

DETECCIÓN DE BASALTOS SOMEROS MEDIANTE RELEVAMIENTO MULTIESPECTRAL CON DRONES

Pablo N. Legarreta¹

1: DroneXplora - plegarreta@dronexplora.com

Keywords: mapeo alta resolución, relevamiento aéreo, multiespectral, drones, UAV, VANT

ABSTRACT

The presence of basalts on the surface, sometimes partially covered by a thin layer of variable thickness of modern clastic sediments, is a problem in the areas where exploration and development operations are carried out, particularly when building locations and initial stage of well drilling are carrying out. In the same way, they can complicate the construction of roads, surface facilities, as well as seismic acquisition operations. The detection of basaltic levels using satellite images is sometimes not enough due to its low resolution. This paper describes a new tool based on multispectral images and photogrammetric techniques obtained with aerial vehicles (UAVs or drones) that allow detecting with high resolution the presence and distribution of the basaltic bodies present on the surface. By applying different algorithms in the multispectral image and the determination of scales of specific colors, it is possible to quickly and accurately differentiate the presence of basaltic rocks, sandy substratum, vegetation, transited and abandoned roads, perennial and ephemeral lakes and reworked soils with lower costs than conventional methods.

INTRODUCCIÓN

El uso de imágenes satelitales hiperspectrales como también la utilización de sensores hiperspectrales en aviones tripulados es de mucha utilidad a la hora de detectar mineralogías, alteraciones, composición de la roca en superficie como también a la hora de evaluar la vegetación o realizar análisis de impacto ambiental regionales.

La llegada de los drones y, la simplificación y miniaturización de la electrónica con sus sensores están permitiendo lograr nuevos avances en este nuevo campo de relevamiento aéreo que hoy en día se está replanteándose el uso de los mismos para nuevas aplicaciones, éste es el caso de los sensores multiespectrales, es decir, sensores que poseen un rango de detección menor al de los sensores hiperspectrales pero mayor a los sensores RGB, es decir, los sensores dentro del rango visible del ser humano (ver Fig. 1) (Campbell, 2002).

Los sensores más utilizados dentro de la industria del petróleo y gas, como también en la minería, son sensibles a los rangos denominados “Short-wave infrared” SWIR 5-6-7-8 que ayudan a detectar en forma remota diferentes mineralogías, zonas de alteración y que permiten

realizar estudios geológicos con estas imágenes (Jensen, 2007). En este trabajo utilizamos cámaras multiespectrales sensibles al rango visible RGB y que abarcan los rangos denominados “red edge” como la del infrarrojo cercano 1 y 2, es decir, abarcan un rango total desde los 400 nm hasta los 954nm.

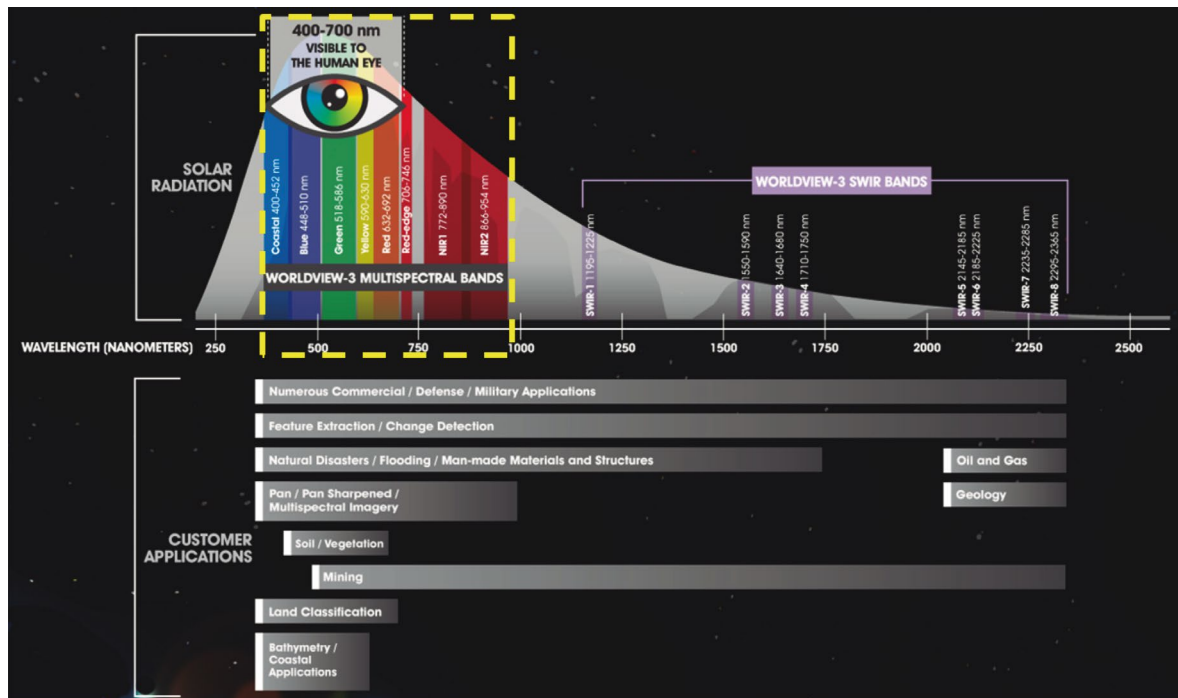


Figura 1. Rango de espectro electromagnético generalmente utilizado por sensores hiperspectrales. El recuadro amarillo punteado demarca el rango capturado en cámaras multiespectrales y tema de estudio en este trabajo.

Los sensores y cámaras multiespectrales siempre fueron muy utilizados dentro del campo de la agricultura para la evaluación rápida del estrés vegetal de la planta mediante el uso del índice verde o “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) (Roderick, *et al* 1996). Originalmente se la empezó a utilizar a partir de los satélites LANDSAT (U.S. Department of the Interior, 2015). con una resolución muy baja (15metros/pix) y, últimamente con la llegada de los drones y la adaptación de este tipo de cámaras a éstas nuevas herramientas permitió no solo mejorar en forma radical la resolución de las mismas, ya que la resolución depende de la altura de vuelo, sino que también mejora la calidad de la información capturada ya que los drones, al sobrevolar muy cerca de la superficie terrestre, permite capturar la información cercana a la superficie terrestre y con poca influencia del filtro natural causado por la espesa atmósfera entre el satélite y la superficie terrestre. Los nuevos usos de este tipo de cámara multiespectral en un campo de trabajo fuera de la agricultura está en pleno desarrollo y este trabajo describirá un análisis cualitativo para la diferenciación y zonificación de diferentes características del terreno.

En este trabajo se comprobará, a partir del relevamiento de un área utilizando un drone con

una cámara multiespectral si existe la posibilidad de diferenciar y zonificar la presencia de basaltos en el terreno, el cual, en este caso particular, el estudio del mosaico RGB presenta dificultades para distinguirlos. Cabe destacar que en algunas zonas de la cordillera, la presencia de basaltos en superficie suelen ser fácilmente delimitadas ya que el contraste de estas rocas con la superficie es bien definido, y en tales casos, un relevamiento con una cámara RGB suele ser suficiente para lograr su delimitación. Este trabajo se ubica en una zona donde el contraste entre los basaltos y la superficie es muy tenue y presenta altas dificultades para establecer los límites de los mismos y por ende su diferenciación. Por último, el uso de algoritmos específicos con imágenes provenientes de cámaras multiespectrales, ayudan en cualquier escenario a la delimitación de los mismos ya que se puede definir, mediante una paleta de colores, la identificación automática de los basaltos de la superficie haciendo de esta tarea una labor más fehaciente, sencilla y precisa.

METODOLOGÍA

Cámara Multiespectral

Para este trabajo, y todos los ejemplos que se vayan a mostrar en este trabajo, se utilizó una cámara digital Canon PowerShot S100 modificada, es decir, se procedió a desarmar el sistema óptico para remover el filtro de infrarrojo de fábrica y se lo reemplazo por un filtro calibrado NGB (“Near Infrared – Green – Blue”) (Fig. 2) que permite al sensor capturar el espectro infrarrojo cercano para un posterior relevamiento aéreo utilizando drones.

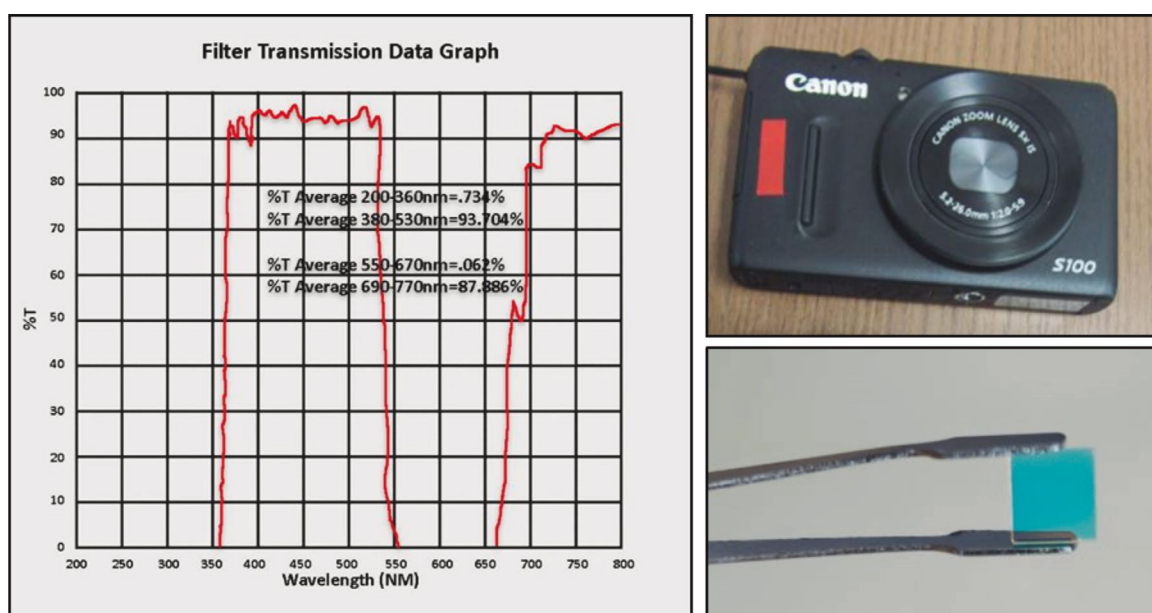


Figura 2. IZQUIERDA: Perfil de calibración del filtro NGB utilizado para modificar la cámara digital y que permite capturar el espectro infrarrojo cercano. (Hirakawa; Wolfe, 2008). ARRIBA DERECHA: Cámara modificada. ABAJO DERECHA: Filtro NIR calibrado instalado en la cámara manualmente.

Para este trabajo, se utilizaron dos cámaras: una cámara RGB (“Red - Green - Blue” o cámara convencional) y una NIR, es decir, “near infrared” que corresponde a la cámara multispectral sensible al espectro infrarrojo cercano explicado anteriormente.

VANTs o drones

Respecto a los drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), existen dos tipos principales de drones, los de ala rotativa o multirrotor y los de ala fija o avión (ver Fig. 3). Los primeros tienen la capacidad de tener un vuelo estático y de precisión como un helicóptero convencional, incluso despegan y aterrizan verticalmente. Tienen la capacidad de levantar mucha carga y realizar relevamientos de estructuras verticales ya que la cámara se encuentra sobre un estabilizador de 3



Figura 3. Tipos principales de drones. ARRIBA IZQUIERDA: drone tipo ala rotativa o multirrotor. ARRIBA DERECHA: drone tipo ala fija o avión. ABAJO: drones del tipo ala fija utilizados para relevar los basaltos referidos en este trabajo.

ejes y permite un control total de la misma. La desventaja de este tipo de drone es su poco tiempo de vuelo (hasta 35 minutos en promedio), su alcance limitado y su baja velocidad de desplazamiento (hasta 45km/h). Para el caso del drone tipo ala fija o avión, tiene la ventaja de tener un mayor tiempo de vuelo (60 minutos en promedio), una mayor velocidad de vuelo (70km/h en promedio) y un alcance mayor desde la base de control. La principal desventaja es que no aterriza en forma vertical como el multirotor sino que necesita una zona despejada para su despegue y aterrizaje.

Para los relevamientos aéreos en este trabajo se utilizaron drones del tipo ala fija por las ventajas mencionadas anteriormente, que en consecuencia permiten relevar una mayor área por vuelo comparado a los multirrotores disminuyendo así el tiempo en campo (ver Fig. 3).

Fotogrametría

La planificación y la ejecución de los relevamientos aéreos se realizaron con la idea de generar un ortofotomosaico RGB y NIR (“near infrared”) y un modelo topográfico generados a partir de la fotogrametría la cual es un conjunto de técnicas que a partir de numerosas fotografías tomadas con cámaras calibradas y con una mínima distorsión óptica permiten deducir o reconstruir una proyección cónica de la imagen, sus dimensiones y ubicación de una zona (Jong *et al*, 2012).

La toma de estas fotografías es estrictamente planificada para cubrir la zona a relevar mediante un alto solape lateral y transversal (aproximadamente del 70% al 80%) que permita la reconstrucción tridimensional del objeto o estructura (ver Fig. 4).

La resolución del relevamiento y características del vuelo van a depender de la resolución del sensor de la cámara, la distancia focal de la lente de la cámara y de la altura de vuelo respecto al terreno.

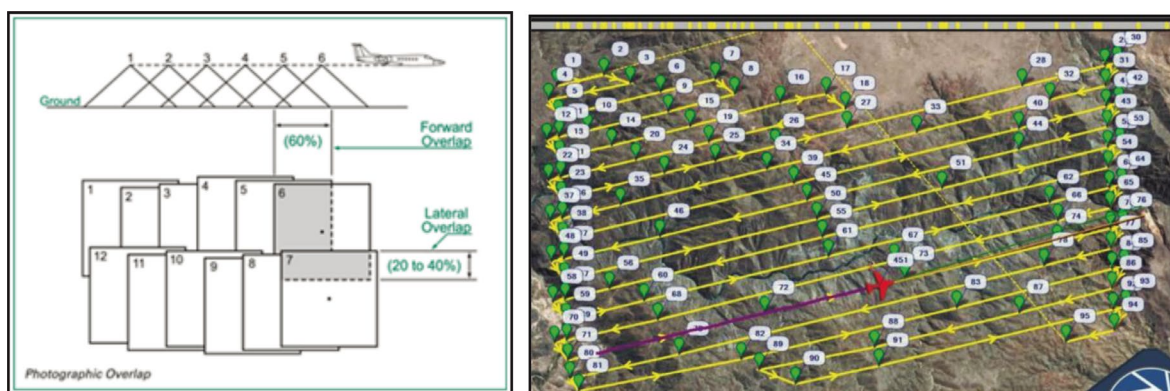


Figura 4. IZQUIERDA: Esquema de solape lateral y longitudinal de un relevamiento aéreo fotogramétrico. DERECHA: Captura de un plan de vuelo real fotogramétrico realizado con drones. Cada línea amarilla paralela representa las líneas de vuelo del drone.

La fotogrametría genera tres productos principales:

- 1) Nube densa de puntos, la cual cada punto se genera a partir de rasgos o detalles en las fotos que tengan en común con la foto aledaña en la zona de solape longitudinal como lateral. A partir de las relaciones fotogramétricas de estos puntos en común, se genera la nube de puntos tridimensional que reconstruye la escena relevada (Fig. 5).

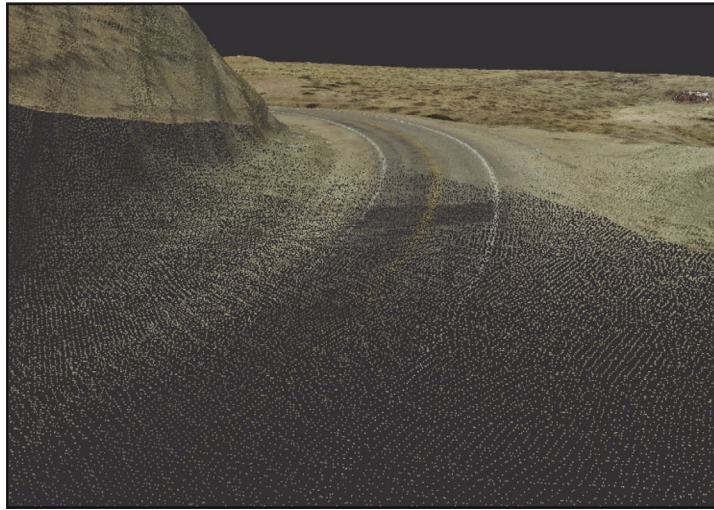


Figura 5. Nube de punto de traza de ruta generado por fotogrametría.

- 2) Modelo 3D o Topografía, 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 de la misma, en caso de ser la superficie terrestre, se obtendrá un modelo topográfico de la zona (ver Fig. 6).

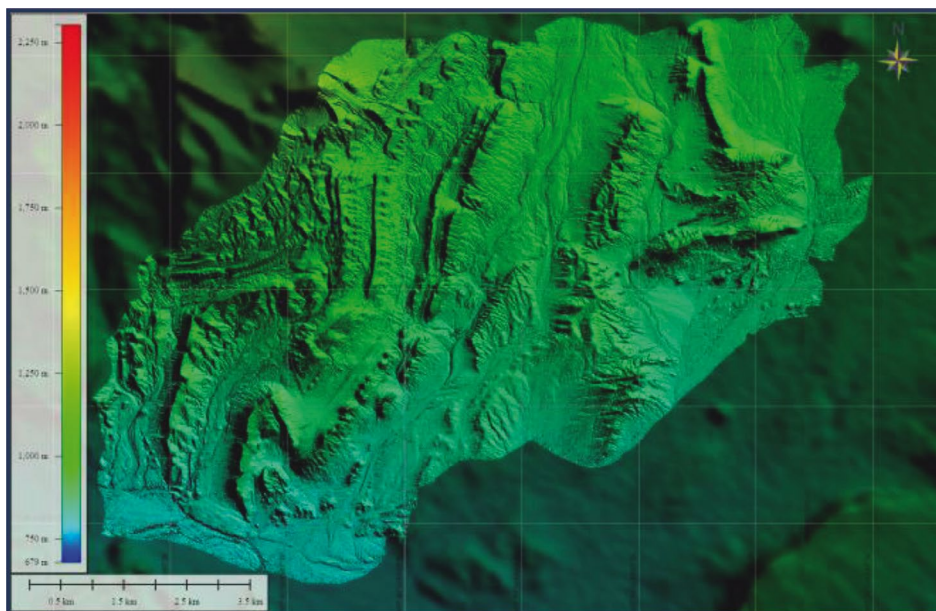


Figura 6. Captura de modelo topográfico de 10cm/pix de resolución sobrevolado a 250 metros sobre el nivel del terreno (msnt).

Los drones suelen volar por debajo de los 122 msnt según la normativa de la ANAC, aunque existen casos en que se requiere volar a alturas mayores y para ellos se debe realizar un pedido especial a la EANA y ANAC para que se aprueben tales los vuelos.

Como la resolución del modelo topográfico va a depender de la altura de vuelo del drone respecto al terreno (siempre y cuando utilizando la misma de cámara), la resolución de los modelos topográficos varían entre 5 a 70cm/pix. Por ejemplo, un vuelo a 600 metros de altura, se generaría, dependiendo de la cámara, un modelo topográfico de 30 cm/pix en donde la nube de puntos va a poseer un punto con coordenadas en los tres ejes XYZ cada 30cm 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 como 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 (Fig. 7 y 8). Estos modelos topográficos siempre van a requerir 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.

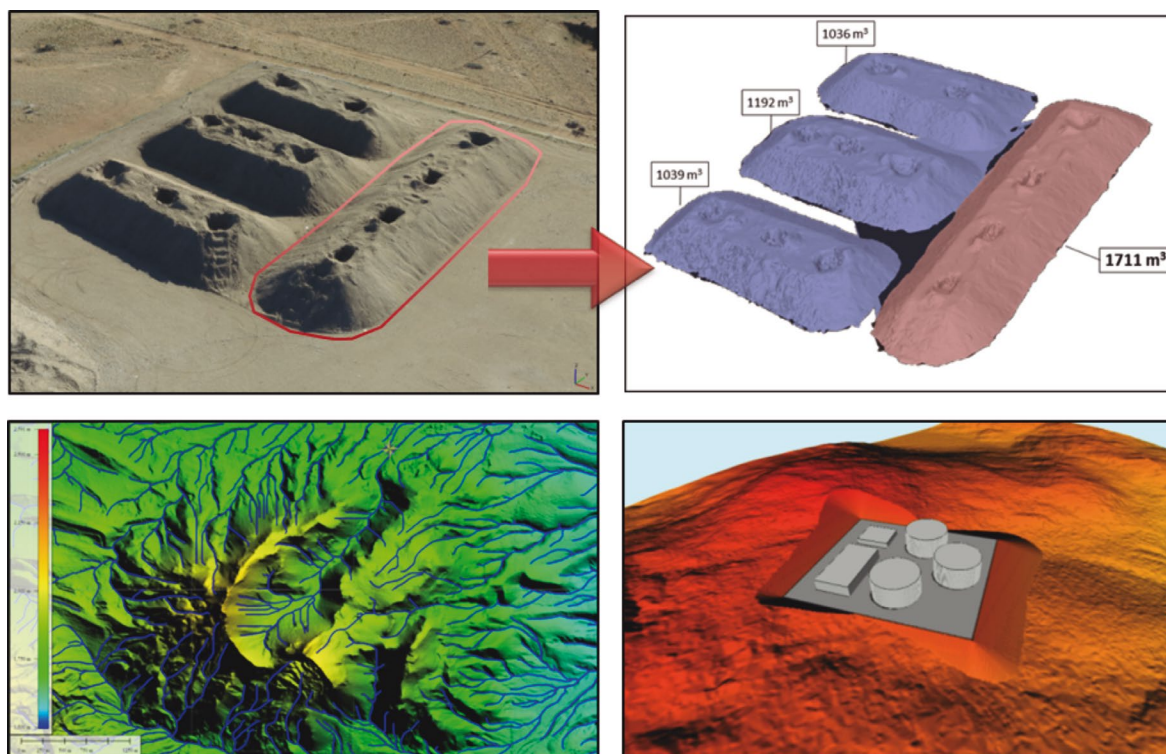


Figura 7. SUPERIOR: Cálculo volumétrico de acopios. ABAJO IZQUIERDA: Simulación de red de drenaje. ABAJO DERECHA: Ubicación óptima de locaciones para mínimo movimiento de terreno.

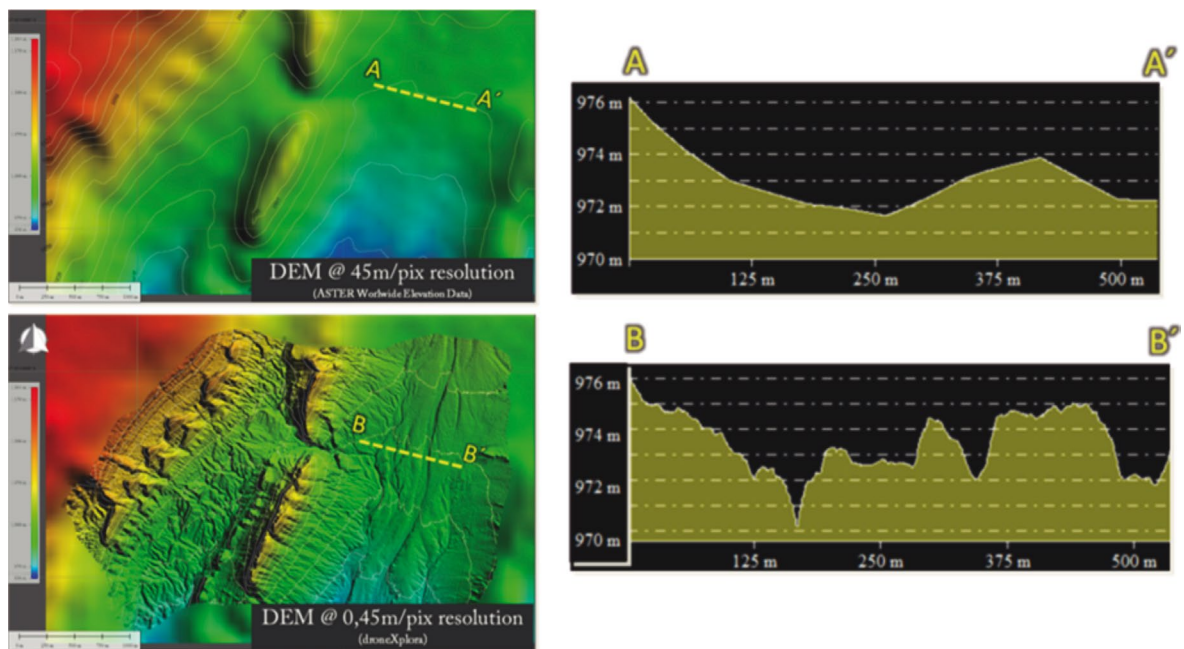


Figura 8. Comparación y sección transversal de un mismo modelo topográfico generado por satélite de 45m/pix y otro generado por fotogrametría con drone de 45cm/pix.

3) Ortofotomosaico, a partir del modelo 3D o de topografía generado por interpolación de la nube de puntos se procede a la ortorectificación del mosaico. A diferencia de las fotos aéreas e imágenes satelitales, este proceso genera en toda la extensión del fotomosaico una vista completamente ortogonal al terreno, es decir, una vista cenital (Fig. 9). La ventaja de esta característica es que, al momento de hacer mensuras de longitud, área y ángulo, ésta se medirá sobre el plano ortogonal al mismo y no van a sufrir efecto y distorsión de la perspectiva (Fig. 10).

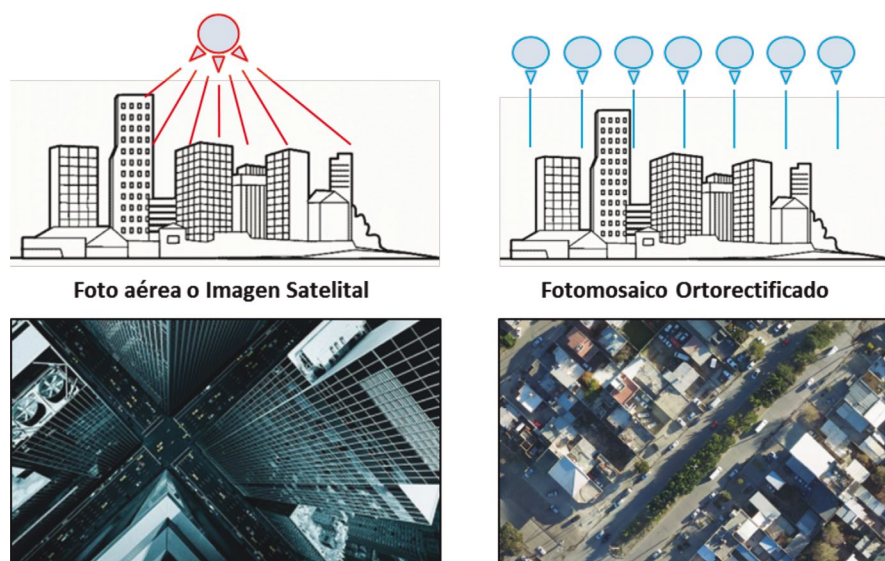


Figura 9. Esquema y comparación entre una foto aérea o imagen satelital convencional con respecto a un fotomosaico ortorectificado. IZQUIERDA: Efecto de perspectiva producto de una sola foto aérea o imagen satelital. DERECHA: Imagen ortorectificada a partir de numerosas fotografías aéreas y aplicación de fotogrametría.

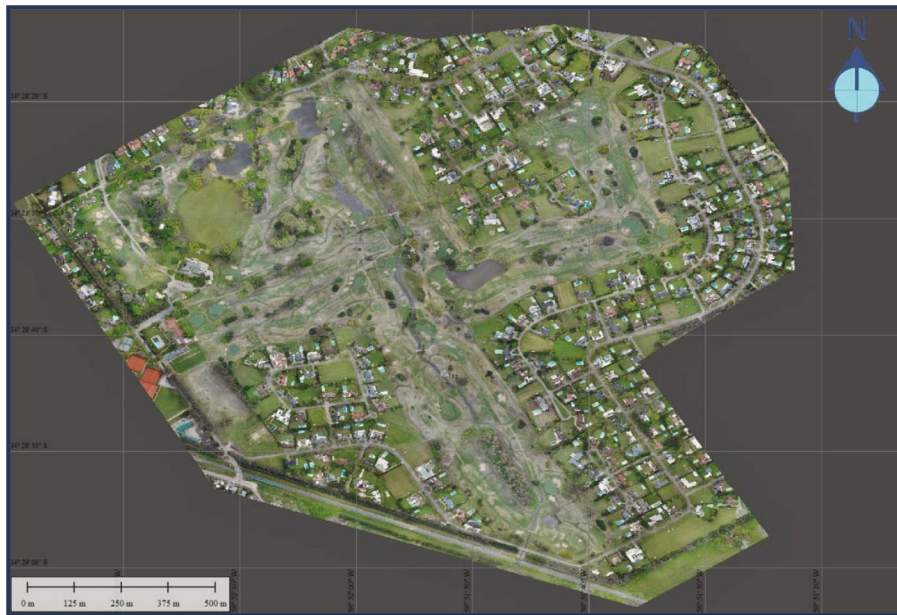


Figura 10. Ortofotomosaico de 4cm/pix de resolución. La ortorectificación permite realizar mensuras precisas ya que se encuentran libres de efecto de perspectiva.

Los ortofotomosaicos pueden estar compuestos por fotografías de diversas fuentes: monocromáticas, RGB, NIR (“near infrared”), NDVI (índice verde), imágenes térmicas para análisis de fuga de temperatura en estructuras, etc. La resolución de estas imágenes va a estar 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 (Fig. 11).

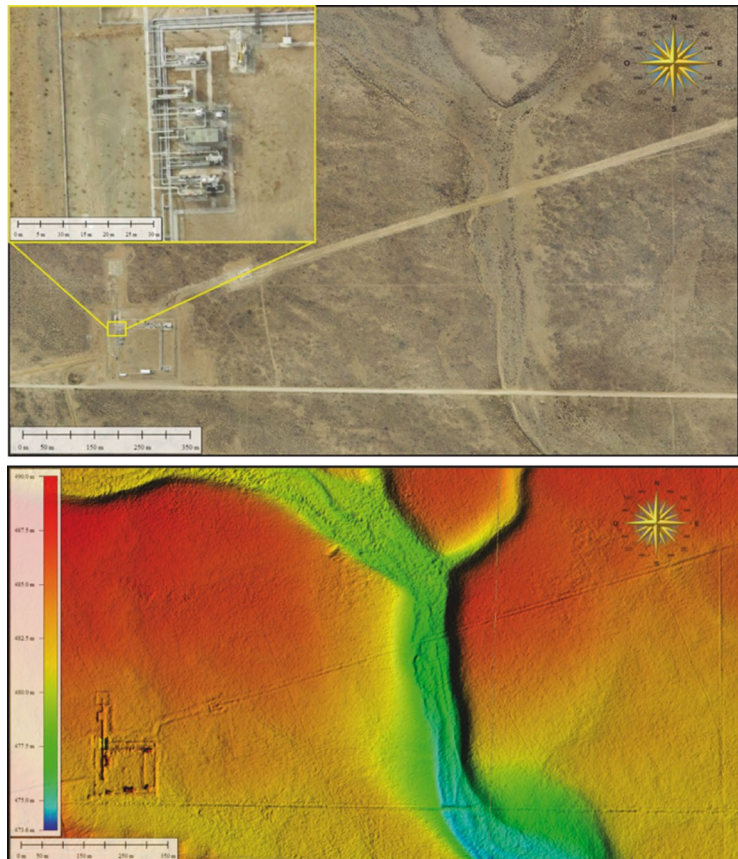


Figura 11. ARRIBA: Captura parcial y detalle del ortofotomosaico RGB de 9cm/pix de resolución espacial. ABAJO: Captura parcial del modelo topográfico del mismo área generado a partir de la nube de puntos por fotogrametría. Posee una resolución espacial de 20 cm/pix y puntos de control en el terreno para mayor precisión. AMBOS: Comparación visual de ambos productos para un mismo área de la zona relevada. Notar los rasgos topográficos de los caminos, ductos e instalaciones.

Área de estudio: Provincia de Santa Cruz, a 94 km al este de la ciudad de Calafate. Área de concesión “Dos Hermanos” pertenecientes a la empresa Compañía General de Combustibles S.A. (CGC) (Fig. 12).

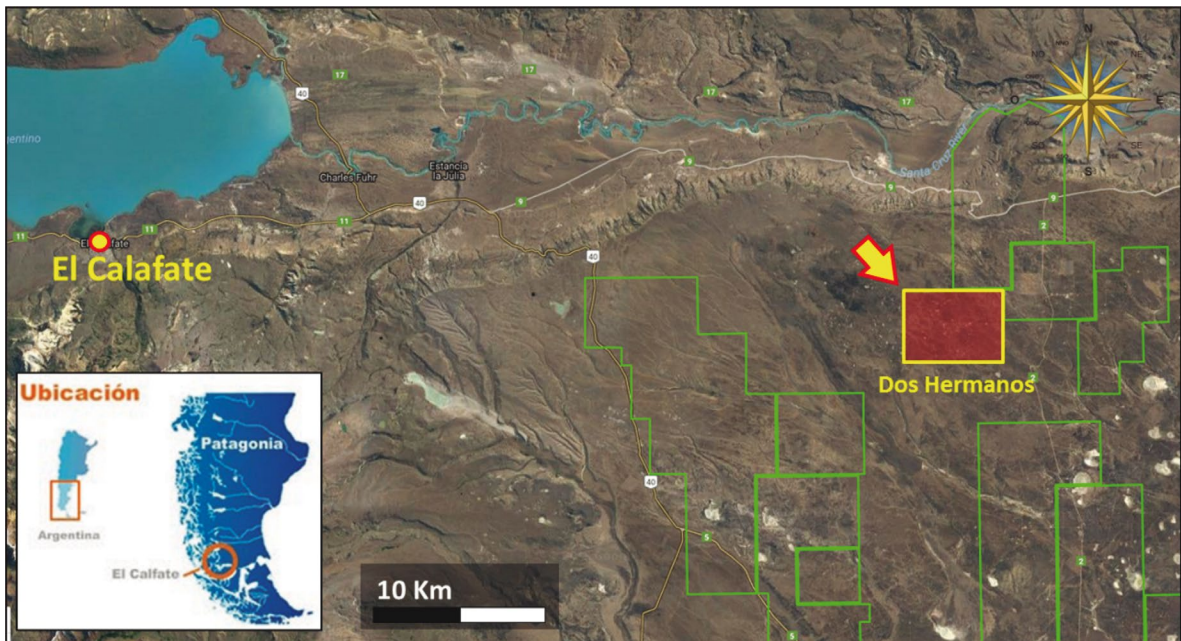


Figura 12. Ubicación del área de estudio

Características de la zona: Ambiente desértico típico de estas latitudes de la Patagonia. Escasa vegetación arbustiva casi seca. Sustrato arenoso y rocoso con cubierta meteorizada de tonos naranja a marrones claros. Presencia de basaltos cubiertos por la arena producto de su propia meteorización como también soterrados por capas cuaternarias (Fig. 13).



Figura 13. Foto desde tierra para ejemplificar el paisaje típico del área.

Problemática: La presencia de duros basaltos en superficie dificultan las operaciones en tierras para construir locaciones de pozos o instalaciones. Debido a la dureza de estos, se suele tardar mucho tiempo en la remoción de los mismos atrasando las operaciones de campo y aumentando los costos operativos. La detección de estos basaltos usando imágenes RGB se ve dificultada ya que el color de meteorización de los basaltos es el mismo que el de los lugares donde no hay basaltos y corresponde a arena inconsolidada.

Zona a relevar: Se hizo el relevamiento RGB para toda el área de concesión la cual abarca 90km². El relevamiento multiespectral se hizo solamente en una franja a modo de prueba y equivale a 10 km².

En total se realizaron 30 vuelos para relevar toda el área, 25 fueron con cámara RGB y 5 vuelos fueron para la sección parcial con cámara multiespectral (ver Fig. 14). La altura fue igual en ambos relevamientos y fue de 280 msnt dando una resolución espacial de 9cm/pix. Se tomaron un total de 24554 fotografías aéreas las cuales sus coordenadas geográficas fueron establecidas a partir de la computadora de a bordo del drone. El solape longitudinal fue del 80% y el lateral del 70% para garantizar una excelente calidad en la ortorectificación de los mosaicos como también en la calidad del modelo topográfico.

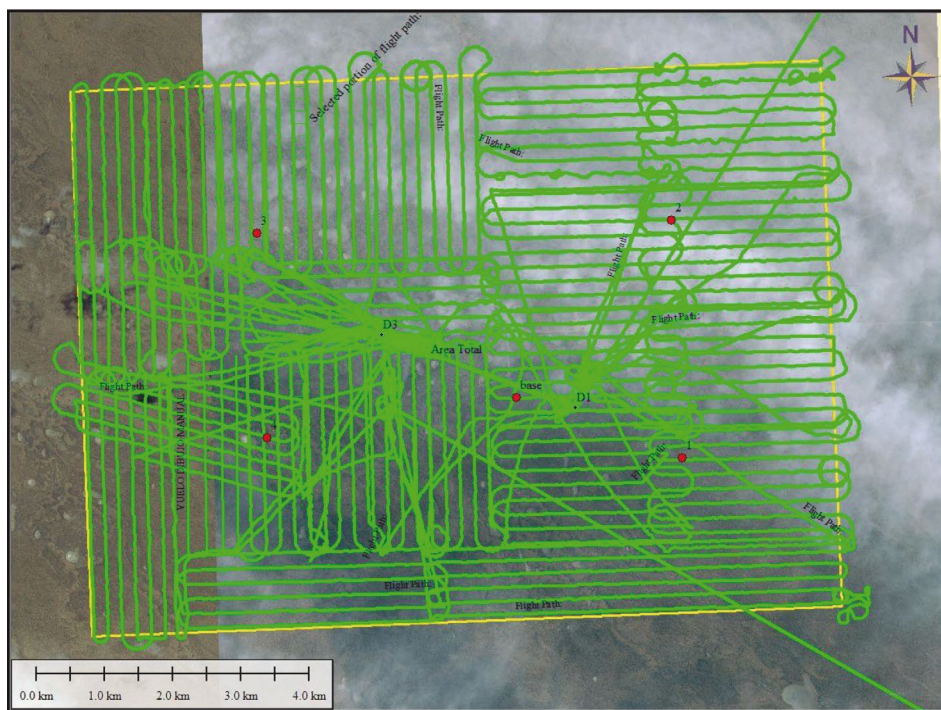


Figura 14. Trazo de los 30 vuelos realizados para relevar 98km² a una altura de 280 msnt

RESULTADOS

A partir de los 25 vuelos con cámara RGB en los cuales se cubrió toda el área en cuestión, se generó el ortofotomosaico RGB de 9cm/pix y el modelo topográfico de 20cm/pix (Figs. 11 y 15). Cabe destacar que estos entregables, si no se utilizan puntos de control en el terreno medidos con GPS diferencial suelen tener una precisión de ± 40 metros. Para este trabajo se utilizaron los pozos del área como puntos de control logrando una precisión de ± 50 cm.

Relevamiento Multiespectral:



Figura 15. Zona de relevamiento con cámara multiespectral resaltada con un polígono de color rojo.

El relevamiento con cámara multiespectral se llevó a cabo en una sección intermedia central del área total a relevar y equivale a 9km² (Fig. 15). Antes de realizar cada vuelo para esta zona, se realizó una calibración del sensor de la cámara con una muestra de patrón gris al 18% reflejado a luz directa del sol y evitando los días nublados. A partir de fotogrametría se generó el ortofotomosaico NIR, es decir, del dato RAW de la cámara (Fig. 16).



Figura 16 – Ortofotomosaico a partir del dato "RAW" o NIR de la cámara, es decir, sin aplicación de ningún algoritmo.

El mosaico RAW o NIR (“near infrared”) se encuentra sin ninguna aplicación de algoritmo de los que se suelen utilizar en análisis multiespectrales para resaltar diferentes rasgos, elementos o materiales.

A partir de este mosaico se va a aplicar una variante del algoritmo de Índice Verde muy utilizado en el ambiente de la agricultura para analizar el estrés de la planta (Knoth *et al*, 2010)

La variante de este algoritmo (Fig. 17) se debe al tipo de filtro calibrado que se está utilizando en la cámara delante del sensor, el cual es un filtro en donde el espectro infrarrojo cercano va a ser capturado por el canal azul del sensor, cuando lo más común es el canal rojo. No existe una ventaja demostrada entre el canal azul o rojo sino que simplemente se basa el tipo de filtro que se utiliza y en qué canal va quedar expresado el infrarrojo cercano (Soudani, 2012).

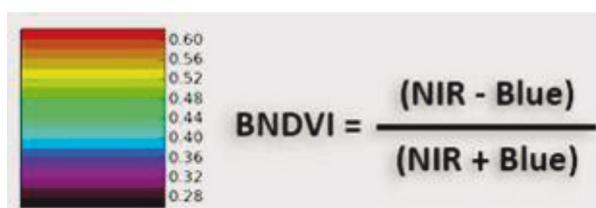


Figura 17. Algoritmo utilizado para Índice Verde o NDVI

Este algoritmo da como resultado un índice adimensional que varía entre -1 a 1 y está relacionado a la cantidad de espectro infrarrojo reflejado por la superficie y está, entre otros elementos, estrechamente relacionado con la salud de la vegetación.

Los valores entre -1 a -0,3 están representados por cuerpos de agua como lagunas, océano, piletones y tanques. Los valores cercanos al 0 corresponden al sustrato no orgánico del terreno. Los valores entre 0,3 y 0,7 corresponden a vegetación, cuanto más alto es el valor mayor es el estado de salud (menor estrés) de la planta. En la figura 18 se muestra un ejemplo de un área selvática en la provincia de Jujuy para mostrar la diferencia entre los colores correspondientes a los valores de NDVI que representan la vegetación, suelo e instalaciones. Hay que tener en cuenta



Figura 18. Ortofotomosaico con algoritmo de NDVI aplicado y una escala de colores personalizada que logra diferenciar la vegetación en el tono de anaranjado, cuanto más intenso es su color mejor es su estado de salud vegetal (bajo estrés). El color negro corresponde al sustrato del terreno, es decir, el suelo, carreteras, desmalezamiento y cuerpos de agua. El color magenta corresponde a instalaciones o construcciones en el área.

que existen materiales que no corresponden a vegetación y que sin embargo pueden encontrarse dentro de los valores de los mismos ya que su valor depende de su reflexión del espectro infrarrojo cercano, los materiales pueden ser muy variados (metales, pintura, entre otros). Valores mayores a 0,7 es muy raro que se obtengan ya que están indicando una reflexión casi total del espectro infrarrojo cercano.

Como el índice NDVI fue desarrollado para el análisis de estrés de la vegetación y la agricultura, y además sus escalas de colores están orientadas a discriminar los valores entre 0,3 y 0,7 donde resulta crítico el análisis del índice relacionado a la vegetación, estos valores y sus escalas de colores habituales no resultan óptimas para analizar los valores cercanos al 0 que corresponden al sustrato o terreno, resultando difícil su implementación para diferenciar sustratos. A su vez, la variación en los valores cercanos al 0 correspondientes al sustrato son muy bajos por lo cual se procedió a generar una escala de colores en la cual los valores entre 0,3 y 0,7 tuviesen un sólo color con el fin de resaltar los valores cercanos a cero y lograr acentuar las variaciones cercanos a este valor. (Fig. 19).

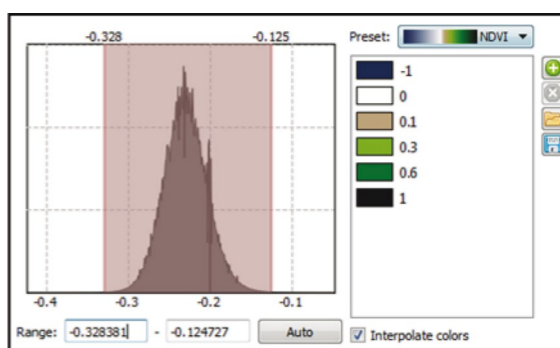
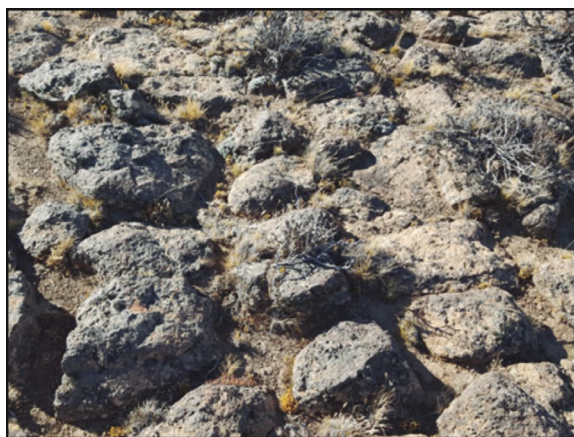


Figura 19. Ejemplo de una de las pruebas de escala de colores cercanos a cero que corresponden al sustrato.

Para poder utilizar una escala de colores que represente con mayor fidelidad la realidad, se realizaron pruebas con muestras fotográficas capturadas desde tierra, mediante la misma cámara digital RGB y la multispectral utilizada en el drone. Se eligió zonas del terreno en la cual estén representados los elementos generales del área que son la arena y pelita inconsolidada del sustrato, vegetación y rocas basálticas (Fig. 20).



RGB



NIR (RAW)

Figura 20. Ejemplo de la toma de muestras en tierra usando la cámara RGB y multispectral utilizada en los drones. IZQUIERDA: Fotografía tomada con cámara convencional RGB. DERECHA: Fotografía tomada con la cámara multispectral. No posee ningún algoritmo aplicado, el dato es original (RAW).

Posteriormente, se generó una escala de colores que logre representar por separado los elementos mencionados (Fig. 21).

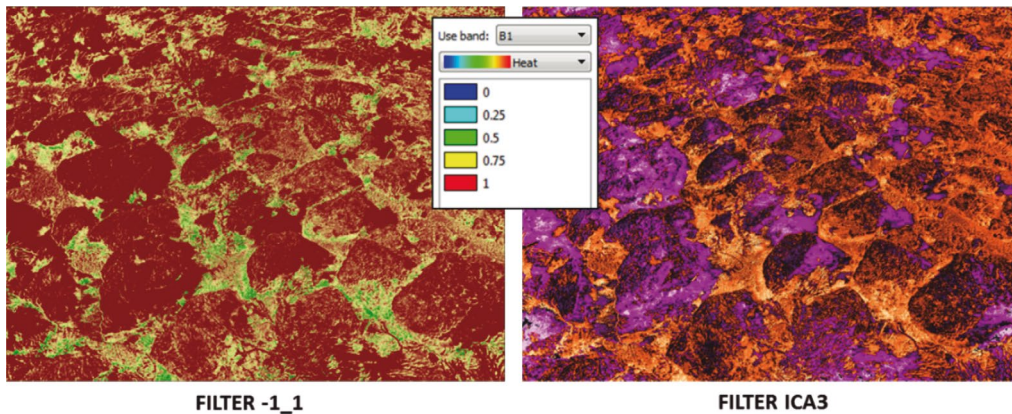


Figura 21. Ejemplo de diferentes escalas de colores aplicadas a imágenes capturadas con la cámara multiespectral, con la aplicación del algoritmo de NDVI. IZQUIERDA: La escala de colores separa la vegetación (color verde) del resto de elementos (color rojo) pero no discrimina basaltos de la arena. DERECHA: La escala de colores separa la vegetación (naranja claro), la arena (naranja), meteorización intensa de basaltos (negro) y los basaltos (magenta).

Mediante prueba y error, se fue mejorando la escala de colores hasta lograr diferenciar los basaltos, vegetación y arena y pelita inconsolidada del terreno con estas muestras de terreno mencionadas. Cuando se llegó a una solución en la cual se podía distinguir los elementos en numerosas capturas de muestras del terreno, se procedió a aplicar la misma escala al ortofotomosaico NIR.

Debido a que el ortofotomosaico NIR abarca mayor cantidad de área y por ende diferentes elementos del lugar como caminos, instalaciones, lagos secos, locaciones, basaltos, etc, comparado a las muestras en tierra, se aplicaron dos escalas de colores diferentes. Una nombrada “blue filter” con una gama de colores azulados en donde se diferencian la mayor cantidad de elementos, pero posee mayor dificultad a la hora de ver los basaltos aislados. Y otra segunda escala de colores con el nombre de “heat filter” en la cual se agrupo diferentes elementos en una misma tonalidad ayudando a diferenciar los basaltos con mayor facilidad. Los resultados son presentados en la Figura 22.

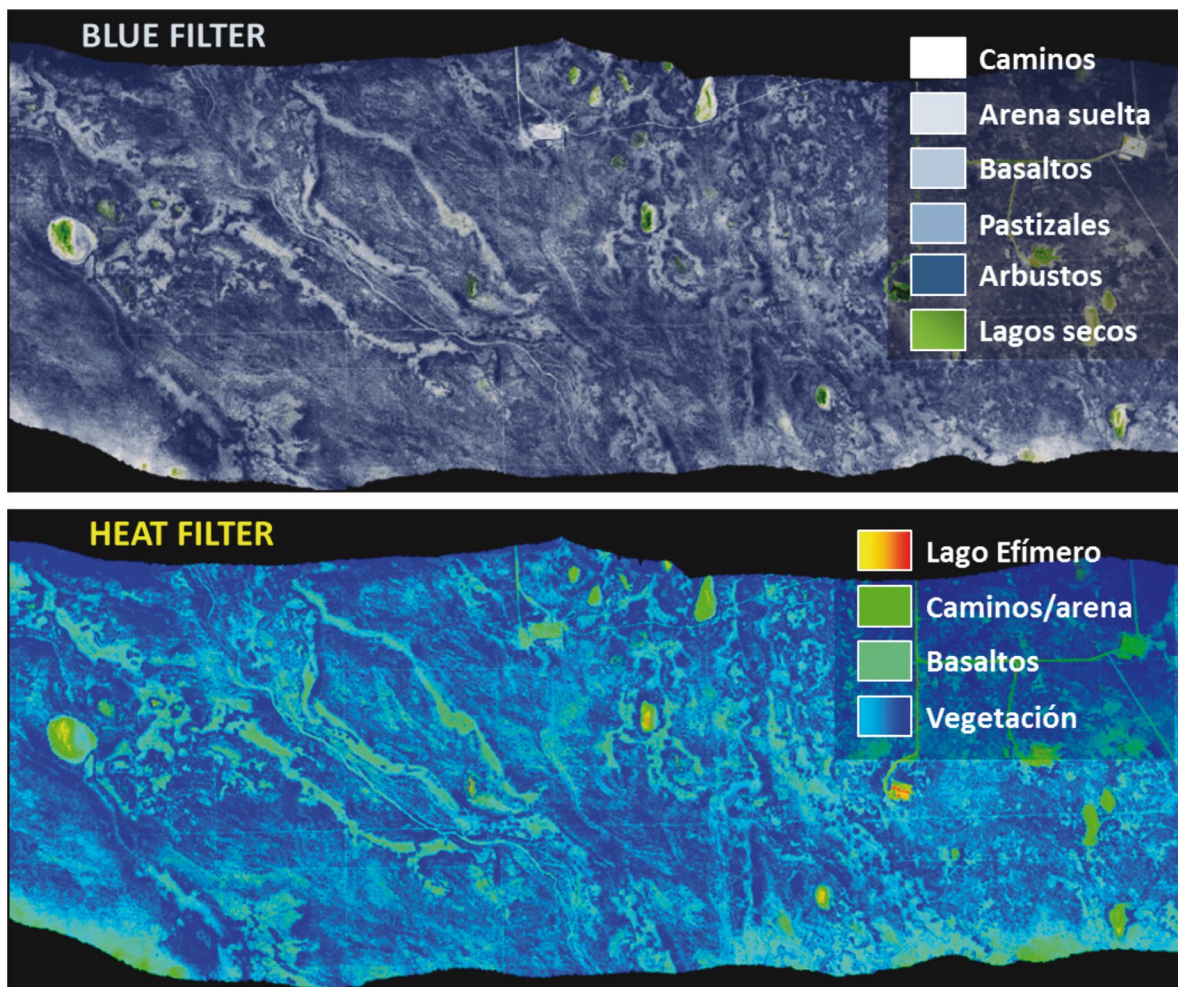


Figura 22. Resultados obtenidos para el ortofotomosaico NIR según la aplicación de las escalas de colores particulares para diferenciar los elementos. ARRIBA: La escala abarca mayor cantidad de elementos pero posee mayor dificultad para distinguir los basaltos. ABAJO: La escala agrupa los elementos en diferentes tonos facilitando la diferenciación de los basaltos.

A partir de estas imágenes, en particular la que posee el filtro “heat filter” se puede ver como las coladas basálticas quedan muy bien delimitadas por la aplicación del proceso explicado anteriormente. Debido a la altura de vuelo realizado, la resolución del ortofotomosaico es de 9 cm/pix, lo cual permite realizar acercamientos “virtuales” y delimitar en detalle los basaltos con el objetivo de tenerlos delimitados para la futura planificación de locaciones, caminos e instalaciones.

Cabe mencionar que estas coladas basálticas poseen una leve expresión topográfica la cual fue muy bien resuelta a partir de la fotogrametría realizada tanto con la cámara RGB como multiespectral, ver Figura 23.

Más allá que la mayoría de los basaltos poseen una leve expresión topográfica, algunas coladas basálticas, especialmente las que están parcialmente soterradas por la meteorización de los mismos o la de los alrededores, puede ser detectadas por la imagen multiespectral y no se observan en la

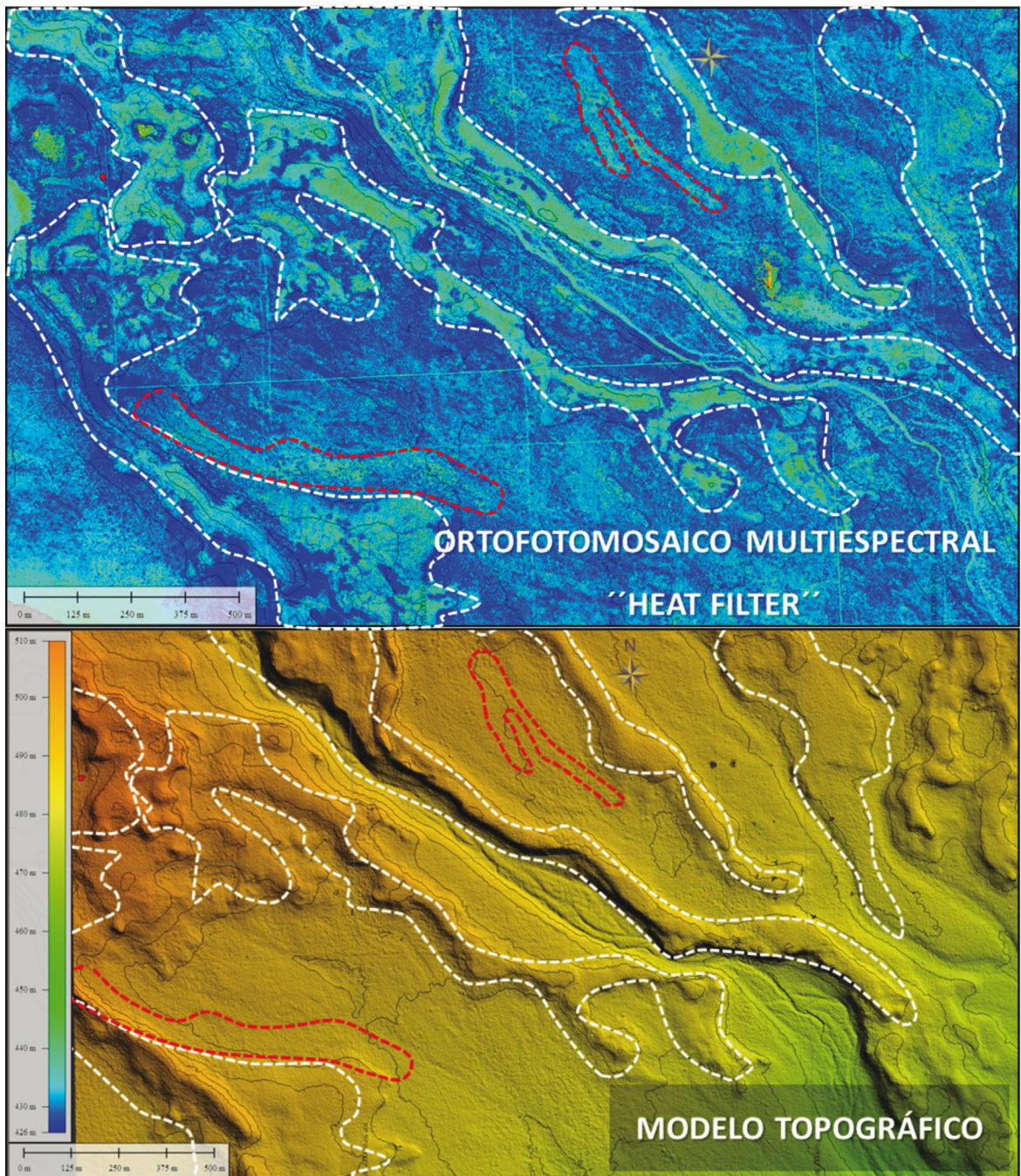


Figura 23. Recorte del ortofotomosaico multiespectral (ARRIBA) y comparación con el modelo digital del terreno o DEM (ABAJO) para denotar su expresión topográfica. Los basaltos con expresión topográfica se encuentran delimitados por una línea punteada blanca mientras que aquellos que no presentan expresión topográfica se encuentran de color rojo.

topografía generada por fotogrametría. Estas fueron señalizadas en la Fig. 23 mediante contornos punteados rojos. Es por esto que para delimitar los basaltos es recomendado utilizar ambos productos.

A partir de la fusión entre el modelo topográfico y el ortofotomosaico multiespectral con la escala de colores aplicada para diferenciar los basaltos, se puede generar modelos 3D texturizados

para ver mejor la expresión topográfica que presentan y a su vez ayuda a delimitar los basaltos más voluminosos ya que ambos productos se complementan. En la figura 24 se presenta una vista 3D con vista hacia el noroeste de una de las zonas en cuestión. La topografía se encuentra exagerada 7 veces para aumentar la diferencia de cotas entre el sustrato y los basaltos.

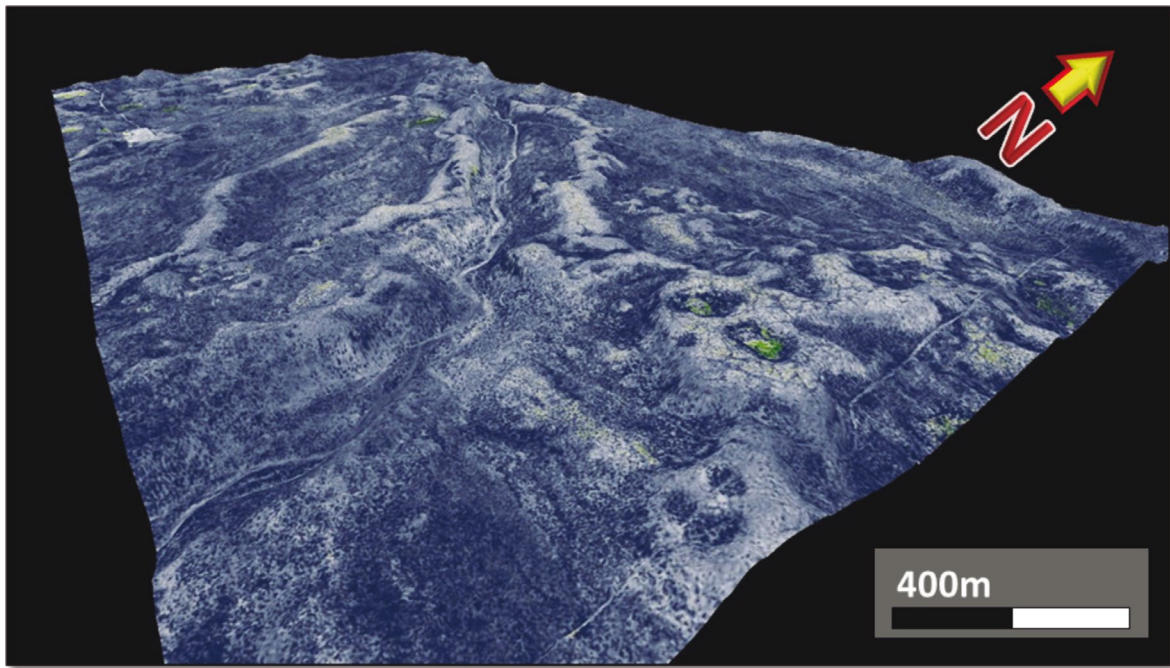


Figura 24. Vista 3D entre el modelo topográfico y el ortofotomosaico multiespectral. Exageración vertical X7.

Un aspecto importante observado en la delimitación de los basaltos fue que en algunos de estos cuerpos se lograron ver patrones de fractura producto del enfriamiento y contracción del material original de los mismos al momento de fluir como lava basáltica, así como también producto de su meteorización. Las fracturas poseen el centímetro de ancho y por lo tanto se encuentran por fuera de la resolución espacial del ortomosaico (9 cm/pix). Este efecto resultó de gran interés, por lo cual se decidió a investigar con mayor detalle.

A partir de una observación minuciosa de las fotos de muestras en el terreno, se concluyó que las fracturas no se pueden distinguir con el ortomosaico, como era de esperar, por lo que analizando los valores de NDVI en estos patrones geométricos se observó que corresponden a la presencia de arbustos (valores entre 0,3 y 0,5), los cuales suelen crecer a lo largo de estas fracturas debido al sustrato lábil y que concentra una mayor humedad que el resto del área desértica. Estos patrones geométricos se pueden observar en la figura 25.

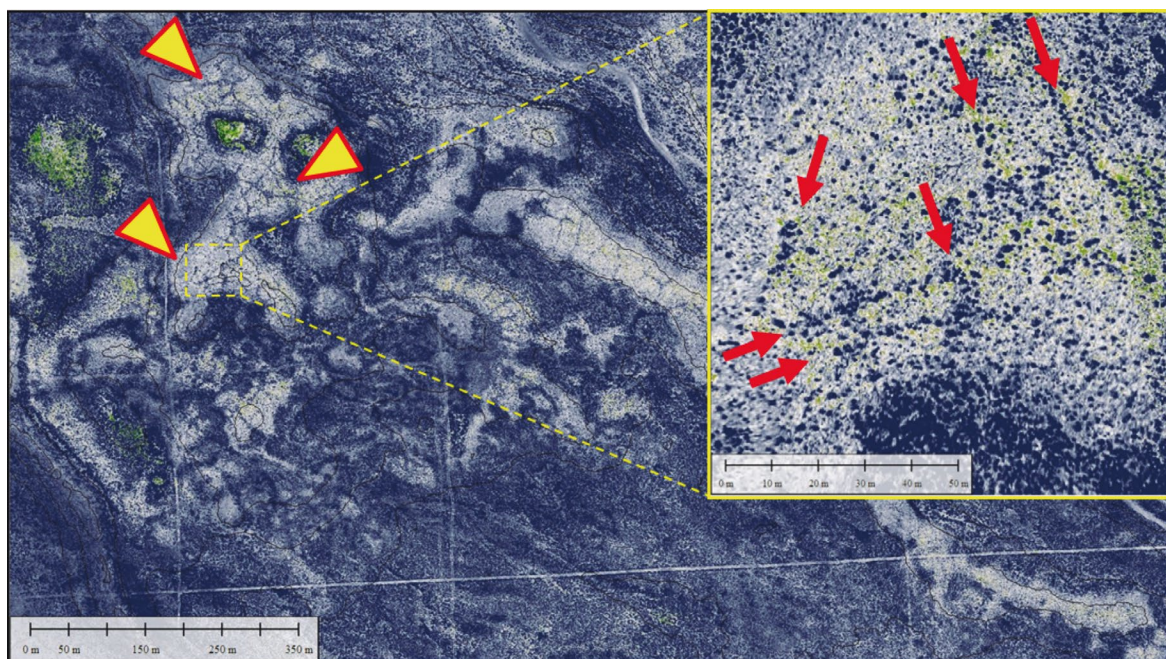


Figura 25. Patrones de fracturas por contracción del material por enfriamiento de los basaltos al momento de fluir por la zona. La presencia de los arbustos a lo largo de ellas y sus valores de NDVI correspondiente a ésta vegetación logran reconstruir la traza de las fracturas centimétricas que se encuentran fuera de la resolución del relevamiento multiespectral.

CONCLUSIONES

Utilizando un algoritmo conocido como NDVI para las imágenes capturadas con una cámara multiespectral, y adaptando los datos y escala de colores se pudo diferenciar exitosamente, en forma cualitativa, la presencia de basaltos del sustrato arenoso y meteorizado, y de la escasa vegetación del terreno. Este método permite mejoras constantes a partir de la generación de nuevos algoritmos y escalas de colores adecuadas que logran diferenciar los diferentes elementos presentes en el terreno con herramientas que, hoy por hoy, se encuentran en una continua revolución con la llegada de los drones los cuales permiten utilizarlas en alturas más bajas que las satelitales y generan una mejor calidad del dato. La delimitación de estos basaltos permite conocer distribución en el campo y ayudará en el futuro en la planificación de locaciones de pozo, ductos, infraestructura, caminos y futuras adquisiciones sísmicas.

Cabe destacar que la herramienta ideal para este tipo de trabajos son los sensores hiperespectrales, ya que éstos a partir de la firma espectral registrada por el sensor, puede conocerse la mineralogía o estimar la composición de los materiales que se encuentran presentes en la imagen. Esta metodología es mucho más precisa y con años de desarrollo. La gran desventaja es que son sensores muy caros, grandes y pesados para ser transportados en un drone ya sea de ala fija o multirrotor. Es importante mencionar que la utilización de cámaras multiespectrales no reemplaza el uso de sensores hiperespectrales, sino que puede ser un complemento y/o alternativa al estudio de una zona con un menor coste y como de aproximación a un área a estudiar o explorar.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Compañía General de Combustibles S.A. (CGC) por permitirnos publicar los resultados de este estudio como también mencionar las áreas en cuestión.

A mi esposa y familia por ayudarme en lo espiritual y técnico durante el desarrollo de los relevamientos aéreos con drones.

A mis compañeros de trabajo por el apoyo y trabajo en equipo para llevar los relevamientos aéreos adelante.

REFERENCIAS CITADAS

- Campbell, J.B. ,2002.” Introduction to remote sensing (3.^a edición). The Guilford Press.
- Hirakawa, K., Wolfe P.J., 2008. “Spatio-Spectral Sampling and Color Filter Array” Design Inc.
- Jensen, J.R., 2007. “Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective (segunda edición)”. Prentice Hall.
- Jong, S.M. De, Addink, E.A., Hoogenboom, P., Nijland, W., 2012. “The spectral response of Buxus sempervirens to different types of environmental stress – A laboratory experiment”. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 74, 56–65.
- Knoth, C., Prinz, T., Loef, P., 2010. “Microcopter-based color infrared (CIR) close range remote sensing as a subsidiary tool for precision farming”, in: Proceedings of the Workshop on Remote Sensing Methods for Change Detection and Process Modelling, pp. 49-54
- Roderick, M., R. C. G. Smith, and G. Ludwick., 1996. ” Calibrating long term AVHRR derived NDVI imagery”. Remote Sensing of Environment 58: 1-12.
- Soudani, K., Hmimina, G., Delpierre, N., Pontailier, J.-Y., Aubinet, M., Bonal, D., Caquet, B., De Grandcourt, a., Burban, B., Flechard, C., Guyon, D., Granier, a., Gross, P., Heinesh, B., Longdoz, B., Loustau, D., Moureaux, C., Ourcival, J.-M., Rambal, S., Saint André, L., Dufrêne, E., 2012. “Groundbased Network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes.” Remote Sensing of Environment 123, 234–245.
- U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2015. “LANDSAT 8 (L8) Data users handbook”