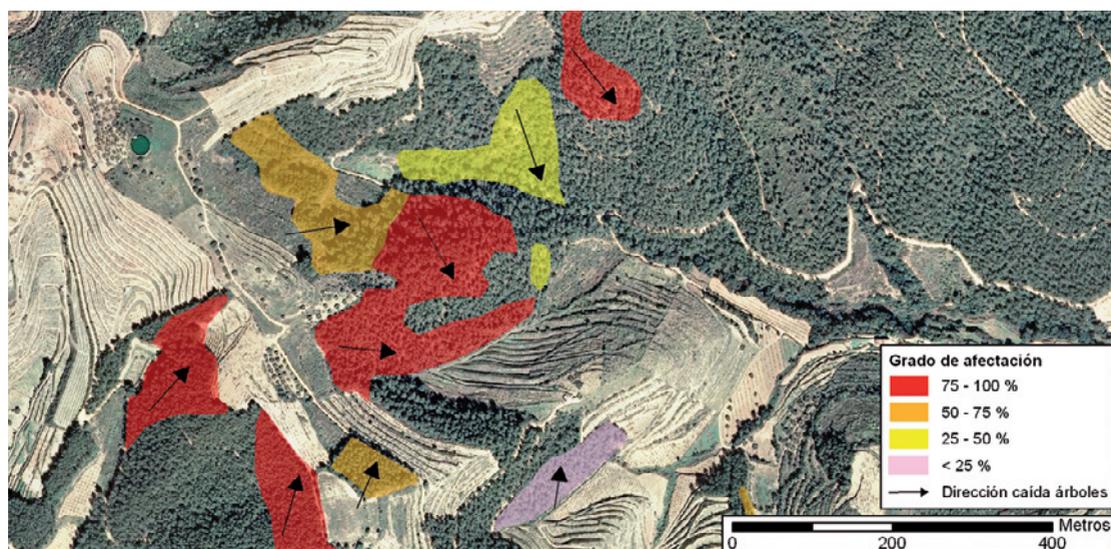


Figura 4. Cartografía operativa de una zona afectada sobre ortofotomapa 1:5.000 (ICC).

Asociación de Propietarios Agroforestales del Baix Llobregat. Posteriormente, la revisión se extendió en zonas circundantes a las fincas asociadas y zonas de mayor afectación.

En la Figura 4 se muestra la cartografía operativa para la saca de la madera, con la localización, el grado de intensidad y la dirección de caída predominante de los árboles, útil para la planificación del desembosque de la madera.

En noviembre de 2009, el número de nuevos propietarios asociados a raíz del siniestro eran 145, con un total de 3.672 hectáreas forestales, de las que 423 ha fueron afectadas por el vendaval. En la Tabla 1 se muestra el total de superficie afectada según el grado de intensidad en la zona inventariada hasta noviembre de 2009. Cabe mencionar que la afectación real es, por lo menos, superior a estas cifras, ya que no se ha restituido la totalidad de la zona de estudio.

Tabla 1. Superficie forestal afectada según el grado de intensidad

Porcentaje de afectación	Superficie (ha)
75-100%	156,10
50-75%	140,94
25-50%	98,72
<25%	27,01
Total	422,77

Discusión

La delimitación de los perímetros de las zonas afectadas mediante restitución fotogramétrica es un proceso mecánico, pero eficiente. Aunque no sea aconsejable para cubrir grandes superficies dado el alto requerimiento en tiempo del proceso, sí lo es para zonas localizadas como las fincas asociadas de este trabajo, a escala 1:5.000.

La visión estereoscópica con 25 cm GSD permite localizar rodales o teselas de árboles abatidos, pero no permite identificar los árboles aislados caídos en medio de la masa forestal, donde apenas se ha alterado la Fracción de Cabida Cubierta (FCC). Previamente a la contratación del vuelo, se realizaron pruebas con imágenes de 10 cm GSD, pero se descartaron debido al volumen de almacenamiento de las imágenes, que hacía más dificultosa la restitución, y al incremento significativo del coste de los datos. No se han realizado pruebas con GSD superiores, pero se puede suponer que un aumento en el GSD afectaría negativamente a la identificación de pequeños rodales de árboles caídos, pudiéndose identificar solamente aquellas teselas de tamaño más grande.

Si bien la rapidez en la disponibilidad de los datos se vio frenada por la proximidad de la zona de estudio al aeropuerto de Barcelona, hecho que complicó la obtención de los permisos

para volar y que consecuentemente retardó la disponibilidad de los datos, las expectativas de coste-precisión de la tecnología utilizada pudieron ser verificadas. El procedimiento utilizado fue de utilidad en la asistencia al objetivo de retirada de elementos de riesgo en el medio natural del Baix Llobregat.

Agradecimientos

El autor agradece el soporte técnico brindado por el personal del ICC, y a Cristina Vega (UdL) por los comentarios en la revisión.

Referencias

- ALAMÚS, R., KORNUS, W., PALÀ, V., PÉREZ, F., ARBIOL, R., BONET, R., COSTA, J., HERNÁNDEZ, J., MARIMON, J., ORTIZ, M. À., PALMA, E., PLA, M., RACERO, S. & TALAYA, J. 2005. Validation process of the ICC digital camera. ISPRS Workshop «High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information», Hannover, Germany, May 17-20 2005.
- COLOMER, J.L. 2005. Cámaras fotogramétricas digitales, altímetros láser y captadores hiperespectrales: una nueva generación de sensores aerotransportados para la geoinformación. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Colombia, agosto 2005.
- DIARIOVASCO.COM DIGITAL VASCA, S.L.U. 2008. Hemeroteca. <http://www.diariovasco.com> (último acceso a 30 de enero de 2009).
- GENERALITAT DE CATALUNYA, 2010. Acords de govern del 3 de febrer de 2009. <http://www.gencat.cat> (último acceso a 31 de marzo de 2010).
- GIT FORESTRY CONSULTING. CONSULTORÍA Y SERVICIOS DE INGENIERÍA AGROFORESTAL, 2009. GIT Forestry Consulting's Blog. <http://www.git-forestry.com> (último acceso a 25 de mayo de 2009).
- I.S.M. INTERNATIONAL SYSTEMAP CORP. 2009. Purview. I.S.M. International Systemap Corp, Vancouver BC, Canada.
- JACOBSEN, K. 2005. Photogrammetry and geoinformation trends for large scale mapping. Proceedings of the 1st Annual Map Middle East Conference on Geospatial information and knowledge economy, Dubai, UAE.
- MAIRE, C. & YÉSOU, H., 2003. Storm Forest Damage Mapping Based on VHR InSAR Data. Proceedings of Fringe, 2003. ESA, ESRIN, Italy, December 1-5 2003.
- MILLER, D., QUINE, C. & HADLEY, W. 2000. An investigation of the potential of digital photogrammetry to provide measurements of forest characteristics and abiotic damage. *Forest Ecology and Management*, 135: 279-288.
- QUINE, C.P. & BELL, P.D.B. 1998. Monitoring of windthrow occurrence and progression in spruce forests in Britain. *Forestry*, 71(2): 87-97.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. 2006. Dades d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA). <http://www.meteocat.com> (último acceso a 20 de mayo de 2009).
- SPOT IMAGE S.A. 2008. Images in the news. <http://www.spotimage.fr> (último acceso a 25 de mayo de 2009).
- SWEDISH FOREST AGENCY. 2007. The Storm in Sweden. <http://www.svo.se> (último acceso a 25 de mayo de 2009).