

Por **Pablo Legarreta** (DroneXplora)

Fotos: Gentileza Pablo Legarreta

Aplicaciones múltiples con relevamientos aéreos con drones enfocados a la industria de los hidrocarburos



La industria del petróleo y gas es una de la más demandante en cuestiones de calidad de datos como de innovación a la hora de aplicar esta tecnología. En este trabajo se mostrará una serie de ejemplos relevados para esta industria específica a partir de la fotogrametría con sensores RGB y multiespectral y se presentarán los resultados obtenidos.

La llegada de la tecnología del tipo VANT (vehículos aéreos no tripulados), conocidos como *drones*, abre las puertas a una gran variedad de aplicaciones en diversas industrias o actividades que exigen nuevas formas de adquirir datos para su posterior análisis. La industria del petróleo y gas es una de la más demandante en cuestiones de calidad de datos como de innovación a la hora de aplicar esta tecnología. En este trabajo se mostrará una serie de ejemplos relevados para esta industria específica a partir de la fotogrametría con sensores RGB y multiespectral y se presentarán los resultados obtenidos, como ortofotomosaicos de alta resolución, modelos topográficos de alta precisión, diversos estudios en detalle, como análisis de pendientes, simulación de redes de drenaje y detección de fracturas, cálculos volumétricos para acopios, filtrado de nube de puntos para la remoción virtual de estructuras y vegetación para la generación de modelos digitales del

terreno sin interferencias, modelado 3D de afloramientos para estudios de geología y aplicación de cámaras multiespectrales para análisis del terreno para diferenciación de superficies rocosas y análisis de impacto ambiental.

Los ejemplos que se muestran son el resultado de varios años de trabajo en los que se aplicó esta tecnología, que continuamente ofrece nuevos abanicos de aplicaciones para diseño de locaciones e instalaciones, estudios geológicos regionales y de detalle, análisis del terreno para simulación y detección de zonas de erosión o inundación, integración con base de datos del tipo GIS, entre otros.

VANTs o *drones*

Existen dos tipos principales de *drones* o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT): los de ala rotativa o multirrotores y los de ala fija o avión (Figura 1). Los primeros tienen un vuelo estático y de precisión, como un helicóptero convencional, con el cual despegan y aterrizan verticalmente. Tienen la capacidad de levantar mucha carga y realizar relevamientos de estructuras verticales o complejas, ya que la cámara se encuentra sobre un estabilizador de 3 ejes y permite un control total de la misma. La desventaja de este tipo de *drone* es su poco tiempo de vuelo (35 minutos en promedio), su alcance limitado y su baja velocidad de desplazamiento (hasta 45 km/h). En cambio, el *drone* tipo ala fija o avión tiene la ventaja de tener un mayor tiempo de vuelo (60 minutos en promedio), mayor velocidad de vuelo (70 km/h en promedio) y mayor alcance desde la base de control. Estas cualidades se traducen en que son la herramienta ideal para realizar relevamientos de grandes áreas en menor tiempo y bajo condiciones climáticas o de relieve complejas. La principal desventaja es que no aterriza en forma vertical como el multirrotores, sino que necesita una zona despejada para su despegue y aterrizaje. Los vuelos de relevamiento se hacen de forma automática a partir de un plan de vuelo generado, supervisado y controlado desde tierra por una estación base que consta de una computadora con telemetría en tiempo real y video en vivo (Figura 1).

Fotogrametría digital

Es un conjunto de técnicas que a partir de numerosas fotografías tomadas con cámaras calibradas y con una mínima distorsión óptica bajo diferentes ubicaciones espaciales de forma estrictas permiten deducir o reconstruir una proyección cónica de la imagen, sus dimensiones y la ubicación de una zona. Posteriormente, a partir de la búsqueda de puntos geométricos en común entre imágenes se genera una nube de puntos XYZ y de allí el modelo 3D, topografía, ortomosaicos, etc.

La toma de estas fotografías es estrictamente planificada para cubrir la zona que se relevará mediante un alto solape lateral y transversal que permita la reconstrucción tridimensional del objeto o estructura (Figura 2). La resolución del relevamiento y las características del vuelo dependerán de la resolución del sensor de la cámara, la dis-



Figura 1. Arriba izquierda: drone tipo ala rotativa o multirrotor. Arriba derecha: estación de tierra para programación y supervisión de plan de vuelo para relevamiento con drones. Abajo: drones del tipo ala fija utilizados para relevamientos de grandes áreas.

Fotos: Gentileza Pablo Legarreta

tancia focal de la lente de la cámara y de la altura de vuelo respecto al terreno. Antes de cada relevamiento se definen cuatro parámetros básicos del relevamiento: 1) Resolución espacial (cm/pix), 2) Área que se relevará, 3) Precisión XYZ de los productos y 4) Productos requeridos.

Un flujo de trabajo simplificado y generalizado (Figura 2) consiste en la planificación y la ejecución del vuelo según las características del relevamiento (resolución, precisión, solape y topografía del terreno) y del sensor de la cámara que se utilizará (RGB, multiespectral o térmico, tipo de lente y resolución del sensor). Posteriormente, se procede a la geo-ubicación de cada imagen aérea, procesamiento y carga de puntos de control en el terreno tomado con GPS geodésico o datos geodésicos proveniente del *drone*, para finalizar con el procesamiento fotogramétrico para la ge-

neración de la nube de punto del terreno. A partir de este paso se procede a la generación de los productos finales: 1) Ortofotomosaico, 2) Modelo topográfico, 3) Modelo 3D con texturas y 4) Nube de puntos densa (Figuras 2 y 3).

Modelo topográfico

A partir de la interpolación de todos los puntos correspondiente a la nube de puntos se genera una superficie 3D que representa la estructura de lo relevado, en caso de ser un objeto se verá una superficie 3D, en caso de ser la superficie terrestre, se obtendrá un modelo topográfico de la zona (Figura 5, abajo izquierda).



Figura 2. Flujo de trabajo simplificado para un relevamiento fotogramétrico y productos obtenidos: planificación y ejecución del vuelo a Geo-ubicación de fotografías aéreas y procesamiento fotogramétrico a Generación de nube de puntos.

La resolución del relevamiento o producto, en este caso el modelo topográfico, dependerá de la altura de vuelo del *drone* respecto al terreno (siempre y cuando se utilice la misma de cámara o sensor), la resolución de los modelos topográficos varían entre 1 y 70 cm/pix (Figura 4). Por ejemplo, un vuelo a 600 m de altura, se generaría, dependiendo de la cámara, un modelo topográfico de 30 cm/pix en donde la nube de puntos tendrá un punto con coordenadas en los tres ejes XYZ cada 30 cm en longitud y latitud. Luego, al realizar la interpolación de estos puntos se genera un modelo topográfico de tan alta resolución que abre un nuevo abanico de utilidades, por ejemplo, cálculo volumétrico de acopios, cálculo de redes de drenajes, análisis de pendientes, ubicación óptima de locaciones para

minimizar movimiento de terreno, detección de fisuras o fracturas en las laderas de valles o cerros, simulación de inundación de zonas críticas, etc. (Figuras 5 y 10).

Estos modelos topográficos siempre requerirán el uso de puntos de control en el terreno tomados con GPS diferencial para que posea precisión centimétrica y permita hacer este tipo de aplicaciones. Existen *drones* que poseen módulo de GPS geodésico (RTK: "Real-Time Kinematic" o PPK: "Post-Processing Kinematic") en la misma unidad que genera una mejora en la precisión de los entregables, igualmente, siempre se recomienda tomar puntos de control para corroborar la precisión como también para "anclar" el modelo al terreno y mejorar la precisión general del relevamiento.

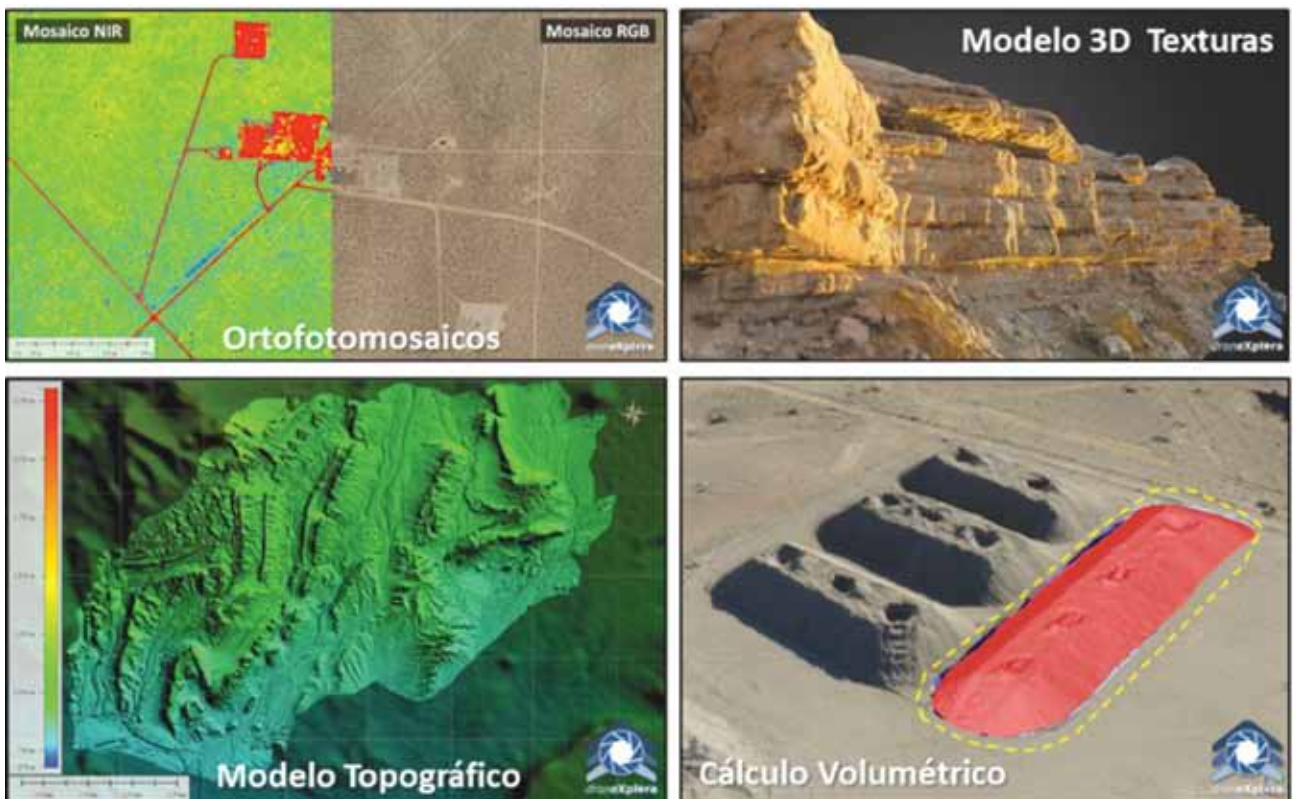


Figura 3. Productos de fotogrametría: ortofotomosaicos, modelo topográficos, modelo 3D con texturas (afloramientos, instalaciones, etc.) y cálculos volumétricos.



El vuelo de los *drones* está permitido excepto en ciertas zonas por debajo de los 122 msnt, según la normativa de la ANAC (Administración Nacional de Aviación Civil). Hay casos en los que se requiere volar a alturas mayores, para ello se debe realizar un pedido especial a la EANA (Empresa Argentina de Navegación Aérea) y ANAC.

Ortomosaico RGB, multispectral o térmico

A partir de la nube de puntos, modelado y la porción cenital de cada fotografía aérea se procede a la obtención del mosaico ortorectificado. Esto quiere decir que en todo el área que se observe del mosaico, ya sea en los extremos como la parte central, siempre se va a estar observando

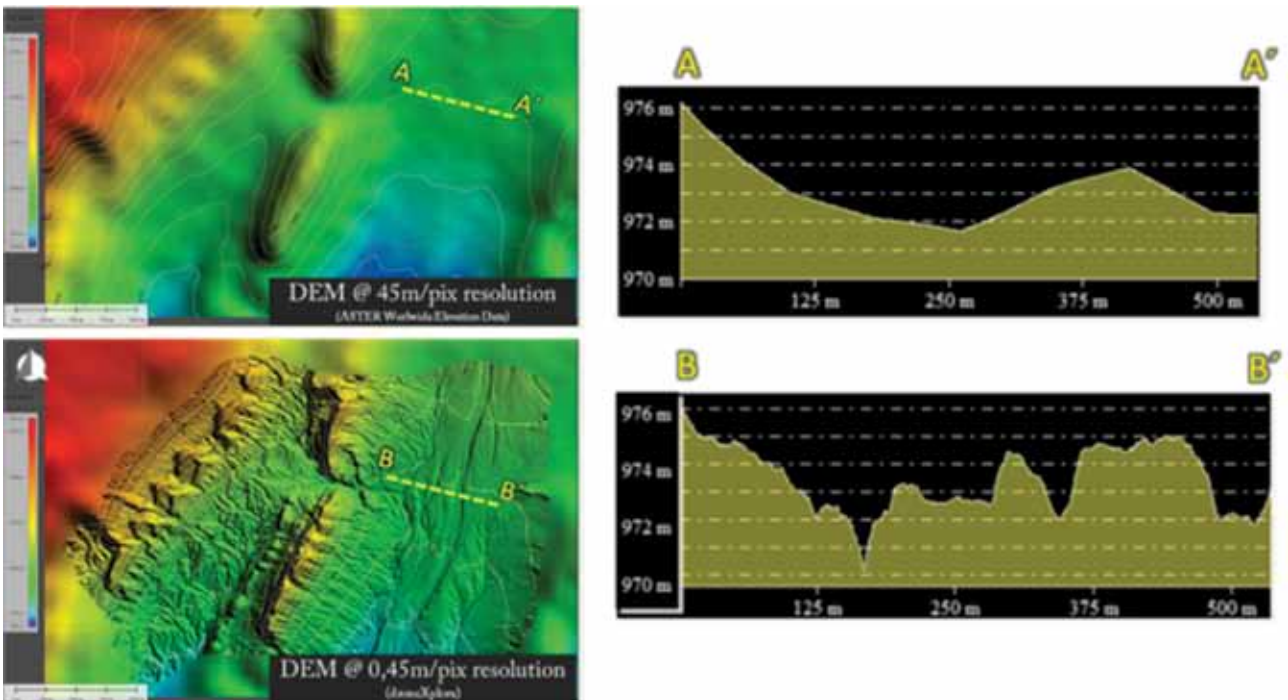


Figura 4. Comparación y sección transversal de un mismo modelo topográfico generado por satélite de 45 m/pix y otro generado por fotogrametría con *drone* de 45 cm/pix.



el terreno de manera perpendicular o cenital al mismo, es decir, no habría efecto de perspectiva o punto de fuga como sucede con las fotos aéreas individuales, o en menor escala, con las imágenes satelitales (Figura 6). Esto significa que, al realizar mediciones de longitud área, o ángulos,

no estaría distorsionada por perspectiva y, por ende, serían mensuras con mayor precisión comparado a los métodos convencionales mencionados.

Los ortofotomosaicos pueden estar compuestos por fotografías de diversas fuentes: monocromáticas, RGB, NIR

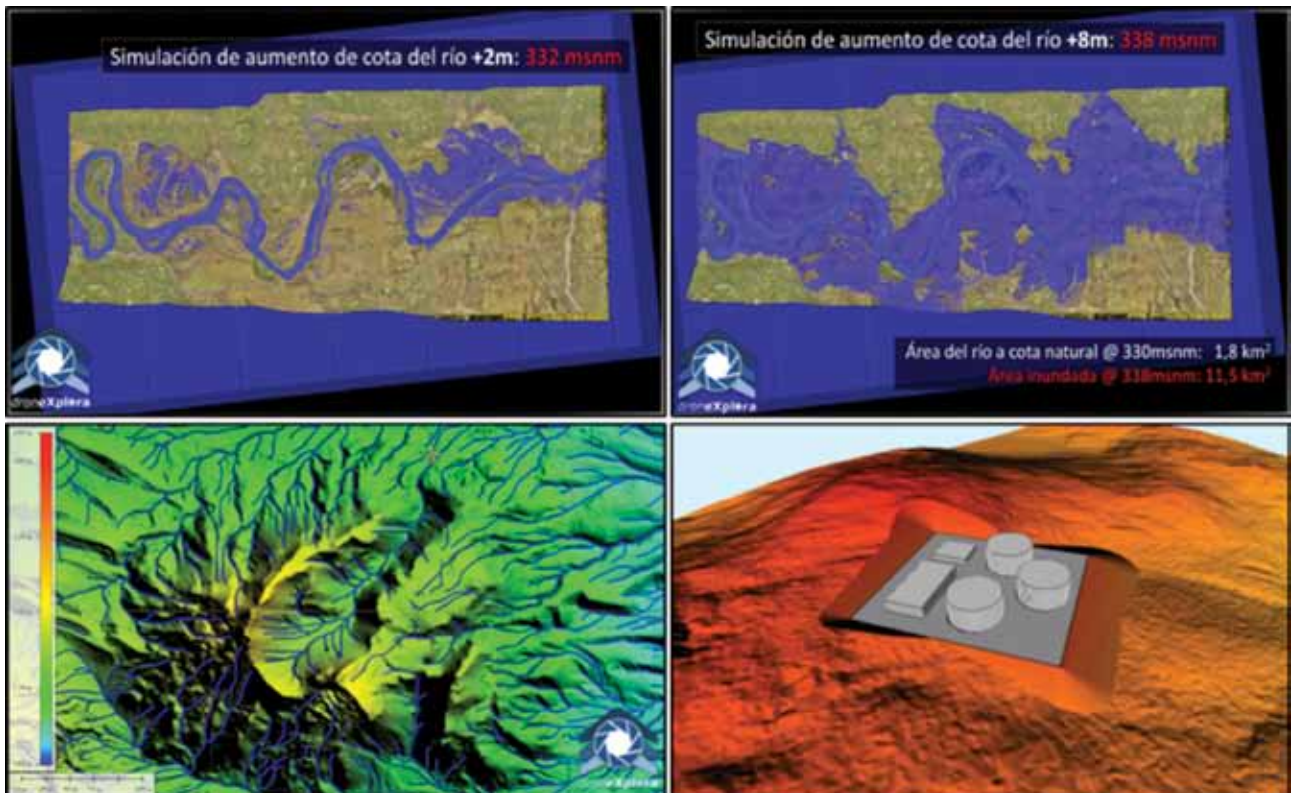


Figura 5. Superior: Simulación de aumento de cauce fluvial y área afectada por topografía. Abajo izquierda: Simulación de red de drenaje en cerro en erosión. Abajo derecha: Análisis de planificación óptima de locaciones para mínimo movimiento de terreno.



("near infrared"), NDVI (índice verde), imágenes térmicas para análisis de fuga de temperatura en estructuras, etc. La resolución de estas imágenes estará dada por la altura de vuelo del *drone* respecto al terreno (siempre y cuando utilizando el mismo modelo de cámara). Cuánto más cerca del terreno, mayor será su resolución. En caso de necesitarse precisión para su geolocalización, se necesitarán de puntos de control en el terreno medidos con GPS diferencial (Figura 7).

El uso de ambos productos de alta resolución, ortomosaico y modelo topográfico, genera una gran complementación a la hora de analizar detalladamente el terreno y encontrar zonas de riesgo geológico, erosión y/o deposición (Figura 8). A su vez ayuda en la planificación de obras para canalizar ríos efímeros que pueden llegar a generar soterramiento de locaciones o, asimismo, cálculo volumétrico de material necesario para optimizar el terreno.

Modelo con texturas 3D

A partir de una fusión de la superficie del modelo 3D con sus texturas fotográficas y renderizado pueden representarse formas 3D con muy alta resolución, si se hace uso de

un correcto visualizador 3D, puede utilizarse para estudios detallados de estructuras, instalaciones, afloramientos geológicos, etc. En el ejemplo de las figuras 9 y 10 se representa un afloramiento escaneado en 3D mediante fotogrametría, en el cual se superponen datos crudos del terreno, como perfiles geológicos, descripción de facies, geoquímica de superficie y descripción detallada de las rocas. Toda esta información se encuentra georreferenciada y sirve de respaldo digital de alta resolución para las interpretaciones realizadas en el campo. Asimismo, permite una correlación continua

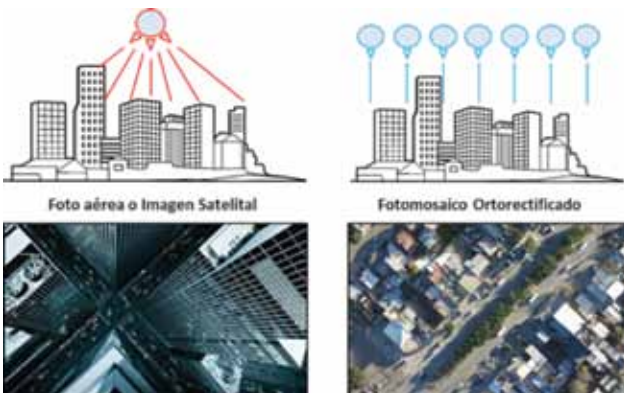


Figura 6. Esquema y comparación entre una foto aérea o imagen satelital convencional respecto de un fotomosaico ortorectificado. Izquierda: Efecto de perspectiva producto de una sola foto aérea o imagen satelital. Derecha: imagen ortorectificada a partir de numerosas fotografías aéreas y aplicación de fotogrametría.

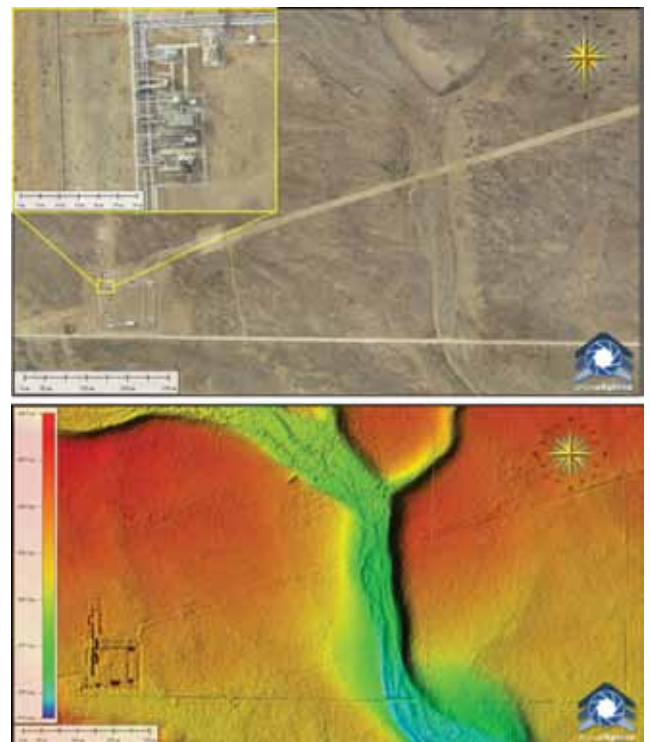


Figura 7. Arriba: captura parcial y detalle del ortofotomosaico RGB de 9 cm/pix de resolución espacial. Abajo: captura parcial del modelo topográfico de la misma área generado a partir de la nube de puntos por fotogrametría. Posee una resolución espacial de 20 cm/pix y puntos de control en el terreno para mayor precisión. Ambos: comparación visual de ambos productos para una misma área de la zona relevada. Notar los rasgos topográficos de los caminos, ductos e instalaciones.

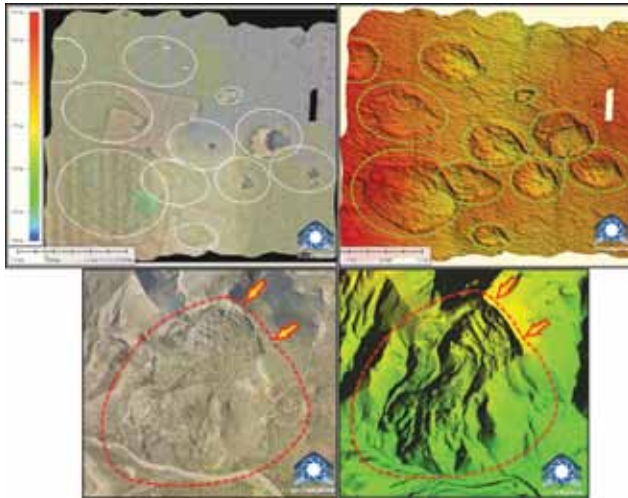


Figura 8. Arriba: ortomosaico (izquierda) y modelo topográfico (derecha). En este último se demarcan de los rasgos geomorfológicos de erosión eólica del terreno y deposición del material erosionado a sotavento. En el ortomosaico no pueden apreciarse fácilmente estos elementos geomorfológicos y en el terreno se ven suaves lomadas que dificultan su delimitación. Abajo: en el modelo topográfico (derecha) puede observarse una cicatriz de deslizamiento rotacional, el flujo y el depósito gravitacional de la ladera sur del cerro. En el ortomosaico (izquierda) no puede distinguir fácilmente, ya que se encuentra junto a un pastizal homogéneo que dificulta su detección. En el cerro hay presencia de locaciones de pozos petroleros y caminos.

de los afloramientos observando su estructura y características visuales dando modelos depositacionales más detallados y con soporte visual directo. Estas correlaciones pueden seguirse hacia zonas inalcanzables o de difícil acceso, donde el *drone* puede acceder fácilmente y escanearla en cuestión de minutos.



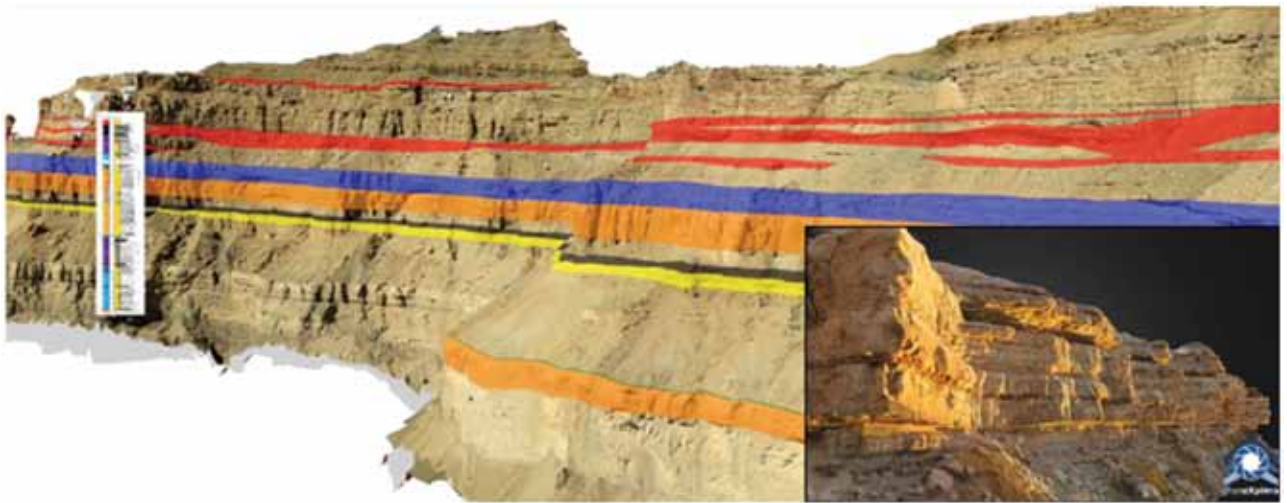


Figura 9. Izquierda: visualización 3D de afloramiento geológico con superposición de perfil geológico e interpretación de paleoformas con su correlación lateral. Toda la información se encuentra georreferenciada y permite realizar mediciones de espesor y longitud fácilmente. Derecha: visualización 3D de la Fm. Picún Leufú en la localidad tipo.

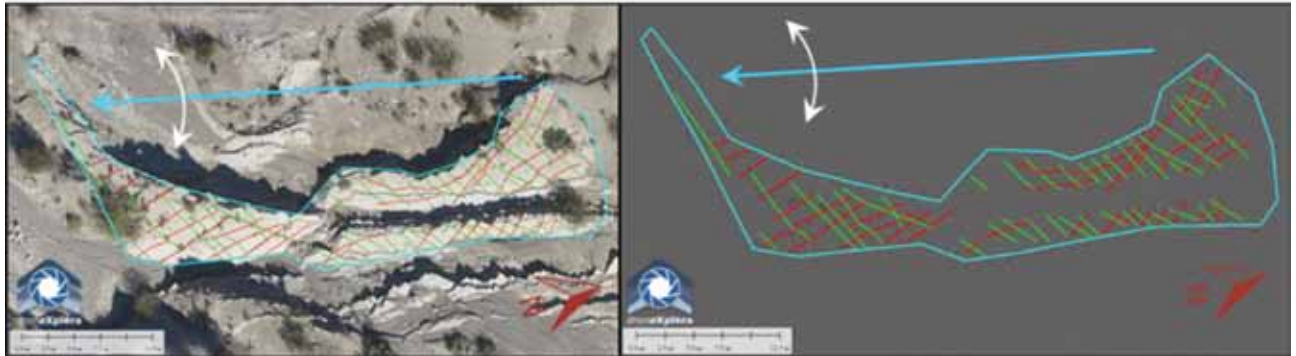


Figura 10. Afloramiento de la Fm. Agrio Superior al sur de la Sierra de Reyes, Mendoza. A partir de la visualización 3D y georreferenciación, se procedió al mapeo de los trenes de fracturas presentes en el flanco oeste del anticlinal. Se digitalizaron diferentes órdenes de fracturas y se estudió su distribución según el plano estructural. Esta información puede correlacionarse al subsuelo para estudiar en detalle las características de los reservorios fracturados.

Sensor multiespectral

Con la utilización de sensores multiespectrales calibrados al espectro visible (RGB) y parte del infrarrojo cercano, conocido como “NIR” (*near infrared*), comúnmente utilizadas en la agricultura para generar mapas de índice de salud vegetal, pudimos generar mapas para la industria pe-

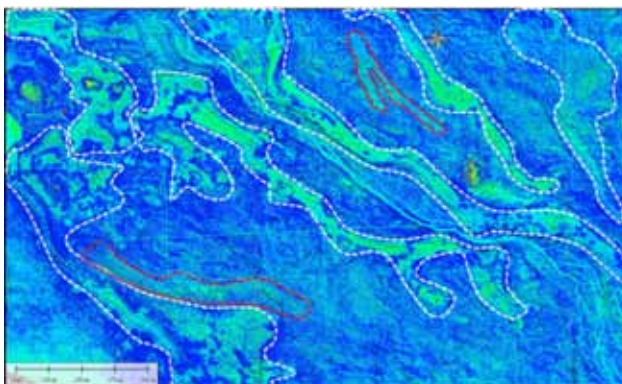


Figura 11. Diferenciación y digitalización rápida de la presencia de basaltos en la zona. La imagen RGB no permite su clara diferenciación. Los basaltos complican las tareas de construcción de locaciones y caminos por su alta dureza y dificultad para removerlos. Trabajo publicado en la CONEXPLO, 2018: Detección de basaltos someros mediante relevamiento multiespectral con *drones*.

trólera en los que se han podido diferenciar rocas entre sí, particularmente en zonas donde la distinción de basaltos del sustrato normal es difícil de realizar en mosaicos RGB o desde el campo por su similitud en colores y texturas. Resulta de especial interés allí donde los basaltos generan grandes dificultades a la hora de planificar caminos o construir locaciones (Figura 11). Asimismo, resultan útiles para generar un ortomosaico con diferentes índices que resalten rápidamente las diferentes características del terreno (árboles, caminos, pastizales, arenales, lagos, etc.) de gran uso a la hora de realizar informes de impacto ambiental de una concesión o para la detección de posibles pasivos ambientales (Figuras 12 y 13).

Conclusión

El continuo avance en la tecnología de los *drones* nos permite obtener una gran flexibilidad a la hora de realizar todo tipo de relevamientos según el dato o el producto que se quiere alcanzar. Los últimos avances en sensores y procesamiento de los datos abren un abanico continuo de aplicaciones como también el desarrollo de un nuevo set de datos según la necesidad de cada industria.

La continua implementación de esta tecnología permite abaratar costos de métodos convencionales terrestres o

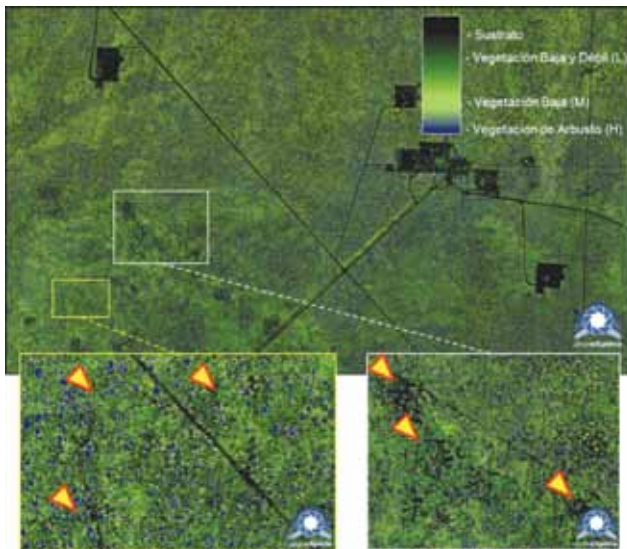


Figura 12. Ortomosaico multiespectral con índice de diferenciación de vegetación y sustrato. Este relevamiento abarca 90 km² relevados en dos días, se delimitan zonas de posible interés ambiental de manera rápida sin pérdida de tiempo de recorridos en el terreno en busca de posibles pasivos ambientales. Abajo izquierda: presencia de caminos abandonados de antiguas operaciones, 1980. Abajo derecha: presencia de posibles campamentos antiguos durante la adquisición sísmica, 1980.

satelitales e incluso introducen nuevas técnicas o procedimientos que antes no existían. Las ventajas son innumerables: mejor resolución (depende de altitud de vuelo), rea-

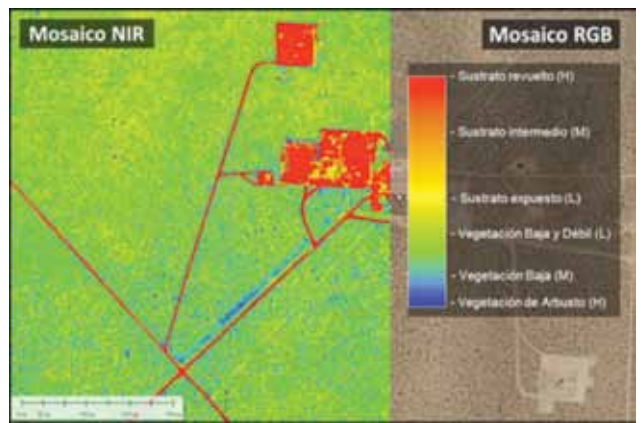


Figura 13. Ortomosaico multiespectral con índice de diferenciación por elemento en el terreno. Estos relevamientos son una imagen fija del impacto ambiental o posibles pasivos ambientales de una concesión muy útiles a la hora de iniciar o finalizar operaciones de la misma.

lizar relevamientos en días nublados, obtener resultados inmediatos sin fechas preestablecidas para disposición del satélite o disponibilidad de avión tripulado, actualización frecuente de imágenes según la necesidad, mejor calidad y nitidez en las imágenes por su toma a baja altura (menor efecto atmosférico debido al *smog*, neblina, efecto UV, etc.), menor costo, no hay riesgos de vida ni necesidad de pistas de aterrizaje y su infraestructura permite una buena accesibilidad a zonas limitadas, debido al reducido tamaño del equipamiento. ■



Imagen satelital, 2009. Colores lavados y tinte verde (efecto UV) en toda la imagen. Resolución 50cm/pixel.



droneXplora aerofotomosaico, marzo 2014 a 250 m de altura. Colores vivos y reales, mejor nitidez. Resolución 8cm/pixel.

