



Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos

Andrés Méndez, Juan Pablo Vélez, Fernando Scaramuzza y Diego Villarroel (*)

Desde que empezaron a utilizarse las herramientas de agricultura de precisión, las imágenes satelitales tomaron protagonismo para encontrarle un uso agronómico a dicha información.

Al principio se usaban aquellas imágenes que no tenían un costo tan elevado (Landsat 7 o Landsat 5). La información relevada era muy útil, pero la captura de imágenes se hacía

cada 8 días, dado que el satélite demoraba ese tiempo para regresar al mismo punto, y muchas veces el factor climático no permitía buenas tomas para definir manejos en los cultivos.

Dada la problemática de conseguir las imágenes en el momento oportuno, es que surgieron algunas empresas que comenzaron a tomar fotografías aéreas desde aviones tripulados, entregando la información ya procesada para poder

* EEA INTA Manfredi.

realizar el análisis agronómico correspondiente. Esta actividad fue desarrollada y dio buenos resultados agronómicos, pero en algunos casos el factor costo y la logística para sacar las fotografías en vuelos programados eran una limitante, que se incrementaba cuando se quería hacer un seguimiento de los cultivos haciendo varios relevamientos en su ciclo.

Posteriormente, surgieron las plataformas no tripuladas UAV o también equipamientos que hoy conocemos como *drones*, que son equipos propulsados por varias hélices y que pueden montar diversos tipos de cámaras fotográficas y filmadoras de alta definición que, dependiendo de lo que se desee realizar, deberían tener mejores prestaciones.

Otro avance importante se dio cuando a estas plataformas se les integró un GPS, que permitió direccionarlas bajo un recorrido preestablecido que se deseara realizar en el campo y no estar dependiendo del buen manejo del piloto que la comanda desde tierra con un control remoto.

Dentro de las plataformas de trabajo se desprendieron varias opciones, que van desde los aviones a los cuadricópteros, pasando por zeppelines con motor y helicópteros, entre otros. Es un factor muy importante lograr estabilidad en el vuelo y en la cámara filmadora o fotográfica, para que las imágenes salgan con la mayor calidad posible para su análisis.

Actualmente hay dos grandes limitantes para esta tecnología: en primer lugar, los pilotos, que deben estar capacitados para hacer que el equipo vuele de la mejor manera, por lo que empieza a tener mayor importancia un sistema totalmente automatizado; y la segunda limitante es el procesamiento de los datos según lo que se desee hacer posteriormente en el campo.

Existen sistemas de *drones* equipados con GPS que pueden salir desde una base, realizar el vuelo ya prefijado con un software y, una vez terminada la tarea, pueden volver a la base para cargar nuevamente la batería y quedar listos para el próximo vuelo. A su vez, los vuelos pueden estar prefijados en día y hora para la próxima salida y hasta contemplar los datos de alguna estación meteorológica que habilite el vuelo en tiempo real según condiciones del clima.

Todos estos equipos son muy llamativos y generan cierto marketing para las empresas que los poseen; pero lo más importante es que su utilidad aún no está del todo definida, y eso abre muchas posibilidades y potencialidades futuras.

Muchas de las empresas del sector agropecuario adquirieron drones para dar resultados agronómicos en lo referido a conocer mejor la variabilidad de los lotes, realizar un seguimiento de los cultivos de mejor manera y con mayores posibilidades de encontrar problemas rápidamente, como puede ser un ataque de plagas y enfermedades; sectorizar ambientes de malezas, detectar fallas de siembra o fertilización si las hubiese, o para hacer una simple recorrida a campo desde la altura en momentos en que es difícil caminar por los cultivos.

Actualmente, muchas de las empresas que los compraron, además de ofrecer estos servicios agronómicos, están amor-

tizando el equipamiento realizando filmaciones en eventos deportivos, trabajos para empresas petroleras y planificación de barrios.

En lo que se refiere a usos agronómicos, todavía no hay un uso masivo de estas tecnologías montadas en drones, pero si se logra abaratar el proceso, mejorar los diagnósticos y actuar en consecuencia, seguramente se harán más masivos en el corto plazo.

Ante la posibilidad de adquirir una herramienta de estas características, es importante saber qué equipamiento debería ir montado en los drones, dado que de eso dependerá la decisión agronómica a seguir con la información recolectada.

En un trabajo realizado por INTA Manfredi, se pudo detectar una muy buena correlación entre el dato logrado en la medición por una cámara multispectral montada en un avión con respecto a la medición tomada con el sensor activo Green Seeker montado en una pulverizadora.

INTRODUCCIÓN

Numerosos trabajos intentan desarrollar sistemas precisos, confiables y prácticos para determinar las necesidades de nitrógeno (N) en los cultivos, con el fin de eficientizar la producción de granos y minimizar el impacto de excesos de N sobre el medioambiente mediante el empleo de diferentes propuestas (Solie et al., 2011; Setiyono et al., 2011).

Entre las herramientas empleadas, una alternativa que toma creciente interés es la utilización de sensores remotos para el diagnóstico y recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz (Raun et al 2005; Kitchen et al, 2011; Holland y Schepers, 2011).

El desarrollo de las aplicaciones de los sensores remotos en la agronomía es de larga data y ha sido recientemente revisada por Hatfield et al (2010). Las aplicaciones más comúnmente utilizadas en general se basan en el cálculo de índices de vegetación, como el *índice de diferencia de vegetación normalizada* (NDVI), aunque existen numerosos índices alternativos para evaluar distintos aspectos del canopy de los cultivos (Hatfield et al., 2010).

El desarrollo de conceptos y aplicaciones en el marco de la agricultura de precisión permite, entre otras técnicas, utilizar sensores para diagnosticar y sincronizar la demanda de N por parte del cultivo con la aplicación de los fertilizantes en sitio específico. Existen antecedentes locales que demuestran resultados favorables de esta tecnología sobre el incremento de la eficiencia de uso del nitrógeno (Melchiori et al., 2001). Sin embargo, ésta aún no se difunde masivamente como otras herramientas de agricultura de precisión debido al costo de los equipos, como ha sido señalado aun para USA por Scharf et al., (2012).

Resulta relevante evaluar alternativas que permitan utilizar los avances y algoritmos realizados para el uso de sensores montados, con otras fuentes de información, como las fotografías aéreas multispectrales obtenidas desde aviones tripulados o no tripulados.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la relación existente entre el índice NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® RT 200 y el calculado desde fotografía aérea multiespectral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio fue un lote de maíz lote bajo riego, cercano a la localidad de Pilar, provincia de Córdoba (Long - 63.8300398, Latitud - 31.6450251). La siembra se realizó el 30 de setiembre, utilizando el híbrido DK 747 RR2 con una densidad de siembra 95.000 semillas / ha y una fertilización de base con 80 kg / ha de FDA en banda al costado de la línea de siembra.

Durante el desarrollo vegetativo del cultivo se realizaron mediciones empleando sensores remotos. Se utilizó un sistema GreenSeeker® RT 200 configurado con 4 sensores activos montados sobre el botafón de una pulverizadora autopropulsada Metalfor. Este equipo determina un índice NDVI, mediante lecturas de reflectancia en longitudes de onda de 660 (rojo) y 880 nm (infra rojo cercano). Las mediciones se obtienen con una frecuencia de 10 datos por segundo y se almacenan en una pocket PC la cual, mediante un software específico (GreenSeeker®, RT Commander), se vinculó a una computadora Land Manager® acoplada para realizar las aplicaciones variables con fertilizante líquido. Las mediciones se realizaron el 24 de noviembre, cuando el cultivo se encontraba con plantas en estadios de desarrollo entre V7 y V12, heterogeneidad debida a la alta variabilidad del sitio. Las mediciones se realizaron en franjas a través del lote, como se muestra en la Figura 1.

El sistema aerotransportado consistió en un equipo de fotografía aérea multiespectral, con una precisión horizontal mejor que +/- 3 m. El sistema empleado brinda ángulos de actitud del avión que permiten prescindir de puntos de control en el terreno para corregir la georreferenciación. Los fotogramas se registraron con coordenadas tomadas por un DGPS con corrección diferencial en pos proceso. Se empleó un sistema GV 3000, configurado con cuatro cámaras independientes con un arreglo de CCD de 1600 x 1200 píxeles, con velocidades de disparo de 1/5880 a 1/250 y una resolución espacial posible de 0.25 a 1.50 m. Las bandas espectrales disponibles fueron de 410 a 490

nm (azul), 510 a 590 nm (verde), 610 a 690 nm (rojo) y 800 a 900 nm (infra rojo cercano). Utilizándose en esta aplicación las bandas roja e infrarroja cercana para el cálculo del índice NDVI. La fecha de adquisición de las imágenes fue el 5 de diciembre, fecha lo más cercana posible a la medición con el GreenSeeker, en función de la disponibilidad del equipo.

Las imágenes de NDVI obtenidas por ambos equipos se procesaron de manera de obtener áreas o zonas de observación común para ambos sensores. Se delimitó un polígono de límite de los registros obtenidos en la zona de cobertura del sensor GreenSeeker® mediante el empleo del software AFS 5.05. Se generó una grilla cuadrículada en el entorno, definiendo cuatro tamaños de cuadrícula para estudiar los cambios debidos al tamaño de agregación de los datos: 3 m x 3 m, 10 m x 10 m, 20 m x 20 m y 30 m x 30 m. En todos los casos, se utilizó como método de interpolación el de inversa de la distancia ponderada con parámetros configurados por defecto por el software.

Para cada resolución se obtuvieron mapas de índices NDVI obtenidos desde la fotografía aérea y NDVI obtenido con el GreenSeeker. Los valores de los atributos se exportaron a Excel y se analizaron las relaciones entre las variables mediante regresión lineal simple empleando el software Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones con los sensores disponibles permitieron generar los mapas de distribución espacial de los datos sin procesar, como se muestran en la Figura 1. En los resultados de ambos instrumentos se puede observar la existencia de fuerte variabilidad espacial en el vigor de la vegetación, inferido a partir de los valores de NDVI. En la fotografía aérea, donde se alcanza una mayor cobertura (el total del área experimental), se observan franjas de vigor diferente debidas a la aplicación a la siembra de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. El relevamiento realizado con el GreenSeeker excluyó estas franjas y se realizó sobre el área de cultivo sin fertilización inicial con N. Las franjas donde se realizaron mediciones fueron refertilizadas (datos no mostrados) mediante el empleo de algoritmos

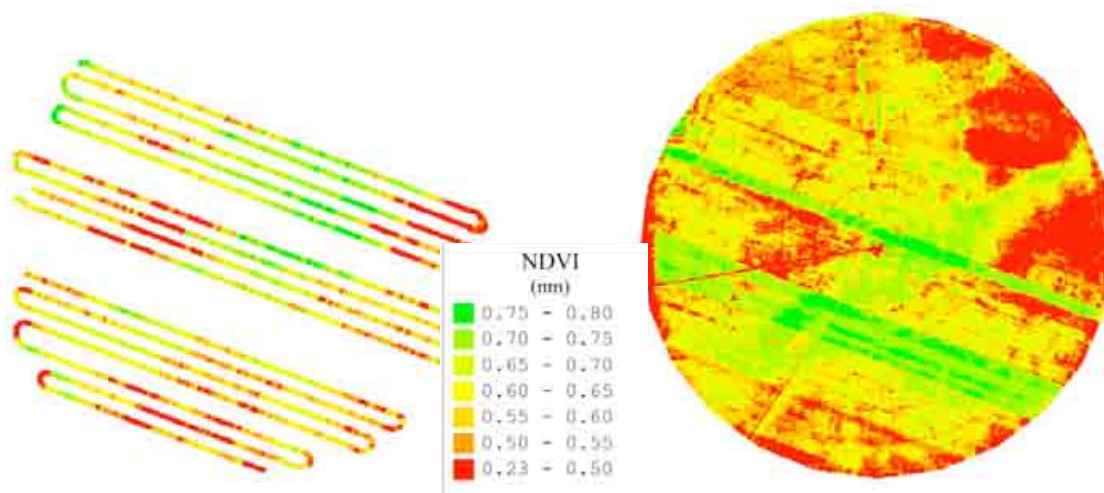


FIGURA 1: Mapa de NDVI obtenido con un sensor Green Seeker® Modelo RT 200 (a) y mediante fotografía aérea multiespectral con una cámara GV 3000 (b).

de recomendación desarrollados localmente para maíz (<http://www.soiltesting.okstate.edu/SBNRC/SBNRC.php>).

Los valores puntuales generados en la interpolación permitieron caracterizar mediante estadísticos descriptivos los valores de NDVI obtenidos por cada instrumento. El valor medio del NDVI obtenido con la fotografía aérea fue de 0.57, con un máximo de 0.68, un mínimo de 0.37 y un desvío estándar de 0.06 (n = 13869 puntos) (Figura 2).

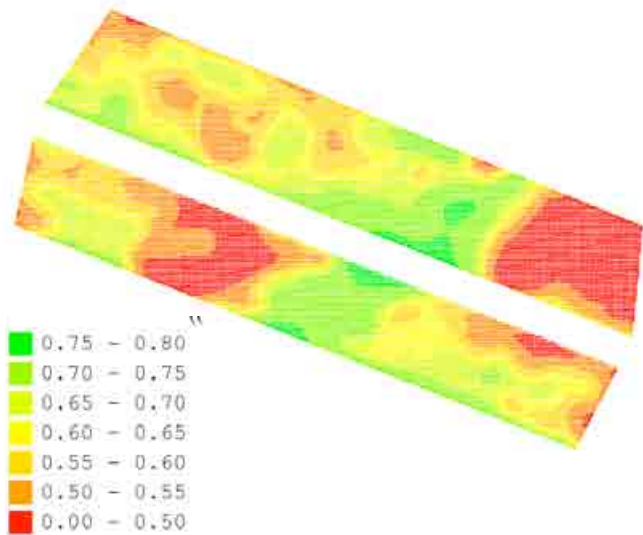


Figura 2: Fotografía aérea multiespectral obtenida con una cámara GV 3000 montada en avión. Resultados interpolados mediante AFS 5.05.

Las mediciones obtenidas con el sensor GreenSeeker® dieron como promedio un valor de NDVI de 0.59, con un rango de 0.75 a 0.41, con un desvío estándar de la media de 0.07 (n = 13869) (Figura 3).

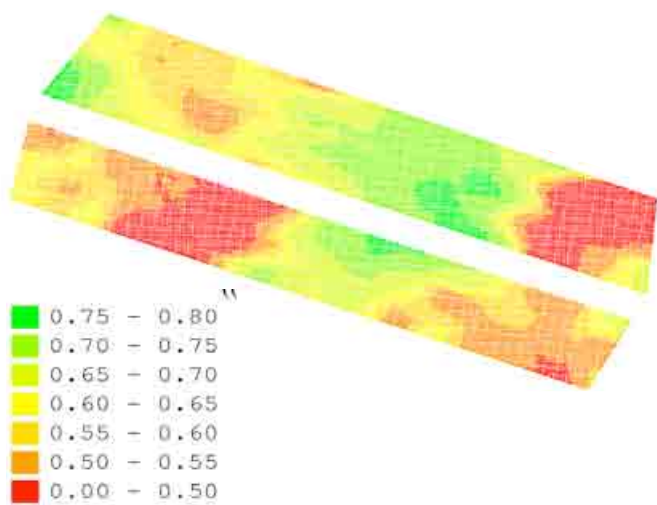


Figura 3: Mapa de NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® Modelo RT 200. (grilla de datos generada mediante interpolación a .x...m)

La comparación visual de las figuras 3 y 4 indica la existencia de una relación espacial entre las observaciones realizadas con ambos sensores. La relación obtenida mediante regresión lineal (Figura 4) mostró una estrecha relación entre las mediciones con ambos instrumentos, el NDVI de GreenSeeker y el NDVI de la fotografía aérea. La pendiente de la relación fue muy cercana a 1, con lo cual puede inferirse que ambos instrumentos logran índices muy similares entre sí. ($Y = -0.06 + X * 1.02$; $R^2 = 0.77$, $p = 0.0001$).

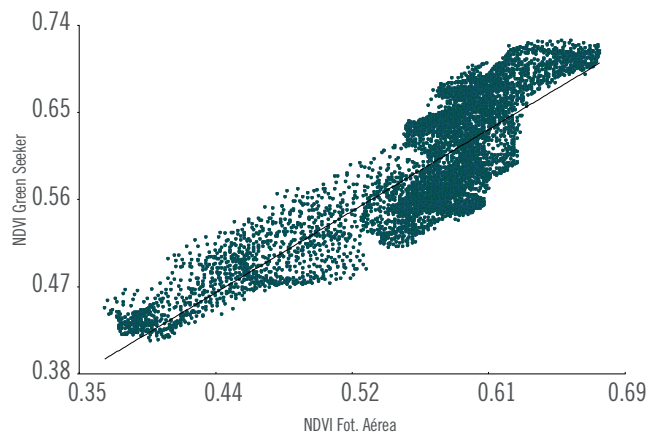


Figura 4: Relación entre el NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® Modelo RT 200 y por fotografía aérea multiespectral con cámara GV 3000. Datos interpolados en grilla de 3m x 3m.

Los resultados se procesaron con diferentes tamaños de grillas de interpolación desde el conjunto de las observaciones en la resolución espacial original a grillas de 10 m x 10 m, 20 m x 20 m y 30 m x 30 m. Este procesamiento, fue realizado a fin de simular resoluciones que se lograrían con distintas precisiones de cámaras o mayores alturas de vuelo, que permitirían cubrir superficies mayores en menor tiempo. En todos los casos las relaciones obtenidas fueron similares y las pendientes de las relaciones no fueron distintas de 1.

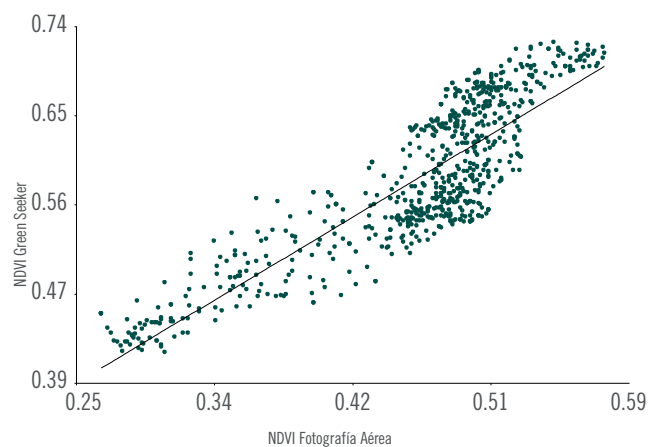


Figura 5: Relación entre el NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® Modelo RT 200 y por fotografía aérea multiespectral con cámara GV 3000. Datos interpolados en grilla de 10 m x 10 m. ($Y = -0.06 + X * 1.01$, $R^2 = 0.76$, $p = 0.0001$).

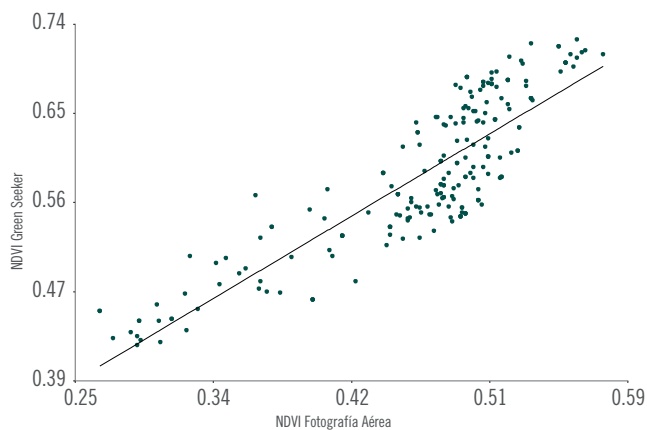


Figura 6: Relación entre el NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® Modelo RT 200 y por fotografía aérea multispectral con cámara GV 3000. Datos interpolados en grilla de 20 m x 20m. ($Y = -0.06 + X * 1.0$, $R^2 = 0.75$, $p = 0.0001$).

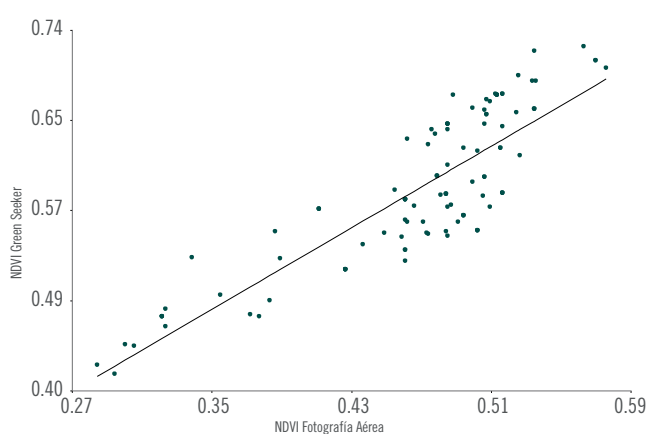


Figura 7: Relación entre el NDVI obtenido con un sensor GreenSeeker® Modelo RT 200 y por fotografía aérea multispectral con cámara GV 3000. Datos interpolados en grilla de 30 m x 30m. ($Y = -0.06 + X * 0.99$, $R^2 = 0.74$, $p = 0.0001$).

Los resultados sugieren que es factible realizar diagnósticos del status nitrogenado de los cultivos inferido a partir del NDVI determinado a partir de fotografías multispectrales de la misma manera que se logran con el uso de GreenSeeker.

De esta manera, se podrían utilizar los algoritmos de prescripción desarrollados para GreenSeeker para realizar prescripciones de aplicaciones variables de nitrógeno basadas en fotografías aéreas multispectrales.

Existen otros antecedentes del uso de fotografías para prescribir aplicaciones nitrogenadas en trigo (Flowers et al., 2003) y en maíz (Scharp y Lory, 2009). Sin embargo, no se conocen antecedentes que comparen fuentes de información como las evaluadas en este trabajo.

De acuerdo a lo anterior, se puede desarrollar un sistema de prescripción de dosis variable de implementación en un SIG, donde se apliquen los algoritmos existentes a datos de NDVI obtenidos desde fotografía multispectral. Esto puede resolverse a distintas resoluciones espaciales. Se pueden calcular

valores puntuales sobre la resolución original de las fotografías disponibles, o procesarse previamente mediante técnicas de agrupamiento, conformando zonas de valores de NDVI semejantes y calcular recomendaciones por zonas. Los mapas de prescripción pueden exportarse en formatos de intercambio genéricos (ej. .shp), compatibles con los sistemas de dosificación variable. El desarrollo de esta propuesta, requiere validación que incluya un tiempo mínimo de respuesta entre la realización del vuelo, el procesamiento de las fotos y cálculo de las prescripciones.

CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que el índice NDVI calculado a partir de fotografía aérea multispectral otorga información similar a la que se obtiene con sensores montados en máquinas autopropulsadas como el GreenSeeker. Estos resultados son aplicables al desarrollo de métodos alternativos para la prescripción de fertilización nitrogenada.

Eso estaría indicando que, con el uso de un *dron*, en menor tiempo se podría relevar un área y estar aplicando una fertilización, ya sea promedio a nivel de lote o variable según ambientes en momentos más avanzados de los cultivos; lo cual empieza a ser una alternativa más respecto al manejo de los insumos en tiempo y forma.

ALGUNAS PREGUNTAS FRECUENTES DE LOS DRONES

· ¿Cuánto cuesta un dron?

Puede costar desde 500 hasta 70.000 dólares, dependiendo del peso y estabilidad que se quiera tener. Por lo general, en los drones el precio aumenta según la cantidad de motores que posee. Si tiene cuatro motores sustenta un peso determinado, y si tiene ocho motores el peso será mayor y logrará más estabilidad.

· ¿De qué está hecho el dron?

Pueden ser de plástico, fibra de vidrio, aluminio, hasta de una especie de gomaespuma densa.

· ¿Qué tecnología usa para movilizarse?

Depende de la plataforma que se utilice, pero está basado en motores eléctricos que hacen girar las hélices.

· ¿Qué tipo de cámara suele incorporar?

Las cámaras que se les pueden montar pueden ser desde la básica tipo Go Pro, a cámaras de fotos comunes o pasando a cámaras multispectrales, térmicas, según lo que se desee procesar y conocer de los cultivos en el caso que se use con fines agrícolas.

· ¿Cómo toma la fotografía?

A las fotos se las toma mediante sincronización con un GPS y quedan todas las fotografías geoposicionadas y formando mosaicos, con lo cual se logran mapas. Posteriormente se baja a una PC con un software y se las va juntando una con otra.