



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-451

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

Teledetección Ambiental de Alta Resolución mediante aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados

YUSTE MARTÍN, R.¹, VARGAS VELASCO, N.¹ y MOYA HERNÁNDEZ, J.¹

¹ Departamento de Vehículos Aéreos no Tripulados. Zumain ingenieros S.L.

Resumen

El empleo de la teledetección, cada vez más extendido para el análisis y gestión de los recursos naturales, se encuentra condicionado por las limitaciones en cuanto a resolución espacial, espectral y temporal de las imágenes disponibles.

La llegada de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) al mundo civil, junto con los avances en el desarrollo de microsensores, posibilita un nuevo concepto de Teledetección de Alta Resolución donde se superan ciertas limitaciones en los tres niveles de resolución (espacial, espectral y temporal), económicamente viables en superficies a escala monte.

Los UAV permiten realizar planes de vuelo de forma autónoma y con gran precisión, circunstancia imprescindible para la posterior corrección geométrica de las imágenes. Así mismo, permiten embarcar diferentes tipos de sensores que cubren el amplio abanico de aplicaciones propias de la teledetección.

Se detallan las principales características y aplicaciones de cada uno de los sensores disponibles actualmente, y se exponen ejemplos prácticos sobre las mismas. Además, se analizan las principales ventajas que ofrece esta nueva tecnología y se expone la necesidad de investigaciones futuras encaminadas a su aplicación en el ámbito forestal.

Palabras clave

Vehículos Aéreos No Tripulados, UAV, teledetección, alta resolución espacial, alta resolución espectral, alta resolución temporal.

1. Introducción

La teledetección y fotointerpretación son técnicas cada vez más empleadas para el análisis del medio natural, tanto por su capacidad de caracterización del territorio y todos los elementos que lo componen, como por su carácter multi-temporal que permite estudiar la evolución en diferentes etapas.

El principal problema que dificulta la aplicación práctica de muchas de las investigaciones en el sector forestal desarrolladas en la última década y que se basan fundamentalmente en el uso de bandas espectrales estrechas, es que sus conclusiones no se han traducido en el diseño de los sensores instalados en los nuevos satélites comerciales de observación de la tierra. Dichos nuevos sensores se han limitado a incluir algunas de las bandas que ya incorporaba el sensor MSS del Landsat1 en 1972, probablemente buscando la continuidad del programa Landsat en lugar de la innovación.

En una revisión de las oportunidades y limitaciones de la teledetección en el manejo de especies vegetales, MORAN et al. (1997) afirmaba que los satélites de entonces carecían de unas bandas espectrales adecuadas, no tenían la suficiente resolución espacial para



aplicaciones de detalle, contaban con tiempos de revisita inadecuados para el manejo de los recursos naturales y el tiempo de entrega de resultados era demasiado largo.

También afirmaba que los sensores aerotransportados podrían evitar esas limitaciones, pero presentaban otras limitaciones diferentes como la calibración radiométrica y geométrica de dichos sensores, la necesidad de correcciones atmosféricas o la complejidad de generar mosaicos a partir de las imágenes capturadas.

Sin embargo, la aplicación de estos sensores sigue siendo casi exclusiva con fines científicos, sin producirse una transferencia de las metodologías desarrolladas a aplicaciones reales en el manejo de los recursos naturales. Si bien la resolución espectral y espacial es más adecuada que en el caso de los satélites, la complejidad de este tipo de sensores implica un tiempo de entrega de resultados, a veces, demasiado largo. A eso hay que sumar la propia complejidad que conllevan las operaciones con aviones tripulados, que se traduce en problemas logísticos y un incremento de costes que hace que las posibles aplicaciones derivadas del uso de estos sensores no sean económicamente asumibles (BERNI et al, 2009).

La llegada de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) al mundo civil podría evitar algunas de las limitaciones que presentan los aviones tripulados.

La evolución en la microelectrónica y la miniaturización de elementos como los receptores GPS o sensores inerciales, ambos necesarios para el desarrollo de sistemas de navegación autónoma (autopilotos) para este tipo de vehículos, ha provocado que se desarrollen autopilotos comerciales de bajo peso que puedan ser integrados en vehículos aéreos cada vez más pequeños y sencillos de operar.

De igual modo, en los últimos años se ha producido un gran avance en el desarrollo de nuevos sensores de imagen de alta resolución, promovido especialmente por la electrónica de consumo. También, gracias al desarrollo de sensores de imagen térmica, actualmente existen en el mercado cámaras térmicas comerciales sin necesidad de refrigeración a precios asequibles para ciertas aplicaciones. De igual modo, se ha conseguido desarrollar sensores multiespectrales e hiperespectrales miniaturizados que pueden ser embarcados en UAV.

Como consecuencia, varios autores han publicado trabajos en los que usando este tipo de cámaras en pequeños aviones o helicópteros similares a los usados en radio control, han demostrado su viabilidad como plataformas para la adquisición de imágenes (AMBROSIA et al., 2003; ESPOSITO, 2007; HAITAO & LEI, 2007; LAMBERS et al., 2007; SUGIURA et al., 2005; ZHAO et al., 2006).

2. Objetivos

El presente artículo tiene como principales objetivos los siguientes:

Presentación de una nueva tecnología de gran interés para el ámbito forestal y revisión de sus principales ventajas y desventajas respecto a métodos tradicionales.

Difusión de la tecnología para su aplicación en el ámbito forestal, tanto a nivel de investigación como a nivel de gestión.



3. Metodología

Vehículos Aéreos No Tripulados (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

De manera general, existen dos tipos de plataforma de UAV: de ala fija y de ala rotatoria. En función del objetivo buscado, será necesario el empleo de una plataforma u otra. Los condicionantes para seleccionar la plataforma serán la superficie a estudiar, la resolución espacial requerida y las condiciones para el despegue y el aterrizaje en la zona.



Figura 1. UAV de ala rotatoria (Microdrone MD-200)



Figura 2. UAV de ala fija (Elimco E300)

La principal característica de los UAV es que están dotados de autopiloto y sensores de navegación como son el GPS y la unidad de medición inercial (IMU), lo cual permite realizar planes de vuelo que la plataforma ejecuta de manera autónoma con gran precisión, así como obtener los datos necesarios para la corrección geométrica de las imágenes capturadas.

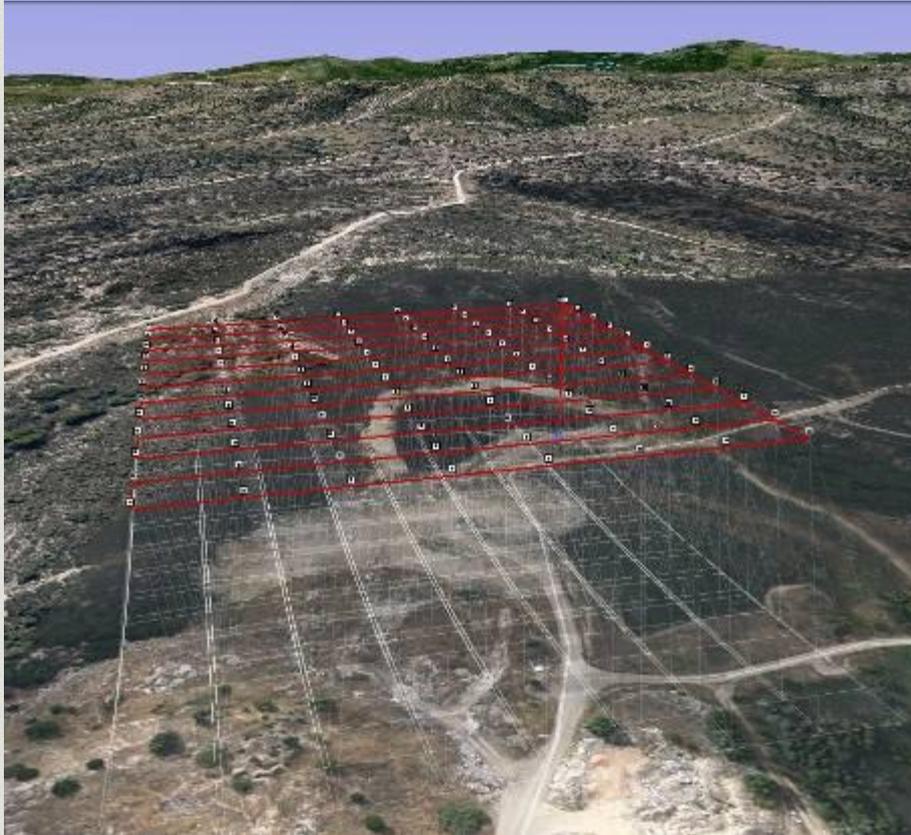


Figura 3. Detalle de plan de vuelo de UAV

Por otro lado, el aspecto más importante lo constituye el sensor de toma de datos que se embarca en el UAV. Se dispondrá de un sensor o la combinación de varios en función del objetivo final del estudio. A continuación se exponen los diferentes sensores aplicables en la actualidad, así como sus utilidades.

Cámara fotográfica

Ortofotografía

Se trata del sensor que captura la información de las tres bandas del espectro visible, es decir, las correspondientes al rojo, verde y azul. Su empleo está destinado a la toma de imágenes, a veces para divulgación, pero por lo general con fines técnicos aplicando las técnicas de restitución fotogramétrica tradicional.

Se pueden obtener, principalmente, dos resultados de gran interés técnico: ortofotografía y modelo digital de superficie (MDS). En ambos casos, la gran ventaja es la resolución obtenida frente a la ofrecida por los vuelos tripulados o imágenes de satélite.

Para la obtención de estos productos, es necesario diseñar un plan de vuelo con un solape del 70% entre fotogramas de una misma pasada y del 30% entre diferentes pasadas. Estos solapes son los que permiten contar con la información necesaria para realizar la restitución fotogramétrica.

En realidad se trata de un proceso idéntico al realizado en un vuelo fotogramétrico tradicional con avión tripulado, pero la gran diferencia radica en la resolución obtenida, directamente proporcional a la cámara empleada y a la altura de vuelo.



Figura 4. Comparación de resolución entre ortofotografía correspondiente al PNOA 2011 y la realizada mediante UAV.

Modelo Digital de Superficie (MDS)

Mediante la restitución fotogramétrica se obtienen modelos digitales de superficie. En cuanto a su precisión, tomando como ejemplo un vuelo a 100 m de altura, el error medio en coordenadas X, Y, Z sería inferior a los 5 cm.

Una vez seleccionadas las fotos tomadas de cada punto se realiza la orientación interna de las mismas mediante software fotogramétrico. Se incorporan las coordenadas de vuelo de cada fotografía, gracias a un proceso de aero-triangulación, y se obtiene la orientación de las mismas en sistema de coordenadas proyectado.

Para asegurar la precisión del modelo, se considera necesaria la toma de puntos de apoyo de coordenadas precisas (X, Y, Z) con GPS centimétrico dentro de la zona de trabajo. La función de dichos puntos de apoyo, es la de corregir el modelo y asegurar el ajuste del mismo a las proporciones reales.

Igualmente, la resolución y precisión de los modelos digitales de superficie obtenidos permiten aplicaciones de gran interés, como por ejemplo el estudio evolutivo de los procesos erosivos en laderas, topografía, batimetría en aguas claras, etc.

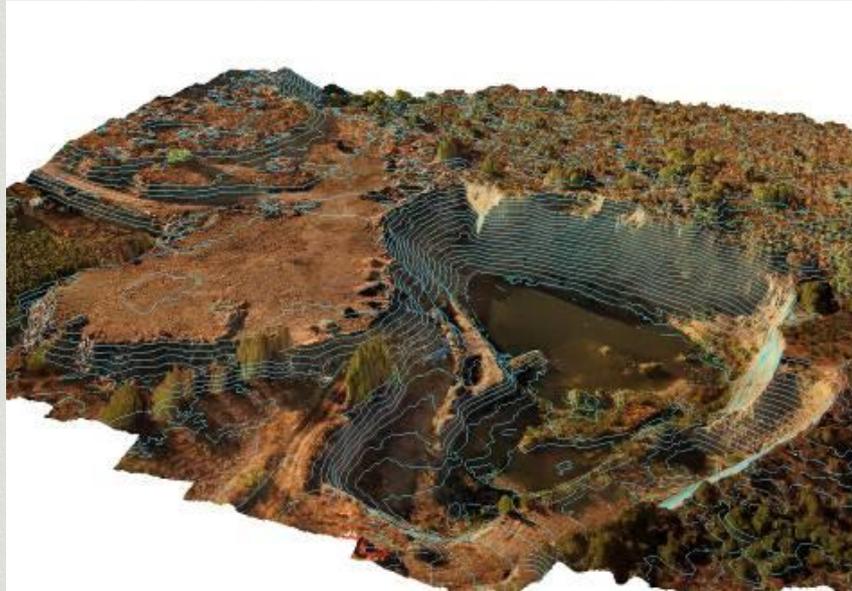


Figura 5. Modelo Digital de Superficie realizado con UAV

Sensor multiespectral

Existen sensores multiespectrales miniaturizados para embarcar en Vehículos Aéreos No Tripulados. Estos sensores pueden llegar a tomar valores de hasta 6 bandas espectrales, siendo posible seleccionar diferentes bandas mediante el empleo de filtros.



Figura 6. Vehículo Aéreo No Tripulado equipado con sensor multiespectral de 6 bandas

Por regla general, estos sensores están diseñados para el estudio de parámetros relativos a la vegetación, por lo que las bandas están seleccionadas en los rangos del verde, rojo e infrarrojo cercano, donde la vegetación presenta su mayor respuesta de absorbancia y reflectancia.

El proceso para la toma de las imágenes es similar al vuelo fotogramétrico, en cuanto a los aspectos relativos a la posterior corrección geométrica de las imágenes y generación de mosaicos. Es decir, el solape entre fotogramas y pasadas del vuelo han de ser del 70% y 30%, respectivamente.

La diferencia radica en las condiciones atmosféricas para la toma de datos. Ha de realizarse la toma de datos en las primeras horas de la mañana, cuando el ángulo de incidencia de la luz solar aún no es elevado, y que no existan diferencias en la zona de estudio por presencia de nubes.

Además, el tratamiento de estas imágenes no solo precisa de corrección geométrica, si no que son necesarias operaciones de calibración radiométrica, así como las correcciones atmosféricas necesarias para la obtención de datos validados de reflectancia y temperatura de superficie.

Sensor hiperespectral

Es el sensor más avanzado en la toma de datos espectrales. En los últimos años se han desarrollado sensores con un peso inferior a 1 kg, lo cual ha permitido su empleo mediante UAVs.

La mayoría de las soluciones existentes capturan la información comprendida entre 400 nm y 1.000 nm, tomando datos de hasta 300 bandas. Con ello, se consigue la máxima información espectral en el rango correspondiente a la vegetación.

Al igual que en el sensor multispectral, es precisa la corrección geométrica, calibración radiométrica y corrección atmosférica.

Como resultado, se obtiene el denominado “cubo hiperespectral”, donde cada píxel de la imagen cuenta con tantos datos como bandas se han recogido. En el caso óptimo, cada píxel cuenta con 300 valores correspondientes a las bandas de 2 nm de ancho en el rango 400 – 1.000 nm.

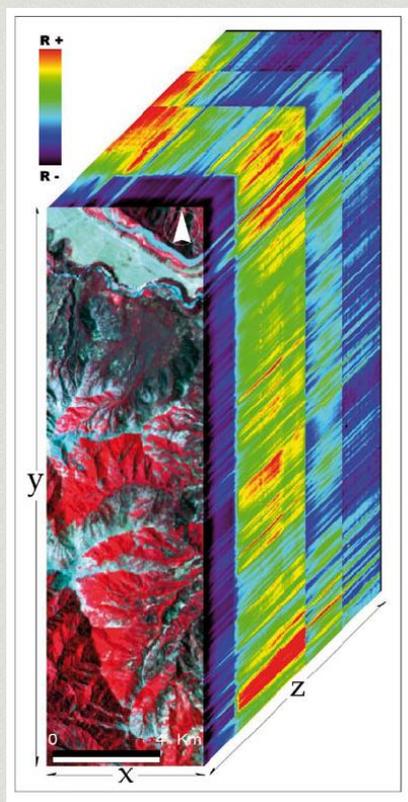


Figura 7. Representación del “cubo hiperespectral”

Sensor térmico

La solución pasa por la integración de un núcleo de sensor térmico, cuyo peso puede ser inferior a los 100 g, en un UAV. Dicha integración consiste en la captura de las imágenes tomadas por el núcleo, para su almacenamiento junto con los datos de telemetría del UAV, de manera que pueda procederse posteriormente a su corrección geométrica y formar el mosaico. De igual modo, es necesaria la calibración radiométrica y corrección atmosférica.

El sensor térmico captura la información correspondiente al infrarrojo lejano, en el rango de 8-14 μm , donde se observa la temperatura emitida por los elementos presentes en el área de estudio.

Esta información puede advertir sobre situaciones de estrés hídrico en las plantas, permite detectar ciertos problemas fitosanitarios, y facilita la detección de otro tipo de situaciones de interés a nivel forestal, tales como localización de fauna, detección de vertidos en cauces, etc.



Figura 8. UAV con sensor térmico integrado

4. Resultados

En el presente apartado se ilustran los resultados obtenidos a partir de plataformas UAVs a través de diferentes ejemplos prácticos, según los diferentes sensores explicados anteriormente.

Ortofotografía de alta resolución para estimación del porcentaje de disminución de superficie de copa en *Platanus sp.*

En el presente ejemplo se trata de cuantificar el modo en el que influyen diferentes tratamientos sobre ejemplares de *Platanus sp* en la caída de su hoja. El trabajo se realizó sobre cuatro alineaciones experimentales.

Para ello, se realizaron dos vuelos, el primero de ellos en el momento de inicio de la caída natural de la hoja y antes de la realización de los tratamientos, y el segundo vuelo un mes más tarde, con objeto de analizar por comparación los dos estados de evolución temporal, y poder obtener una valoración de la disminución de la superficie de copa a nivel de individuo.

Los vuelos se realizaron a una altura de 35 m con un solape longitudinal del 80% y un solape transversal del 60%.

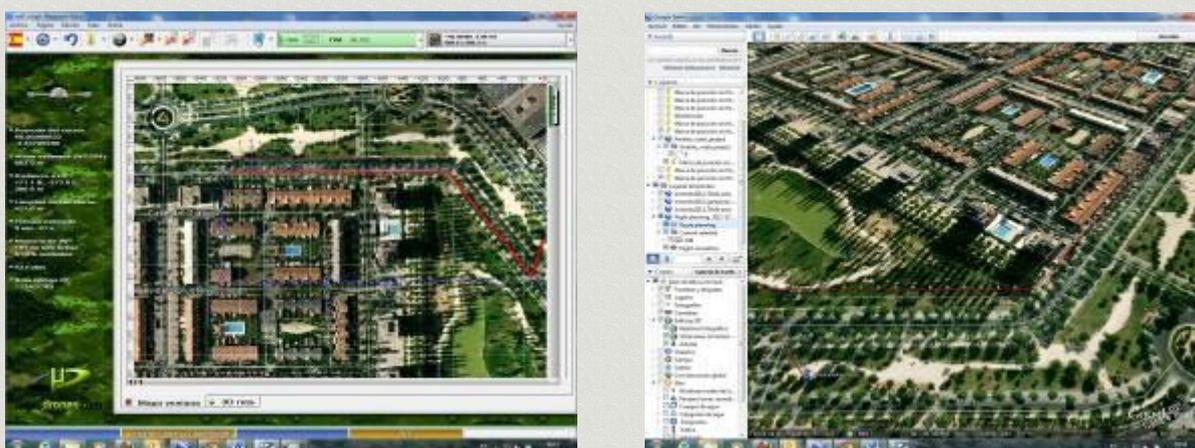


Figura 9. Imágenes del software Md-Cockpit de la Planificación de la ruta de vuelo

El montaje de la ortofoto se ha realizado mediante técnicas estereoscópicas convencionales, basadas en la superposición de imágenes aéreas. La resolución de las ortofotos realizadas es de 1.5 cm/píxel.

Mediante el apoyo en puntos de control escogidos en campo, y las correcciones de los datos aportados por la plataforma UAV se corrigen los desfases y se georreferencia la imagen resultado.



Figura 10. Ortofotografía correspondiente al primer vuelo



Figura 11. Ortofotografía correspondiente al segundo vuelo

Las ortofotografías de alta resolución en cada una de las fases, suponen la base para la realización del trabajo. El siguiente paso consiste en el tratamiento de la imagen en formato raster para conseguir independizar la superficie de las copas del resto de datos de la imagen.



Figura 12. Tratamiento de la imagen para independizar la superficie de copa

La imagen raster tratada se transforma en datos vectorizados que, al estar corregidos geoméricamente y georreferenciados, permiten realizar los cálculos necesarios de superficie en las dos fases. Estos datos son tratados tanto a nivel de individuo como a nivel de alineación, para la obtención de las conclusiones necesarias.



Figura 13. Vectorización de la superficie de copa en el primer vuelo



Figura 14. Vectorización de la superficie de copa en el segundo vuelo

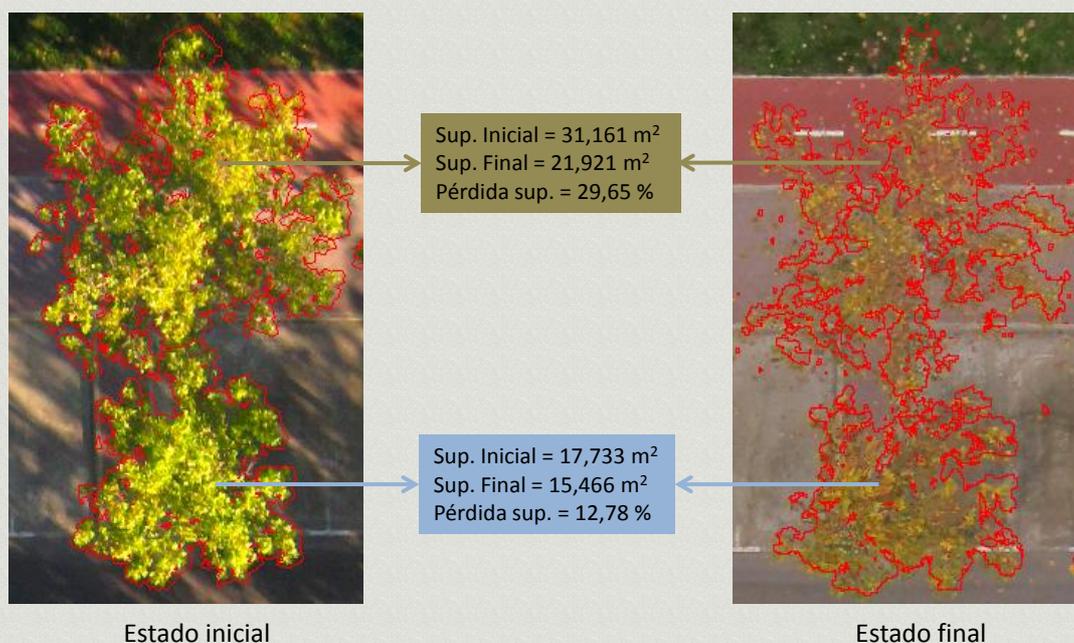


Figura 15. Ejemplo de cálculo de pérdida de superficie de copa a nivel de individuo

Comparativa con métodos tradicionales

En los vuelos realizados en las campañas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) la resolución de las ortofotografías ha sido de 40 cm/píxel, pasando a ser de 25 cm/píxel en las últimas campañas. Por otro lado, los vuelos fotogramétricos realizados de manera expresa sobre zonas concretas cuentan con una resolución típica de 15 cm/píxel. A continuación se muestra la resolución obtenida mediante el empleo de un Vehículo Aéreo No Tripulado con una cámara fotográfica de 10 Mp.

Tabla 1. Resolución obtenida en ortofotografías realizadas mediante Vehículos Aéreos No tripulados

Altura de vuelo (m)	Resolución (cm/píxel)
25	0,688
50	1,375
100	2,750
200	5,500

Gracias a la resolución de detalle obtenida, las aplicaciones en el ámbito forestal son múltiples: identificación de especies vegetales y seguimiento de su evolución, censos de fauna, detección de problemas fitosanitarios con síntomas visibles, medición y análisis de incendios forestales, etc.

Realización de un modelo digital de superficie para cálculo de volumen de un vertedero

En el presente ejemplo se trata de calcular el volumen de un vertedero existente en una zona natural protegida para planificar su restauración. Se trata de obtener el modelo digital de superficie actual para su comparación con la información topográfica de antes de su existencia.

Esta tecnología permite obtener un modelo de superficie continuo, cuya principal ventaja es la obtención de una nube de datos continua, incluso en aquellos lugares donde los medios topográficos tradicionales son inaccesibles, tales como taludes con grandes pendientes.

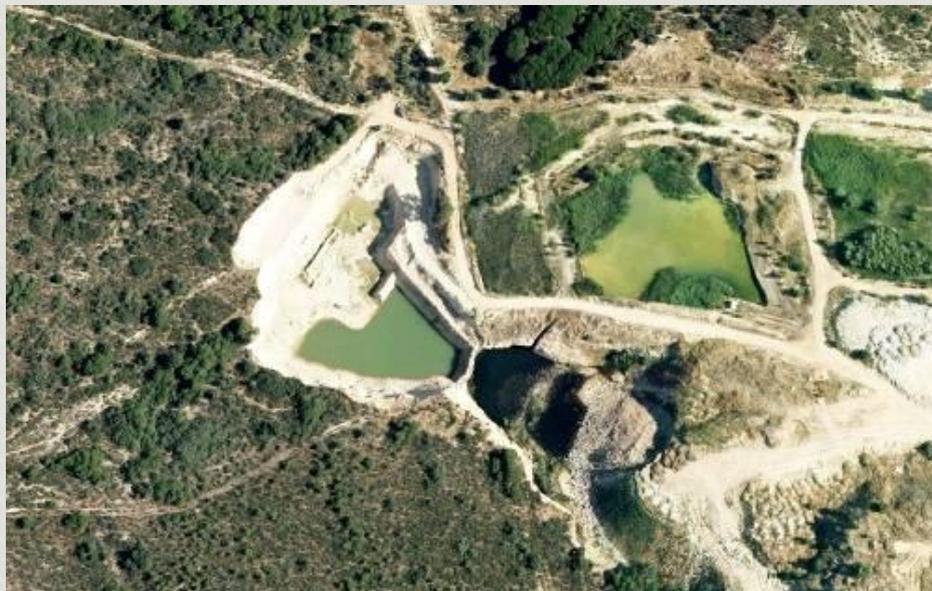


Figura 16. Ortofotografía de la zona de estudio en 2007. Resolución 40 cm/píxel (Google Earth)

Se realizó un vuelo a una altitud de 60 metros con toma de fotografía de la zona objeto de estudio en cada uno de los puntos que se ha planificado para la ruta aérea, con un solape longitudinal del 80% y un solape transversal del 60%.



Figura 17. Ortofotografía realizada mediante UAV en 2012. Resolución 2 cm/píxel

El modelo digital de superficie fue generado a partir de las imágenes aéreas, las coordenadas de vuelo tomadas por el UAV y 20 puntos de apoyo tomados con GPS de precisión centimétrica en campo.

El resultado es un modelo con un error medio con respecto a los puntos de apoyo:

Tabla 2. Error cuadrático medio respecto a los puntos de apoyo

20 Puntos de Apoyo			
	Error X	Error Y	Error Z
Error cuadrático medio (m)	0,01095	0,01133	0,01287

Con respecto a 40 puntos aleatorios del modelo:

Tabla 3. Error cuadrático medio respecto a los puntos de comprobación

40 Puntos de comprobación			
	Error X	Error Y	Error Z
Error cuadrático medio (m)	0,02138	0,01414	0,01708



Figura 18. Modelo Digital de Superficie con textura de ortofoto de alta resolución, generado para la cubicación del vertido

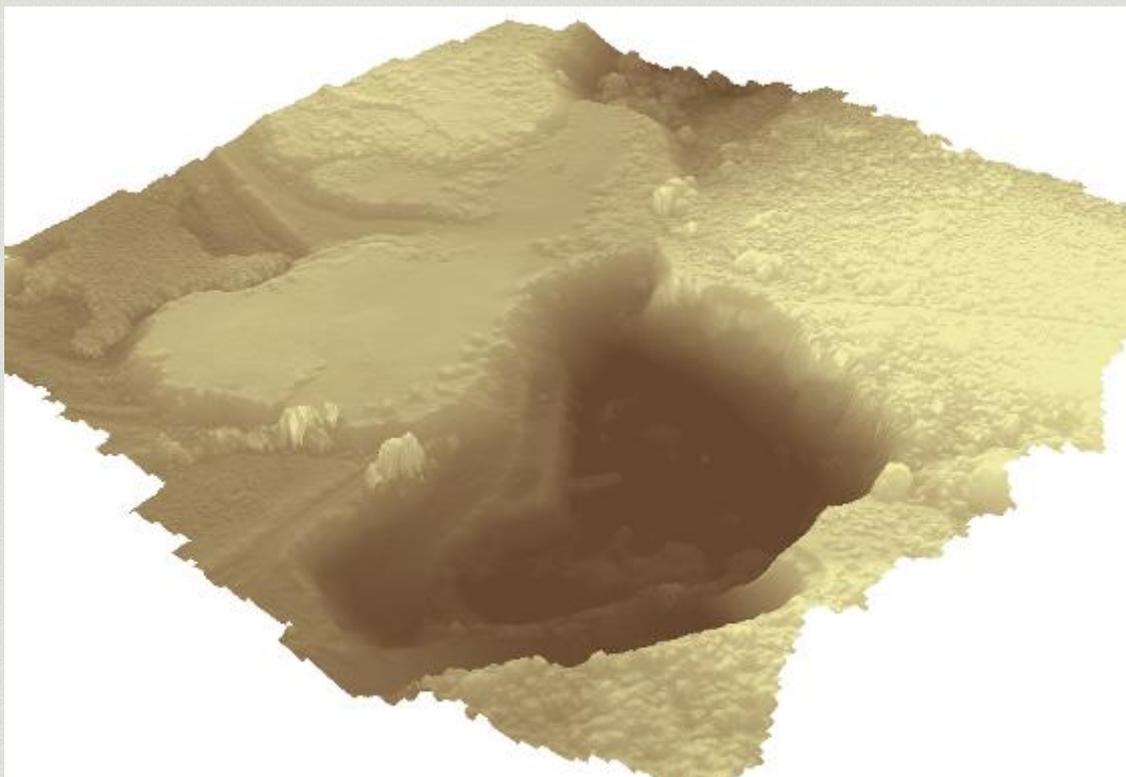


Figura 19. Modelo Digital de Superficie

Este resultado permite, mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica y/o plataformas CAD, la comparación con el estado inicial y el cálculo de volúmenes de manera precisa.

Imágenes multiespectrales de alta resolución para el cálculo de índices normalizados de vegetación

El caso que se expone, supone una zona de estudio piloto con una superficie aproximada de 0,15 ha. La altura de vuelo fue de 30 m y el solape entre imágenes del 60%-80%. La cámara utilizada ha sido la Tetracam's Miniature Multiple Camera Array (Mini-MCA). Esta cámara dispone de 6 filtros:

Tabla 4. Bandas espectrales y gráfica de reflectancia de un píxel correspondiente a vegetación

BANDA	FILTRO	DESCRIPCIÓN
Master	531.91 nm	Verde
Slave1	551.08 nm	verde
Slave2	570.53 nm	verde
Slave3	672.85 nm	Rojo
Slave4	701.73 nm	Rojo
Slave5	802.48 nm	IR cercano



Figura 20. Imagen aérea de la zona de estudio piloto

Una vez obtenidas las imágenes, se generó el mosaico y se corrigieron atmosférica y radiométricamente, tomando como referencia medidas tomadas con radiómetro en campo.

El resultado final es una imagen multibanda (6 bandas), georreferenciada y con un tamaño de píxel de 3 cm.

Comparativa con métodos tradicionales

De forma habitual, los trabajos de teledetección se realizan a partir de imágenes de satélite. A día de hoy, las mejores resoluciones en imágenes multispectrales de satélite se encuentran en los 2,5 m/píxel. A continuación se muestra la resolución media obtenida en función de la altura de vuelo para el caso de los Vehículos Aéreos No Tripulados.

Tabla 5. Resolución obtenida en imágenes multispectrales realizadas mediante Vehículos Aéreos No tripulados

Altura de vuelo (m)	Resolución (cm/píxel)
25	1,375
50	2,750
100	5,500
200	11,000

Las aplicaciones de este tipo de sensor en el ámbito forestal son las tradicionales de la teledetección, con la diferencia de que la resolución obtenida permite un análisis exhaustivo a nivel de individuo.

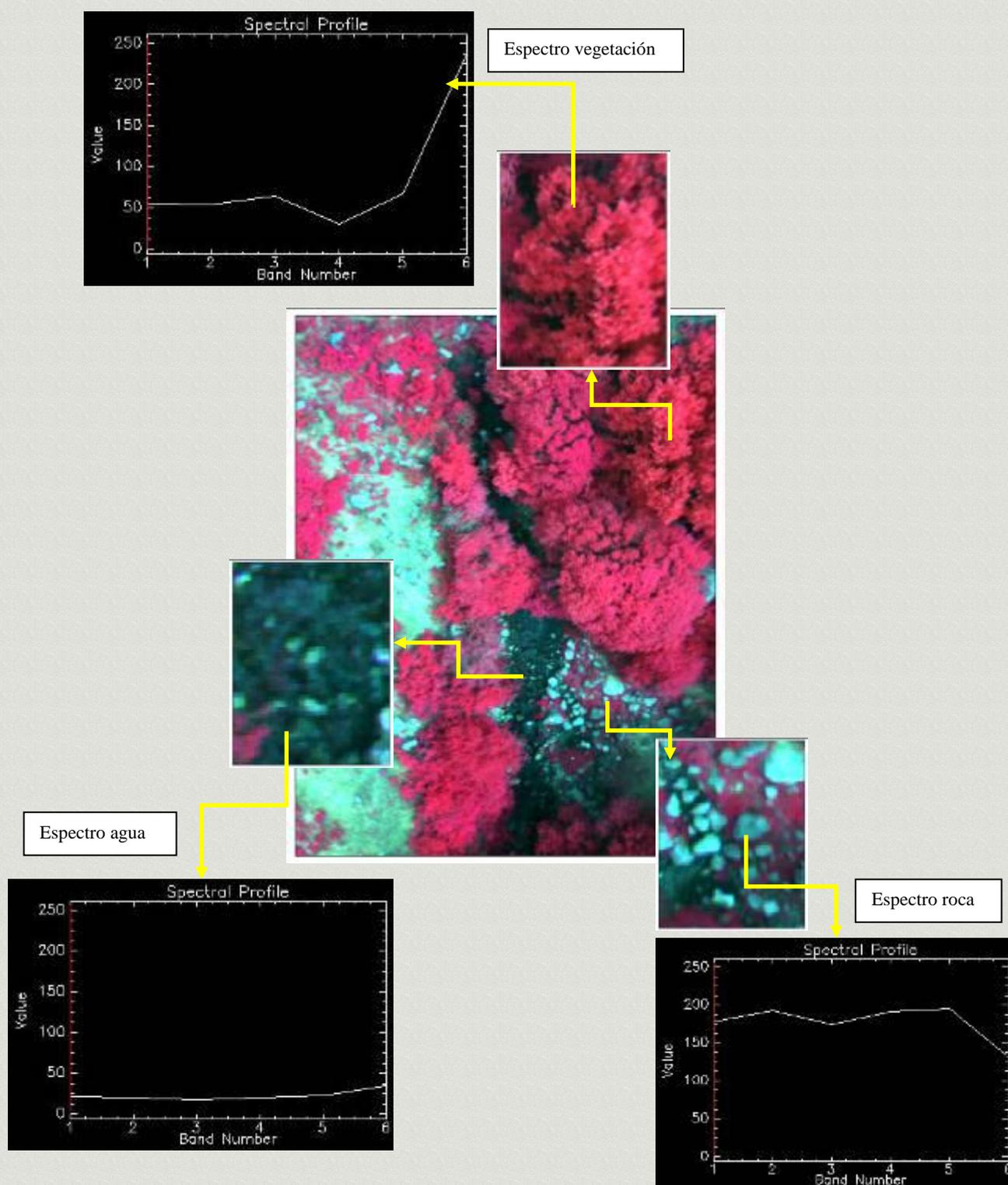


Figura 21. Imagen multibanda de la zona de estudio con detalle de espectros de vegetación, roca y agua.

Gracias a los datos obtenidos se pueden calcular índices de vegetación, cuyo análisis permite estudiar la actividad fotosintética, vigor vegetativo, etc.

A continuación se incluye, a modo de ejemplo, la comparación entre el cálculo del NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) tomando como base la imagen de LANDSAT 7 en la zona de estudio, y la generada mediante el empleo del Vehículo Aéreo No

Tripulado. La imagen tomada con UAV cuenta con una información espacial mil veces superior a la obtenida con el satélite LANDSAT 7.

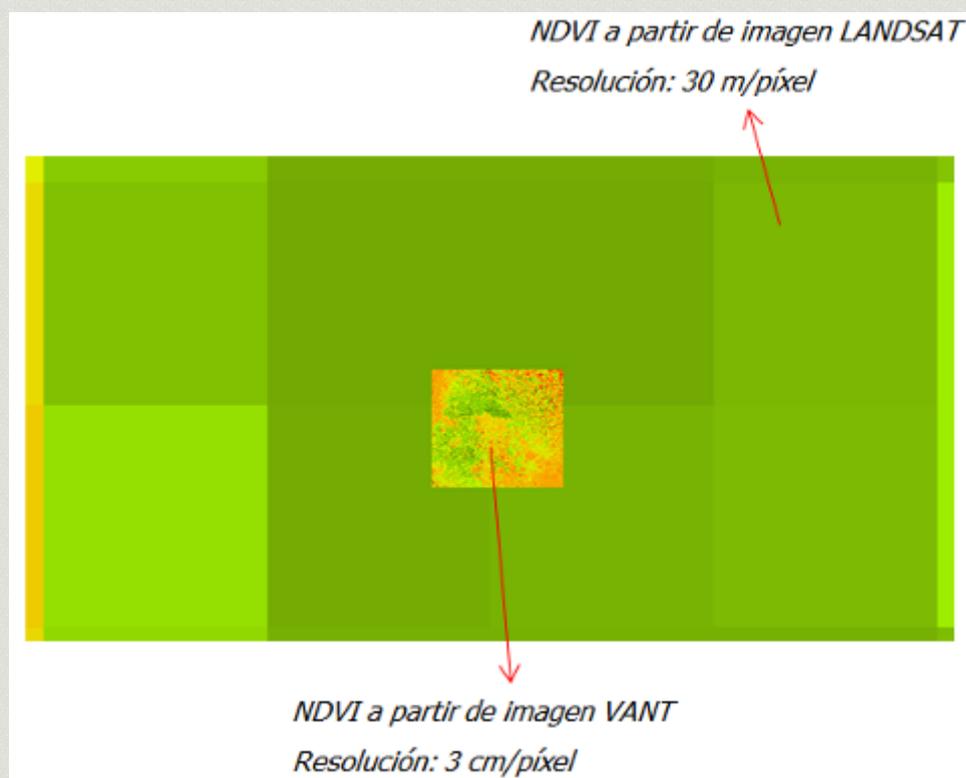


Figura 22. Comparación de resolución en el cálculo de NDVI entre imagen de satélite LANDSAT 7 e imagen UAV

Aplicación de los sensores hiperespectral y térmico al ámbito forestal

En la actualidad, el reto de obtener imágenes corregidas geométrica y atmosféricamente, así como con calibración radiométrica mediante empleo de UAV, ha sido logrado por el Dr.

Pablo Zarco-Tejada, investigador científico del Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IAS-CSIC), siendo pionero en el desarrollo y aplicación de esta tecnología.

Las investigaciones realizadas hasta el momento se centran, en su gran mayoría, en el campo de la agricultura, en aspectos relacionados con la identificación temprana de plagas y enfermedades en la vegetación, así como detección de situaciones de estrés hídrico, planificación de riegos, etc.

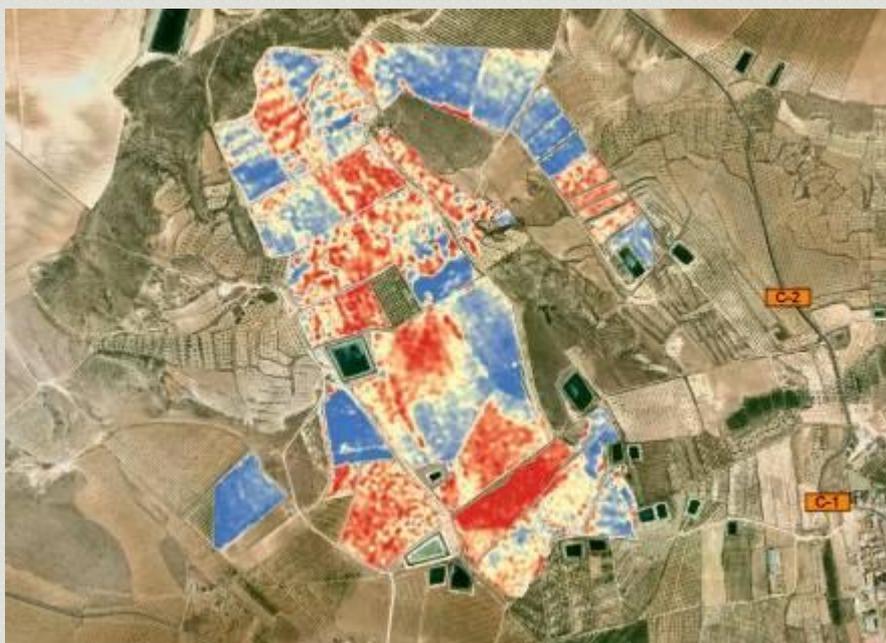


Figura 23. Imagen térmica para estudio de la eficiencia de riego en parcelas experimentales



Figura 24. Detalle de la imagen térmica a nivel de individuo, gracias a la alta resolución

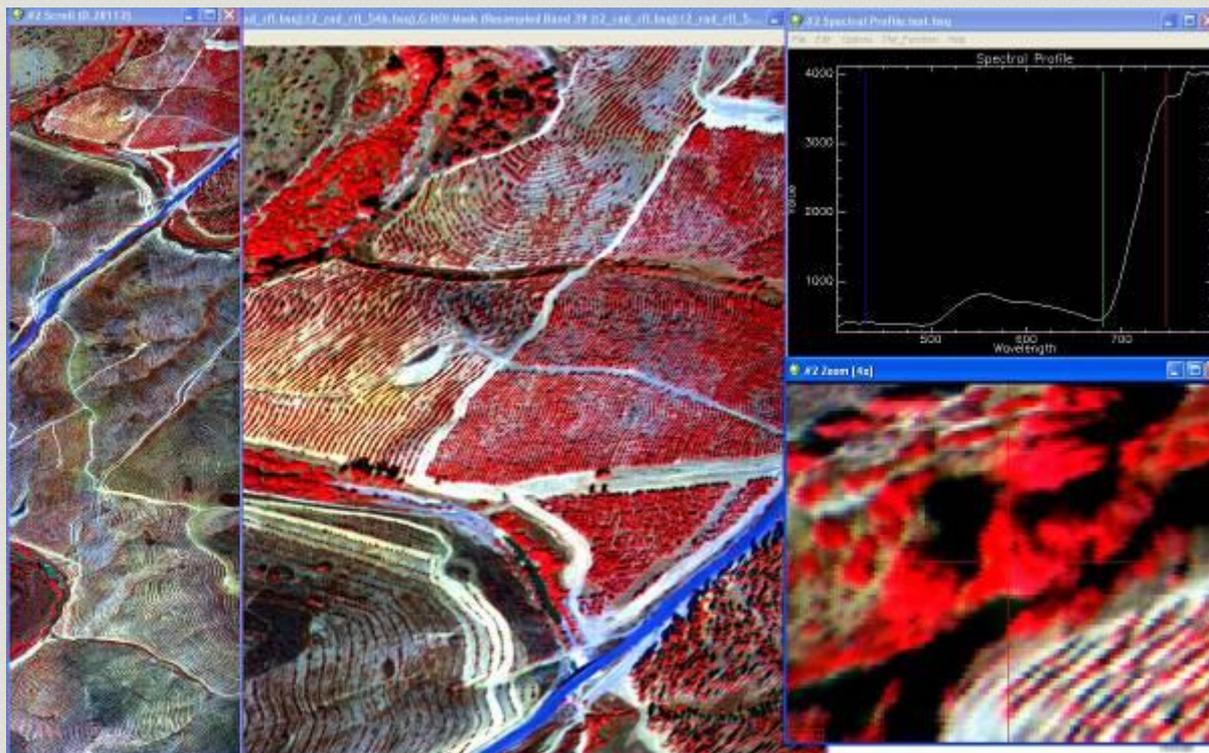


Figura 25. Imagen hiperespectral tomada con UAV y firma espectral de un píxel de vegetación. Resolución 25 cm/píxel

Con objeto de trasladar su aplicación al ámbito forestal, se ha puesto en marcha el Proyecto de I+D INTELECTA (INgeniería y TEledetección Espectral para la Cuantificación y Tecnificación Ambiental), promovido por Zumain Ingenieros S.L. en colaboración con el IAS-CSIC, bajo el marco de financiación del CDTI (Centro para el Desarrollo Técnico Industrial).

Uno de los principales objetivos de este proyecto es materializar el último paso para adaptar la teledetección de Ultra alta resolución al campo forestal, cubriendo con todos los sensores disponibles el amplio abanico de posibilidades que brinda la teledetección.

5. Discusión

En base a los resultados obtenidos, se observa que los productos obtenidos mediante la integración de los citados sensores sobre plataformas UAV, presentan mejores resoluciones, menores costes asociados (a escala monte), mayor rapidez de disponibilidad de datos y mayor facilidad de ser replicables.

Estas ventajas frente a los métodos clásicos, permiten la aplicación de estas tecnologías a escalas temporales y espaciales que antes eran inalcanzables. Por lo tanto, se entiende que se abren nuevas líneas de avance en la mejora continua del análisis de los recursos naturales, pudiéndose aplicar al sector forestal técnicas antes prohibitivas por los costes asociados y la inoperatividad de sus resultados a escalas de gestión aplicables.

No obstante, estas nuevas líneas de avance necesitan de la apertura de nuevas líneas de investigación paralelas, para poder resolver los problemas resultantes de la “UHR (Ultra High Resolution)” tanto a nivel logístico (superar ciertas limitaciones de los UAV y optimizar el

binomio: Carga de pago-autonomía) como a nivel técnico (manejo de archivos de gran formato, variabilidad intraespecífica debido al tamaño de pixel, correcciones, nuevos índices normalizados, etc.).

6. Conclusiones

Se concluye que los productos obtenidos mediante la carga de sensores sobre plataformas UAV tienen mayor resolución, menor coste y mayor versatilidad y aplicabilidad que los obtenidos mediante métodos clásicos. Estas ventajas, abren un rango de posibilidades tanto a nivel de investigación como a nivel de gestión que se consideran muy interesantes y necesarias para el desarrollo futuro del análisis de los Recursos Naturales.

Se concluye que la integración de sensores ópticos, térmicos, multi- e hiper- espectrales en plataformas UAV posibilita la aplicación de técnicas de Teledetección a escalas y costes que antes eran inalcanzables, posibilitando la aplicación en el sector forestal.

7. Agradecimientos

Los agradecimientos del presente artículo van destinados al Dr. Pablo Zarco-Tejada, por su apoyo, colaboración y cesión de información e imágenes.

8. Bibliografía

AMBROSIA, V.; WEGENER, S.; SULLIVAN, D.; BUECHEL, S.; DUNAGAN, S.; BRASS, J. et al. (2003) Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69 (4), 391-402.

BERNI, J.A.J; ZARCO-TEJADA, P.J; SUAREZ, L; FERERES, E; 2009. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47, (3),722-738.

BERNI, J.A.J; ZARCO-TEJADA, P.J; SEPULCRE-CANTÓ, G; FERERES, E; VILLALOBOS, F.J; 2009. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2380-2388.

EVERAERTS, J; 2008. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1.

ESPOSITO, F.; RUFINO, G.; MOCCIA, A. (2007) 1st mini-uav integrated hyperspectral/thermal electro-optical payload for forest fire risk management. *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Infotech@Aerospace*, 1, 653-665.

GALLARDO, B. (2007). Estudio de viabilidad de aplicaciones de observación aérea con UAVs y elaboración de un plan de empresa. *Proyecto fin de carrera B. Gallardo. Escuela politécnica superior de Castelfelers*.



HAITAO, X.; LEI, T. (2007) An autonomous helicopter system for aerial image collection, in *Proc. ASABE Annu. Int. Meeting, Tech. Papers*, Minneapolis, MN, Jun. 2007. Paper 071136.

LAMBERS, K.; EISENBEISS, H.; SAUERBIER, M.; KUPFERSCHMIDT, D.; GAISECKER, T.; SOTOODEH, S.; HANUSCH, T. (2007) Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the late intermediate period site of Pinchango Alto, Palpa, Perú. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1702-1712.

LANDELLI, N; BOSCOLO, I; MARCHIORI, A. (2010). Rapid Mapping con l'impiego dei sistemi Micro-Uav. Primipassi verso la georeferenziazione automática degli scatti na dirali. *Giornale IUAV n°87*

LANDELLI, N. (2010). Micro Unmanned Aerial Vehicle: Micro UAV. *Giornale IUAV n°87*

LANDELLI, N; PIZZOLON, N; PICCHIO, S; MARCHIORI, A; BOSCOLO, I. (2010). Il progetto Quadri rotori. *Giornale IUAV n°87*

LEJOT, J; PIÉGAY, H; HUNTER, P.D; MOULIN, B; GAGNAGE, M; 2011. Utilisation de la télédétection pour la caractérisation descorridors fluviaux: exemples d'applications et enjeuxactuels Characterisation of alluvial plains by remote sensing: cases studies and current stakes. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, 37-52

MORAN, M.S.; CLARKE, T.; INOUE, Y.; VIDAL, A. (1994) Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49, 246-263.

NEBIKERA, S; ANNENA, A; SCHERRERB, M; OESCHC, D; 2008. A light weight multispectral sensors for micro UAV.Opportunities for very Hight resolution airborne remote sensing.The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1.

RESTAS, A; 2006. Wildfire Management Supported by UAV Based Air Reconnaissance. First international Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, 2006.ISEIMA '06.

SUGIURA, R.; NOGUCHI, N.; ISHII, K. (2005) Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter. *Biosystems Engineering*, 90, 369-379.

ZARCO-TEJADA, P.J; BERNI, J.A.J; SUÁREZ, L; SEPULCRE-CANTÓ, G; MORALES, F; MILLER, J.R; (2009). Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camerafor vegetation stress detection.*Remote Sensing of Environment*, 113, 1262-1275.

ZHAO, H.; YAN, L.; GOU, Z.; ZHANG, L. (2006) The characteristic analyses of images from the UAV remote sensing system. In *2006 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2006*, Denver, CO. 3349-3351.

