

TELEDETECCIÓN

Empleo de mini aeronaves no tripuladas (UAV) en gestión de regadíos

A.L. Vázquez

A. Ruiz-Canales

*Aqua y Energía para una Agricultura Sostenible (AEAS).
Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel
Hernández. Escuela Politécnica Superior de Orihuela*

J.M. Molina

D.G. Fernández-Pacheco

*Grupo de Investigación en Ingeniería Agromónica y del
Mar. Universidad Politécnica de Cartagena*

Uno de los usos principales de la teledetección en los sistemas agrícolas pretende identificar cultivos y parcelas en regadío. La capacidad de elaborar mapas de cultivos mediante imágenes remotas, de actualizarlos, de estimar las superficies, y como consecuencia, la de calcular la distribución espacial y temporal de sus necesidades hídricas en regiones extensas hacen de esta aplicación una de las más importantes para la gestión de recursos hídricos. La teledetección "clásica" adolece de ciertas limitaciones, sobre todo de tipo económico. Mediante microaeronaves no tripuladas, del inglés Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o vehículo aéreo no tripulado, se puede conseguir una tecnología más barata y en superficies más localizadas. Se presentan en este artículo algunas características genéricas de la teledetección y su aplicación a la gestión de regadíos. Finalmente se describen algunos de los elementos que componen un UAV para teledetección.

¿QUÉ ES LA TELEDETECCIÓN?

Teledetección es la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de la información adquirida por un aparato que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand *et al.*, 2004).

Una de las características que otorgan a la teledetección un gran valor es la periodicidad y continuidad en su observación de la superficie terrestre. Estas observaciones permiten el seguimiento del crecimiento y desarrollo de la vegetación, a través de la medida de los diferentes parámetros biofísicos de la cubierta vegetal, y de los diferentes estados fenológicos que atraviesa. La información teledetectada presenta ciertas características interesantes tales como la posibilidad de trabajar en un tiempo muy corto y efectuar tratamientos rápidos por computación, el carácter homogéneo y exhaustivo de las observaciones sobre extensas zonas, la riqueza de la información (se pueden emplear diversas franjas del espectro) y su carácter sintético. Otra característica de esta técnica es la repetitividad, es decir, la posibilidad de obtener teóricamente, a intervalos cortos, la misma serie de datos sobre una zona para seguir su evolución mediante análisis multitemporal. Se pueden observar ciclos vegetativos completos; y es más, si se archivan los datos de diversos años se puede detectar cualquier tendencia, cambio o deterioro del paraje o sistema bajo estudio.

Para cualquier material dado, el monto de radiación solar que refleja, absorbe o transmite varía con la longitud de onda. Esta importante propiedad de la materia hace posible identificar diferentes sustancias o clases y separarlas por su firma espectral a través de curvas espectrales.

La reflectividad de una cubierta vegetal densa (que cubre el suelo completamente) y fotosintéticamente activa, varía fuertemente con la longitud de onda. La curva que expresa la relación de la reflectividad con la longitud de onda tiene una forma característica de la vegetación en esas condiciones. Una hoja está formada por estratos de materia orgánica fibrosa, células llenas de agua, espacios de aire y pigmentos. Cada una de estas tres características (pigmentación, estructura fisiológica y contenido en agua) tiene efectos en la interacción de la radiación. Estos elementos junto con la propia arquitectura de la vegetación y las características del suelo conforman la reflectividad de la cubierta.

La investigación en Teledetección ha prestado atención prioritaria al desarrollo de metodologías para estimar estados y flujos hidrometeorológicos. Los principales flujos hidrometeorológicos son la evaporación desde el suelo, la transpiración vegetal (es decir, la evapotranspiración) y el deshielo.

TELEDETECCIÓN EN LA GESTIÓN DE SISTEMAS DE REGADÍO

Para el empleo de la Teledetección en la gestión de sistemas de regadío se utilizan una serie de índices específicos referidos a diferentes aspectos de los que depende basados en diferentes aspectos de la gestión del regadío (agua, suelo, planta, clima, instalaciones, entre otros). Se describen a continuación algunos de ellos.

FIGURA 1 / Firma espectral de vegetación y suelo (Chuvieco)

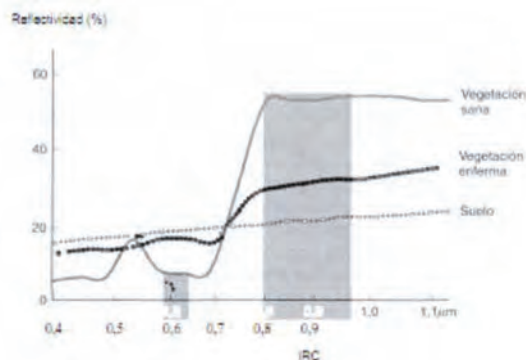
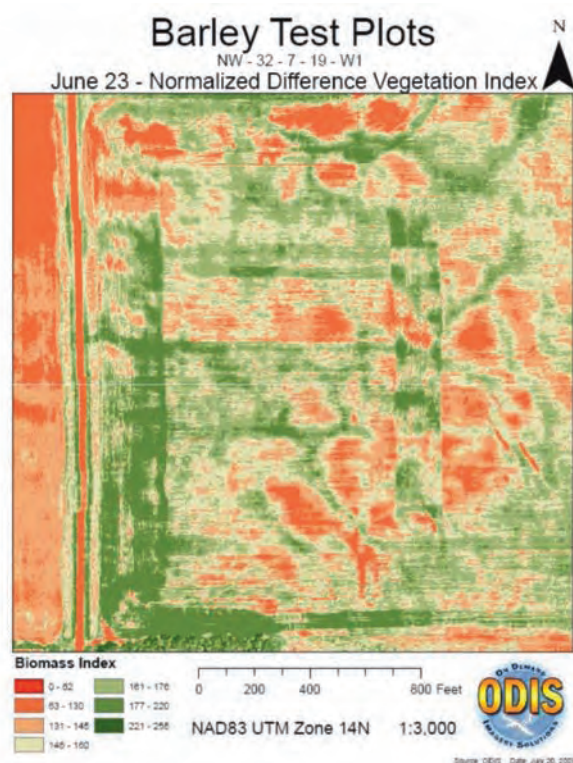


FIGURA 2 / Mapa de NDVI / biomasa de una parcela agrícola obtenido mediante UAV (Odis) UAV



► Índice de vegetación

Los índices, cocientes o ratios de vegetación se pueden definir como combinaciones de bandas espectrales, cuyo objetivo es el de realzar la contribución de la vegetación fotosintéticamente activa en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo en el que se asienta, las condiciones de iluminación solar, restos de vegetación seca y la atmósfera (Figura 1).

Un cociente o ratio implica efectuar una división, píxel a píxel, entre los índices almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Se utilizan ampliamente en dos situaciones: i) para mejorar la discriminación entre dos cubiertas con comportamiento reflectivo muy distinto en esas dos bandas, como por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el visible e infrarrojo cercano, y ii) para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracteriza-

// LAS UAVs EQUIPADAS CON AUTOPILOTOS ROBÓTICOS INERCIALES, SENSORES REMOTOS LIGEROS Y GPS SE VAN POSICIONANDO PROGRESIVAMENTE EN EL “MERCADO” CIENTÍFICO Y TÉCNICO COMO COMPLEMENTO A LA TOMA DE IMÁGENES SATELITALES Y AÉREAS CONVENCIONALES //

ción espectral de distintas cubiertas. El empleo de los cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación.

El índice de vegetación más usado en las aplicaciones de la Teledetección es el índice de vegetación por diferencias normalizado, NDVI (Figura 2), definido por la ecuación siguiente:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Donde VIS y NIR son las medidas de reflectancia espectral obtenidas en las zonas del rojo visible y cercano al infrarrojo, respectivamente.

Se utilizan además otros índices referidos al seguimiento de los cultivos. La mayoría son parámetros biofísicos de gran importancia para el seguimiento y gestión del cultivo. Entre ellos destacan los siguientes: el albedo, la evolución fenológica, el índice de área foliar (LAI), la fracción de cobertura vegetal, la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la cubierta (FAPAR), biomasa seca, etc. Todos ellos pueden ser estimados desde la reflectividad de la cubierta, a través principalmente de relaciones con los índices de vegetación. A su vez, los parámetros biofísicos están interconectados entre sí.

La eficiencia del riego es otro de los parámetros que se estiman en la gestión de regadíos. La eficiencia del riego se manifiesta en correlación positiva con el índice normalizado de vegetación definido con imágenes multiespectrales. Las observaciones pueden programarse en

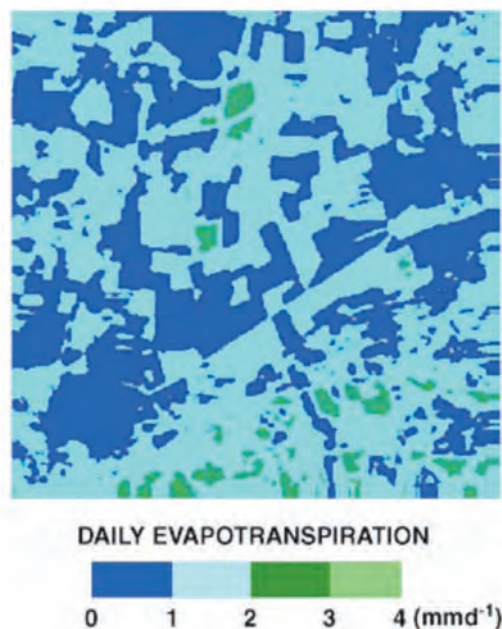
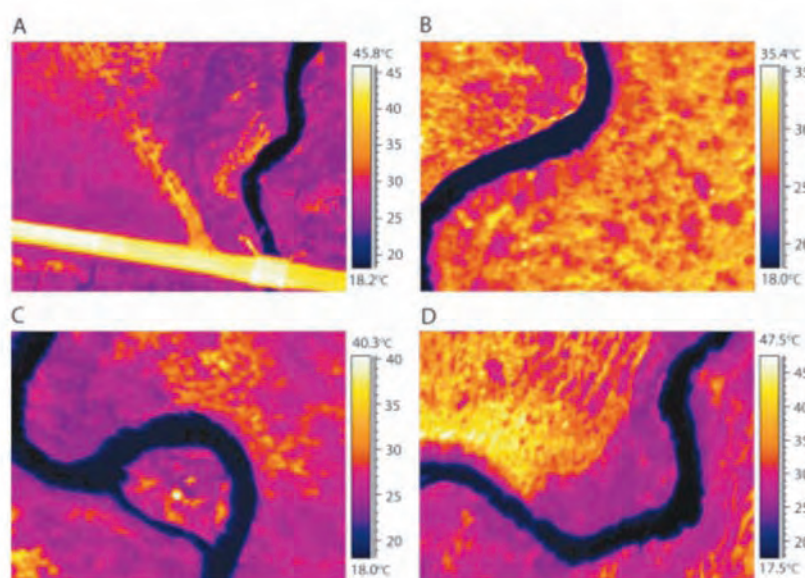
función de las estrategias de riego implementadas.

► Mapas de cultivos

Uno de los usos principales de la teledetección en los sistemas agrícolas es la identificación de cultivos y parcelas en regadío. La capacidad de elaborar mapas de cultivos mediante imágenes remotas, de actualizarlos, de estimar las superficies, y como consecuencia, la de calcular la distribución espacial y temporal de sus necesidades hídricas en regiones extensas hacen de esta aplicación una de las más importantes para la gestión de recursos hídricos. Existen experiencias exitosas en la asignación de derechos de riego en una determinada región utilizando mapas de cultivos de regadío mediante teledetección. El seguimiento en tiempo real de las parcelas en riego mediante tecnologías de observación de la Tierra ha demostrado su eficacia en el seguimiento y control de los planes de explotación en acuíferos.

► Cobertura vegetal

Otro parámetro que se utiliza en teledetección es la cobertura o fracción ocupada por la cubierta vegetal verde. Ésta se define como f_v y se trata de la proporción de la superficie de suelo que es intersectada por la proyección vertical de la vegetación. Es un parámetro de gran importancia en el seguimiento de la vegetación, relacionado fuertemente con el crecimiento del cultivo, que tiene relación directa con la evapotranspiración, y que se utiliza ampliamente en la me-

FIGURA 3 / Mapa de evapotranspiración 24 horas (Chen)**FIGURA 4 / Imágenes térmicas obtenidas desde un UAV (Deitchmann)**

metodología denominada “Kc-ETo” para la determinación de la evapotranspiración (Figura 3). Un aspecto esencial para cuantificar los recursos hídricos de una zona y optimizar la gestión del riego es conocer la superficie regada, estimar las superficies de cultivo y determinar el estado en el que se encuentra el cultivo.

Estimación de la evapotranspiración real

Otra aplicación de los sensores remotos aplicados a la gestión del riego y que está aunando importantes esfuerzos en los últimos años es la estimación de la evapotranspiración real de los cultivos con vistas a su inclusión en balances de agua, y por tanto para el asesoramiento directo a los agricultores en el riego a fin de incrementar la eficiencia en el uso del agua. Se pueden resaltar dos enfoques que aprovechan datos remotos en la estimación del consumo de agua por los cultivos: i) aplicación del balance de energía para determinar la evapotranspiración, en el que variables aportadas por los sensores, como albedo, temperatura superficial, cobertura vegetal,

LAI y otras, permiten estimar los diferentes términos del balance; ii) empleo de la relación que existe entre la respuesta espectral de la vegetación y el coeficiente de cultivo, Kc. La determinación del Kc, unido a la estimación de ETo usando bases de datos meteorológicos permite el cálculo de la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar.

El procedimiento basado en la determinación del coeficiente de cultivo presenta la ventaja de enlazar directamente con la metodología “Kc-ETo”, universalmente aceptada y utilizada ampliamente por los Servicios de Asesoramiento de Riegos (SAR). La semejanza entre la evolución temporal del NDVI y el coeficiente de cultivo durante el ciclo de crecimiento de un cultivo ha sido reiteradamente observada. La determinación del coeficiente de cultivo basal se hace mediante la medida de la cobertura y el LAI, pudiendo así determinar el período de cobertura efectiva completa.

El estrés hídrico se considera como una reducción en la evapotranspiración a causa de la falta de agua disponible en la zona radicular. Su intensidad se cuantifica me-

dian te el Factor de Estrés S, que se define como el complemento respecto la unidad del ratio evaporación real / evaporación potencial. El estrés hídrico en vegetación provoca un cierre estomático y por lo tanto una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal. Este aumento de temperatura puede ser monitorizado mediante teledetección usando sensores térmicos. Utilizando la imagen de temperatura de superficie de la vegetación y los datos meteorológicos medidos en campo, se genera un mapa de conductancia de la cubierta en el que se puede apreciar cómo los bloques sin estrés hídrico presentan unos valores mayores de conductancia que los árboles sometidos a tratamientos de riego deficitario.

TELEDETECCIÓN MEDIANTE UAVS

Lo más común es realizar los estudios de teledetección desde satélites, aviones y helicópteros tripulados. El factor limitante – o prohibitivo – de esta modalidad de estudio es el coste ope-

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN LA GESTIÓN DEL RIEGO

Una relación de categorías en las que pueden ser agrupadas las aplicaciones de la teledetección sería la siguiente:

- Realización de mapas temáticos de cultivos en regadío.
- Determinación de necesidades hídricas de los cultivos.
- Detección de áreas con problemas de salinidad.
- Hidrología de acuíferos.
- Gestión de riego.

rativo de las aeronaves. De aquí surge la posibilidad de diseñar y poner en línea un “miniUAV” (aeronave no tripulada) con capacidad suficiente para transportar los sensores necesarios (que habrán de ser, necesariamente, los más ligeros del mercado). Las ventajas son varias: bajo coste de construcción / adquisición, bajo coste de mantenimiento, bajo coste por hora de vuelo, planificación prevuelo sencilla y sin burocracias, obtención de datos a

baja altura y a baja velocidad, menor influencia de la meteorología y superioridad en resolución de imagen (**Figura 4**).

► Los obstáculos de la teledetección "clásica"

Ésta adolece de ciertas limitaciones. La principal concierne a las características mismas de la información recolectada, que no es directamente la que necesita el usuario (esto es especialmente cierto en los estudios hidrológicos). Se debe entonces desarrollar una metodología adaptada para extraer de este conjunto de informaciones de que disponemos los datos que interesan al tema de estudio. Por otra parte, la cobertura nubosa puede impedir en el caso de la teledetección desde satélite la recolección de informaciones en toda la parte visible e infrarro-

ja del espectro en el momento deseado. También se tiene la cuestión de la resolución espacial: ¿de qué tamaño ha de ser el objeto más pequeño que se pueda distinguir en la imagen? Mientras que para observaciones de grandes sistemas los satélites cumplen perfectamente con los requisitos espaciales, la cosa cambia si se desea entrar en cuestiones de detalle. Aunque ya se han lanzado satélites con resoluciones impensables hace pocos años (por ejemplo, GeoEye, con resolución inferior al metro), o bien esa resolución no se ofrece en la franja espectral deseada, o no está disponible en la fecha deseada, o tiene un precio prohibitivo. En ese caso se opta por la Teledetección aérea, utilizando como plataforma un avión tripulado o una "microaeronave" no tripulada (UAV). Se trata de aeronaves no tripuladas

con capacidad de llevar a cabo misiones de forma autónoma.

► Ventajas de las aeronaves no tripuladas

Las aplicaciones de Teledetección ambiental suelen requerir imágenes con alta resolución espacial y temporal. Este tipo de imágenes de altísima resolución resultan sumamente costosas y dificultosas de obtener, cuando no imposible, tanto si son imágenes provenientes de satélite como si se obtienen mediante vuelos tripulados convencionales. Como consecuencia de este obstáculo, las "microaeronaves" no tripuladas (UAVs) equipadas con autopilotos robóticos inerciales, sensores remotos ligeros (cámaras digitales compactas, trabajando en el espectro visible, en el infrarrojo cercano y en el térmico) y GPS a

bordo se van posicionando progresivamente en el "mercado" científico y técnico como una opción a desarrollar y utilizar como complemento a la toma de imágenes satelitales y aéreas convencionales. Los trabajos que puede acometer el "mini-UAV" son de varios centenares de hectáreas, un territorio que resulta muy pequeño comparado con la cobertura de satélite o de vuelo fotogramétrico. En contrapartida, la ejecución es más rápida, lo cual aumenta las posibilidades de actuación. A estas características se suma la alta resolución. Por ello, la utilización de "miniUAVs" encuentra su nicho natural en el ámbito de la explotación individual y de la agrupación de explotaciones (comunidades de regantes).

Básicamente, un sistema UAV promedio (**Figura 5**) se compone de los siguientes elementos:



La nueva generación de tubería de PVC Orientado

- La solución más eficiente para conducción de agua a presión
- Producto certificado para conducción de agua potable
- Elevados rendimientos de instalación
- Presiones nominales de 12.5, 16, 20 y 25 atm
- Diámetros nominales de 90 a 630 mm



TOM



- Plataforma aérea: puede ser un avión, un helicóptero, un multicoptero, un dirigible o un híbrido. Dotados de motorización eléctrica en el caso de los modelos ligeros, o de combustión interna en el caso de los más pesados.

- Sistema de navegación a bordo: sensores, autopiloto, GPS, sistema de video en primera persona, sistema OSD (información de parámetros de vuelo en tiempo real sobre pantalla), comunicación inalámbrica de datos.

- Sensores de teledetección: cámara digital estándar, cámara multispectral (rojo, azul, infrarrojo cercano), cámara térmica (infrarrojo térmico).

- Estación de control: PC / smartphone / tablet, pantallas, antena de seguimiento, receptor inalámbrico, emisora de vuelo, software de control y planificación de vuelos (Figura 6).

- Sistema de proceso de datos: PC, software de unión de fotos (stitching), software de tratamiento de imagen convencional, software de tratamiento de imágenes multiespectrales, GIS.

FIGURA 5 / Sistema UAV Stardust II (Idetec)



► La investigación actual

La navegación autónoma del UAV se consigue utilizando GPS, técnicas de medición inercial (IMU), control informático de la navegación, y una serie de sensores adicionales. Sólo los aparatos dotados de navegación automática cumplen con los requisitos mínimos de todo trabajo fotogramétrico serio; los UAV pueden sobrevolar, mapear y medir cualquier área de interés de forma sistemática, rápida y eficiente.

Como ejemplos nacionales se puede citar al Instituto de Agri-

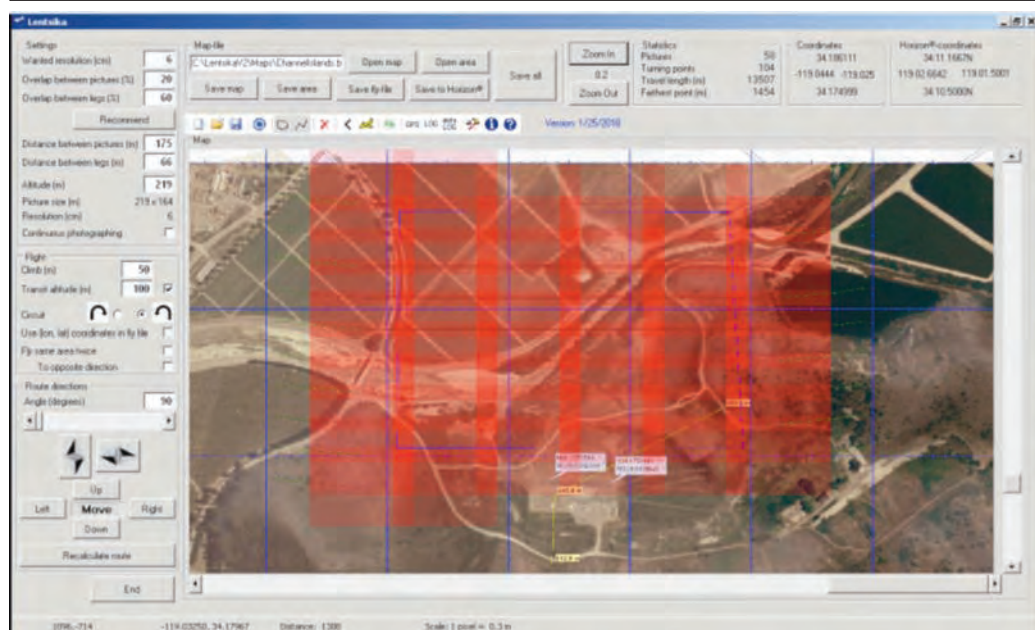
cultura Sostenible del CSIC, que lleva varios años trabajando con UAVs en diversas líneas de investigación (se puede consultar abundante información disponible en <http://quantalab.ias.csic.es>) y al Proyecto Life de Gestión Sostenible del agua mediante Teledetección UAV (Asociación de Industria Navarra).

En el mercado - tanto nacional como global - se pueden encontrar numerosos equipos UAV para su uso en gestión de regadíos, desde opciones ligeras básicas para observación aérea simple hasta sistemas comple-

tos "llave en mano" con plataforma de control en tierra y equipados con los sensores necesarios, ya calibrados y preparados para su uso, así como del software de tratamiento de imágenes necesario para un adecuado procesamiento de los datos. Asimismo existen actualmente varias empresas privadas que ofrecen servicios comerciales de teledetección con mini - UAVs.

La tecnología UAV ha sido hasta ahora predominantemente militar (y, por tanto, cara), pero el sector civil va tomando cada vez mayor protagonismo en este campo, apareciendo gradualmente un respetable número de sistemas integrados orientados a uso civil y de bajo costo, lo que ya permite hablar de geoinformación "a la carta", económica y fiable. Aunque los sistemas UAV de uso agrícola se suelen basar en los sistemas "deportivos" de aeromodelismo más que en los sistemas militares, se tiende a simplificar la operación integrando los sistemas de navegación con dispositivos como smartphones y tabletas, eliminando la utilización directa de las emisoras de radio de aeromodelismo y minimizando la necesidad de entrenamiento del operador.

FIGURA 6 / Software de planificación de vuelos Lentsika (CePED)



A TENER EN CUENTA

La utilización de UAVs está restringida a una altura de 300 m, y en principio tampoco se permite su uso sobre núcleos de población. Por tanto, las zonas de aplicación preferente de UAVs serán los lugares escasamente habitados o deshabitados.

Los UAVs son la opción a elegir si necesitamos información rápida y de alta resolución en un momento concreto y la superficie a estudiar no es excesivamente grande.