



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Estimación de la cobertura vegetal en matorrales semiáridos mediante el uso de drones tras una quema prescrita. Validación mediante datos de campo.

PÉREZ-LUQUE, A.J.¹, RAMOS FONT, M.E.¹, TOGNETTI BARBIERI, M.¹, TARRAGONA PÉREZ, C.², CALVO RENTA, G.², RUBIO LOSCERTALES, A.², MARTÍNEZ, M.², ROMERO HINOJOSA, D.² y ROBLES CRUZ, A.B.¹

¹ Servicio de Evaluación, Restauración y Protección de Agrosistemas Mediterráneos. Estación Experimental del Zaidin, CSIC. Calle Profesor Albareda 1, 18008 Granada.

² SpectralGeo (Dronica Solutions S.L.): Dirección: Calle Nájera 14 B. 26540 Alfaro (La Rioja).

³ Air granada: C/ Dr. López Font 19, 2ºD 18004, Granada

Resumen

El uso de drones para el seguimiento de la vegetación permite adquirir grandes cantidades de datos de alta resolución espacial de una forma sencilla y rápida. En este trabajo evaluamos la precisión de la estimación de cobertura vegetal mediante dron en matorrales semiáridos de la Sierra de Filabres (Almería) tras una quema prescrita (2 años). Se comparan datos de cobertura vegetal estimados mediante dron con muestreos de vegetación clásicos, en 96 parcelas de 1 m². Exploramos cómo varía esta estimación en diferentes coberturas: matorral claro, matorral medio, matorral denso y espantal denso; así como la influencia de la diversidad, riqueza vegetal, y pendiente topográfica, en la precisión de la estimación de cobertura. La cobertura estimada por dron mostró una alta correlación con la obtenida mediante muestreos de vegetación ($R^2=0.81$). Esta estimación varió entre clases de cobertura, con mayor error en matorrales claros, y menor para espantal denso (RMSE_{relativo} 33% vs. 9%). La diversidad y la pendiente no afectaron en la precisión de la estimación de cobertura, mientras que las parcelas con mayor riqueza mostraron un mayor error en dicha estimación. Estos resultados indican que en ambientes semiáridos la estimación de cobertura con dron subestima los valores reales en matorrales claros.

Palabras clave

Vehículos aéreos no tripulados, seguimiento de la vegetación, Sureste ibérico, diversidad, riqueza.

1. Introducción

La cobertura vegetal es un parámetro muy utilizado para describir la cantidad de vegetación existente sobre la superficie (CHEN et al. 2013). La estimación de este parámetro es esencial en el seguimiento y gestión de zonas áridas y semiáridas (ZHANG et al. 2019), debido, entre otras razones, a su importancia en diferentes procesos biofísicos claves como la evaporación, transpiración y fotosíntesis. Asimismo, se trata de uno de los parámetros estudiados para evaluar la recuperación de la vegetación tras la realización de quemas prescritas en ecosistemas dependientes del fuego, como son los matorrales semiáridos mediterráneos (PAUSAS et al. 2008; FUHLENDORF et al. 2011). Las quemas prescritas usan el fuego de forma planificada para alcanzar unos objetivos claros de gestión en condiciones ambientales adecuadas (WADE et al. 1989; FERNANDES et al. 2013; RYAN et al. 2013).

La cobertura vegetal se ha estimado tradicionalmente utilizando muestreos de vegetación clásicos (e.g. estudios de parcelas, ELZINGA et al. 2001) o mediante clasificación de fotografías digitales (CHEN et al. 2010; LOUHAICHI et al. 2018, LUSCIER et al. 2006). Aunque actualmente se siguen utilizando para el seguimiento del estado de la vegetación, presentan algunas limitaciones (e.g. son relativamente subjetivas, requieren de gran tiempo y trabajo), por lo que parecen poco

realistas para llevar a cabo un seguimiento dinámico a gran escala, a medio o largo plazo y con gran precisión (CHEN et al. 2018).

Los rápidos avances tecnológicos en el ámbito de la teledetección han permitido un incremento en las aplicaciones de la teledetección en diferentes disciplinas científicas relacionadas con la evaluación de los recursos naturales. En los últimos años, se han desarrollado una gran variedad de satélites y sensores de teledetección con diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales, que proporcionan una cobertura espacial y temporal suficiente de datos de alta calidad a diferentes escalas (ASSMANN et al. 2018). En comparación con los métodos tradicionales, la teledetección permite estimar el estado de la vegetación en zonas amplias con una gran precisión y eficacia (STOJANOVA et al. 2010), optimizando la evaluación de la respuesta de la vegetación a las diferentes prácticas como las quemas prescritas (CHUVIECO et al. 2019; HUANG et al. 2018). Asimismo, el auge en la utilización de drones o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) en estudios ecológicos, forestales, de restauración de ecosistemas, o de evaluación de recursos ambientales (entre otros), se debe a que los usuarios pueden adquirir grandes cantidades de datos de alta resolución espacial que permiten el mapeo detallado de diferentes atributos estructurales y funcionales de la vegetación (ASSMANN et al. 2018; BLANCO SACRISTÁN et al. 2021, CHEN et al. 2018; DÍAZ-DELGADO & MÜCHER 2019; GÓNZALEZ-MUSSO et al. 2020). No obstante la utilización de datos procedentes de teledetección requiere de validaciones en campo.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo fueron: (i) evaluar la precisión de la estimación de cobertura vegetal mediante dron en matorrales semiáridos, comparando las imágenes obtenidas con las mediciones de campo; (ii) analizar si existen diferencias en la estimación de la cobertura vegetal en función de la cobertura, la diversidad y la pendiente.

3. Metodología

3.1 Zona de Estudio

La zona de estudio se localiza en el enclave del Barranco Domene, en el término municipal de Alcóntar, comarca del Alanzora (Almería), en la vertiente norte de la Sierra de los Filabres (37°18'35.30"N 2°36'9.67"W) (Figura 1). El rango altitudinal varía entre 1.170 hasta los 1.320 m.s.n.m. Es una zona bastante escarpada, con grandes pendientes llegando a 82 %, y un rango entre 12 % a 82 %. El área de estudio se sitúa en la zona de influencia de dos enclaves declarados como Zonas de Especial Conservación (ZEC): Calares de Sierra de los Filabres (ES 6110013), y Parque Natural Sierra de Baza (ES6140001). La zona de estudio corresponde a una experiencia piloto para evaluación de quemas prescritas y herbivorismo pírico en el marco del proyecto internacional Open2Preserve (<https://open2preserve.eu>).

La vegetación potencial dominante son los encinares basófilos de media montaña y, en zonas basales los coscojares, aunque en la actualidad se desarrollan matorrales seriales diversos y repoblaciones forestales debido a la histórica intensa actividad humana (PEÑAS et al. 1995). En concreto en la zona de estudio encontramos aulagares-romerales, dominados por la aulaga (*Genista scorpius* (L.) DC. in Lam. & DC) y espartales, dominado por el esparto (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth).

Los aulagares (cobertura alta-media) forman matorrales heliófilos densos de baja diversidad florística, que junto *Genista scorpius* le acompañan: *Helianthemum almeriense* Pau, *Bupleurum spinosum* Gouan, *Helianthemum cinereum* (Cav.) Pers., *Rosmarinus officinalis* L., *Lavandula lanata* Boiss, *Salvia lavandulifolia* Vahl Schleid subsp. *vellera* (Cuatrec.) Rivas Goday & Rivas-Mart.), *Teucrium capitatum* L., *Hippocrepis bourgaei* (Nyman) Hervier, y puntualmente, como testigos del retamal, *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. y *Colutea hispánica* Talavera & Arista. En el espartal, pasto

vivaz de cobertura media a alta, acompañan a la especie dominante *Macrochloa tenacissima* (esparto) otras gramíneas: *Helictotrichon filifolium* (Lag.) Henrard, *Koeleria vallesiana* (Honck.) Bertol. ex Schult., *Dactylis glomeratum* subsp. *hispanica* (Roth) Nyman, *Avenula bromoides* (Gouan) H.Scholz y *Poa bulbosa* L.. Las especies de ambas comunidades se mezclan entre sí en el territorio.

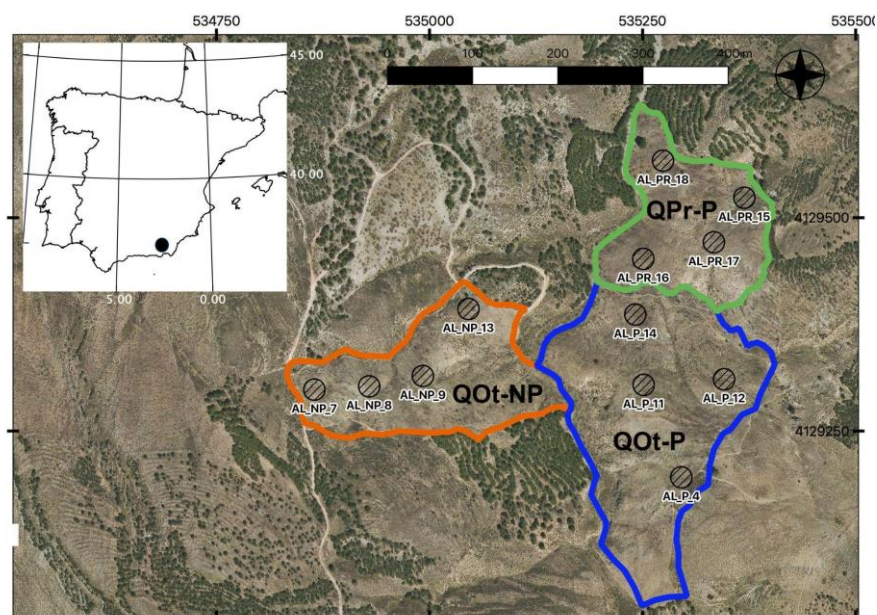


Figura 1. Localización del área de estudio y delimitación de las zonas de quemas. Ver tabla 1 para descripción de las zonas de estudio. Para cada zona se indican las parcelas circulares dentro de las cuales se establecieron los plots de 1 m².

3.2 Diseño Experimental

En la zona de estudio se realizaron quemas prescritas en tres áreas adyacentes entre sí, (Figura 1) en diferentes momentos temporales: otoño y primavera (Tabla 1). Además, se llevaron a cabo diferentes tratamientos de pastoreo: quemas prescritas (no pastoreo) y herbivorismo pírico (con pastoreo). En la quema de primavera sólo se realizó el tratamiento de herbivorismo pírico (con pastoreo). El objetivo de estas experiencias es evaluar el efecto del pastoreo sobre el rebrote de la vegetación (carga de combustible), así como la comparación del efecto de la época de quema (CANALS et al. 2018). Para evaluar el efecto de la quema en las comunidades silvopastorales se utilizaron muestreos de vegetación clásicos combinados con vuelos de dron para la estimación de diferentes parámetros estructurales de la vegetación así como diversidad de la comunidad.

Tabla 1. Características de las parcelas.

Zona	Fecha Quema	Superficie (ha)	Tratamiento
QOt-NP	18/12/2018	3.41	Quema Prescrita (no pastoreo)
QOt-P	18/12/2018	5.61	Herbivorismo Pírico (Quema Prescrita + Pastoreo)
QPr-P	07/05/2019	2.85	

En cada una de las zonas se seleccionaron 4 parcelas circulares de 500 m² distribuidas aleatoriamente, y dentro de éstas se ubicaron 8 plots de 1 m² representativos de los rangos de cobertura de vegetación existentes: matorral claro, matorral medio, matorral denso y espartal denso

(2 de cada tipo de matorral). En cada uno de los plots ($n = 96$) se llevaron a cabo muestreos de vegetación utilizando con el objetivo de estimar valores de diversidad, riqueza y cobertura vegetal. Tras la ejecución de las quemas prescritas se realizaron seguimientos en cada otoño y en cada primavera de la vegetación. Asimismo, se realizaron vuelos de dron para la estimación de los parámetros estructurales de la vegetación.

3.3 Muestreos de vegetación

En cada uno de los 96 plots, se llevaron a cabo inventarios de vegetación donde se anotaron diferentes parámetros como la cobertura, altura máxima y moda de cada especie presente, el porcentaje de cobertura total y de suelo desnudo. Con esos datos se determinó la cobertura vegetal de la parcela, la riqueza de especies y la diversidad vegetal, para lo cual se utilizó el índice de Shannon ($H' = -\sum p_i \log_2(p_i)$) siendo p_i la frecuencia relativa de cada especie para cada plot).

3.4 Vuelo y procesamiento de imágenes

Se realizaron distintos vuelos el día 21/05/2021, con un multicoptero modelo DJI Matrice 210 RTK V2 (Da-Jiang Innovations, Shenzhen, China) (Figura 2a), cuyas características generan una información de posicionamiento de precisión centimétrica. Previo a la realización del vuelo, y con objeto de obtener información lo mas precisa posible, se realizó una planificación del vuelo utilizando el software UgCS (www.ugcs.com). Antes de la adquisición de imágenes del vuelo, se instalaron 10 dianas de 50x50 como puntos de control (GCP) en la zona piloto para la georreferenciación. Los vuelos se realizaron a 30 metros de altura en las horas centrales del día, cuando los rayos de sol inciden de manera perpendicular con el terreno evitando que se produzcan sombras que distorsionen la información espectral. Para la adquisición de imágenes multiespectrales, se utilizó una cámara Micasense RedEdge (Figura 2a) que consta de un sensor multiespectral de 5 bandas (resolución 1.2 MP): azul (475 nm), verde (560 nm), rojo (668 nm), borde rojo (717 nm) e infrarrojo cercano (842 nm); con un campo visual de 47.2 °. La resolución espacial para cada banda espectral fue de 2 cm. Asimismo, para obtención de imágenes RGB, se utilizó una cámara Zenmuse X7, con una resolución de 24 MP y una resolución espacial de 0.7 cm.

Una vez realizados los vuelos, se llevó a cabo un preprocesamiento de las imágenes, su georreferenciación y la aplicación de diferentes correcciones radiométricas para la consecución de buena información. Las imágenes adquiridas en los vuelos se procesaron mediante el software de fotogrametría PIX4D, que nos permitió la creación del ortomosaico (Figura 2b) y el modelo digital de superficies del conjunto en estudio (sensor RGB) y la generación de las distintas bandas de reflectancia (Sensor multiespectral). Se aplicaron clasificaciones espectrales semiautomáticas (Figura 2c,d) para poder diferenciar los diferentes elementos presentes en el área de estudio. Esto nos permite discriminar entre material vegetal y material inerte (Figura 2c), y posteriormente realizar una clasificación entre las diferentes coberturas de vegetación (Figura 2d). Por otra parte, se generó un algoritmo que permitió modelizar el terreno a partir de las nubes de millones de puntos tridimensionales que se generaron mediante el software de fotogrametría. De esta forma, se generaron archivos ráster con la información de la altura, la superficie y el fitovolumen de cada pixel de la zona de estudio clasificado previamente como vegetación. A partir de este punto, la vectorización de las máscaras permitió extraer la información por para cada parcela y plots, tanto de cobertura como de fitovolumen.

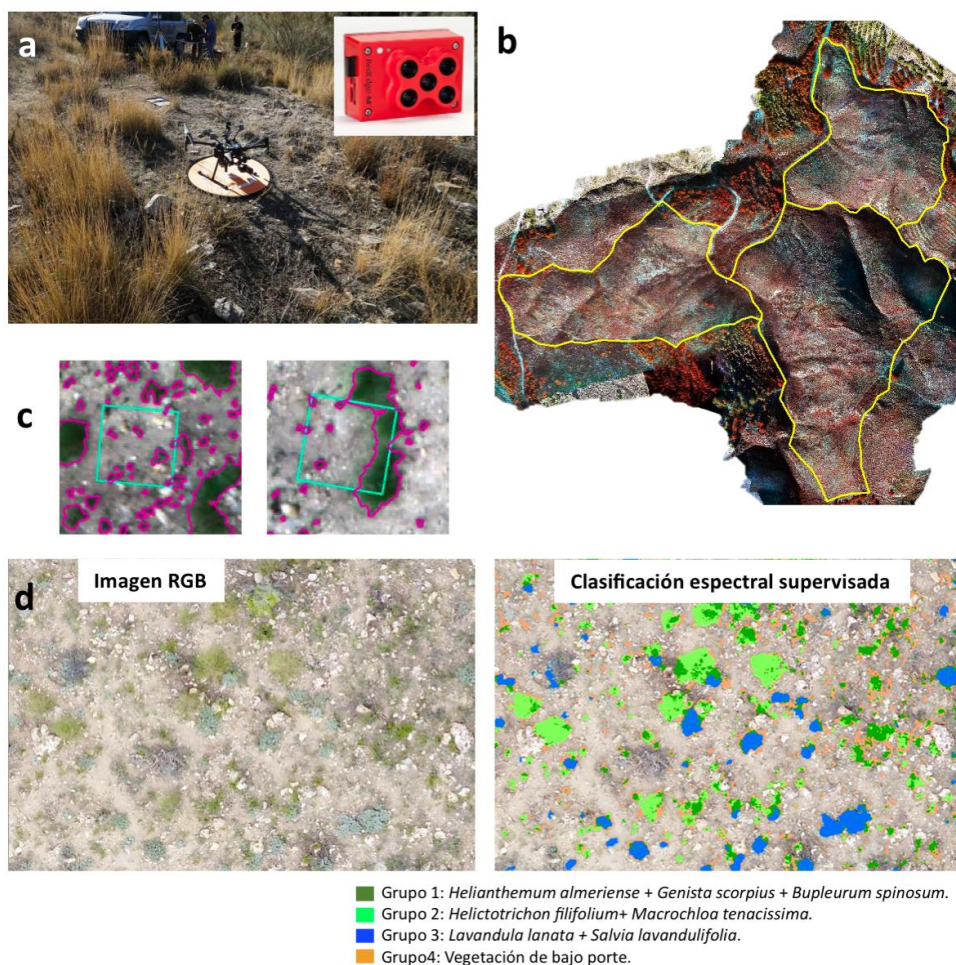


Figura 2. a) Multicóptero Matrice 201 RTK y cámara multispectral Micasese RedEdge. b) Mosaico generado con las imágenes obtenidas mediante el dron. c) Identificación de vegetación en los plots. d) Clasificación espectral supervisada de las diferentes coberturas de vegetación en la zona de estudio.

3.5 Análisis estadístico

En primer lugar, exploramos la correlación existente entre la estimación de cobertura vegetal realizada a partir de dron con la obtenida con los métodos de campo. Utilizamos el Error cuadrático Medio (RMSE, *Root Mean Square Error*) para evaluar el ajuste entre los datos de campo y los obtenidos en dron. Posteriormente, y siguiendo la misma metodología, exploramos cómo varía la correlación entre ambas estimaciones de cobertura para cada uno de los rangos de cobertura: matorral claro, matorral medio, matorral denso y espartal denso. Para poder realizar una comparación de las correlaciones utilizamos el RMSE normalizado

Por otro lado exploramos si la correlación entre la estimación de la cobertura mediante dron y mediante muestreos de vegetación se ve influenciada por otras variables relacionadas con la diversidad de la comunidad (riqueza e índice de diversidad de Shannon) y las características topográficas (e.g. pendiente del terreno). Para ello, evaluamos si los residuos de la correlación entre la estimación de la cobertura mediante dron y mediante muestreos de vegetación, presentan algún

tipo de relación con la riqueza de especies, la diversidad (índice de Shannon), y la pendiente del terreno. Todos los análisis se realizaron con el software R v. 4.0.2 (R CORE TEAM, 2020).

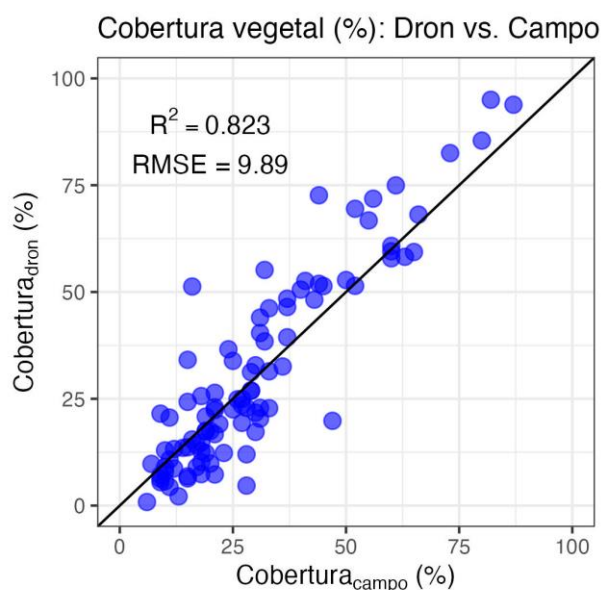


Figura 3. Relación entre la estimación de cobertura a partir de muestreos de vegetación en campo ($Cobertura_{campo}$) y a partir de dron ($Cobertura_{dron}$).

4. Resultados

La cobertura vegetal estimada por dron mostró una alta correlación con la obtenida mediante muestreos de vegetación ($R^2=0.823$; $RMSE = 9.89$ %) (Fig. 3). Esa relación varió al considerar las diferentes clases de cobertura vegetal presentando valores de $RMSE_{normalizado}$ entre 9.78 - 33.18 % (Fig. 4). La clase de cobertura *espartal denso*, presentó el mejor ajuste de la relación entre la cobertura estimada por dron y la estimada en campo ($RMSE_{normalizado} = 9.78$ %), mientras que las zonas con menor cobertura (*matorral claro*) presentaron los valores más altos de $RMSE_{normalizado}$ (33.18%).

El análisis de la variación de los residuos de la relación entre cobertura vegetal estimada mediante dron y mediante muestreos de campo, con respecto a la pendiente no mostró un patrón significativo ($p = 0.51$) (Fig. 5). Por el contrario encontramos un patrón, aunque débil, para estos residuos en función de la riqueza ($p < 0.01$) (Fig. 5).

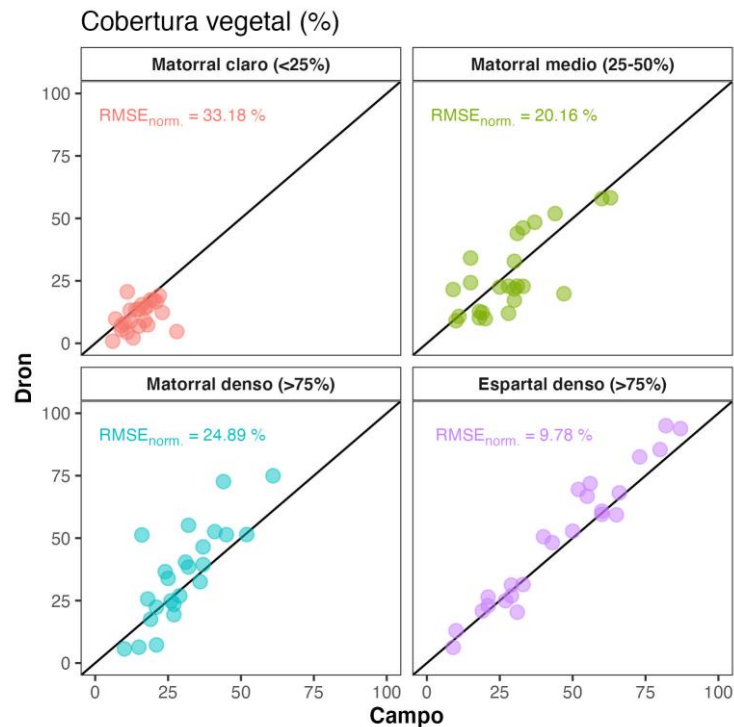


Figura 4. Relación entre la estimación de cobertura a partir de muestreos de vegetación en campo ($Cobertura_{campo}$) y a partir de dron ($Cobertura_{dron}$), en cada uno de los rango de cobertura diferenciados. Se muestra el valor del $RMSE_{normalizado}$ (RMSE, Root Mean Square Error).

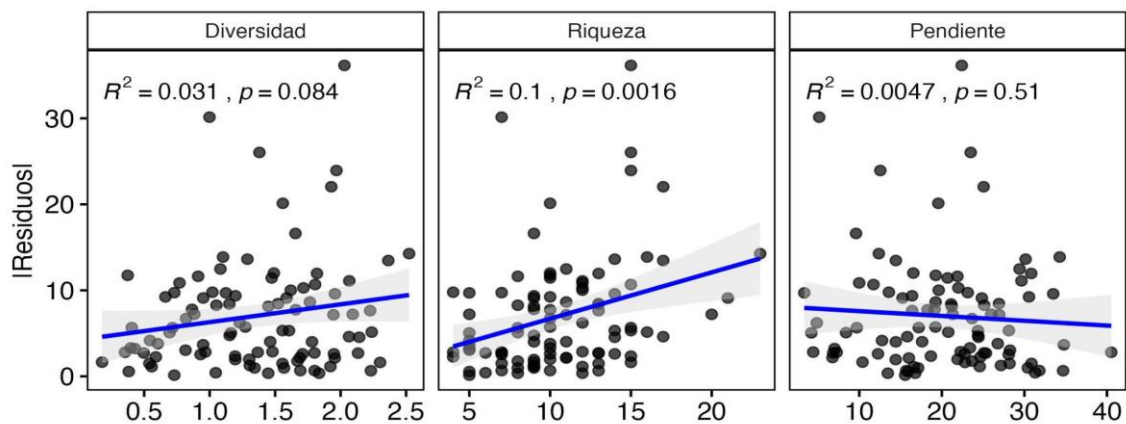


Figura 5. Relación entre los residuos del modelo (cobertura vegetal estimada por dron vs. cobertura vegetal estimada en campo) frente a la diversidad de la comunidad vegetal (índice de Shannon), la Riqueza de especies vegetales (número de especies) y la Pendiente del terreno (en porcentaje).

5. Discusión

Los resultados de nuestro estudio muestran unos altos valores de correlación ($R^2=0.823$; $RMSE = 9.89\%$) entre los valores de la cobertura vegetal estimada a partir de datos de campo y la estimada a partir de imágenes obtenidas con dron. Estos valores están en la línea de los arrojados por otros estudios de estimación de cobertura en matorrales de diferentes ecosistemas (e.g. BRECKENRIDGE et al. 2011; GRÄNZIG et al. 2021; BOOTH et al. 2008). Sin embargo es necesario tener cautela a la

hora de utilizar los datos derivados de dron para estimación de la cobertura vegetal y por tanto para el seguimiento temporal de la vegetación, sobre todo en ambientes semiáridos. Además de los potenciales problemas relacionados con la variación en las condiciones de iluminación entre vuelos o los problemas con las sombras (MANFREDA et al. 2018), es importante considerar las diferentes tipologías de cobertura.

Por otro lado, hemos observado que en las parcelas con mayor riqueza de especies, la precisión en la estimación de la cobertura al utilizar imágenes derivadas de dron es menor que la obtenida en otras coberturas (Figura 4), tal y como parece indicar la relación de los residuos de ese modelo con los valores de riqueza. Por tanto, y de acuerdo a nuestros resultados, en estos ambientes semiáridos la estimación de cobertura con dron subestima los valores reales en matorrales claros, que coinciden con las zonas de mayor diversidad vegetal. Éstas zonas presentan unas coberturas muy bajas (<25 %), y aunque aparentemente no se consideren de gran importancia respecto a su contribución como carga de combustible, si son claves al presentar altos valores de diversidad vegetal. Además de ello, en ambientes semiáridos, la cobertura de vegetación es de gran importancia por su papel en la retención de nutrientes y de agua (MAESTRE et al. 2007).

Las imágenes obtenidas con dron se han sugerido como una alternativa que sustituya al arduo y costoso trabajo de campo en zonas remotas o en condiciones meteorológicas adversas, sin embargo, es necesario que exista una alta coherencia entre los datos de campo y los obtenidos con dron (ZHANG et al. 2021). No obstante, y considerando estos aspectos y las posibles limitaciones, es importante destacar el papel clave y complementario que el uso de imágenes multiespectrales obtenidas con dron aporta en estudios de seguimiento de la vegetación, tal y como han apuntado algunos trabajos (DÍAZ-DELGADO et al. 2019; ZHANG et al. 2021), sobre todo en zonas con alta heterogeneidad como son los matorrales semiáridos.

6. Conclusiones

En este trabajo hemos evaluado la utilización de imágenes obtenidas mediante dron para la estimación de cobertura vegetal en matorrales mediterráneos con diferente cobertura. Hemos observado unos altos valores de precisión de la estimación, que disminuyen en los matorrales claros (<25%), donde las estimaciones del dron subestiman los valores obtenidos en campo. Por ello, apostamos por una utilización de este tipo de tecnologías como una forma complementaria a los métodos de seguimiento de la vegetación en campo.

7. Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto Open2preserve (SOE2/P5/E0804) financiado por el Programa Interreg Sudoe. Asimismo ha recibido financiación del MICINN a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional [SUMHAL, LIFEWATCH-2019-09-CSIC-13, POPE 2014-2020].

8. Bibliografía

ASSMANN, J.J., KERBY, J.T., CUNLIFFE, A.M., MYERS-SMITH, I.H., 2018. Vegetation monitoring using multispectral sensors — best practices and lessons learned from high latitudes. *J. Unmanned Veh. Sys.* 7, 54–75.

BLANCO-SACRISTÁN, J., PANIGADA, C., GENTILI, R., TAGLIABUE, G., GARZONIO, R., MARTÍN, M.P., LADRÓN DE GUEVARA, M., COLOMBO, R., DOWLING, T.P.F., ROSSINI, M., 2021. UAV RGB, thermal infrared and multispectral imagery used to investigate the control of terrain on the spatial distribution of dryland biocrust. *Earth Surf. Process. Landforms* 46, 2466–2484.

BOOTH, D.T., COX, S.E., MEIKLE, T., ZUURING, H.R., 2008. Ground-Cover Measurements: Assessing Correlation Among Aerial and Ground-Based Methods. *Environmental Management* 42, 1091–1100.

BRECKENRIDGE, R.P., DAKINS, M., BUNTING, S., HARBOUR, J.L., WHITE, S., 2011. Comparison of unmanned aerial vehicle platforms for assessing vegetation cover in sagebrush steppe ecosystems. *Rangeland Ecology & Management* 64, 521–532.

CANALS, R.M.; MÚGICA, L.; SAN EMETERIO, L.; SARRIES MARTÍNEZ, M.V.; SÁEZ ISTILLART, J.L.; ECHEVERRÍA ECHAVARREN, L.; LIZARZA, J.; UHARTE, O.; YABEN, A.; PÉREZ DE MUNIÁIN, A. 2018. Open2Preserve: preservación de espacios abiertos de montaña. *Navarra Agrícola*, 231: 30 - 32

CHEN Z, CHEN W E, LEBLANC S G ET AL., 2010. Digital photograph analysis for measuring percent plant cover in the Arctic. *Arctic*, 63(3): 315–326.

CHEN, W., SAKAI, T., MORIYA, K., KOYAMA, L., CAO, C., 2013. Estimation of Vegetation Coverage in Semi-arid Sandy Land Based on Multivariate Statistical Modeling Using Remote Sensing Data. *Environ Model Assess* 18, 547–558.

CHEN, W., ZHAO, J., CAO, C., TIAN, H., 2018. Shrub biomass estimation in semi-arid sandland ecosystem based on remote sensing technology. *Global Ecology and Conservation* 16, e00479.

CHUVIECO, E., MOUILLOT, F., VAN DER WERF, G.R., SAN MIGUEL, J., TANASE, M., KOUTSIAS, N., GARCÍA, M., YEBRA, M., PADILLA, M., GITAS, I., HEIL, A., HAWBAKER, T.J., GIGLIO, L., 2019. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment* 225, 45–64.

DÍAZ-DELGADO, R., MÜCHER, S., 2019. Editorial of Special Issue “Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring.” *Drones* 3, 47.

DÍAZ-DELGADO, R., ÓNODI, G., KRÖEL-DULAY, G., KERTÉSZ, M., 2019. Enhancement of ecological field experimental research by means of UAV multispectral sensing. *Drones* 3, 7.

ELZINGA, C.L., SALZER, D.W., WILLOUGHBY, J.W., GIBBS, J.P. (Eds.), 2001. *Monitoring plant and animal populations*. Wiley-Blackwell, Great Britain.

FERNANDES, P.M., DAVIES, G.M., ASCOLI, D., FERNÁNDEZ, C., MOREIRA, F., RIGOLOT, E., STOOFF, C.R., VEGA, J.A., MOLINA, D., 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11.

FUHLENDORF, S.D., LIMB, R.F., ENGLE, D.M., MILLER, R.F., 2011. Assessment of prescribed fire as a conservation practice, In: Briske, D.D. (Ed.), *Conservation Benefits of Rangeland Practices: Assessment, Recommendations, and Knowledge Gaps*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

GONZALEZ MUSSO, R.F., ODDI, F.J., GOLDENBERG, M.G., GARIBALDI, L.A., 2020. Applying unmanned aerial vehicles (UAVs) to map shrubland structural attributes in northern Patagonia, Argentina. *Can. J. For. Res.* 50, 615–623.

GRÄNZIG, T., FASSNACHT, F.E., KLEINSCHMIT, B., FÖRSTER, M., 2021. Mapping the fractional coverage of the invasive shrub *Ulex europaeus* with multi-temporal Sentinel-2 imagery utilizing UAV orthoimages and a new spatial optimization approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 96, 102281.

HUANG, R., ZHANG, X., CHAN, D., KONDRAGUNTA, S., RUSSELL, A.G., ODMAN, M.T., 2018. Burned Area Comparisons Between Prescribed Burning Permits in Southeastern United States and Two Satellite-Derived Products. *J. Geophys. Res. Atmos.* 123, 4746–4757.

LOUHAICHI, M., HASSAN, S., CLIFTON, K., JOHNSON, D.E., 2018. A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique. *Agroforest Syst* 92, 1341–1352.

LUSCIER, J.D., THOMPSON, W.L., WILSON, J.M., GORHAM, B.E., DRAGUT, L.D., 2006. Using digital photographs and object-based image analysis to estimate percent ground cover in vegetation plots. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 408–413

MAESTRE, F., RAMÍREZ, D., & CORTINA, J. 2007. Ecología del esparto (*Stipa tenacissima* L.) y los espartales de la Península Ibérica. *Ecosistemas*, 16(2).

MANFREDA, S., MCCABE, M., MILLER, P., LUCAS, R., PAJUELO MADRIGAL, V., MALLINIS, G., BEN DOR, E., HELMAN, D., ESTES, L., CIRAULO, G., MÜLLEROVÁ, J., TAURO, F., DE LIMA, M., DE LIMA, J., MALTESE, A., FRANCES, F., CAYLOR, K., KOHV, M., PERKS, M., RUIZ-PÉREZ, G., SU, Z., VICO, G., TOTH, B., 2018. On the use of Unmanned Aerial Systems for environmental monitoring. *Remote Sensing* 10, 641.

PAUSAS, J.G., LLOVET, J., RODRIGO, A., VALLEJO, R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. *Int. J. Wildland Fire* 17, 713.

PEÑAS, J.; PEÑAS, J.; CABELLO, J.; OYONARTE, C.; Mota, J.F. 1995. Variación altitudinal y diversidad vegetal en matorrales: Sierra de los Filabres (Almería, España). *Acta Botánica Malacitana*, 20: 133-142.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

STOJANOVA, D., PANOVA, P., GJORGJIOSKI, V., KOBLER, A., DŽEROSKI, S., 2010. Estimating vegetation height and canopy cover from remotely sensed data with machine learning. *Ecological Informatics* 5, 256–266.

RYAN, K.C., KNAPP, E.E., VARNER, J.M., 2013. Prescribed fire in North American forests and woodlands: history, current practice, and challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11.

WADE DD, DIXON MJ, LUNSFORD JD 1989. A guide for prescribed fire in southern forests. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Atlanta

ZHANG, J., OKIN, G.S., ZHOU, B., KARL, J.W., 2021. UAV-derived imagery for vegetation structure estimation in rangelands: validation and application. *Ecosphere* 12.

ZHANG, S., CHEN, H., FU, Y., NIU, H., YANG, Y., ZHANG, B., 2019. Fractional vegetation cover estimation of different vegetation types in the Qaidam Basin. *Sustainability* 11, 864.