

# Prospección arqueológica en NDVI con drones. El uso de geoEuskadi como herramienta de ponderación de un nuevo método

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 27, 192, 24-12  
noviembre-diciembre 2018  
ISSN: 1131-9100

*Archaeological survey using NDVI with drones. The use of  
geoEuskadi as a tool for testing a new method*

Juan José Fuldain González, José Ignacio Fuldain González

## Resumen

El objetivo de este experimento es comprobar la validez de la fotografía multispectral a baja altura para hacer prospecciones arqueológicas.

El experimento consistió en hacer fotos multispectrales desde RPA de diez parcelas de terreno por las que se suponía pasaba la calzada romana Iter 34 por Álava.

Con dichas fotografías se procedió a hacer orto-mosaicos georeferenciados de estas zonas y a calcular el índice NDVI, esperando que este índice mostrará en los cultivos marcas de crecimiento diferencial, de otro modo imperceptibles, correspondientes con la calzada romana.

Como resultado del análisis comparativo de las fotos históricas de geoEuskadi con las fotografías NDVI se puede afirmar que las unidades estratigráficas negativas (zanjas, pozos, silos...) dejan marcas de crecimiento positivas en NDVI y que las unidades estratigráficas positivas (muros, pavimentos, derrumbes...) dejan marcas de crecimiento negativas.

En ocho de las diez zonas prospectadas se ve claramente la calzada romana, pudiendo además ver en dos de estas zonas restos de asentamientos antiguos por lo que se puede considerar que el experimento fue un éxito y que la validez de la prospección arqueológica mediante fotografía aérea a baja altura con drones y cámaras multispectrales queda demostrada.

## Abstract

The objective of this experiment was to test the validity of multispectral low altitude photography in archaeological surveying.

The experiment involved taking multispectral photographs from a UAV of ten plots of land through which the Roman road Iter 34 is thought to have passed.

These photographs were used to create georeferenced orthomosaics of the zones and to calculate the NDVI index, anticipating that this index would show differential growth marks in the crops, imperceptible by other means, which correspond with the Roman road.

A comparative analysis of the historical photographs in the geoEuskadi database with the NDVI photographs confirms that negative stratigraphic features (ditches, wells, pits...) produce positive readings in NDVI whereas positive stratigraphic features (walls, surfaces, demolition deposits) result in negative readings.

The Roman road was seen clearly in NDVI in eight of the ten surveyed zones, furthermore two ancient settlements were identified in two of these zones. The experiment can therefore be considered a success and has demonstrated the validity of the method applied to archaeological survey.

**Palabras clave:** NDVI, arqueología, prospección, dron, geoEuskadi, teledetección, agricultura de precisión, multispectral, RPA.

**Keywords:** NDVI, archaeology, survey, dron, geoEuskadi, remote sensing, precision farming, multispectral, UAV.

Senior illustrator, Museum of London Archaeology

[jjfuldain@gmail.com](mailto:jjfuldain@gmail.com)

Piloto y gerente, Full-Drone S.L

[josfuld@gmail.com](mailto:josfuld@gmail.com)

Recepción 18/10/2018  
Aprobación 21/11/2018

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de fotografías aéreas en arqueología, es una técnica con gran recorrido, desde los primeros vuelos en globo sobre Persépolis en 1879 por Friedrich Stoltze (Ceraudo, 2013) hasta nuestros días, se ha convertido en una herramienta clave para buscar nuevos yacimientos y obtener topografías detalladas en cantidades de tiempo muy reducidas.

De particular utilidad en la prospección arqueológica son las marcas de crecimiento diferencial en los cultivos (Figura 1), el crecimiento de las plantas se ve condicionado por el sustrato en que se encuentran, permitiéndonos así obtener información a través de ellas de variaciones en el sustrato (Webber, Heyd, Horton, Bell, Matthews y Chadburn, 2017). Donde hay una acumulación de piedras, las raíces de las plantas tendrán más dificultades en penetrar en el suelo, por lo que las plantas que estén directamente encima crecerán menos, por el contrario, las plantas que estén sobre canalizaciones enterradas, fosos, pozos y estructuras de corte similares encuentran en el sustrato una tierra menos compactada y más rica en nutrientes y/o agua, por lo que estas plantas crecen más (Figura 2). Para poder ver estas marcas claramente las fotos han de sacarse cuando los cultivos están en su momento de máximo crecimiento, en un día soleado y a primera



Figura 1. Marcas de crecimiento diferencial ocasionadas por los restos enterrados de una villa romana en Huermececes, Burgos. Foto tomada de Google Earth © 2018 Google.

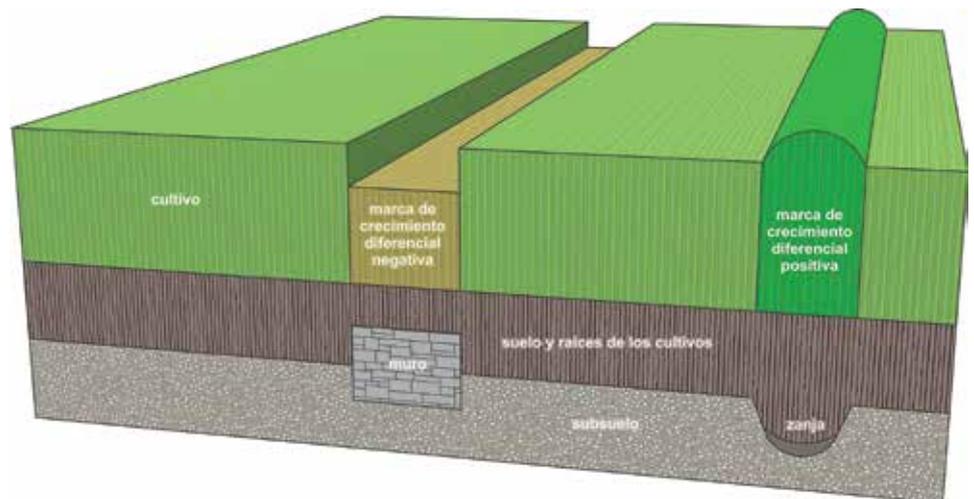


Figura 2. Distintos tipos de estructuras enterradas crean distintos tipos de marcas de crecimiento diferencial.

o última hora del día, a fin de que la luz rasante del sol haga sombras fáciles de ver desde el aire debidas a la diferencia de crecimiento de las plantas. Estas marcas de crecimiento diferencial de los cultivos han producido imágenes notablemente bellas y han descubierto gran cantidad de yacimientos arqueológicos, pero para obtenerlas estamos condicionados a hacerlas en un momento muy determinado del año, en un día soleado y en dos momentos muy concretos del día.

Tras varios años de experimentación con cometas y drones, sacando fotos en infrarrojo cercano, en 2017 Rafael Varón nos permitió por fin iniciar este experimento. Él, se encontraba en la necesidad de prospectar de manera rápida, económica y no invasiva grandes áreas por las que suponía que pasaba la calzada romana, mientras que nosotros estábamos deseando testar de manera extensiva el método que ahora se describirá.

La fotografía en infrarrojo cercano ha demostrado ser más eficaz que la fotografía convencional para mostrar las marcas de crecimiento diferencial (Verhoeven, 2012), no solo porque de más contraste sino porque permite ver a simple vista la salud de la cobertura vegetal (Figura 3). Cuanto mejor está haciendo la fotosíntesis una planta menos radiación infrarroja absorbe, por lo que en una foto de infrarrojo cercano las plantas aparecen como blancas, cuanto más saludables más blancas. Esto permite hoy en día con el uso de drones, cámaras digitales preparadas para capturar infrarrojo cercano y software especializado hacer análisis rápidos de grandes extensiones cultivadas. Uno de los índices más útiles para las nuevas técnicas de agricultura de precisión es el NDVI (*normalized difference vegetation index*), en el que la información de una foto de infrarrojo cercano se combina con la de una foto de luz visible para tener una idea de que plantas están funcionando bien y cuales están bajo estrés.

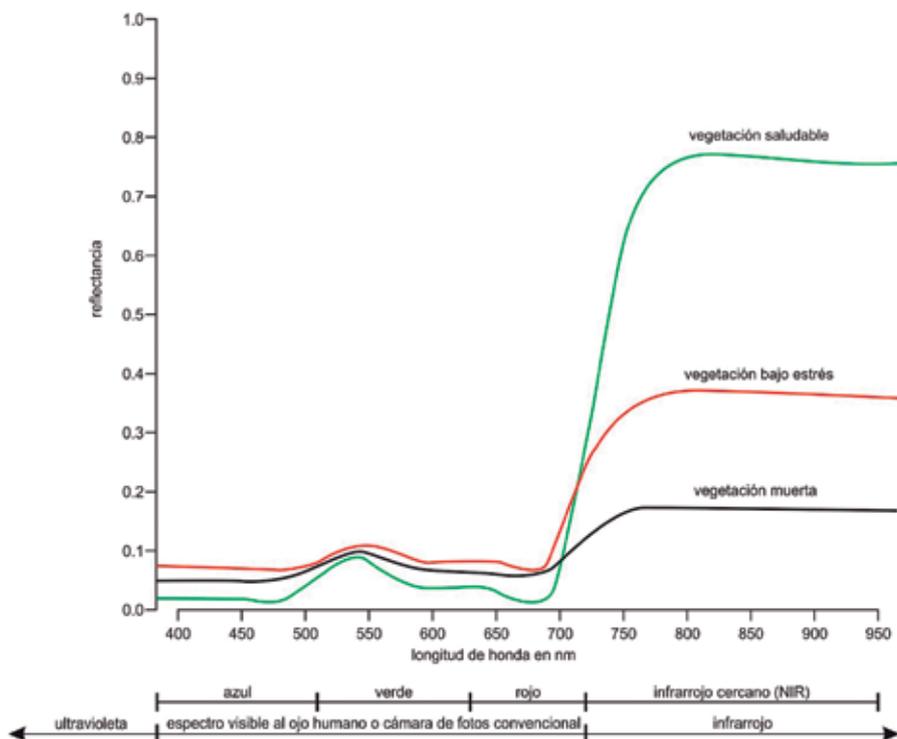


Figura 3. Reflectancia de vegetación en espectros visible e infrarrojo cercano, las fotos en infrarrojo cercano tienen mayor contraste entre la vegetación saludable y vegetación bajo estrés que las fotos en el espectro visible.

Los dos objetivos de este experimento eran, uno, ver si usando técnicas de agricultura de precisión se pueden ver marcas de crecimiento diferencial en los cultivos, en lugares y condiciones en que no serían apreciables en fotografía convencional y dos, comprobar si estas técnicas pueden constituir una herramienta válida de prospección arqueológica extensiva.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

Se prospectaron diez áreas, sumando un total de 88,34 hectáreas, para tratar de encontrar la calzada romana Iter 34 en los puntos donde R. Varón necesitaba comprobar su existencia.

Las cámaras usadas para tomar las fotos fueron Canon Power Shot S 100, una tal como viene de fábrica, otra modificada para tomar fotos en infrarrojo cercano por encima de 760 nm y una última modificada para tomar fotos en pseudo-NDVI con un filtro Kodak Wratten 25a.

Las cámaras fueron llevadas por tres RPA: un Yuneec Typhoon, un DJI Inspire y un Walkera Scout. Se voló a 120, 75 y 25 metros de altura tomando fotos en espectro visible, infrarrojo cercano y Wratten 25a. Los mejores resultados fueron volando a 75 metros de altura, lo que da una resolución espacial de 3,2 cm por píxel y

haciendo el NDVI con las fotos de la cámara equipada con el filtro Wratten 25a.

Las fotos fueron procesadas en Dron Deploy y los ortomosaicos resultantes se importaron en Qgis para calcular el índice NDVI y analizar los resultados.

En teoría, una estructura como la de una calzada romana, ha de mostrarse tanto en NDVI como en infrarrojo cercano, como una línea más oscura, correspondiente al empedrado de la calzada, bordeada por dos finas líneas más claras correspondientes a las zanjas de drenaje laterales.

En ocho de las diez zonas estudiadas aparecieron anomalías en el índice NDVI que parecían corresponder perfectamente con la calzada romana, pero la falta de estudios similares y la imposibilidad en aquel momento de contrastarlas con la excavación de dichas supuestas estructuras imponía mucha prudencia a la hora de interpretar estos resultados.

Además de las marcas posiblemente asociadas con la calzada romana, se pueden observar otras muchas anomalías en NDVI, buscando en las colecciones de fotos históricas de geoEuskadi se vieron estructuras aún sin sedimentar que correspondían con algunas de esas otras marcas, en un primer momento permitió descartar como no antiguas algunas de las marcas ob-

servadas.

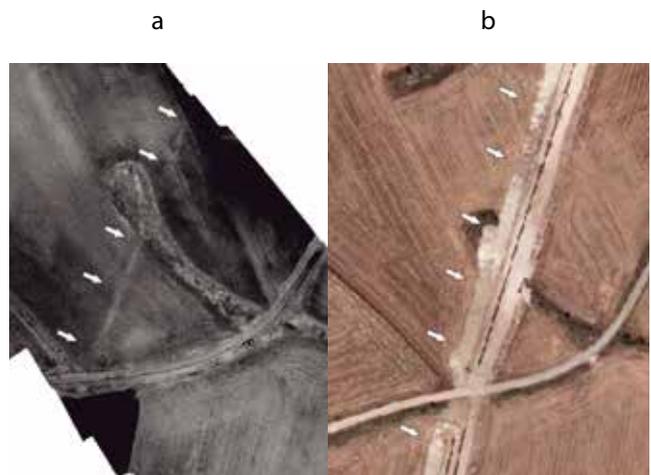


Figura 4. Unidades estratigráficas negativas. 4a marca de crecimiento diferencial positiva cruzando la foto en diagonal, Full-drone 2017. 4b zanja para la instalación del gaseoducto, geoEuskadi 2008.

servadas, y más importante aún, el análisis comparado de las fotos históricas con las fotos en NDVI permitió corroborar que tipo de anomalías en NDVI son producidas por que tipo de estructura enterrada.

En la Figura 4a podemos observar el índice NDVI del vuelo realizado en 2017 y en la Figura 4b la ortofoto de geoEuskadi del 2008, la línea más clara que aparece en el NDVI en diagonal corresponde con la zanja hecha para el gaseoducto. La zanja del gas ha dejado una interfaz de corte negativa en el terreno haciendo que

en el relleno la tierra este más suelta y por lo tanto el cereal aparezca como más saludable al hacer la fotosíntesis mejor.

En la Figura 5a se puede ver en NDVI la marca de crecimiento negativa, causada por el muro que en la Figura 5b se ve en superficie en la fotografía aérea del vuelo Americano de 1956-57, aquí el muro enterrado afecta negativamente al crecimiento de los cultivos.

La Figura 6a nos muestra las marcas dejadas en NDVI por el corte en el terreno de dos caminos, que en la Figura 6b se ven en superficie en el vuelo americano de 1956-57.

La Figura 7 es un ejemplo de un paisaje agrario desaparecido pero que se muestra perfectamente en NDVI, la Figura 7a muestra en NDVI las marcas positivas dejadas por las zanjas de lindes de parcelas anteriores a la parcelaria y el camino antiguo cruzando en diagonal que corresponden exactamente con el paisaje agrario mostrado en la Figura 7b por la ortofotografía del vuelo

a

b

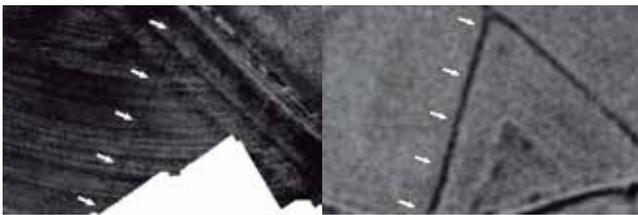
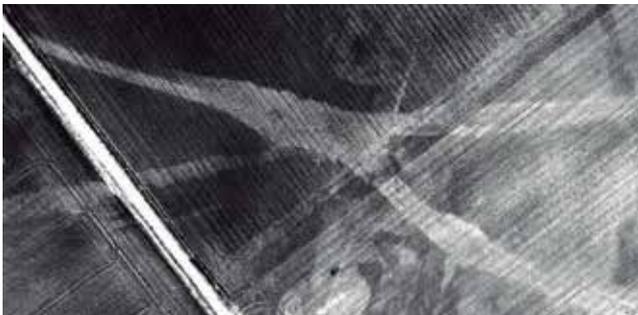


Figura 5. Unidades estratigráficas positivas. 5a marca de crecimiento diferencial negativa cruzando la foto en diagonal, Full-drone 2017. 5b muro causante de la marca de crecimiento diferencial de la figura 5a, geoEuskadi vuelo americano 1956-57.

a



b

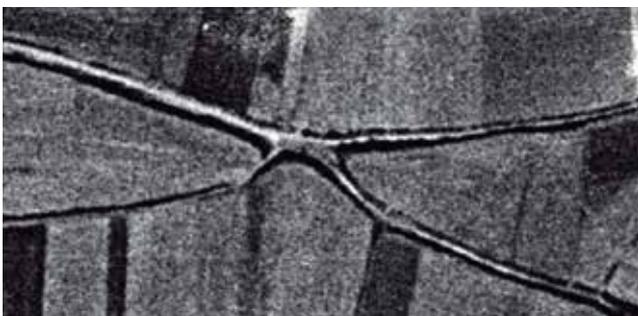


Figura 6a. Imagen en NDVI, marcas de crecimiento diferencial positivas causadas por el recorte en el terreno correspondiente a dos caminos, también son visibles varias marcas positivas producidas por corrientes de agua y por la zanja de una canalización de agua moderna, Full-drone 2017. Figura 6b. Imagen de los dos caminos vistos en la Figura 6a antes de ser enterrados, geoEuskadi vuelo americano 1956-57.

a



b

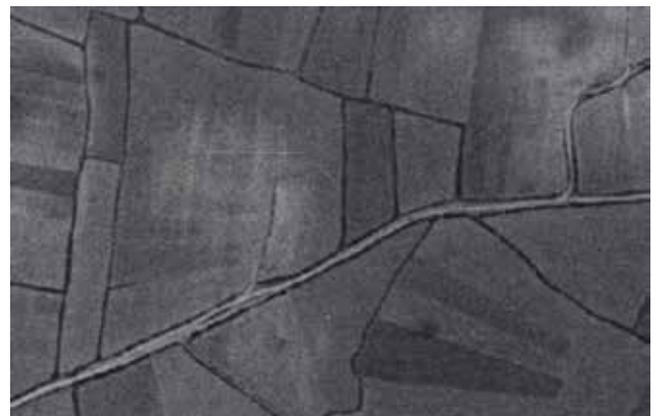


Figura 7a. Imagen NDVI, marcas de crecimiento diferencial positivo muestran las antiguas zanjas de lindes de parcelas y el camino antiguo, Full-drone 2017. Figura 7b. Paisaje agrario desaparecido con la unificación parcelaria coincidente con las marcas en NDVI de la Figura 7a, geoEuskadi vuelo americano 1945-46.

americano de 1945-46.

Las observaciones hechas gracias a las colecciones de fotografías históricas de geoEuskadi permitieron comprobar que efectivamente pequeñas alteraciones hechas por el hombre se pueden ver en infrarrojo cercano bastante tiempo después de ser enterradas, que la teoría funcionaba, por lo que procedimos a interpretar de manera similar otras anomalías más difusas aparecidas en nuestras fotos.

### 3. RESULTADOS

Se procederá ahora a presentar algunos ejemplos de estructuras antiguas descubiertas durante este trabajo.

En la Figura 8 se pueden observar dos detalles de la calzada romana Iter 34 objeto del estudio, en ellas se

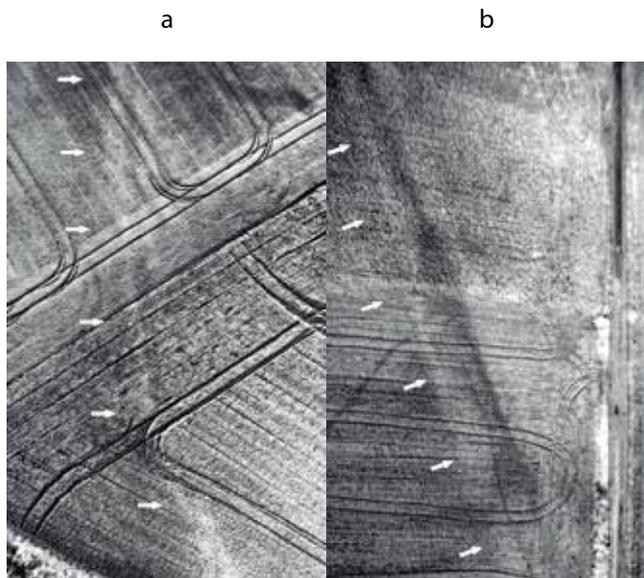


Figura 8. Fotos de detalle de la estructura identificada como la calzada romana, Full-drone 2017



Figura 9. Una zanja de una obra cercana permite ver en sección la calzada que en 2007 se vio en NDVI en la Figura 8b. Rafael Varón.

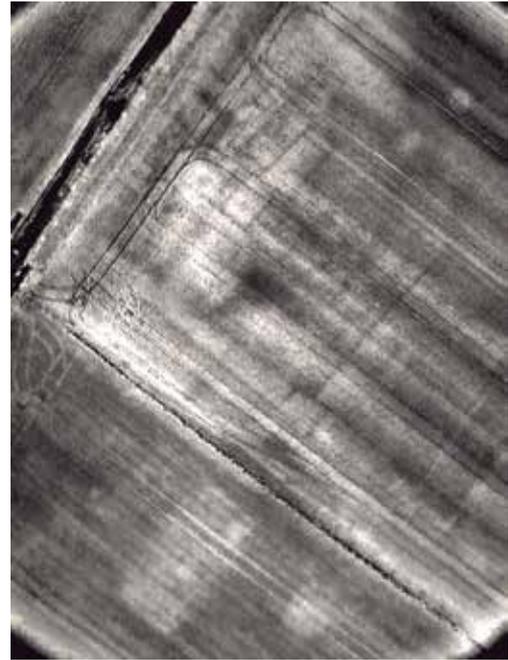


Figura 10. Paisaje agrario romano desaparecido pero aún visible en NDVI a las afueras de la ciudad romana de Iruña-Veleia, se pueden apreciar muros de las últimas casas de la ciudad romana, así como canales, pozos y muros de los huertos mas cercanos a la ciudad, Full-drone 2017.

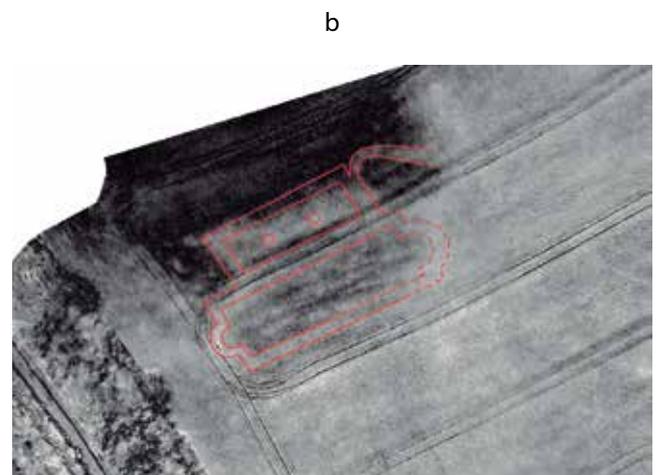
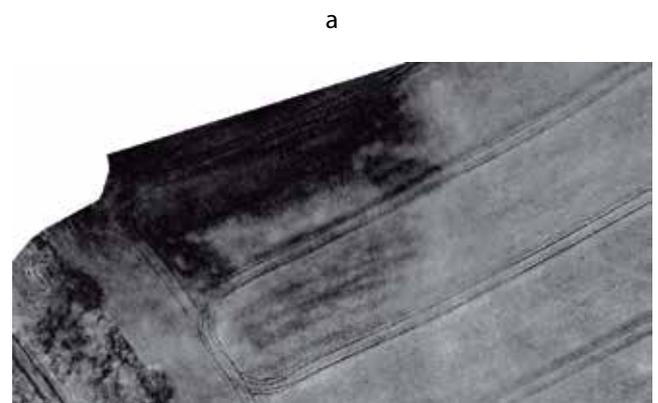


Figura 11. Posible zanja de expolio de un edificio antiguo, Full-drone 2017.

puede ver perfectamente como el empedrado central crea una marca negativa o más oscura y las zanjas de drenaje laterales crean marcas positivas, más claras. Se puede incluso distinguir a grosso modo el estado de conservación de la calzada.

A unos metros del área mostrada en la figura 8b una zanja de una obra ha permitido verificar la existencia de la calzada romana donde se vio en NDVI, en la foto (Figura 9) se puede ver una de las zanjas de drenaje lateral y el empedrado de la calzada.

En la Figura 10 se muestra un grupo de edificios en la parte superior de la fotografía gracias a las líneas oscuras que crean los muros enterrados, en la parte inferior se ven dos grandes rectángulos que dan una lectura positiva, tal vez edificios con sótanos profundos, en la parte derecha de la foto se ve una sucesión de muros, zanjas y pozos o silos.

Por último, la Figura 11 muestra una gran anomalía negativa, lo que bien puede ser un edificio cubierto y preservado por su propio derrumbe o bien un afloramiento de roca madre. En este caso parece tratarse de un edificio en el que el derrumbe ha sido cortado por una zanja posterior, como pasa en muchos casos, para expoliar los muros hasta sus cimientos, dejándonos zanjas donde los muros han sido robados, lo que vemos del edificio es la marca que ha dejado el expolio de sus muros.

## 4. CONCLUSIONES

De las diez áreas a prospectar, solo se prospectaron nueve ya que en una de ellas no había vegetación que analizar en NDVI; en todas las nueve restantes se ven restos arqueológicos, en ocho de ellas se localizó la calzada objeto de este estudio.

Como conclusión podemos decir que consideramos que el experimento ha sido un éxito, que la fotografía aérea a baja altura en infrarrojo cercano y que herramientas de agricultura de precisión como el índice NDVI permiten ver marcas de crecimiento diferencial de los cultivos que de otra manera serían inapreciables, y que es un sistema de prospección arqueológica no invasivo, rápido y económico perfectamente válido.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se pudo realizar gracias a la financiación del Gobierno Vasco. Hay que agradecer igualmente a R. Varón la fe que depositó en este nuevo método cuando se lo propusimos.

## REFERENCIAS

- Ceraudo, G. (2013). Aerial Photography In Archaeology. En C. Corsi (Ed.), *Good Practice in Archaeological Diagnostics, Natural Science in Archaeology* (pp. 11-30). Suiza: Springer International Publishing, doi: 10.1007/978-3-319-01784-6\_2
- Verhoeven, G.J. (2012). Near-Infrared Cropmark Aerial Archaeology: From its Historical Use to Current Digital Implementations. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 19, 132-160, doi: 10.1007/s10816-011-9104-5
- Webber, H., Heyd, V., Horton, M., Bell, M., Matthews, W. y Chadburn, A. (2017). Precision farming and archaeology. *Archaeological and Anthropological Sciences*. doi.org/10.1007/s12520-017-0564-8

### Sobre los autores

#### **Juan José Fuldain González**

Licenciado en Geografía e Historia y diplomado en Arqueología por la Universidad de Deusto. Trabajó durante quince años como arqueólogo y como ilustrador arqueológico en España, desde 2008 trabaja en el Museum of London Archaeology Service como senior illustrator siendo sus responsabilidades principales la elaboración de mapas, planos e ilustraciones estratigráficas para informes y publicaciones, así como encargarse de aumentar y analizar la colección de cartografía histórica del Museum of London Archaeology Service, especialmente la perteneciente al Londres de los siglos XVI al XVIII.

#### **José Ignacio Fuldain González**

Licencia de Piloto Privado  
Piloto Avanzado de Drones de más de 125 Kg.  
Gerente de Full-Drone SL  
Instructor de Teoría y de Práctica de Pilotos Avanzados de Drones en Airpull Aviation.  
Especialidad en fotogrametría, agricultura de precisión, inspección de infraestructuras y fotografía multiespectral.