



TRABAJO DE FIN DE GRADO



ANÁLISIS ESCALAR DE LA CUENCA JABONEROS MEDIANTE HERRAMIENTAS GEOTECNOLÓGICAS

SCALAR ANALYSIS OF THE JABONEROS BASIN THROUGH GEOTECHNOLOGICAL TOOLS

Autor: Guillermo Elliot Duránte Quill

Tutor: Prof. Dr. José Damián Ruiz Sinoga

GRADO EN GEOGRAFÍA Y GESTIÓN DEL TERRITORIO

Curso académico 2020/2021

Fecha de presentación Junio/ Julio 2021

El autor declara que su trabajo es original, fruto de su exclusivo esfuerzo personal, que respeta las normas de estilo establecidas para los TFG de la titulación y que en él se han citado debidamente las fuentes utilizadas y no se incurre en ningún supuesto de mala praxis científica. Asimismo, se compromete a respetar los derechos de propiedad intelectual y explotación industrial que eventualmente pudieran corresponder al tutor.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'G' followed by a series of loops and a horizontal line at the end.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Cuencas mediterráneas y procesos erosivos	4
3.2. Teledetección.....	7
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
4.1. Localización.....	9
4.2. Medio físico	10
4.2.1 Orografía	10
4.2.2. Litología, edafología y geomorfología	12
4.2.3. Climatología	13
4.2.4. Biogeografía	13
4.3. Medio humano	14
4.3.1. Zonas periurbanas.....	14
4.3.2. Usos agrícolas.....	15
5. METODOLOGÍA.....	15
5.1. Características y procesamientos del dron DJI Phantom 4 Multiespectral.....	19
5.1.1. Legislación vigente	20
5.1.2. Características de la aeronave	21
5.1.3. Operación de vuelo	23
5.1.4. Procesamiento de datos	24
5.2. Características y procesamiento del satélite Deimos 2	26
5.2.1. Niveles de procesamiento.....	26
5.2.2. Procesamiento de las imágenes.....	27
5.3. Características y procesamiento del satélite Sentinel 2	29
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	31
6.1. Zona de estudio.	31
6.1.1. Junio 2017. Comparativa entre Deimos y Sentinel. Escala 1:5400.....	31
6.1.1.1. Clasificación supervisada.....	32
6.1.1.2. Mapa NDVI.....	35
6.1.1.3. Mapa falso color.....	41

6.1.1.4. Firmas espectrales.....	42
6.1.2. Marzo 2021. Comparativa entre Dron y Sentinel. Escala 1:3000	44
6.1.2.1. Clasificación supervisada.....	44
6.1.2.2. Mapa NDVI.....	46
6.1.2.3. Mapa falso color.....	50
6.1.2.4. Firmas espectrales.....	51
6.2. Área de estudio. Muestra del píxel Sentinel 2.....	53
6.2.1. Junio 2017. Comparativa entre Deimos y Sentinel Escala 1:100	53
6.2.1.1. Clasificación supervisada.....	53
6.2.1.2. Mapa NDVI.....	54
6.2.1.3. Firmas espectrales.....	56
6.2.2. Marzo 2021. Comparativa entre Dron y Sentinel. Escala 1:100	57
6.2.2.1. Clasificación supervisada.....	57
6.2.2.2. Mapa NDVI.....	59
6.2.2.3. Firmas espectrales.....	61
6.3. Salida de campo. Verificación realidad-terreno. Escala 1:1.....	62
7. CONCLUSIONES.....	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	67
9. ANEXOS.....	69
Anexo I: Datos y mapas de la comparativa entre Deimos y Sentinel, junio 2017. Escala 1:5400.....	69
Anexo II: Datos y mapas de la comparativa entre dron y Sentinel, marzo 2021. Escala 1:3000.....	76
Anexo III: Datos y mapas de los resultados de Deimos respecto a la muestra del píxel de Sentinel, junio 2017. Escala 1:100	82
Anexo IV: Datos y mapas de los resultados del dron respecto a la muestra del píxel de Sentinel, marzo 2021. Escala 1:100	87
Anexo V: Reportaje fotográfico salida de campo y muestra del píxel de Sentinel 2. Verificación realidad-terreno. Mayo 2021. Escala 1:1.....	92

1. RESUMEN

El uso de las geotecnologías a día de hoy ha revolucionado la capacidad de analizar y extraer información con el fin de tener resultados desde un punto de vista espacial y estadístico, capaces de obtener respuestas eficientes e inteligentes para la toma de decisiones y para la gestión del territorio. En este trabajo final de grado, se aplicará este tipo de herramientas para analizar sensores entre escalas y resoluciones tanto espaciales como espectrales, mediante diferentes tipos de variables, con la finalidad de determinar si los resultados obtenidos son acordes entre resoluciones de menor a mayor calidad y si corresponde a la realidad. Además, se analizará el comportamiento del sensor de menor resolución, para nuestro caso el satélite Sentinel 2 con una resolución de 10 metros el píxel, para comprobar la veracidad de sus datos a partir de la superposición de resoluciones mayores según las variables analizadas, tanto desde una perspectiva enfocada al área de estudio, como al estudio del valor del píxel. En el espacio de estudio, la degradación del suelo y la aridez son factores claves a estudiar ya que son el principal problema para la gestión de las cuencas hidrográficas andaluzas mediterráneas, al igual que en nuestro espacio de estudio, la cuenca del Jaboneros.

Palabras clave: geotecnologías, teledetección, resolución, escala, sensor, espacial, espectral, bandas, píxel, satélite, dron, cuenca, suelo, degradación, aridez.

ABSTRACT

The use of geotechnologies nowadays has revolutionized the ability to analyze and extract information in order to have results from a spatial and statistical point of view, capable of obtaining efficient and intelligent answers for decision-making and for the management of the territory. In this final degree project, we will apply this type of tools to analyze sensors between scales and both spatial and spectral resolutions, using different types of variables, in order to determine if the results obtained are consistent between resolutions from lower to higher quality and if it's applicable to reality. In addition, the behavior of the lower resolution sensor will be analyzed, in our case the Sentinel 2 satellite with a resolution of 10 meters per pixel, to verify the veracity of its data from the superposition of higher resolutions according to the variables analyzed, both from a perspective focused on the study area, such as the study of the pixel value. In the study space, soil degradation and aridity are the key factors to study, since they are the main problem for the management of the Andalusian Mediterranean hydrographic basins, such as our study space, the Jaboneros basin.

Key words: geotechnology, remote sensing, resolution, scale, sensor, spatial, spectral, bands, pixel, satellite, drone, basin, soil, degradation, aridity.

2. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son sistemas de drenaje encajados en un sistema montañoso derivado de un componente fluvial. La composición y estructuración de las cuencas cuentan con diversas variables, como las condiciones climáticas, litológicas, geomorfológicas, biogeográficas y orográficas (Bielza de Ory, 1989). Dentro del factor climático, la precipitación es uno de los principales factores, el cual determina la cantidad de agua y su distribución en el territorio en cada año. El segundo factor determinante es la temperatura, la cual es la variable que tiene control sobre la evaporación. Dentro de la variable litológica y geomorfológica, el factor predominante es la permeabilidad del suelo; la variable biogeográfica, condicionada por la climatología, puede capacitar el desarrollo de la vegetación y por último, la variable orográfica con los factores de elevación y pendiente. Las cuencas mediterráneas presentan mayormente sistemas fluviales cortos y con una pendiente acusada, a causa de la proximidad del relieve al mar. El factor climático varía en todas sus orientaciones, siendo de oeste a este, de más húmedo a más árido, lo que conlleva que, según la zona, los caudales lleven consigo más o menos volumen de agua por las precipitaciones. Este factor en los episodios de torrencialidad sumado al desnivel entre cabeceras, originan caudales irregulares, siendo incontrolable por la fuerza destructora y catastrófica que llevan consigo.

Como se ha comprobado, las cuencas mediterráneas presentan un tipo de escenario geográfico específico, en el que uno de los principales problemas es la erosión. La acción erosiva junto a las condiciones climáticas puede derivar en cambios de usos de suelo. La localización de este estudio se encuentra en el tercio occidental de la cuenca del Jaboneros, una de las zonas más castigadas por la degradación del suelo junto a eventos meteorológicos agresivos, al tener un desnivel acusado, sumado a los factores de poca permeabilidad de los materiales y la escasa protección de suelo por cubierta vegetal, llega a crear sucesos torrenciales, modificando el espacio y sus diferentes usos.

Para poder analizar en profundidad la diferente distribución espacial de usos y estado del suelo y los comportamientos erosivos de desgaste, se ha realizado un estudio desde una perspectiva geotecnológica. El área de estudio de la cuenca del Jaboneros será estudiada en diferentes tipos de escala y resoluciones, usando técnicas de teledetección, para comprobar el nivel de detalle en los diferentes tipos de análisis del espacio en cuestión. Se cuenta con un total de tres resoluciones, las cuales se corresponden a las imágenes del satélite Sentinel 2, con una resolución de 10 metros el píxel, el satélite comercial Deimos 2, de la empresa "Deimos Imaging", con una resolución de 3 metros el píxel y, por último, las imágenes de un vehículo aéreo no tripulado, también conocido como dron, con la implementación de sensores multispectrales, con una resolución final de 13 centímetros el píxel. Las escalas estudiadas para la zona de estudio general serán a 1:5.400 y 1:3.000, cuyos datos y análisis van acompañados de cálculos estadísticos para fundamentar y realizar dichas comparativas entre escalas y resoluciones.

Para profundizar dicha comparativa entre resoluciones, se va a llevar a cabo un estudio desde el punto de vista del píxel del Sentinel 2, el cual abarca un total de 100 metros cuadrados, a una escala de 1:100, para poder comprobar la veracidad de sus

datos en los diferentes tipos de análisis empleados bajo la superposición de resoluciones con mayor detalle. Para finalizar se ha realizado un estudio de campo a escala 1:1 para examinar tanto el entorno como la muestra del píxel y verificar la correspondencia de los resultados obtenidos, ya que sería la realidad-terreno.

Bajo este análisis previo, el objetivo general del estudio se basa en la hipótesis de comprobar la veracidad de los resultados entre resoluciones y escalas, y si se corresponden a la realidad. Como objetivos específicos se encuentran:

1. Comprender el comportamiento de la zona de estudio a una escala inferior a 1:6.000.
2. Obtener información espacial basada en análisis estadístico para verificar los resultados entre variables.
3. Realizar un estudio desde el punto de vista del valor del píxel de Sentinel 2, comparándola con resultados de mejores resoluciones con la finalidad de obtener los márgenes de error y comprobar la veracidad de sus datos.
4. Comparativa de los resultados con la realidad-terreno por escalas.
5. Tener más conocimiento del comportamiento de sensores de resolución media/baja.

Con estas suposiciones formuladas, se realizarán aproximaciones escalares desde 1:5.400 hasta la escala de menor tamaño utilizada, la cual será de 1:100, en el que se analizará una muestra del píxel de los resultados que se obtengan del área de estudio, bajo la superposición de los diferentes sensores y resoluciones, los cuales son de 3 metros y de 13 centímetros. Este estudio verificará hasta qué punto la información de ese píxel recopilado es cierta entre las distintas resoluciones, teniendo de referencia los resultados obtenidos con las imágenes del dron, que son las que brindan más clarividencia y detalle en los datos analizados, en contraste con el comportamiento de las imágenes satélites de 3 metros el píxel, la cual tendrá menos capacidad de información espacial y visual al tratarse de análisis de píxeles.

Al haber un desfase temporal por la toma de imágenes de uno de los satélites, se va a plantear el estudio desde dos perspectivas temporales, bajo dos tipos de resoluciones diferentes.

Para que el estudio tenga una base fundamentada, al tratarse de un análisis objetivo científico, se va a contar con el análisis estadístico, el cual podrá determinar las diferencias y similitudes con valores numéricos reales de los diferentes tipos de resultados por tipo de dato, con la finalidad de responder dichas hipótesis planteadas en este estudio.

El esquema a seguir para la obtención de los resultados es el siguiente.

1. Fechas de la obtención de las imágenes:

- Junio de 2017
 - Sentinel 2: 03/06/17
 - Deimos 2: 05/06/17

- Marzo de 2021
 - Sentinel 2: 24/03/21
 - Dron Multiespectral: 25/06/21

2. Tipo de resolución.

Este estudio se basa en el uso de tres tipos de sensores espaciales y espectrales diferentes, con resoluciones de menor a mayor, los cuales se distinguen entre:

- Sentinel 2. Resolución 10 metros el píxel.
- Deimos 2. Resolución 3 metros el píxel.
- DJI Phantom 4 Multiespectral. Imágenes obtenidas bajo un GSD de 13 centímetros el píxel.

3. Tipo de dato.

Bajo estos tres tipos de sensores y resoluciones diferentes, se van a analizar una serie de datos con la finalidad de proporcionar la máxima información posible empleando técnicas de teledetección basadas en estudios espaciales y espectrales con sensores multiespectrales, los cuales se ha centrado en las bandas Red, Green, Blue y NIR (infrarrojo cercano). Estas bandas reflejan el espectro visible y la banda infrarroja, al pertenecer al espectro invisible, es capaz de recoger información basada en la actividad fotosintética de las formaciones vegetales. Siendo indispensable para el estudio basado en una perspectiva geotecnológica fundamentada por los principios de la teledetección.

Los tipos de datos analizados son los siguientes:

- Imagen a falso color infrarrojo. Su finalidad es la de mostrar los espacios con mayor reflectancia absorbida en la banda infrarroja, por la actividad fotosintética de la vegetación, realizando los colores rojos en las formaciones vegetales. Esta variable arroja gran capacidad de información visual respecto a la localización de grandes masas de formaciones vegetales en contraste con las zonas de cubiertas vegetales débiles y suelos desnudos, teniendo un análisis identificatorio preliminar del territorio.
- Clasificación supervisada. El objetivo es el de poder realizar una clasificación supervisada del espacio para comparar los diferentes tipos de agrupaciones y formaciones por usos y estado del suelo en el área de estudio. Esta variable está relacionada con las firmas espectrales, ya que se extrae la información de los diferentes comportamientos espectrales de los elementos en el

territorio, pudiendo catalogarlas e identificarlas supervisadamente para la categorización de los diferentes elementos en el espacio.

- Firmas espectrales. Las firmas determinan el comportamiento de la reflectividad en superficie, según las muestras escogidas por la clasificación supervisada, para comprobar el tipo de respuesta espectral por banda. Esta variable arroja una información gráfica sobre el comportamiento reflectivo por banda de los diferentes elementos categorizados por la clasificación supervisada. Gracias a esta herramienta, se puede visualizar las diferencias entre elementos, pudiendo determinar tanto si existe más predominancia de suelo desnudo como si existe más predominancia de vegetación. Puede ser de gran utilidad para la identificación de vegetación con síntomas de algún tipo de estrés, basándonos en los resultados de su comportamiento espectral.
- Índice de vegetación. El índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocida como NDVI, es usada para estimar la calidad y vigorosidad de la vegetación, por la absorción de la reflectividad en las bandas R y NIR. Este índice arroja gran información respecto a la variabilidad de elementos que hay en el espacio de estudio, ya que se basa en la identificación de las formaciones vegetales con mayor densidad y vigorosidad. Este índice representa los valores en cuartiles, pudiendo categorizar desde zonas de suelo desnudo sin presencia de vegetación hasta zonas con vegetación muy vigorosa y densa.

4. Tipo de escala.

Una vez interpretados estos tipos de datos por cada uno de los sensores, se procede a analizar dicha área de estudio desde dos perspectivas diferentes.

- A escala 1:5.400. Esta escala es la correspondiente para el análisis del área de estudio. Esta zona abarca un total de 116 hectáreas aproximadamente, lo suficiente como para poder interpretar con las diferencias de resoluciones los datos de los sensores con menor resolución, como el caso de las imágenes del satélite Sentinel 2. Al tratar con sensores satelitales, se ha decidido establecer una escala base en torno a 1:5400 para que el análisis de las variables, según el tipo de resolución, no induzcan a errores por falta de información espacial.
- A escala 1: 3.000. En esta escala se analizará la superficie del vuelo del dron, siendo un total de 25 hectáreas, comparando esta escala con los resultados que pueda ofrecer Sentinel. Una vez obtenidos los datos a la escala base 1:5.400, para poder compararlo con la superficie volada del dron se ha procedido a analizar los datos de la escala base respecto a la extensión

sobrevolada por el dron, obteniendo como resultado la obtención de una escala 1:3.000.

- Escala 1:100. Esta escala toma de referencia la resolución del píxel de Sentinel 2. Esta área es equivalente a 100 metros cuadrados, abarcando una resolución de 10 metros el píxel en la realidad. A esta escala, se puede analizar desde la perspectiva del píxel de Sentinel las diferentes resoluciones para hacer una comparativa entre ellas y poder verificar la veracidad de los datos que ofrece Sentinel según el tipo de variable analizada.

Como resultados, se obtienen un total de 12 tipos de resultados para el análisis del área de estudio equivalente a la escala 1:5.400 y 1:3.000, por cada sensor. Para el área de estudio a escala 1:100 correspondiente al píxel de Sentinel 2, se han obtenido 9 tipos de resultados diferentes, ya que se ha eliminado el análisis del falso color por la poca resolución en los sensores de menor calidad en un espacio en el que se compara el píxel, por lo que no se podría realizar una interpretación objetiva de este tipo de dato en esta escala. Esto hace un total de x resultados con los que comparar entre sí, por cada tipo de fecha, escala y dato.

Para entender los diferentes tipos de sensores, sus características, el procesamiento de los datos según el sensor y como se han obtenido los diferentes tipos de resultados, se va a proceder a categorizar según las características del sensor y sus respectivas variables.

Las competencias que se pretenden alcanzar con el trabajo, de acuerdo con las competencias del grado de Geografía disponibles en la asignatura, son las siguientes:

1. APTITUDINALES (Competencias genéricas)

- 1.1. Capacidad de análisis y síntesis, de organización y planificación, y de comunicación oral y escrita.
- 1.2. Manejo de una lengua extranjera y conocimientos informáticos esenciales.
- 1.3. De aprendizaje autónomo y en equipo, de razonamiento científico y de proyectar y emprender tareas de investigación y gestión.
- 1.4. Actitud sistemática de cuidado y precisión en el trabajo, y de motivación por la calidad.

4. SISTÉMICAS (Competencias específicas)

- 4.1. Capacidad de aprender las relaciones temporales y espaciales de los procesos socioterritoriales.
- 4.3. Interrelacionar los fenómenos a diferentes escalas territoriales.
- 4.4. Comprender el funcionamiento del espacio geográfico local en el marco del sistema geográfico global.

5. CONOCIMIENTOS (Competencias específicas)

- 5.3. Conocimiento de la metodología de las CC.SS. y de las técnicas básicas de investigación (fundamentos económicos, técnicas de cuantificación y métodos cualitativos).
- 5.5. Adquirir un cuerpo conceptual básico que permita a los alumnos analizar el comportamiento de los agentes económicos en el marco de una economía de mercado.
- 5.12. Conocer los espacios geográficos regionales.
- 5.13. Conocer los fundamentos de la Geografía humana, económica y social.

6. INSTRUMENTALES (Competencias específicas)

- 6.2. Dominio de la cartografía.
- 6.5. Dominio de los SIG y capacidad de aplicación de las TIG al análisis del territorio y de su gestión.

7. APLICADAS (Competencias específicas)

- 7.1. Capacidad de trasladar conocimientos y técnicas a la valoración/resolución de problemas socio-territoriales. Capacidad de aplicar los modelos y teorías a los análisis de situaciones concretas.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

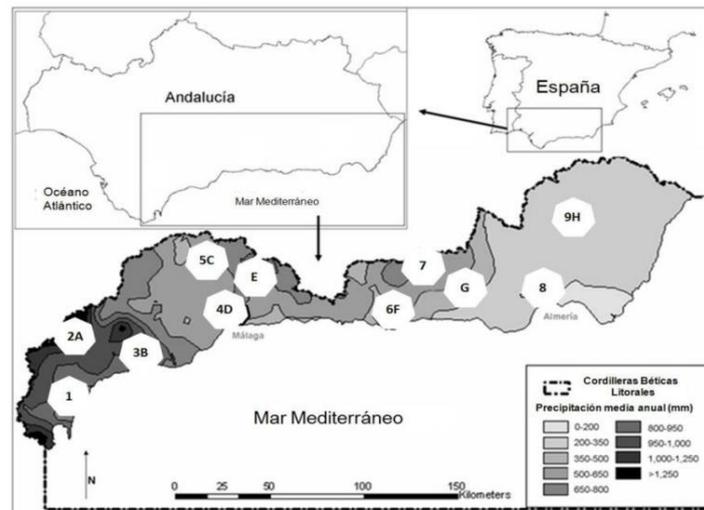
Como objeto de investigación, se ha procedido a estudiar por estructuras las bases del estudio, los cuales están fundamentadas por la erosión en cuencas mediterráneas, sumado al estudio del territorio mediante técnicas de teledetección para tanto comparar resultados entre resoluciones, como para analizar el espacio en cuestión desde una perspectiva geográfica y a su vez según los resultados, determinar la validez del análisis en resoluciones menores, siendo en nuestro caso 10 metros el píxel del satélite Sentinel 2.

3.1. Cuencas mediterráneas

Para empezar con la investigación, se ha procedido a la documentación de cuencas mediterráneas sumado a la erosión en ámbitos mediterráneos. Para tener una perspectiva general del ámbito de estudio, se debe reflexionar sobre el término mediterraneidad climática en la que el denominador común se centra en los términos de sequía estival y escasez de precipitaciones (Strahler & Strahler, 1989) y más recientemente en torrencialidad, gradiente pluviométrico, erosión hídrica y aridez (Sinoga et al, 2003). Esta climatología presenta inviernos húmedos y épocas estivales secas. Las masas de aire polar marítima húmedas incurridas en el invierno, originan la aparición de tormentas ciclónicas originando lluvias. En los meses estivales, la subsidencia de las masas de aire tropical marítimo continental es abundante, siendo la causa de generar una sequedad a niveles extremos durante un periodo temporal prolongado. La escala del clima mediterráneo, no solo se centra en los entornos costeros

al mar mediterráneo, sino a escala global entre las latitudes 30º a 45º Norte y Sur, dándose en regiones como California, Australia, Chile y Sudáfrica.

El gradiente pluviométrico abarca un abanico de regiones húmedas o áridas, como se puede observar en las cuencas mediterráneas andaluzas comparando las regiones del sector occidental de la fachada sur andaluza, la precipitación media anual puede estar entre 800 y 1.200 milímetros, contrastadas con el sector oriental almeriense donde la precipitación anual media no supera los 350 milímetros (Ruiz-Sinoga & Díaz, 2010).



Mapa 1. Ruiz-Sinoga & Díaz. (2010). *Mapa pluviométrico de la precipitación media anual en las cordilleras béticas litorales. (Mapa).*

Por lo tanto, según las condiciones biotásicas que engloban las variables de vegetación, suelo y clima (Erhart, 1956), según el gradiente pluviométrico, variarán los componentes biogeográficos, edafológicos y climáticos. Tanto a escala global, como local.

Partiendo desde una escala provincial, dadas las buenas condiciones climáticas, históricamente el entorno mediterráneo, sus cuencas y disponibilidad hídrica, ha sido ideal para los asentamientos urbanos, condicionado a prácticas agrícolas y ganaderas en torno a cuencas y valles fluviales. Según Corrales-Aguilar (2007) en la época romana, las explotaciones olivareras y sus derivados eran predominantes en las regiones malacitanas tanto en el interior siendo estas las tierras más fértiles, como zonas próximas al mar. El sector oleícola sin duda era la base comercial del territorio malacitano. Otros tipos de cultivos eran el trigo y la cebada por las condiciones fértiles del sector noroccidental, en la comarca de Antequera de extensiones propias a latifundios, creándose así masificaciones agrícolas. Estas prácticas agrícolas, van ligado de asentamientos a partir de estas, creándose así una modificación antrópica del territorio, sumado al aumento progresivo cronológico de la demografía.

Analizando el gradiente desde la perspectiva del sistema eco-geomorfológico mediterráneo, (Hueso-González, 2017), los dos parámetros principales son el régimen

de la temperatura y a precipitación, sumado a la evapotranspiración, determina el balance hídrico del sistema. En los entornos mediterráneos muestran cierta fragilidad con una autorregulación ineficiente, derivando a que factores como el litológico, geomorfológico, climático y antrópico, favorezcan los procesos de degradación del suelo y, por tanto, de la cubierta vegetal, originándose procesos de desertificación (Ruiz-Sinoga & Díaz, 2010).

Según Álcazar-Torralba (2013), la erosión es el resultado del desgaste del suelo causado tanto por agentes externos naturales, como antrópicos. Los principales agentes naturales están compuestos por erosión hídrica, tanto por factores fluviales o pluviales, eólica, por la fuerza del viento y gravitatoria, como por la acción de la gravedad por desprendimiento. Estos procesos han ido condicionados según el modelado espacio-temporal del territorio. Este proceso erosivo conlleva la degradación del suelo, definida por la FAO (1984) como “pérdida de productividad y diversidad biológica o económica de las tierras de cultivo praderas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de tierra o por un proceso o combinación de procesos, incluidos los resultantes de las actividades humanas, tales como, la erosión del suelo causada por el viento y el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y la pérdida duradera de vegetación natural”.

La erosión en el ámbito mediterráneo es cada vez más problemática por las dimensiones en la que se están dando, incrementando drásticamente en el territorio. Cuando los procesos erosivos de desgaste se suman a la variable climática de zonas áridas, el término y el proceso pasa a denominarse desertificación. Este término va ligado estrechamente a la degradación del suelo. La desertización es producida por la constante degradación ecosistémica causada por las variables tanto climáticas como antrópicas, creando como resultado la desaparición de la cubierta vegetal, la cual intensifica los procesos erosivos sumado a la escasez hídrica tanto fluvial como pluvial. Estos suelos aridificados cuentan con la presencia de factores antrópicos los cuales agravan aún más el estado del suelo con actividades relacionadas con el sobrepastoreo, y deforestación. La degradación del suelo cuenta con diversos factores a considerarse, ya que depende de la humedad del suelo, biomasa, protección por cubierta vegetal, contenidos arcillosos, la compactación, la materia orgánica, la conductividad hidráulica, la escorrentía la erosión, la capacidad de intercambio catiónico, biodiversidad entre otros (Ruiz-Sinoga & Díaz, 2009).

“La respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica está determinada por una serie de factores que interactúan entre sí y regulan los procesos hidrológicos. En medios áridos y semiáridos los factores más relevantes son la irregularidad espacial y temporalidad de la primera fase de precipitaciones, la topografía, la variabilidad espacial de las características superficiales y propiedades físicas de los suelos, la presencia y densidad de la cubierta vegetal y la humedad antecedente. (Gómez-Plaza, 2000).

Hay que tener en cuenta la distribución espacial de la vegetación, como las formaciones y la tipología, ya que, en los episodios de escorrentía en laderas, pueden darse contrastes entre zonas, pudiéndose diferenciar las zonas de máxima erosión cuya tasa de escorrentía sea mayor. Esto es debido a que la vegetación tiene la función de

proteger del suelo para detener el desarrollo de la degradación del suelo (Ruiz-Sinoga et al, 2003).

Tras el análisis de los diferentes artículos de los conceptos clave, se puede entender que el estado del suelo depende de ciertos factores los cuales determinan su comportamiento. Factores como la materia orgánica, que con la creación de humus intensifica la actividad microbiológica con los procesos de descomposición y nutre el suelo o como factor pluviométrico, el cual según el tipo de suelo y la porosidad los procesos de percolación e infiltración, pueden infiltrar más o menos agua también dependiendo de la litología, el cual al llegar a saturar los suelos se iniciarían los procesos de hidrofobicidad y escorrentía.

En episodios meteorológicos que llevan consigo una descarga pluviométrica de cierta intensidad temporal entre 20 y 60 mm/h, los cuales están catalogados como muy fuertes y torrenciales según AEMET, generan el factor determinante para iniciarse los procesos erosivos hídricos en las cuencas hidrográficas mediterráneas. Este proceso depende de la orografía y de la pendiente, el cual por inercia gravitatoria los desprendimientos de agregados con cierta inestabilidad, llevan consigo el impacto de la lluvia, el cual en laderas estos agregados empiezan a entrar en movimiento. Como estamos ante la presencia de suelos aridificados y desgastados, no existe protección alguna por cobertura vegetal que pueda mitigar el impacto y aceleramiento de los agregados, sumado a que en este estado el suelo presenta más agregados sueltos. La cantidad desprendida en movimiento gravitacional es mayor junto al factor de aceleración, siendo más potentes y destructivas a su paso por la ladera. La capacidad de infiltración de los suelos, los cuales, al estar saturados, ya no tienen capacidad de retención y se inician procesos de escorrentía siguiendo el modelo hortoniano discontinuo o mixto (Ruiz Sinoga et al., 2003). Los cauces y avenidas fluviales van cargados de sedimentos desprendidos de la ladera y tienen un comportamiento destructivo por la cantidad masiva e irregular de agua que transporta, desde los puntos más elevados hasta el desagüe, desemboca al mar produciéndose así desbordamientos, inundaciones, eventos catastróficos, los cuales se localizan zonas urbanas, periurbanas, núcleos urbanos y zonas urbanizadas.

A causa de esta problemática en las cuencas mediterráneas, la modelización hidráulica comenzó a tener una mayor importancia, para prevenir los riesgos de desastres por una mala gestión de la cuenca hidrográfica, a causa de inundaciones y sucesos catastróficos, siendo un riesgo para los asentamientos urbanos en los puntos de desagüe y zonas costeras. La modelización hidráulica cuenta con una planificación centrada en la construcción de infraestructuras de soporte y contención como embalses, evaluaciones de riesgos ambientales y políticas agrícolas (Pascual-Aguilar & Díaz-Martín, 2016). Desde el punto de vista tecnológico, se han llevado a cabo la elaboración de diversos softwares especializados en la modelización de cuencas hidrográficas, como el HEC-HMS desarrollada por el ejército de los Estados Unidos, con el implemento de factores de estudio como el número de curva del servicio de conservación de suelos de Estados Unidos, el cual determina las zonas con una mayor capacidad infiltradora siendo estos valores los más cercanos a 0 y los que tienen una nula capacidad infiltradora cuyos valores son los próximos a 100. Estos números de curvas van determinados por la litología y edafología del suelo. Todos estos parámetros son introducidos a los

programas de modelización y se le inserta un evento meteorológico para poder simular el comportamiento de la cuenca.

3.2. Teledetección

La teledetección se define como técnica de procesamiento de datos espaciales mediante la adquisición de imágenes de la superficie terrestre a partir de sensores satelitales capaces de cubrir y mantener una relación sensor-superficie, teniendo una interacción energética tanto por absorción como dispersión ya sea por reflexión de energía solar o artificial (Chuvieco, 1995).

El sistema de teledetección espacial presenta un organigrama basado en primeramente la fuente de energía, ya sea por un sensor (teledetección pasiva) o por un destello energético emitido por la estación espacial receptora (teledetección activa). Seguidamente el siguiente factor a tener en cuenta es la superficie terrestre, la cual presenta una distribución espacial heterogénea de los diferentes elementos tanto naturales como antrópicos. El siguiente factor es el sistema sensor, compuesto por diferentes sensores que captan la energía de la superficie terrestre y por último, el sistema recepción, donde se procesan y corrigen dichos datos emitidos por el sensor espacial, realizado por un especialista para presentarlo a un usuario final encargado de interpretar dichos resultados.

La espectrometría es el resultado de la interacción entre radiación y materia interpretado en longitudes de onda. Dentro de esas longitudes de onda se puede encontrar un espectro que varía según la distribución energética de las diferentes ondas electromagnéticas. Esta representación se le conoce como espectro electromagnético, desde un punto donde la longitud de onda de la radiación es menor, hasta ondas de gran repetición de frecuencia.

El espectro se divide por longitudes de onda, ya que cada longitud tiene su centro y dicho intervalo se segmenta por regiones.

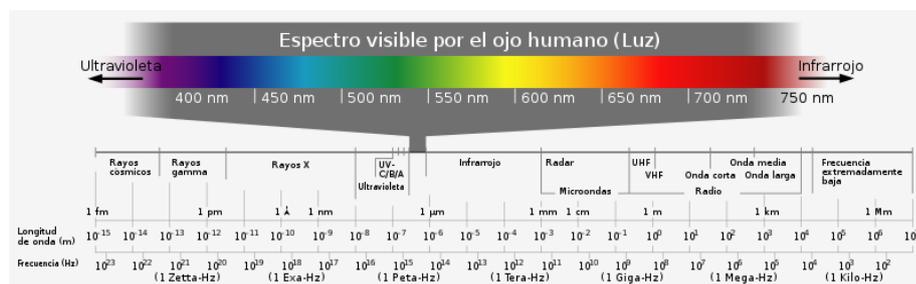


Figura 1. Inductiveload. (n.d.) *Representación del espectro electromagnético.* Fuente Inductiveload.

El espectro electromagnético de menor longitud de onda a mayor se clasifica a partir de los rayos gamma, rayos X, Ultravioleta, Espectro visible (azul, verde, rojo), infrarrojo cercano, medio y lejano, Microondas, Ultra altas frecuencias de radio, ondas corta, media y larga de radio y muy baja frecuencia de radio.

Dentro del espectro electromagnético, para este estudio nos vamos a centrar en las longitudes de onda pertenecientes al espectro visible, con las bandas Azul, Verde y

Rojo, junto al espectro visible, concentrados con la banda infrarroja cercana o NIR. Cada banda ofrece información relevante y distinta a las demás, como las bandas Borde rojo e infrarroja cercana, las cuales, al tener una longitud de onda mayor, el sensor puede captar la actividad fotosintética de la vegetación, pudiéndose determinar el estado y salud según su vigorosidad y densidad.

Con la información que ofrece cada una de las bandas se pueden realizar multitud de estudios según la variable analizada, ya sea por combinaciones de bandas para representar el espacio con tonalidades a falso color, o mediante índices como el índice de vegetación para crear mapas y datos representativos para determinar el estado de la vegetación, o para crear representaciones del uso de suelo según los elementos que componen el territorio como las clasificaciones supervisadas, estudios espectrales, entre otros.

Los drones a día de hoy han determinado ser de gran utilidad para las técnicas de teledetección, reinventando el concepto y uso, creando e iniciando una nueva rama geotecnológica, siendo de gran potencial para estudios ambientales y de agricultura de precisión, todo esto debido a la mejoría de resolución siendo centimétrica, comparadas con los primeros satélites para técnicas de teledetección como la serie Landsat 1, 2 y 3 en los 80, cuya resolución era de 80 metros el píxel y con los satélites actuales de libre descarga como la serie Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea con una resolución entre 60, 20 y 10 metros el píxel (Deng et al, 2018).

4. ÁMBITO DE ESTUDIO

Una vez analizada la situación de las cuencas mediterráneas andaluzas, pasamos a centrarnos en el área de estudio para este trabajo final de grado, el cual se localiza en la cuenca del Jaboneros. Para concretar el espacio de análisis, se centrará y profundizará en el área de estudio principal.

4.1. Localización

La cuenca del Jaboneros, está situado en la parte oriental de la ciudad de Málaga, custodiado por los Montes de Málaga al norte y en su punto más bajo localizándose zonas periurbanas y urbanas, donde se puede observar desarrollos urbanos en la cuenca baja, como barriadas en pendiente cercano al monte san Antón y alrededores, desembocando en el Mar Mediterráneo en torno al núcleo urbano de Pedregalejo, localizado en el distrito Este de la ciudad. La cuenca tiene una extensión total de 29,8 km². El arroyo principal de la cuenca, el arroyo Jaboneros, nace en el sector más cercano a los Montes de Málaga, teniendo una longitud de su cauce principal de 11,5 km y en su totalidad de 20 km. Se pueden encontrar diferentes usos de suelos en la cuenca, tanto espacios recreativos, forestales y agrícolas.

Para el área de estudio se centra en las subcuencas del sector norte, más concretamente en la subcuenca 2 y colindado por la subcuenca 1 como observamos en el mapa de situación. Cabe resaltar que se ha escogido esta zona por ser la intersección

de los dos caudales de la subcuenca, donde el desgaste y degradación del suelo es mayor y sumado al desnivel y elevación la extensión total de esta área es de 113 hectáreas. Para la zona sobrevolada con el dron, al no poder abarcar todo el espacio del área de estudio, se ha priorizado sobrevolar el caudal de avenida, la extensión total es de 25 hectáreas.



Mapa 2. Mapa de localización de la cuenca del Jaboneros y de la zona de estudio. Elaboración propia.

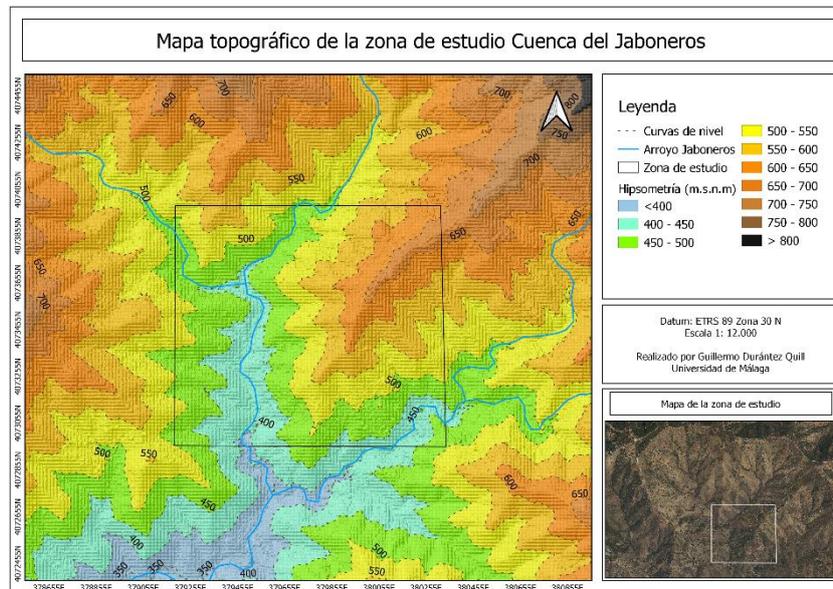
4.2. Medio físico

El medio físico de la zona de estudio muestra una variabilidad en los diferentes campos de la geografía física los cuales se procederán a analizar.

4.2.1. Orografía

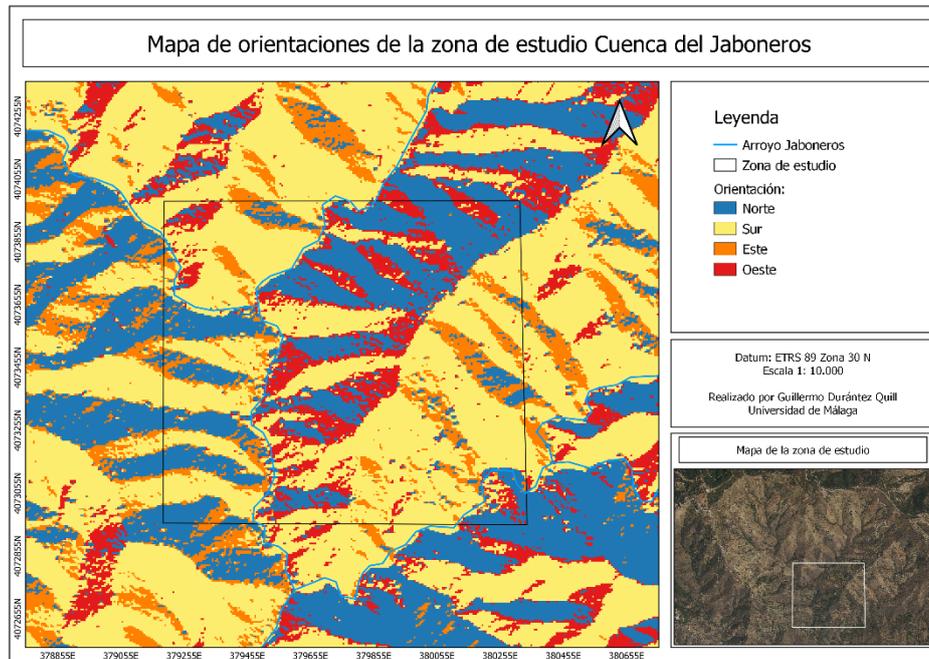
La orografía del área de estudio es completamente heterogénea. Según nuestro mapa topográfico, se puede observar que la zona de estudio se encuentra rodeada de laderas con una pendiente acusada entre elevaciones de 400 metros a 650 metros en el punto más alto. Se puede observar que el área de estudio abarca 3 laderas y secciones diferentes, la ladera del norte donde confluyen los dos arroyos por separado, parte de una altura de 700 metros, pero en el área de estudio la elevación se corresponde a 550 metros. Una vez intersectados los arroyos, observamos en la ladera oeste que parte de una altura máxima de 700 metros, siendo dentro del área de estudio una altura máxima de 500 metros. En la ladera este, observamos que la altura máxima es de 800 metros, y en el área de estudio se corresponde a 650 metros, siendo la ladera que abarca más espacio dentro de la zona de estudio y presentándose diferentes tipos de elevaciones. En la parte central observamos el valle fluvial, donde se registran alturas mínimas de 400 metros en el área de estudio y algunas zonas con una altura inferior, hasta los 350

metros en la sección más al sur. Se puede observar que el valle fluvial se ensancha a medida que desciende desde el punto de intersección entre ambos arroyos, hasta derivar al segundo punto de intersección fuera del área de estudio, ensanchándose más aún y descendiendo la elevación a medida que transcurre el cauce. Cabe resaltar que al estar centrado el área de estudio a la ladera oriental en su mayoría, se puede observar que ese cauce y conjunto hidrológico, se corresponde a la subcuenca 1, como muestra el mapa de situación.



Mapa 3. Mapa topográfico de la zona de estudio. Elaboración propia.

En el mapa de orientación de laderas, se puede comprobar la disposición entre zonas de solana y umbría en el territorio. Según la orientación de la ladera, la ladera norte del área de estudio tiene una total exposición al sur, junto a secciones orientadas al oeste. Esto indica que está orientada mayormente a la solana, lo cual la capacidad de humedad y disposición hídrica es menor. En la ladera occidental al área de estudio, muestra secciones tanto orientadas tanto al norte como al sur. Esto nos indica que son formaciones de ladera el cual, por sombra, las zonas orientadas al norte, es decir, en umbría, tienen una humedad y disposición hídrica mejor. En la ladera oriental orientada hacia cauce principal, también se da una alternancia entre las formaciones de ladera norte, umbría y sur, solana, con orientaciones al oeste el cual tiene una mayor disposición de humedad que las orientadas al este. En la misma ladera oriental, en la cara sur, la cual pertenece a la subcuenca 1, la orientación muestra que está orientada al sur en su totalidad, siendo zonas de solana.



Mapa 4. Mapa de orientaciones de la zona de estudio. Elaboración propia.

4.2.2. Litología, edafología y geomorfología

Litológicamente se trata de una zona en la que se ha producido una tectonización intensa, teniendo un comportamiento impermeable derivando a un sistema hidrológico con signos de erosión lineal, originando laderas de tipo convexo, también denominadas como lomos de elefante (Mérida-Rodríguez, 1994). En la cuenca en su conjunto se puede observar las diferencias entre unidades litológicas. Se puede observar la presencia de calizas, grauwas, finitas (localmente finitas), metareniscas, metabasitas y grauwas, Margas yesíferas, areniscas y calizas y agrupaciones de micaesquistos, filitas y areniscas. La composición de la cuenca en su conjunto es predominantemente esquistosa, originada en el paleozoico con procesos de metamorización a posteriori. Estos materiales se corresponden al complejo Maláguide, pertenecientes a las Béticas interiores (Senciales-González & Rodrigo-Comino, 2011). La forma laminar y su porosidad limitada conlleva que edáficamente, se correspondan con suelos de infiltración escasa y con gran permeabilidad.

Conjuntamente, la cuenca del Jaboneros es característica por la composición de pizarras, condicionando a la facilitación de procesos erosivos. (Senciales-González & Rodrigo-Comino, 2011). Para la zona de estudio la unidad litológica que se muestra en su totalidad de la extensión son los micaesquistos, filitas y areniscas.

Los suelos predominantes se corresponden a los leptosoles étricos, amedrentados por el aprovechamiento de las laderas por prácticas agrícolas posteriormente abandonadas. Son característicos por tener una erosión hídrica elevada, con presencia de rocas y agregados rocosos. Otros tipos de suelo registrados en la cuenca son los regosoles calcáricos, también con una alta presencia de pedregosidad y fuertemente erosionados, siendo suelos imposibilitados para prácticas agrícolas.

Desde el punto de vista geomorfológico una vez analizada la litología y orografía, se puede analizar desde la perspectiva geomorfológica la cuenca. Al tratarse de un espacio topográficamente accidentado, con diferencias en cuestiones de permeabilidad, se frecuentan cabalgamientos y saltos estratigráficos, por lo deslizamientos entre otros procesos de riesgo. La morfología del relieve es variada, con zonas de pendiente acusada, sobre el cauce de avenida, se encuentran diferencias litológicas en toda su red entre conglomerados de pizarras y calizas. Según la fisiografía, dominan los cañones o valles encajados en forma de barrancos, bajo el sistema estructural denudativo, junto a secciones aisladas de diques intrusivos o metamórficos con influencia a fenómenos endógenos. En las zonas orientales septentrionales dominan las sierras sobre pizarras en relieves montañosos de plegamiento en materiales metamorizados inestables.

4.2.3. Climatología

La situación climática es de tipo mediterráneo templado-cálido, de predominancia seca. Las temperaturas medias anuales oscilan los 18°C con una tasa de 66% de humedad. Respecto a las precipitaciones, son irregulares, donde los meses con lluvias torrenciales están entre noviembre y enero y los meses de sequía en las épocas estivales, de junio a agosto siendo la precipitación nula. La media registrada es de 43 días de lluvia anuales con un total de 524 milímetros registrados irregularmente repartidas. Las laderas a barlovento son aquellas que la precipitación es mayor en la cuenca está respaldada por el conjunto montañoso de los Montes de Málaga al norte, actuando como barrera orográfica frente a los vientos helados del norte. Cabe destacar el uso término de precipitación geomorfológica en los meses equinociales (Sillero-Medina et al, 2019).

4.2.4. Biogeografía

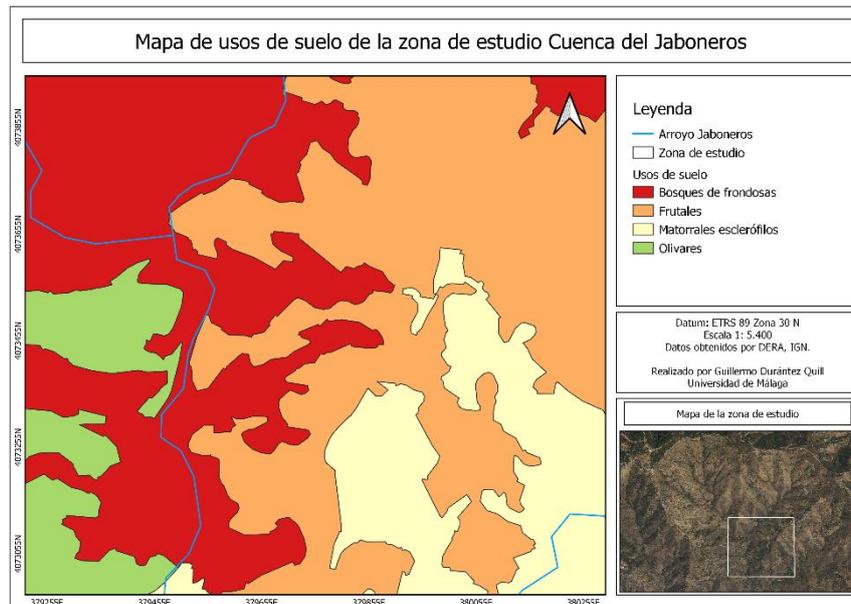
Según la clasificación de Rivas-Martínez (1987), pertenece la región mediterránea, piso termomediterráneo y de serie 27b, la cual se corresponde con zonas termomediterránea betico-algarviense seco-subhúmedo-húmeda basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Smilaci mauritanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum*). VP, encinares.

La cuenca pertenece al sector Malacitano Almirante, según la distribución de subregiones fitoclimáticas de España (Allué-Andrade, 1990), la cuenca se divide en dos secciones, la parte septentrional se corresponde a la asociación de Lentiscales, coscojares, encinares, y la parte meridional que se corresponde a Lentiscales coscojares, Acebuchales y encinares.

Tomando de referencia los datos del banco de datos de naturaleza, se ha podido delimitar las áreas según las formaciones vegetales que existen en la cuenca, para conocer la estructura ecosistémica. Los tres elementos diferenciales en la cuenca en su conjunto se diferencian entre zonas agrícolas y prados artificiales para uso de cultivos sin formación arbolada, siendo la clase dominante en el norte de la cuenca. Encontramos pastizales matorrales categorizados como monte desarbolado y formaciones de bosques mixtos de frondosas, pero en menor medida.

Según el mapa forestal de España, los sectores occidentales pertenecen a un tipo de clima esclerófilo, con formaciones de *pinus halepensis*, de una repoblación integrada con una estructura perteneciente a Bosque, arboleda, con una talla mayor de 7 metros. En la parte oriental, pertenecen a formaciones dispersas de Cultivos agrícolas, Tomillar mixto y a Garriga media degradada, de mosaico irregular.

En relación a los usos de suelo en el mapa se puede observar los diferentes usos en el espacio de la zona de estudio en cuestión, siendo bosques de frondosas a lo largo del cauce, cultivos de olivar en las zonas orientales, y frutales en la sección oriental, además de la presencia de matorrales esclerófilos.



Mapa 5. Mapa de usos de suelo de la zona de estudio. Elaboración propia.

4.3. Medio humano

4.3.1. Zonas periurbanas

La periurbanización se entiende como la distribución espacio-temporal de los fenómenos urbanos en las regiones próximas a ciudades, pudiéndose dar el caso de extender y mejorar las influencias sociales, políticas y económicas de la ciudad principal aledaña, sobre las áreas más urbanas más limitadas, ya sean espacios rurales, barriadas discontinuas o pequeños núcleos urbanos. La expansión urbanística de la ciudad de Málaga ha favorecido la mejora de la imagen de la periferia urbana del distrito este, dando lugar a nuevos desarrollos urbanísticos dinamizando las áreas de exclusión social y fomentando la economía. Según Gallegos-Reina (2015) la mitad sudoriental se localiza los “Pinares de San Antón” el cual se ha enlazado los procesos de urbanización con el contacto de la naturaleza, favoreciendo el aislamiento de la ciudad (Mériada-Rodríguez, 1994) suponiendo una revalorización del suelo al tratarse de zonas de interés popular. Este proceso supone la ruptura de la división entre ciudad y espacio rural gracias a la

urbanización dispersa y del desarrollo de la periurbanización. Otro factor ligado al favorecimiento de la periurbanización en esta zona es por la cercanía a la autovía, una red de comunicación de carreteras eficiente conectado entre los núcleos urbanos costeros con una disposición radiocéntrica a la capital de Málaga e infraestructuras de transporte de gran calidad como el aeropuerto, el puerto, el metro, la red de cercanías y la comunicación de buses, fomentando el desarrollo y promoviendo la economía turística, fruto de una región terciarizada como lo es la Costa del Sol en su conjunto.

4.3.2. Usos agrícolas

Históricamente, la zona perteneciente a los Montes de Málaga y alrededores han sido objeto de prácticas agrícolas, desde las poblaciones almorávides hasta el día de hoy. En el entorno de los Montes de Málaga y Axarquía, se puede encontrar desde cultivos especializados a la viticultura, los cuales a día de hoy están protegidos por la Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), en su programa SIPAM, como sistema importante del patrimonio agrícola mundial, además de cultivos de olivar, almendros, entre otros tipos de cultivos arbolados. Actualmente el cultivo por excelencia popularmente conocido en estas regiones son los cultivos subtropicales, por las condiciones climáticas que se dan, sumado a la extracción de agua de acuíferos, dándose el caso de la creación de pozos ilegales para la manutención de estos cultivos ya que necesitan de gran disposición hídrica para el correcto desarrollo de estas. En la provincia de Málaga se acumula un total de 105 millones de árboles en un total de 7.000 hectáreas produciendo en torno a 82.000 toneladas anuales, siendo el foco principal la región de la Axarquía, siendo un negocio rentable y creándose una burbuja económica dada la sobreexplotación del aguacate y el aumento progresivo del precio (Sánchez, 2020).

5. METODOLOGÍA

Una vez analizado el ámbito de estudio de este trabajo fin de grado, explicamos la base metodológica, con el fin de poder fundamentar y corroborar las hipótesis planteadas. El objetivo de este estudio es el de determinar las diferencias escalares y de resolución según los diferentes tipos de datos analizados, para comprobar si los resultados varían significativamente, o no, entre escalas y resoluciones. Al tratarse la zona de estudio de una cuenca mediterránea con evidencias de procesos erosivos, los datos reflejados determinarán el tipo de uso y estado del suelo, como se comportan entre escalas y resoluciones, si varían los resultados entre ellas, y si estos resultados disciernen de la realidad. La metodología aplicada junto a su instrumental son las siguientes.

5.1. Características y procesamiento del dron Phantom 4 pro Multiespectral

Los drones, también conocidos como RPAS (*Remotely Piloted Aircraft*) o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), son vehículos aéreos no tripulados. Pueden volar de forma autónoma sin necesidad de intervención directa. El piloto que lleva a cabo la operación de vuelo puede controlar el artefacto desde una estación remota, teniendo la posibilidad de optar a realizar vuelos asistidos o misiones automatizadas, dependiendo del tipo de uso que se necesite. Las agencias competentes en esta materia son la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), a nivel nacional, La agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), a nivel europeo y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Según Correas-Hernández et al (2017), la definición de RPA se basa en cualquier máquina pilotada por control remoto, pudiendo sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

Existen gran tipo de variedad de RPAS, en función de su peso y características. Los tipos de RPAS son aviones, helicópteros, multirrotores y dirigibles. Según su peso se pueden dividir en diferentes categorías a grandes rasgos y por subgrupos. Los grupos principales son de 0 a 25 kilogramos, de 25 a 150 kilogramos y aeronaves de más de 150 kilogramos.

Según los tipos de aeronaves, encontramos en la sección de aviones las alas fijas, que poseen o no algún sistema de propulsión como hélices o turbinas. Los de tipo helicóptero, la cual su sustentación se basa en palas giratorias, con uno o dos rotores sustentadores. Este tipo de aeronave tiene la ventaja de poder sustentarse por sí mismo de forma estacionaria en la atmósfera, pudiendo maniobrar desde los tres ejes, con una libertad total de movimiento. Como desventaja presenta una autonomía menor a la del tipo avión. Los de tipo multirrotor, se basan en los mismos principios dinámicos de los de tipo helicóptero, pero con la incorporación de más de dos rotores, los cuales aportan una mayor estabilidad de vuelo. Por último, están los de tipo dirigible, los cuales presentan la ventaja de tener una gran autonomía de vuelo, ya que se sustenta por el aire gracias al gas que presenta. La desventaja es que son aeronaves de pilotaje complicado por tener menos control de maniobra.

Los usos que se le pueden dar a este tipo de herramientas pueden ser de tipo recreativo o profesional, los cuales son beneficiosos para la multitud de sectores en los que se operan como en proyectos audiovisuales, seguridad y defensa, ingeniería, topografía, arqueología, revisión de infraestructuras, y para la agricultura de precisión y teledetección ambiental, que es por donde se enfoca dicho uso.

En los últimos años, se ha podido comprobar que el uso de drones para usos medioambientales y de agricultura se ha intensificado, por la gran capacidad y potencial que presentan estas herramientas para estudios enfocados a la teledetección y sistemas de información geográfica. Esto presenta una clara evidencia de las posibilidades que pueden ofrecer para el estudio de la geografía con herramientas geotecnológicas, la cual es la principal finalidad de mostrar en este TFG.

5.1.1 Legislación vigente.

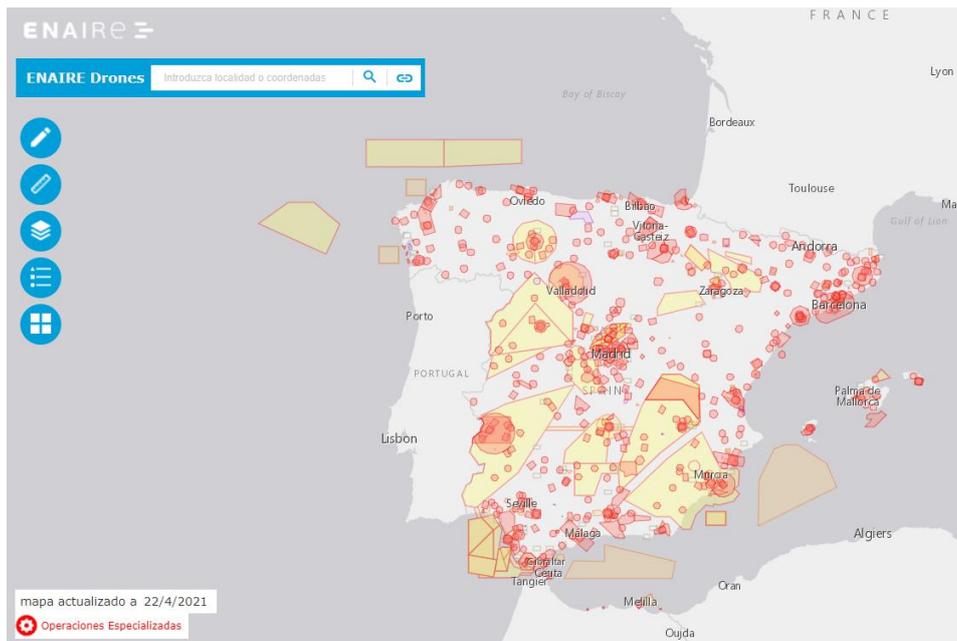
La legislación en el sector de los drones es muy restrictiva, por tratarse de aeronaves pilotadas por un público sin formación la cual sin tener unos fundamentos básicos de aviación y de los posibles peligros que tienen estos artefactos, pueden derivar a un mal uso y, en consecuencia, a accidentes y altercados de carácter mayor.

La legislación actual está sufriendo una transición derivada y promovida por EASA, la cual pretende crear una normativa europea general para tanto los usos recreacionales como profesionales, con el fin de tener más seguridad y control sobre el uso de las aeronaves. La legislación anterior con la que estaba fundamentada la normativa de estos usos se recoge en el Real Decreto 1036/2017, en el que se centra en explicar cómo se debe proceder para poder pilotar en España, complementando el nuevo estado de la legislación europea.

Existen dos tipos de usos con drones, el uso recreativo y el uso profesional el cual es en el uso que se centra este estudio. Para ser piloto profesional se debe realizar un curso especializado, el cual te habilita con unos conocimientos teóricos y prácticos desde una perspectiva aeronáutica. Una vez superado el curso, para operar profesionalmente se debe dar de alta como operadora. Este es el caso de empresas que usan drones para cumplir el reglamento. Es necesario que la operadora cuente con un seguro de responsabilidad civil y tenga los permisos médicos actualizados, además de disponer de un manual de operaciones y de operación en CTR (espacios controlados por presencia de zonas aeroportuarias) en caso de realizar vuelos dentro de este. Con respecto al tipo de uso siendo piloto profesional, se puede acreditar para diferentes tipos de aeronaves y de peso.

Con respecto a los tipos de operaciones de vuelo, los pilotos acreditados deben seguir una serie de pasos para la ejecución legal del vuelo. El más importante es si la zona donde se va a volar tiene algún tipo de restricción. En España, el espacio aéreo para drones cuenta con una gran cantidad de zonas con restricciones sin permiso de AESA y de las autoridades competentes. Las zonas de vuelo restringidas son principalmente por la presencia de zonas aeroportuarias, núcleos urbanos, parques naturales y nacionales, Zonas de Especial Protección para las aves (ZEPA), zonas de vuelo fotográfico prohibido por competencias de defensa, NOTAMS, entre otros factores. En caso de volar en una zona que no presente ningún tipo de restricción, se puede volar sin necesidad de acreditar ningún tipo de permiso.

Una vez establecida la zona de vuelo, la normativa general dictamina que la altura máxima que puede alcanzar un dron en espacio aéreo europeo es de 120 metros desde la zona de despegue. Se puede volar de forma VLOS, que trata de operaciones en línea de vista de la aeronave con una distancia máxima de 500 desde el piloto y en BVLOS, que es aquella operación que se realiza más allá de la línea de vista, superando los 500 metros de distancia y teniendo de referencia orientativa las imágenes a tiempo real y la posición GPS del dron.



Mapa 6. Mapa de restricciones en el espacio aéreo español. Fuente Enaire AESA.

5.1.2. Características de la aeronave.

La aeronave con la que se ha realizado la operación de vuelo es el DJI Phantom 4 Pro Multiespectral. Esta aeronave pertenece a la firma multinacional china DJI, líderes en el mercado de drones por su tecnología vanguardista. Esta aeronave pertenece al Laboratorio de Geomorfología y Suelos de la Universidad de Málaga, facilitado para usos de investigación y para la elaboración de este trabajo final de grado.



Figura 2. Imagen del dron DJI Phantom 4 Pro Multiespectral. Fuente DJI

Las características y performance principales de esta aeronave son las siguientes:

- Peso de despegue: 1487 gramos
- Velocidad en ascenso: 6 m/s
- Velocidad máx en descenso 3 m/s
- Velocidad máxima 58 km/h
- Tiempo máx de vuelo 27 minutos aprox.
- GNSS de alta sensibilidad y frecuencia única: GPS + GLONASS + Galileo
- Distancia de muestreo de suelos (GSD): $(H/18.9)$ cm/píxel. (H indica la altitud)

Las características del sensor de esta aeronave presentan Seis sensores CMOS de 1/2.9" incluyendo un sensor RGB para el espectro visible y cinco sensores monocromos para la obtención de imágenes multispectrales. Los filtros usados son:

- Azul (B): 450 nm \pm 16 nm
- Verde (G): 560 nm \pm 16 nm
- Rojo (R): 650 nm \pm 16 nm
- Borde rojo (RE): 730 nm \pm 16 nm
- Infrarrojo cercano (NIR): 840 nm \pm 26 nm
- Obturador global: 2 MP

Este dron permite capturar la información necesaria para poder conocer el estado real del cultivo para una correcta gestión y control de la vegetación. Este dron no necesita de montaje suplementario para insertar el sensor, ya que se trata de una pieza única complementada al dron bajo un estabilizador de tres ejes. El sensor incorpora una cámara RGB, además de un conjunto de 5 bandas multispectrales Azul, Verde, Rojo, Borde Rojo e Infrarrojo cercano. Lleva incorporado un sensor de luz solar para poder capturar la irradiancia solar con la finalidad de maximizar la precisión de los datos, obteniendo un NDVI de mayor precisión. Cuenta con la posibilidad de visualizar en directo tanto las imágenes en RGB, como en diferentes tipos de índices de vegetación, como el NDVI y el NDRE. Esta aplicación es útil para poder tomar decisiones y tener un análisis preliminar del estado de la vegetación antes de iniciar el procesamiento de los datos. El Phantom 4 Multispectral incorpora un módulo RTK (Real Time Kinematic) para tener una precisión centimétrica de la ubicación de la aeronave conectada a la navegación cinética satelital en tiempo real. Este uso es idóneo para trabajos de gran precisión ya que ofrece un margen de error centimétrico.

Para las misiones automatizadas, es necesario instalar la aplicación DJI GS PRO, la cual te proporciona toda la información de telemetría de la aeronave y donde se pueden planificar las misiones automatizadas. Los usos de este dron están destinados para la agricultura de precisión, y gestión medioambiental, con la finalidad de tomar decisiones inteligentes basadas en análisis de datos y con información sobre el estado del cultivo para poder ahorrar recursos y maximizar las cosechas. El otro uso que tiene es para la supervisión medioambiental, para realizar análisis del estado de la salud de la vegetación en zonas de bosque, gestión de vegetación de ribera y mediciones de biomasa (Manual de especificaciones DJI Phantom 4 pro Multispectral, 2021).

5.1.3. Operación de vuelo

Para la ejecución del vuelo, es necesario disponer de un título acreditado como profesional, homologado para pilotar drones de hasta 25 kilos de masa máxima de despegue para todo tipo de entornos, incluido zonas CTR, tanto en modos VLOS y BVLOS. Cumpliendo con la legislación, es necesario trabajar bajo una operadora. Para este trabajo al poseer dicha titulación, experiencia y estar operando bajo la empresa AGRON, especializada en labores de teledetección con drones, ha sido posible la operación de vuelo. La zona donde se ha ejecutado la operación de vuelo no consta de restricciones, por la que se ha podido realizar satisfactoriamente.

El día 25 de marzo de 2021, a las 12 del mediodía se procedió a la ejecución del vuelo. Las condiciones meteorológicas eran idóneas, ya que no había viento alguno que pudiera alterar el desarrollo del vuelo y tampoco había indicios de nubosidad que alterasen los datos de reflectancia.

Una vez llegados a la zona de ejecución de vuelo, se procedió a elaborar la misión en la aplicación de DJI. Como se puede apreciar en la imagen, la extensión total del área de vuelo es de 16,96 hectáreas, con un total de 38 puntos de control y una distancia longitudinal de casi 7 kilómetros. Se procedió a volar a una altura de 103,2 metros sobre la altura de despegue, obteniendo un GSD (resolución centímetro por píxel) de 5,5 cm/px. Al haber una profundidad considerable de 100 metros de desnivel aproximadamente desde la triangulación de la misión para la toma de las imágenes a la zona de despegue, el GSD se incrementó a un total de 13 cm/px. El tiempo de intervalo para la toma secuenciada de las imágenes es de 2 segundos, la velocidad media de la aeronave en la misión era de 40 km/h aproximadamente y la misión duró un total de 12 minutos.

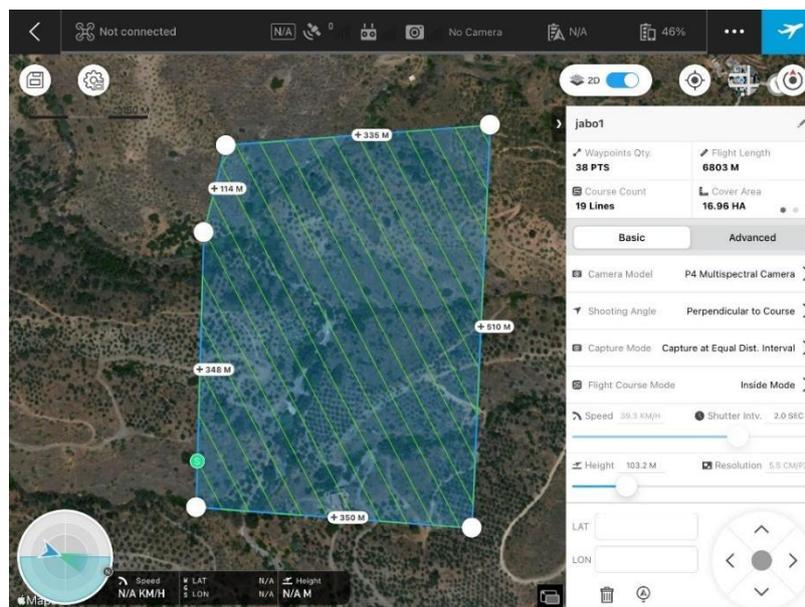


Figura 3. Aplicación DJI GS PRO. Misión de vuelo para la obtención de las imágenes en la cuenca del Jaboneros. Elaboración propia.

Para poder maximizar la calidad de los datos en la misión de vuelo, se han tenido en cuenta diferentes factores:

Con respecto a la disposición del polígono seleccionado para el cubrimiento de las áreas se ha tenido en cuenta la orientación del sol y la orientación de la ladera con respecto al sol ya que el objetivo es el de tener los valores de reflectantes lo más normalizados posibles sin la alteración de los efectos de radiación solares que provocaría el desajuste de la calibración radiométrica de los sensores por una sobreexposición a causa de volar perpendicularmente en dirección al sol y en la ruta de vuelta tener valores de reflectancia más bajos a causa de las sombras. De esa forma se ha procedido a hacer el vuelo en forma diagonal para evitar lo máximo posible estos hechos.

Se ha volado una extensión de 15 hectáreas aproximadamente, el cual se ha obtenido un GSD de 5,5 centímetros m por píxel, lo que significa que a la altura a la que estamos establecidos que era una altura de 630 metros, pero en la zona con mayor profundidad en la cuenca, con una altura de 400 metros, el GSD duplicaría el valor inicial teniendo una diferencia entre los puntos más elevados y bajos, teniendo una menor resolución alcanzando un máximo de 13 GSD con respecto a la configuración de la altura inicial de vuelo.

Se ha tenido en cuenta el overlap y traslape (solape frontal y lateral) volando a un ángulo de 90º grados, es decir, a vista completamente cenital de la toma de imágenes. Con esto nos aseguramos de que al menos se solapen y coincidan un número considerable de imágenes con el que se tendrá mayor precisión en la elaboración de los ortomosaicos. La operación de vuelo ha durado un total de 13 minutos en el cual, en la grilla, la velocidad promedio ha sido de 45 km/h bajo un intervalo de toma de imágenes equivalente a la distancia.

La hora en la que se ha realizado la misión fue a las 13:00 horas, la cual ha sido estudiada para obtener las imágenes cuando la posición del sol era lo más cenital posible, con la finalidad de tener menos indicios de sombra en la toma de las imágenes. Como se ha mencionado anteriormente, se ha realizado en unas condiciones meteorológicas óptimas en la que no ha incidido la reflectancia de las nubes ni otros tipos de factores meteorológicos por lo que la recogida de datos ha sido la más óptima y fiable posible.

5.1.4. Procesamiento de datos

Una vez recopilados los datos en la misión de vuelo, se procede al paso de procesamiento. Para el análisis y procesamiento de datos con drones existen varios tipos de softwares especializados para este tipo de trabajos. Con los programas que se han podido contar han sido con los softwares Agisoft Metashape y Pix4d la versión Enterprise. Se han procesado en dos programas diferentes para poder determinar las diferencias de procesamiento entre softwares y determinar cuál es el que supone una mayor calidad de procesamiento. Bajo un análisis preliminar y comparando los informes de procesamiento de ambos softwares, se ha comprobado que el procesamiento de las imágenes con una calidad más óptima ha sido el del programa Pix4d. Un campo de estudio a investigar sería el de determinar qué software procesa mejor los datos y para

qué tipo de labores. A pesar de este apunte, no se entrará más en detalle de dicha cuestión ya que no es el objetivo del estudio.

Los procesos a seguir para obtener un ortomosaico de calidad con los valores de reflectancia normalizada son los siguientes:

- Calibración radiométrica. Este proceso trata de calcular el proceso de orientación, alineación y calibrado de las imágenes. Dicha función permite al programa georreferenciar cada una de las imágenes y realizar un montaje preliminar del polígono como resultado de la superposición de todas las imágenes. En el caso del dron usado, no es necesario realizar una calibración con paneles reflectivos ya que el sensor de luz corrige automáticamente la reflectancia sin alteraciones de la irradiancia solar.
- Optimización de las imágenes. Este proceso sirve para mejorar la alineación y orientación del paso anterior, sumándole el factor de optimización de las imágenes, eliminando aquellas que resulten borrosas o carezcan de nitidez.
- La generación de nubes de puntos. Las nubes de puntos son un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional con valores x, y, z. Son representaciones de la superficie que puede ser creada por un láser de tipo escáner, como el caso de sensores LIDAR, o por técnicas fotogramétricas de precisión. La densidad de una nube de puntos densa es similar a las capacitaciones de los sensores LIDAR, el cual es capaz de representar pequeños detalles en la escena.
- Generación de malla y mapeo de texturas. En este proceso se usa los resultados obtenidos por la generación de la nube de puntos densa y crea una malla o TIN, el cual modela cualquier tipo de objeto en el espacio, dándole relieve y texturizándolo para tener resultados lo más realista posible en la modelización 3D. A este proceso se le suma el factor de interpolación para obtener resultados más precisos.
- Creación del ortomosaico. Un ortomosaico es una representación realizada a base de fotografías realizadas mediante técnicas fotogramétricas de la zona de estudio en cuestión. El ortomosaico está georreferenciado y se representa en dos dimensiones en formato rasterizado, teniendo cada píxel un valor determinado.

Una vez creado el ortomosaico, se procede a normalizar los valores de reflectancia, y que, al ser un archivo de 16 Bits, es decir, de 65.532 valores digitales, la representación de la reflectancia está sobreexpuesta, por lo que se debe realizar la división del valor anterior por cada banda para obtener los valores de reflectancia normalizados del 1 al 100, o más bien planteado, del 0 al 1.

Una vez obtenidos los valores de reflectancia normalizados, se pueden realizar diferentes funciones como la creación de un Modelo digital de elevaciones, un modelo digital de la superficie y generar curvas de nivel. Otras herramientas permiten calcular áreas, longitudes, entre otros.

El último paso es exportar el ortomosaico a un Sistema de información geográfico, el cual para el procesamiento de todos los datos de este estudio se ha usado el software QGIS.

Para el cálculo del índice de vegetación se ha usado el índice NDVI o índice de vegetación de diferencia normalizada, para obtener los resultados del estado de la vegetación del área de estudio.

Con respecto a la extensión de la zona de vuelo, logísticamente era inviable cubrir las 116 hectáreas por la escasez de baterías, por lo que el área de estudio de las imágenes con dron, se basan en un área limitada dentro del área de estudio, a pesar de este inconveniente, se ha priorizado cartografiar la zona central del cauce del arroyo jaboneros.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Figura 4. Fórmula para el índice NDVI. Fuente Medium.

5.2. Características y procesamiento del satélite Deimos 2

El satélite Deimos 2 es un satélite comercial de observación terrestre de alta resolución, el cual pertenece a la empresa española Deimos Imaging. Fue lanzado en junio de 2014. Su sensor multispectral posee cuatro bandas espectrales de 10 bits, además de una banda pancromática. La resolución que abarca este satélite para las bandas multispectrales es de 3 metros el píxel.

Las características de este sensor son las siguientes:

- Azul (B): 495.5 nm. 466 – 525
- Verde (G). 565.5 nm. 532 – 599
- Rojo (R). 668.5 nm. 640 – 697
- Infrarrojo cercano (NIR). 831 nm.770 – 892

5.2.1 Niveles de procesamiento

Este satélite cuenta con diferentes tipos de niveles de procesamiento, el nivel 1B que ofrece una calibración y corrección radiométrica, pero no ortorectificada y la diferencia de resolución es mayor. El otro tipo de resolución es el nivel 1C, la cual te

ofrece una calibración y corrección radiométrica corregida, además de estar ortorectificada bajo el tipo de datum al que se trabaje. La ventaja es que en las imágenes multiespectrales la resolución es mayor por 1 metro de diferencia.

Table 3: DEIMOS-2 Products Characteristics vs. Processing Level

Product Type	Processing Level and Spatial Resolution		Spectral Bands		
	L1B (native)	L1C (ortho)			
Pan-sharpened	1.0 m	75 cm	All	R, G, B	NIR, R, G
Pan	1.0 m	75 cm	Only Pan Band		
MS	4.0 m	3.0 m	Only MS Bands		
Bundle (Pan+MS)	1.0 m (P), 4.0 m (MS)	75 cm (P), 3.0 m (MS)	All		

Tabla 1. Tabla de los tipos de niveles de procesamiento del satélite Deimos 2. Fuente Deimos Imaging.

5.2.2. Procesamiento de las imágenes

Las imágenes adquiridas están procesadas a nivel 1C, ortorectificadas y referenciadas bajo el datum ETRS89 Zona 30 Norte. Las imágenes al estar en niveles digitales, se ha tenido que realizar una serie de conversiones para obtener las imágenes en valores de reflectancia en superficie. Se han adjuntado además de las imágenes, archivos de texto con los metadatos para poder realizar las conversiones. Todo este proceso se ha calculado mediante la herramienta “calculadora ráster” del software QGIS.

El primer paso es el de realizar la calibración radiométrica, para poder tener los valores en radiancia. La fórmula para dicha conversión es la siguiente.

$$Radiance_B = DN_B * Gain_B + Bias_B$$

Figura 5. Fórmula para el cálculo de la radiancia. Elaboración propia.

Una vez realizado el paso de conversión a valores de radiancia por cada banda trabajada, se procede a reconvertir estos valores en reflectancia en atmósfera, también conocido como TOA (Top of the Atmosphere). Este proceso parte de la siguiente fórmula.

$$\rho_\lambda = \frac{\pi d^2 L_\lambda}{E_{0\lambda} \cos\theta_s}$$

Donde:

- ρ_λ Reflectancia TOA de la banda espectral λ
- d Distancia de la Tierra al Sol en Unidades Astronómicas.
- L_λ Radiancia TOA de la banda espectral λ
- $E_{0\lambda}$ Irradiancia solar exoatmosferica media.
- θ_s Ángulo cenit solar en grados.

Figura 6. Fórmula para obtener la reflectancia TOA. Fuente Deimos Imaging.

A partir de la fecha y hora de la adquisición de la imagen, se puede calcular la distancia Tierra-Sol (d), presente en los metadatos como <EARTH_SUN_DISTANCE> y el ángulo cenital solar (Θ_s) que está presente en los metadatos como <SUN_AZIMUTH>, calculado para el centro de la escena. Los valores de $EO\lambda$ para cada una de las bandas están etiquetados en los metadatos como <ESUN>.

Cabe destacar que esta ecuación no toma en cuenta los efectos atmosféricos, ya que es sólo una conversión de la radiación en el sensor en la reflectancia TOA. Los valores de reflectancia TOA reales dependen, no sólo en la reflectancia de la superficie, sino también en las absorciones y la dispersión atmosférica, que no están determinadas por esta conversión.

Para la obtención de las imágenes con valores de reflectancia en superficie, también denominado como BOA (Bottom of the Atmosphere), se ha realizado un proceso diferente, el cual se ha realizado mediante el software IDRISI TERRSET, mediante la herramienta "ATMOSC", el cual sirve para calcular la reflectancia en superficie mediante diferentes tipos de métodos.

Esta herramienta elimina las distorsiones que provoca la atmósfera, el programa ofrece varios métodos dependiendo con la información que se disponga en los metadatos. Los modelos son:

- Sustracción de objetos oscuros (DOS)
- Modelo $\text{Cos}(t)$
- Modelo de ecuación de transferencia radiactiva completa (Full)
- Modelo de reflectancia aparente (ARM)

Para este proceso se ha usado el método de sustracción oscura (DOS) por Chavez, por la que se sustenta en los píxeles catalogados como oscuros, y su radiancia recibida en el satélite se debe a la dispersión atmosférica, creando el efecto bruma.

Una vez obtenidos tanto las imágenes en reflectancia tanto en TOA, como BOA, se ha realizado una comparativa para observar cual imagen tiene valores más dispersos y con más variabilidad, para así comprobar las diferencias y cuales dan resultados más detallados. Como resultado de esta comparativa, se usarán para el transcurso de este estudio los datos a nivel BOA por su heterogeneidad y dispersión de datos, más acordes con la resolución y el tipo de medio al que se refiere en la zona de estudio, con grandes superficies con cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo.

Según los datos estadísticos, se puede observar la disparidad en los valores de media, desviación estándar, mínimo y moda. Con estos datos se puede determinar que la imagen BOA presenta valores más realistas para la resolución a la que trabaja, ya que los valores TOA, son bastante similares a los del Sentinel, siendo esta de una resolución de 10 metros el píxel.

5.3. Características y procesamiento del satélite Sentinel 2

El satélite Sentinel 2 pertenece a la flota Sentinel del programa Copernicus comandada por la Agencia Espacial Europea. Sus servicios están destinados a la observación de la tierra con el fin de tener un seguimiento cronológico del espacio terrestre, como bosques, zonas urbanas entre otros usos en el ámbito de la teledetección. La flota Sentinel está compuesta por dos satélites idénticos, el Sentinel 2A y Sentinel 2B.

Las imágenes multiespectrales de estos satélites están compuestas por 13 bandas, de diferentes resoluciones, entre los 10 metros, 20 metros y 60 metros. Para este estudio solo nos centramos en aquellas bandas que tengan la máxima resolución posible, las cuales son las siguientes.

Características del satélite:

- Banda 2 Azul (B): 490 nm. 448 - 546
- Banda 3 Verde (G): 560 nm. 537 - 583
- Banda 4 Rojo (R): 665 nm. 545 - 583
- Banda 8 Infrarrojo cercano (NIR): 842 nm. 763 – 909

Los niveles de procesamiento de los satélites Sentinel 2 están compuestos por 2 tipos.

- Nivel 1 (S2_MSI_L1C): Estas imágenes están en niveles de reflectancia TOA, es decir, en el tope de la atmósfera.
- Nivel 2 (S2_MSI_L2A): Las imágenes están en niveles de reflectancia BOA, es decir, en superficie.

Para este estudio, se han usado las imágenes Sentinel para dos fechas distintas, una para junio de 2017, la cual fue procesada a nivel 1, pero posteriormente mediante el método de sustracción de objeto oscuro se consiguieron los valores en superficie.

Para la imagen de marzo de 2021, la imagen fue adquirida a nivel 2, con lo que ya estaba en valores normalizados en superficie.

Las imágenes se obtuvieron mediante el portal accesible de Sentinel para la descarga de sus productos y las imágenes fueron procesadas mediante la herramienta "Semi Classification Plugin" de QGIS.

Sensores	Bandas	Centro de longitud de onda (nm)	Longitud de onda (nm)
Sentinel 2	Blue	490	448 – 546 (± 49)
	Green	560	537 – 583 (± 23)
	Red	665	545 – 583 (± 19)
	NIR	842	763 – 909 (± 73)
Deimos 2	Blue	495,5	466 – 525 (± 29)
	Green	565,5	532 – 697 (± 82)
	Red	668,5	640 – 697 (± 28)
	NIR	831	770 – 892 (± 61)
PH4 M.	Blue	450	434 – 466 (± 16)
	Green	560	544 – 576 (± 16)
	Red	650	634 - 666 (± 16)
	RE	730	714 – 746 (± 16)
	NIR	840	814 – 866 (± 26)

Tabla 2. *Tabla con los diferentes tipos de longitudes de onda según los sensores. Elaboración propia.*

Según esta tabla, se puede observar de manera más gráfica las diferencias entre longitudes de onda y donde se sitúa el centro de la longitud de cada banda por tipo de sensor.

En el sensor de Sentinel, se puede observar las bandas cuya longitud de onda tiene mayor amplitud, las cuales se corresponden a las bandas Azul y la infrarroja. Para el sensor del satélite de Deimos, las bandas con mayor amplitud espectral son las bandas verde e infrarroja cercana. Respecto al sensor del dron, la longitud de onda por cada banda sigue una distribución homogénea en el espectro visible y con un ligero aumento de amplitud en la banda infrarroja.

Según esta tabla con las diferencias entre longitudes de onda por banda, se puede determinar el tipo de resolución espectral. Los valores con una amplitud considerable en su longitud de onda como se ha catalogado anteriormente, son bandas cuya resolución espectral es menor a causa de abarcar más espacio en el espectro electromagnético, pudiéndose mezclar con otras regiones, generando en su ancho de banda ruido y provocando una descentralización la información.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de este estudio van a estar clasificados priorizando en primer lugar el análisis de la zona de estudio general por fecha, y posteriormente al análisis del píxel de Sentinel 2, también por fecha. Las variables principales analizadas son la clasificación supervisada, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), y las firmas espectrales. Se procederá a la explicación de cada resultado por sensor, realizando posteriormente la comparativa entre sensores según los datos estadísticos. Para concluir, se tomará en cuenta la salida de campo para la comparativa de los resultados en la realidad-terreno.

Para la comparativa entre resultados, se ha procedido a usar una metodología basada en la diferencia porcentual entre dos valores, sensor 1 siendo Deimos o dron y sensor 2 siendo Sentinel. El valor numérico muestra la diferencia porcentual respecto al sensor de referencia, en nuestro caso Sentinel, para obtener entre resoluciones las diferencias de los resultados. Si el valor entre sensores se acerca a 0, esto quiere decir que los resultados entre sensores tienen semejanza, si los valores se alejan del 0, más disparidad entre sensores. Los valores porcentuales que se presentan como valores negativos, significan que la diferencia entre resultados tiende a ser por parte de los sensores de Deimos o dron, según lo que se esté analizando, por ser valores más altos respecto Sentinel. Si el valor es positivo, significa que el valor de Sentinel es más alto que el otro sensor.

$$\left(\frac{\text{SENSOR 1 (Sentinel)} - \text{SENSOR 2 (Deimos o dron)}}{\text{SENSOR 2}} \right) \times 100$$

Figura 7. Fórmula para la obtención de la diferencia porcentual entre sensores. Elaboración propia.

6.1. Zona de estudio.

6.1.1. Junio 2017. Comparativa entre Deimos y Sentinel. Escala 1:5400

En primer lugar, todos los mapas y datos relacionados con este apartado, se encontrarán recogidos en el anexo I: "Datos y mapas de la comparativa entre Deimos y Sentinel, junio 2017. Escala 1:5400".

Seguidamente, en esta comparativa se va a proceder analizar las diferentes variables según los dos tipos de sensores disponibles para esta fecha, los cuales son las imágenes obtenidas por los satélites Deimos 2, el día 5 de junio de 2017 y del satélite Sentinel 2, el día 3 de junio de ese mismo año. Las resoluciones estudiadas serán de 10 metros el píxel por parte del satélite Sentinel 2 y de 3 metros el píxel por parte del Deimos 2.

6.1.1.1. Clasificación supervisada

En la clasificación supervisada, se puede observar en los mapas y gráficos encontrados en el anexo, las diferencias del uso y estado de suelo, los cuales son notables al tratarse de un área de 116 hectáreas a una escala 1:5.400. La clasificación se compone de la distribución de elementos como vegetación natural, zonas de cultivos arbolados, suelo desnudo y cubiertas vegetales débiles. Se puede observar que estos elementos están esparcidos y distribuidos espacialmente en la zona de estudio, siendo un territorio generalmente heterogéneo. La zona donde pasa el cauce del arroyo jaboneros, podríamos decir que es la zona de interés en este estudio, ya que se dan distintos tipos de usos y estado de suelo, y es donde más están marcados los procesos erosivos por la pendiente y orografía derivando a sucesos de torrencialidad en eventos meteorológicos adversos. En esta zona encontramos vegetación natural a pie de cauce. A modo general la vegetación natural está mayormente localizada en zonas donde pasa el transcurso de los cauces, que se debe por el tipo de suelo y disposición hídrica facilitadas en épocas de lluvia. Son las zonas donde mejor se cumple el desarrollo biotásico de la vegetación. El siguiente elemento de la clasificación a analizar son los sistemas de cultivos arbolados, los cuales están mayormente orientados en la ladera occidental en las zonas orientadas al norte, teniendo de referencia el cauce principal. Estas siguen un patrón espacial de dichos sistemas buscando las zonas de umbría, las cuales, al ser más húmedas, pueden favorecer el desarrollo de cultivos arbolados mediante un control hídrico de la vegetación por parte de los agricultores. A pesar de situarse en una zona de umbría, el nivel de escasez hídrica sigue siendo elevado en la zona por el tipo de clima al que se expone. El siguiente elemento a analizar son las cubiertas vegetales débiles, los cuales están compuestos por matorrales xerófilos semidesérticos, debido a las escasas precipitaciones que están expuestos y arvenses por tratarse de maleza y mala hierba en las zonas cercanas a los cultivos. Este elemento es de los que más espacio ocupa en el territorio, siendo el elemento dominante en el área de estudio. Por último, analizamos las zonas con suelo desnudo. Este tipo de suelo se encuentra en las zonas de pendiente, en suelos incapaces de poder desarrollar vegetación o por elementos antrópicos, ya sean carreteras o presencia de zonas urbanizadas. Según la ortofotografía del PNOA de máxima actualidad (2019), en nuestro espacio de estudio hay apenas presencia de elementos urbanos y antrópicos, salvo algunas casas y carreteras de acceso.

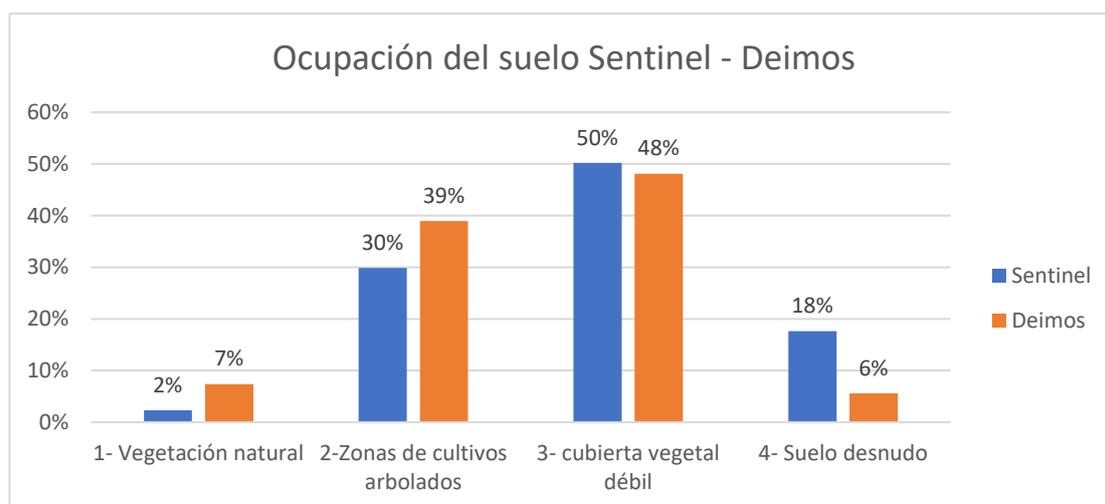
Resultados según el sensor

Los datos de Sentinel 2 a una resolución de 10 metros el píxel (*Anexo I, Mapa 8*), muestra según la clasificación una distribución heterogénea de los elementos espaciales en el territorio. Según la clasificación se ha podido determinar la extensión que ocupa cada elemento. Del total de la superficie de estudio que abarca 116 hectáreas, la vegetación natural ocupa 2,68 hectáreas, las zonas de cultivos arbolados, 34,7 hectáreas, las zonas con cubiertas vegetales débiles 58,33 hectáreas y el suelo desnudo 20,49 hectáreas. Según este análisis, observamos que la cubierta vegetal débil es el elemento dominante, junto a zonas de cultivos arbolados y menormente zonas de suelo desnudo.

Según el análisis con el satélite Deimos 2 a una resolución de 3 metros el píxel (*Anexo I, Mapa 9*), observamos que espacialmente están más ordenados los elementos en el territorio. Se puede observar claramente los patrones analizados desde el punto de vista de la resolución de Sentinel 2. La vegetación natural tiene una mayor presencia en las zonas cercanas al cauce y se observa que están localizadas en algunas laderas y cerca de zonas de cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo. El total de la superficie es de 8,62 hectáreas. Los sistemas de cultivos arbolados tienen una mayor presencia en el territorio, con un total de 45,56 hectáreas. Estos espacios están más intensificados en las laderas en umbría y zonas donde pasa el transcurso del río. Dentro de estas aglomeraciones, se observan zonas diferenciadas entre suelo desnudo y cubiertas vegetales débiles, resultado de una mejora en resolución espacial. Las cubiertas vegetales débiles siguen siendo el elemento dominante en el territorio, ocupando 56,25 hectáreas, esparcidos y orientados más en las laderas en solana hacia el oeste (*Anexo I, tabla 17*). Esto ya es indicio de que estas zonas no son idóneas para el desarrollo de la vegetación por la orografía, exposición al sol, escasez hídrica, facilitando el desgaste del suelo. Las zonas con suelo desnudo, muestran gracias a la mejora de resolución elementos diferenciadores entre factores antrópicos o naturales, como el caso de carreteras y caminos a lo largo del territorio, como zonas de suelo descubierto en las zonas de pendiente más acusada. También un indicio notable es por la presencia a su alrededor de cubiertas vegetales débiles. Estos elementos ocupan 6,21 hectáreas.

Diferencias entre sensores

Como se puede comprobar, la resolución entre los distintos sensores es notable para la clasificación, mostrando en el caso de Deimos una distribución espacial más exacta por su alta resolución. Ahora se comprueban los márgenes de diferencia del satélite Deimos 2, el cual brinda mayor exactitud por su alta resolución con respecto a Sentinel 2. Es decir, se comparan las diferencias entre una resolución de 10 metros el píxel respecto una de 3 metros el píxel, para ver si se asemejan o no los resultados.



Gráfica 1. Porcentaje total de ocupación de suelo entre sensores. Elaboración propia.

Clasificación	Porcentaje diferencial
Vegetación natural	-68,91%
Zonas de cultivos arbolados	-23,84%
Cubierta vegetal débil	3,70%
4- Suelo desnudo	214,75%

Tabla 3. *Porcentaje diferencial entre los sensores Sentinel y Deimos. Elaboración propia*

Según la tabla realizada con los porcentajes de diferencia teniendo de referencia los resultados obtenidos con el satélite Sentinel 2, se puede observar la diferencia entre resoluciones. Cuanto más se acerca el valor a 0, mayor similitud. Si los valores son negativos, los resultados tienen un valor mayor según el satélite Deimos 2, de lo contrario son positivos, los resultados tienen un mayor valor para Sentinel 2.

Se puede observar en la vegetación natural que el porcentaje diferencial es de -68,9% teniendo más ocupación en superficie Deimos, respecto a la clasificación del sensor de Sentinel. Para las zonas de cultivo el porcentaje diferencial es de -23.84%, habiendo una mayor ocupación según los resultados de Deimos. Para la cubierta vegetal débil, el valor porcentual es de 3.70% abarcando más superficie Sentinel respecto a Deimos. Lo mismo pasa para el suelo desnudo, teniendo un 214,75% de diferencia a favor de Sentinel.

La explicación para los valores positivos puede ser debidos a que en 10 metros el píxel, a pesar de haber diferentes elementos en ese radio, exista un elemento predominante en ese espacio de 10 x 10 y de ahí que ese píxel tenga ese resultado, abarque más espacio y por consiguiente, mayor ocupación en superficie. Esto se extrapola a los resultados de cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo.

Para los valores negativos, esto es debido a la mejoría de resolución respecto a Deimos, el cual, al ofrecer más detalle y precisión, la ocupación de la superficie de los elementos con valores negativos es mayor. Esto se extrapola a los resultados obtenidos de vegetación natural y cultivos arbolados.

Los valores que se alejan más del 0, independientemente de si es positivo o negativo, quiere decir que la ocupación es notablemente mayor que respecto al otro sensor, lo que deriva a una concentración de datos mayor, habiendo una mayor homogeneización y escasa variabilidad entre zonas, como es el caso de los cultivos arbolados y suelo desnudo.

Los resultados de esta variable derivan que entre resoluciones teniendo de referencia el satélite Sentinel 2, un sensor de una resolución de 10 metros el píxel, respecto a una resolución de 3 metros el píxel del satélite Deimos 2, la veracidad de los datos es alta para la escala estudiada según los márgenes diferenciales entre los resultados por sensor.

En definitiva y desde el punto de vista territorial, gracias a esta técnica se puede tener una percepción espacial de la distribución de los elementos en el territorio, siendo en nuestro caso la predominancia de suelos desnudos y cubiertas débiles, los elementos clave para las formaciones erosivas en la cuenca. Desde esta escala y resolución, se puede determinar la distribución y patrones de repetición, arrojando información sobre el comportamiento territorial de la cuenca, por lo que, para análisis espaciales de carácter general e identificatorio, los resultados serían útiles para su posterior estudio y toma de decisiones para la gestión adecuada de la cuenca y mitigar los efectos de degradación del suelo, limitando el desarrollo de escorrentías en episodios de torrencialidad.

6.1.1.2 Mapa NDVI

Para esta siguiente variable a analizar, se han realizado los índices de vegetación de diferencia normalizada entre los sensores analizados, Sentinel 2 con una resolución de 10 metros el píxel, respecto a Deimos 2, con una resolución de 3 metros el píxel. Para este estudio se ha comparado estadísticamente los resultados de ambos sensores, sumando el NDVI del satélite Deimos 2 a nivel TOA, es decir, en el tope de la atmósfera, para comprobar si hay disparidad entre resultados respecto a la reflectancia en superficie. Independientemente del resultado entre los índices de vegetación de Deimos tanto en BOA como en TOA, este estudio está centrado en los datos de reflectancia en superficie, por lo que se continuará para posteriores análisis con los datos a nivel BOA.

Los valores del índice NDVI van desde -1 a 1, el cual por intervalos se puede analizar cuáles son las zonas con vegetación más densa y vigorosa, respecto a zonas con apenas cubierta vegetal. Para este estudio se han realizado intervalos con la finalidad de tener un mapa lo más representativo posible. Los intervalos creados abarcan de -1 a 0, siendo esta vegetación inexistente por presencia de suelo desnudo o factores antrópicos, el siguiente intervalo abarca de 0 a 0,2, perteneciendo a cubierta vegetal muy débil, los intervalos de 0,2 a 0,4, los cuales muestran las zonas con vegetación dispersa o con unos valores asemejados a vegetación no saludable, variando según el tipo de vegetación con el que se trate y por distintos factores a tener en cuenta. El siguiente intervalo abarca desde 0,4 a 0,6, lo que muestra las zonas con vegetación densa y vigorosa. Por último, el valor entre 0,6 y 1, muestran la vegetación muy densa y muy vigorosa en el territorio.

La simbología que se ha usado en esta variable ha sido escogida adrede, para poder tener una clara diferencia visual en los tonos azules de las zonas de suelo desnudo, con apenas vegetación siendo las zonas con mayor riesgo de sufrir procesos erosivos y escorrentías, respecto a las zonas de tonalidades verdosas, amarillentas y rojizas, que simbolizan las zonas con cierta presencia vegetal desde zonas con escasa cobertura vegetal hasta las zonas con vegetación con mayor vigorosidad. Para ayudarnos a visualizar dónde se localizan dichos intervalos, es conveniente comparar las zonas según la clasificación supervisada realizada.

Resultados según el sensorSentinel 2

Según el mapa de NDVI para Sentinel (*Anexo I, Mapa 10*), los datos no muestran ningún patrón espacial, salvo la variación de las tonalidades en las zonas próximas al cauce, los cuales tienen valores entre 0,4 y 0,6 en toda su trayectoria, incluidas las laderas con orientación norte que estaban en umbría. Los valores entre 0,6 y 1, representan su máxima vigorosidad en las zonas por donde transcurre el cauce, siendo estas las que presentan las mejores condiciones biotásicas en relación al suelo, agua y clima. Se puede observar que no se ha registrado en la zona de estudio ninguna agrupación de datos correspondiente a suelo desnudo, de color azul. Según los valores estadísticos extraídos de este índice, encontrados en el anexo, vamos a analizar los parámetros más importantes para estimar los resultados.

Estadísticas	SENTINEL 2017
Media	0,32418178
Desv. Estándar	0,07867422
Min	0,08695654
Max	0,66610044
Moda	0,33333334

Tabla 4. Estadísticas para el sensor de Sentinel. Elaboración propia.

Los valores de la media de Sentinel, se corresponden a un valor de 0,324 sobre 1, con una desviación estándar de 0,078. Los valores mínimos registrados son de 0,086 y máximos de 0,666 sobre 1. La moda indica que los valores más repetidos se centran en el valor de 0,333. Este análisis indica que, según la desviación estándar, los datos están concentrados sin haber dispersión, lo que es indicio de homogeneización en la zona de estudio. Los valores promedios indican que se encuentra en una zona de vegetación dispersa, un valor alto para una zona de estudio de amplio tamaño con zonas muy contrastadas. Según el valor de los registros mínimos, no llegan a estar en valores menores a 0, esto quiere decir que no interpreta ninguna zona como zona de suelo desnudo sin presencia vegetal. Su máxima indica un valor de 0,66, un valor adecuado al tipo de zona y resolución a la que trabajamos. Por último, la moda indica cuales son los valores más repetidos e indica que están entre los intervalos de 0,2 y 0,4. Para tener una perspectiva más clara se va a proceder a analizar el histograma del satélite Sentinel 2.

Como observamos en el histograma (*Anexo I, gráfica 8*), en la zona de estudio observamos tres secciones diferenciadas con respecto a la distribución espacial de los datos. La primera sección abarca de 0 a 0,2 el cual la frecuencia de repetición en el eje Y de estos datos es prácticamente nula, la cantidad de datos que abarca esta sección en el eje X es muy poca, por su escasa longitud, ya que, en el intervalo a partir de 0,2 comienza la siguiente sección. La segunda sección muestra que en el eje Y de frecuencia los valores son muy elevados, siguiendo una dinámica ascendente, teniendo los valores de máxima repetición en 0,33 repitiéndose el dato más de 50 veces. La dinámica sigue

una distribución gaussiana, donde a partir del tope de campana, comienza a descender su frecuencia hasta los valores de 0,4 hasta los valores de 0,6, la frecuencia repetitiva de los datos es escasa.

Comparativa TOA-BOA Deimos

Con respecto a los datos de Deimos, se tienen dos variables, una en TOA (*Anexo I, Mapa 11*), es decir, la reflectancia en el tope de la atmósfera y la otra es BOA (*Anexo I, Mapa 12*), con valores de reflectancia en superficie. Con esta diferencia, se puede observar la diferencia entre un tipo de reflectancia y otra, con la finalidad de determinar cual ofrece mayor información y datos más asemejados con la realidad y con la resolución a la que se trabaja, en este caso, de 3 metros el píxel. Como esta comparativa no sigue la finalidad de este estudio, se comentarán los resultados a modo resumen.

Según nuestros resultados (*Anexo I, tabla 18*) por el porcentaje diferencial como referencia los valores BOA (ya que son la variable con la que trabajamos en este estudio) los valores porcentuales son dispares en todos los sentidos, dando una validez mayor por la dispersión de datos adecuados al tipo de resolución. Como se puede observar en la tabla, los valores TOA se asemejan más a los datos de Sentinel 2 que al BOA de Deimos 2, teniendo en cuenta la gran diferencia de resolución entre ellas.

Estadísticas	DEIMOS TOA	Porcentaje diferencial TOA respecto BOA	Porcentaje diferencial TOA respecto Sentinel
Media	0,3212274 9	210,63%	0,92%
Desv. Estándar	0,1080050 2	-34,85%	-27,16%
Min	0,0165604 1	-103,10%	425,09%
Max	0,7617529 6	-0,32%	-12,56%
Moda	0,2654809 4	-787,66%	25,56%

Tabla 5. *Porcentaje diferencial entre sensores Deimos TOA, BOA y Sentinel. Elaboración propia.*

Deimos 2

En el mapa (*Anexo I, Mapa 12*) se puede observar que existe una mayor variabilidad, dispersión de datos y elementos según la clasificación por intervalos dada. Se puede observar patrones de vegetación diferenciados por seguir el cauce, dándose en estas zonas los valores de reflectividad más altos por sus tonalidades amarillas y rojas. También observamos que existen zonas con valores entre 0,4 y 0,6 más dispersos y también orientadas en las zonas expuestas en umbría, donde se sitúan las zonas de cultivo. Observamos que los intervalos predominantes en la zona de estudio se corresponden a los intervalos entre -1 y 0, siendo esto zonas de suelo desnudo, sin

ninguna presencia de cobertera vegetal. Este intervalo sigue un patrón espacial heterogéneo, siendo más marcados en las zonas con exposición a solana, aun así, se puede observar que la zona de estudio tiene una gran presencia de suelo desnudo, que facilita los procesos erosivos.

Una vez comprobada la diferencia estadística entre los datos de reflectancia en tope de atmósfera y en superficie, nos centramos en los análisis estadísticos realizados para los datos a nivel BOA.

Estadísticas	DEIMOS BOA
Media	0,10341069
Desv. Estándar	0,16576802
Min	-0,53357321
Max	0,76420379
Moda	-0,03860616

Tabla 6. Estadísticas para el sensor de Deimos. Elaboración propia.

Como observamos en esta tabla los valores de la media están en 0,103, la desviación estándar muestra un valor de 0,165, la mínima de -0,53 en contraste con la máxima que es de 0,764 y la moda según los datos es de -0,03. La interpretación de estos resultados se basan en que el promedio de los datos del espacio de estudio en cuestión lo clasifica como una zona con cubiertas débiles, al estar en un valor entre los intervalos 0 y 0,2. Por el dato que ofrece la desviación estándar, la dispersión de los datos es mayor, lo que supone que no haya agrupaciones y haya variabilidad entre valores. Según los mínimos, el valor mínimo es de -0,53, siendo este valor zonas de vegetación inexistente por estar entre los intervalos de -1 y 0. Según los valores máximos, se registran en 0,764, lo que supone estar en zonas de mucha vigorosidad y vegetación densa por estar en zonas entre los intervalos 0,6 y 1. Por último, el registro de la moda se da en -0,03, siendo estos valores los más repetidos y con más frecuencia en los intervalos entre -1 y 0.

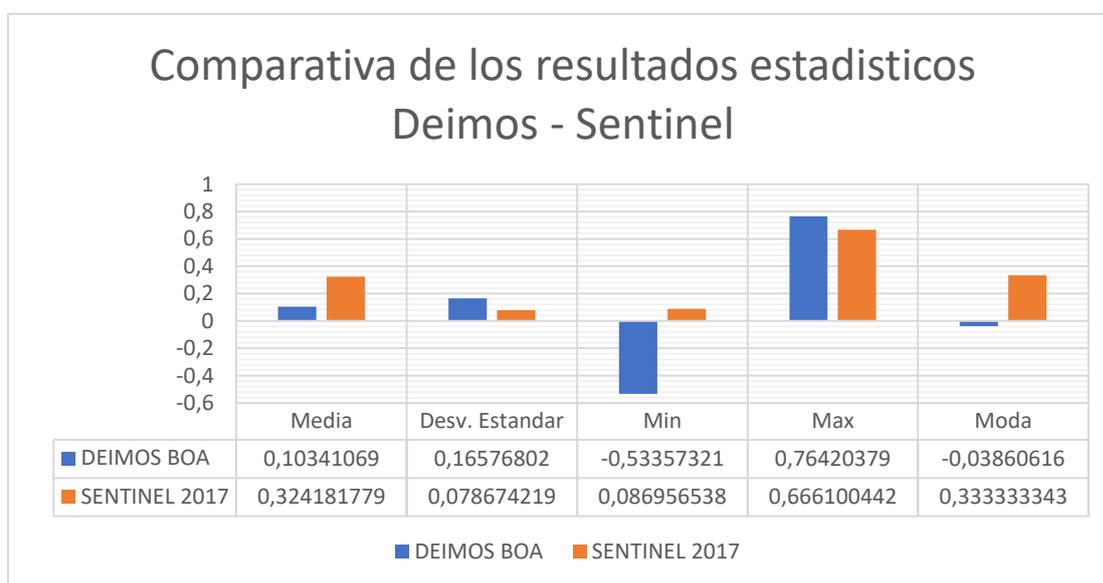
Para tener una perspectiva más gráfica, se van a analizar los datos desde el punto de vista del histograma.

Según el histograma del índice de vegetación del satélite Deimos 2 (*Anexo I, gráfica 9*), se puede visualizar tres tipos de secciones diferentes dentro de la gráfica, la primera sección está comprendida en el eje X de -0,5 a -0,2, presentándose en este intervalo una cantidad de datos con una inexistente frecuencia de repetición en el eje Y. En la segunda sección se puede observar que la frecuencia de repetición aumenta exponencialmente, hasta valores repetidos con un total de 500 veces, desde -0,2 en su base hasta 0, presentándose el valor más repetido en -0,010, un valor muy cercano a 0, lo cual indica que los valores más repetidos están entre los intervalos -0,1 y 0,5. Una vez alcanzada la cima de la campana, los valores a partir de 0 descienden su frecuencia de repetición exponencialmente en el eje Y, teniendo una curva lineal descendente progresiva en la parte final desde los valores 0,2 a 0,6, mientras la frecuencia de repetición de los datos vuelve a ser escaso.

Comparativa entre sensores.

Una vez analizados los resultados, se procede a compararlos. Desde la tabla que se ha realizado, se puede observar la diferencia porcentual entre los resultados estadísticos por sensor, para observar si se asemejan los resultados entre resoluciones.

Según la comparativa entre histogramas, la distribución espacial de los datos es parecida entre sensores destacando que los valores de máxima frecuencia de Deimos se dan en 0, mientras que para los de Sentinel se dan en 0,3. Este hecho ha derivado a que la distribución de los datos de Sentinel esté desplazado hacia valores positivos entre los intervalos 0,2 y 0,4, catalogados como vegetación dispersa, mientras que Deimos, una gran parte de los datos se concentra en los valores negativos, es decir en suelo desnudo y la otra sección entre 0 y 0,2, en cubiertas vegetales muy débiles. Esto quiere decir que Sentinel tiende a recoger e interpretar los datos hacia valores positivos, teniendo en cuenta que su resolución abarca más espacio.



Gráfica 2. Comparativa estadística entre sensores Deimos y Sentinel. Elaboración propia.

En la gráfica observamos que, la media de Sentinel es mayor que la de Deimos, situándose como vegetación dispersa mientras que según los datos de Deimos la media se sitúa entre los intervalos 0 - 0,2 categorizándose como cubierta vegetal débil. Según la desviación estándar el resultado de Sentinel es mayor respecto a Deimos, ya que este ofrece más dispersión y variabilidad de datos por tener mayor resolución. El valor con mayor disparidad es la mínima, ya que Deimos la registra con un valor de -0,53 mientras que Sentinel registra un valor de 0,08. La máxima entre ambos sensores presenta unos valores bastante similares. Según la moda, Deimos registra los valores más repetidos en -0,03, mientras que Sentinel lo registra en 0,33. Se puede determinar que la dispersión de los datos del índice de vegetación para Deimos es mucho mayor, pero con valores determinados a estar más cercanos al 0 es decir, con gran cantidad de zonas con escasa cubierta, siendo estas zonas de riesgo de sufrir procesos erosivos con mayor impacto.

Se debe tener en cuenta la resolución espectral, ya que la banda infrarroja de Deimos tiene una gran amplitud en su longitud de onda, posicionando su centro de longitud en 831 nm frente a los 842 nm de Sentinel. En contraposición para los resultados obtenidos con Sentinel, al estar en una zona con gran variabilidad de elementos en una superficie de 10 metros el píxel, no ha logrado mostrar a su resolución las zonas con mayor riesgo erosivo, interpretando los espacios de suelo desnudo como cubiertas vegetales débiles. Para este tipo y espacio de estudio a la escala de estamos trabajando y la resolución del sensor, los datos obtenidos no serían los más eficaces para la representación de los suelos erosivos y desgastados, además que en 10 metros el píxel según la zona, puede tratarse de un espacio con mayor o menor heterogeneidad, perdiéndose información relevante, como en nuestro caso para la identificación de zonas con suelo desnudo. Se puede deducir que el motivo por el cual los valores son más elevados en Sentinel, es que, en el píxel o agrupación de píxeles, el elemento reflectivo predominante sea de un valor elevado y de ahí que el sensor capte dicha información. Dichas hipótesis serán estudiadas más adelante en el estudio del píxel.

En conclusión, a pesar de ser resultados bastante dispares, tanto por la resolución espacial de Sentinel, como la resolución espectral de Deimos siendo de menor calidad el sensor de Deimos, se ha podido ganar mucha más información espacial por la resolución de 3m de píxel del sensor de Deimos, pudiendo identificar las zonas con una mayor área de suelo desnudo y cubiertas débiles, siendo estos datos de gran relevancia para el reconocimiento de las zonas de riesgo.

Desde el punto de vista territorial, como se ha comentado, para la identificación de suelos desnudos ha resultado más detallado. Sin embargo, cuenta con una peor recogida de datos en la banda infrarroja por su resolución espectral, siendo finalmente no del todo fiable para los valores de reflectancia de las formaciones vegetales. Por lo tanto, se desaconseja su utilización para la realización de índices de vegetación precisos. A pesar de esto, para un análisis preliminar identificatorio de suelos desnudos a mayor resolución, podría ser factible el uso de este sensor y para la escala trabajada.

6.1.1.3. Mapa a falso color

El propósito de esta variable a analizar, es el de poder diferenciar los diferentes elementos dada la composición de la imagen a falso color, es decir, cambiar el orden de las bandas para poder componer una imagen desde una perspectiva RGB, con las bandas 4-3-2, es decir, Infrarrojo cercano, rojo y verde, con la finalidad de resaltar las zonas donde la vegetación sea más predominante, la cual cuanto más densa y vigorosa sea, más rojo será.

Sentinel 2

Según la combinación de bandas (*Anexo I, Mapa 13*), se pueden diferenciar según los tonos rojizos cuales son los que tienen más intensidad y los que no. Para empezar, observamos la zona del cauce, que es donde más resalta la vegetación mostrando así su buena salud y vigorosidad. Se observan en las zonas de umbría que la tonalidad tiene cierta intensidad, mostrando así las zonas de cultivos arbolados. Respecto a las zonas de solana, la intensidad del color rojizo desciende considerablemente. Se puede observar las zonas de colores claros como carreteras y caminos y algunos puntos blancos, mostrando las zonas con presencia de factores antrópicos como casas o zonas periurbanas.

Deimos 2

En este mapa (*Anexo I, Mapa 13*) se observa con colores claramente diferenciadores, entre las zonas verdáceas a rojas, siendo estas las que ofrecen más información sobre la vegetación. Se puede observar que existe un patrón de zonas con mayor vigorosidad en la zona cercana al cauce. La distribución de estos elementos también se da en las laderas en umbría, mostrando que, junto a las zonas cercanas al cauce, es donde mejor desarrollo tiene la vegetación.

Comparando ambos mapas y resoluciones, se puede observar que desde un punto de vista visual la combinación de bandas del satélite Deimos ofrece una perspectiva visual más clara de los elementos diferenciadores, pero junto a la resolución del Sentinel, a pesar de este tener más tonalidades rojizas, las zonas con mayor intensidad de tonalidades rojizas se asemejan a los resultados obtenidos a una resolución de 3 metros el píxel.

Como conclusión se puede deducir que la comparativa visual de esta variable entre resoluciones es aceptable para visualizar las zonas de vegetación con más vigor, siendo la única diferencia entre resultados, la resolución, la cual cuanto mayor es, más exactitud tendrán los datos. Desde el punto de vista territorial, con los resultados de Sentinel pueden observarse dichas zonas de manera menos visual por la predominancia en todo el mapa de los colores rojizos en contraste con los colores clareados, siendo útil para la identificación de vegetación vigorosa pero no tanto para suelos desnudos y cubiertas débiles a la escala trabajada. En cambio, para Deimos, ha resultado de gran detalle las zonas diferenciadoras siendo eficaz en la identificación de zonas con menor cubierta, y por tanto de suelos desgastados.

6.1.1.4 Firmas espectrales

Las firmas espectrales determinan el comportamiento espectral de los diferentes elementos que se encuentran en el territorio, cada elemento tiene unos valores de reflectancia específicos, los cuales indican y determinan el tipo de comportamiento que tiene por cada banda. Estas firmas están sacadas de las muestras recogidas para la elaboración de la clasificación supervisada, creándose así un comportamiento espectral específico por tipo de clase, en nuestro caso, vegetación natural, zonas de cultivo,

cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo. El tipo de elemento se distingue por el comportamiento de las bandas en su conjunto, ya que, según el elemento analizado, el comportamiento variará o no según sus valores de reflectancia por banda. Cabe destacar que los resultados entre clase supervisada y firma espectral guardan correlación, debido a que, para la obtención de las clases, se ha extraído el comportamiento espectral por banda, resultando ser la firma equivalente al tipo de clase.

Sentinel 2

El resultado que se obtiene es homogéneo para los diferentes tipos de elementos diferenciadores que encontramos en el espacio de estudio (*Anexo I, gráfica 10*). Las cuatro clasificaciones analizadas tienen un mismo patrón de comportamiento, teniendo valores normalizados entre las bandas azul, verde, teniendo una variación notable entre firma en la banda roja y teniendo un crecimiento lineal ascendente en la banda del infrarrojo cercano.

Para la vegetación natural, en color azul en la gráfica, los valores de la banda azul son bajos, siendo el valor en reflectancia de 0,105, para la banda verde sigue la misma dinámica, teniendo un valor de 0,101. Es en la banda roja cuando desciende y su valor es de 0,07, comportamiento típico en firmas espectrales con presencia de vegetación. En la banda del infrarrojo cercano, el valor sube exponencialmente, hasta llegar a 0,338 en términos de reflectancia. Para la zona de cultivo arbolado, sigue una dinámica parecida a la de las zonas con vegetación natural, pero en la banda roja, el valor no es tan bajo como el caso anterior, y el valor en la banda infrarroja es de 0,185. Para las cubiertas vegetales débiles, observamos que los valores en la banda azul y verde son más altos que las anteriores. Esto es debido a que cuanto mayor sea el valor de estas bandas, mayor presencia de suelo desnudo habrá, por su alto valor de reflectancia que tiene en estas bandas. Sigue una dinámica lineal hasta en la banda infrarroja asciende a 0,198. Para el suelo desnudo, los valores en cada banda son mayores que el resto de clases, salvo para la infrarroja que tiene un valor de 0,21 superada únicamente por el valor de la banda de vegetación natural (*Anexo I, tabla 19*).

Estos comportamientos de patrones parecidos entre clases, muestran una homogeneización entre elementos según su reflectancia, dando sentido a que a esta resolución de 10 metros el píxel, al abarcar mucho espacio en esa área, los valores de reflectancia elevados y el comportamiento de la firma espectral se asemejan al comportamiento espectral de zonas con presencia de vegetación. Los aspectos diferenciadores en estas firmas se encuentran en las bandas azul y verde, que si son elevados muestran que hay menor presencia de vegetación, por lo tanto, más suelo desnudo. Otro aspecto diferenciador, se observa a partir de la banda roja, el cual cuanto menor es el valor en reflectancia, mayor es el indicio de presencia de vegetación y viceversa, sumado al valor elevado de la infrarroja que es la que determina absorción de energía por la actividad fotosintética de la vegetación, pudiendo analizar su estado.

Deimos 2

En estas firmas se observa mayor diferencia y, por tanto, mayor heterogeneidad en la gráfica. Se puede observar las diferenciaciones entre el comportamiento espectral con mayor y menor presencia de vegetación (*Anexo I, gráfica 11*).

Para la firma de la clasificación de vegetación natural, observamos que los valores de la banda azul son bajos, de 0,04, siguiendo un ligero ascenso en las bandas verdes con un valor de 0,05 y volviendo a descender en la banda roja hasta 0,04. Es aquí cuanto la firma tiene un crecimiento exponencial en la banda 4 del infrarrojo cercano, donde los valores ascienden a 0,161. Esta firma en su conjunto muestra una clara evidencia de una firma espectral de vegetación en buen estado y con vigorosidad. Para la clase de zonas de cultivo arbolado, observamos que los valores se asemejan al comportamiento de la firma perteneciente a la vegetación natural, pero con valores en la banda infrarroja menos elevados, de 0,12. Esto puede ser indicio de que la vigorosidad de las zonas de cultivo no sea tan elevada como las de la vegetación natural, esto puede deberse al tipo y estado del cultivo. Por otra parte, observamos la firma de cubiertas vegetales débiles, que tiene un comportamiento diferente a las anteriormente analizadas. En la banda azul el valor es de 0,07, continuando en la banda verde hasta tener un valor de 0,10 y en la banda roja valores de 0,11. Estos valores en su conjunto muestran un crecimiento ascendente progresivo, hasta llegar a la banda infrarroja, donde el valor desciende a 0,10. Esta firma claramente evidencia por los valores altos en las bandas azul, verde y roja, derivando a una presencia alta de zonas sin vegetación, en nuestro caso, con cubiertas débiles. Para la clase de suelo desnudo, el comportamiento espectral es el más heterogéneo de todos, siguiendo la siguiente dinámica. En la banda azul el valor obtenido es de 0,11, ascendiendo hasta llegar en la banda verde a 0,15. La progresión sigue una línea ascendente en la banda roja donde alcanza 0,18. y en la banda infrarroja el valor desciende considerablemente a 0,13 (*Anexo I, tabla 20*).

Comparativa entre sensores

Tipo	Diferencia porcentual			
	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	156%	72%	74%	109%
Zonas de cultivo	196%	102%	117%	47%
Suelo desnudo	8%	-28%	-33%	46%
Cubiertas vegetales débiles	77%	28%	26%	114%

Tabla 7. *Diferencia porcentual entre bandas de los sensores Sentinel 2 y Deimos. Elaboración propia.*

Según la tabla de diferencia porcentual entre ambos sensores. Observamos que Claramente Sentinel tiene valores en reflectancia más altos y existe más disparidad en las clases de vegetación, respecto a las zonas con menor vegetación y suelo desnudo. Como explicación a este hecho, se puede deducir que Sentinel recoge más información con valores más altos de reflectancia en las zonas de vegetación, respecto a Deimos. Respecto a las diferencias entre resoluciones espectrales, Deimos al tener valores más altos en la banda verde, por su centro y longitud de onda siendo de menor resolución, ha derivado en tener un comportamiento espectral propio de áreas con presencia de

vegetación, pero sin poder mostrar calidad espectral en la banda verde, a pesar de esto se ha podido clasificar y diferenciar correctamente los comportamientos espectrales por cada clase. Es de relevancia comentar que el centro de longitud de onda para la banda azul del sensor de Sentinel se sitúa en 490 nm con amplitud de 60, lo que deriva a que el sensor se centra en la región del Azul, mezclados con parte de la región del verde, siendo ineficaz la banda azul para Sentinel para datos de vegetación, teniendo las bandas azules y verdes valores muy semejantes entre ellas, cuando la banda azul debería tener un valor más bajo respecto la verde y así tener el comportamiento espectral típico para zonas de vegetación.

En definitiva, como geógrafos se ha de plantear que, desde el punto de vista territorial, esta técnica puede ser de gran utilidad para el análisis reflectivo de los diferentes elementos en el territorio, pudiéndose analizar tanto desde el punto de vista de la vigorosidad de formaciones vegetales, como para nuestro caso la identificación de zonas de suelo descubierto.

6.1.2. Marzo 2021. Comparativa entre dron y Sentinel. Escala 1:3000

Los resultados plasmados en mapas y gráficas se encuentran recogidos en el anexo II: Datos y mapas de la comparativa entre dron y Sentinel, marzo 2021. Escala 1:3000.

En esta fecha se ha podido comprobar la resolución de Sentinel respecto a un sensor de mucha más precisión y resolución con el uso del dron multispectral. El margen de diferencia de tiempo entre la captación de imágenes entre sensores es de 1 día. Para el estudio de esta comparativa, al trabajar en escalas diferentes, no podría ser comparable los resultados por la diferencia de extensión entre áreas. El área de estudio para las imágenes satelitales abarca un total de 116 hectáreas, pero para el dron es de 25 hectáreas, por lo que, para tener una comparativa estadística correlativa, las estadísticas del sensor de Sentinel, estarán relacionadas con el área de estudio del dron, es decir, a una escala de 1:3.000 y una extensión de 26 hectáreas.

6.1.2.1 Clasificación supervisada

En esta clasificación se observan las similitudes de la clasificación supervisada de Sentinel (*Anexo II, Mapa 15*), siguiendo los mismos parámetros como se ha analizado anteriormente, con los mismos elementos para la clasificación. La clasificación en general de la zona de estudio muestra resultados muy parecidos respecto a junio de 2017, observándose una similitud espacio-temporal correlativa entre fechas.

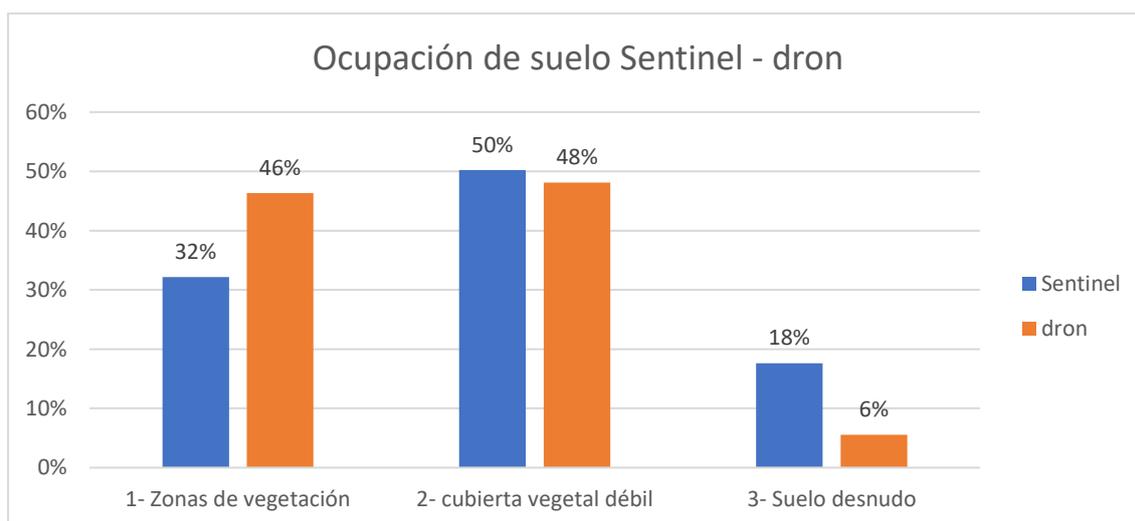
Comparativa entre sensores

Las diferencias observadas, comparándolas con la clasificación de 2017, muestran en fecha de 2021, que la vegetación en la zona de estudio abarca más espacio visual en las zonas en torno al transcurso del arroyo Jaboneros. Siguen predominando las cubiertas vegetales débiles en la zona de estudio y las zonas de suelo desnudo siguen una dinámica comparada a la clasificación de 2017.

La clasificación supervisada del dron ofrece datos de más resolución y calidad por tener una resolución de 13 centímetros el píxel (*Anexo II, Mapa 16*). Se puede observar

con mucha mayor claridad visual los diferentes elementos distribuidos por la zona de estudio. Aun así, a pesar de la resolución centimétrica, hay un margen de error, ya que en los 13 centímetros de resolución. Como ejemplo, la copa de un árbol, al tener diferentes valores de reflectancia, puede ser interpretada como vegetación natural, e interpretando el resto de la copa como zonas de cultivo arbolado. Para solventar este error, se agrupan los elementos de vegetación denominándose “zonas con vegetación”.

Según las zonas de vegetación, se puede observar su distribución por toda la subcuenca, estando más localizadas en las zonas de umbría y en las zonas cercanas al cauce del arroyo. Se puede distinguir las zonas de cultivo en las laderas orientadas al norte, con una gran presencia de vegetación arbolada, teniendo un sistema de distribución característica de cultivos arbolados en pendiente. En el resto de la zona de estudio, se puede observar que la cobertura vegetal es heterogénea, siendo más predominante en laderas de umbría. En esta clase, se puede encontrar tanto vegetación arbolada como vegetación natural, pudiendo corroborar que las zonas más propensas a ser vegetación natural se sitúan en el cauce del arroyo y el resto pertenecería a sistemas de cultivos arbolados. El elemento más destacado son las cubiertas vegetales débiles, ya que se puede encontrarlas en todo el espacio, siendo incluso distinguidas entre las zonas de vegetación aglomerada. Predominan en las laderas orientadas al sur, es decir, en solana. A su vez, destacan en zonas con mayor presencia de suelo desnudo, el cual también resalta según nuestro mapa por la cantidad de zonas que se encuentran en el territorio. En esta clase se puede diferenciar las zonas de suelo desnudo, con zonas de carácter antrópico como casas, carreteras o caminos. Dejando de lado esta agrupación de elementos antrópicos, se puede observar las zonas con mayor presencia de suelo descubierto a causa de la erosión y la pendiente, siendo las zonas más hostiles para el desarrollo de la vegetación. Los datos estadísticos de la ocupación en superficie entre estos sensores son los siguientes:



Gráfica 3. Porcentaje total de ocupación de suelo entre sensores. Elaboración propia.

Porcentaje diferencial	
Zonas de vegetación	25,84%
Cubierta vegetal débil	50,27%
Suelo desnudo	-61,45%

Tabla 8. *Porcentaje diferencial entre los sensores Sentinel y dron. Elaboración propia.*

Como se puede observar (*Anexo II, tabla 21*), existe cierta semejanza entre los datos obtenidos con el dron respecto a Sentinel. A pesar de la diferencia porcentual, se puede apreciar un indicativo de diferencia, el cual muestra la variabilidad de los datos entre sensores. Para las zonas de vegetación, el margen de diferencia es menor al 30%, teniendo más ocupación la clasificación del Sentinel. Para las zonas de cubiertas vegetales débiles, la diferencia de ocupación es mayor también para Sentinel, siendo un 50% más extenso que el dron. Para el suelo desnudo la diferencia es de -61% ocupando más espacio la clasificación del dron.

En cuanto a los valores negativos, encontramos la explicación de la mejora resolutive del dron respecto a Sentinel, pudiendo ofrecer información más detallada del espacio y pudiendo aumentar, o disminuir la ocupación de esa clase. Aun así, esta clasificación por la resolución y calidad es la que más se asemeja a la realidad. Respecto a los valores positivos, se debe a que la agrupación de datos de Sentinel es mayor respecto a esa clase, derivando a ocupar más espacio por la resolución del píxel.

Para concluir con esta variable, se puede determinar que la clasificación y resultados entre ambos sensores tiene cierta semejanza. Con ello, se puede determinar que, a esta escala, es decir 1: 3.000, la veracidad de los datos respecto a esta variable analizada es alta, teniendo un cierto margen de error en las clases con presencia de vegetación. En cambio, para la escala y resolución trabajada, los resultados para Sentinel son concluyentes. Así pues, desde el punto de vista territorial, la mejoría de resolución del dron, a pesar de tener márgenes de error en las clases de vegetación, los elementos de suelo desnudo y cubiertas vegetales débiles, lo ha representado correctamente, siendo esta información a esta escala y resolución, de gran utilidad para identificar las zonas de riesgo de suelos desnudos y poder tomar decisiones eficaces para la gestión de la cuenca.

6.1.2.2. Mapa NDVI

El índice de vegetación de ambos sensores muestra la distribución espacial de los datos, bajo la misma simbología aplicada para comparar las semejanzas a un nivel visual. Los datos estadísticos para la escala 1: 3.000 determinarán las diferencias o similitudes entre sensores.

Comparativa entre sensores

Según el mapa de Sentinel a una escala 5.400 (*Anexo II, Mapa 17*), se puede observar que existe una dominancia de los intervalos 0,4 y 0,6, es decir, vegetación densa. Hay una dispersión de los intervalos entre 0,6 y 1, pudiendo determinar que la distribución de estos intervalos se localiza en las zonas cercanas al arroyo Jaboneros. Los valores de vegetación dispersa se distribuyen mayormente en los sectores norte y oeste de la zona de estudio, agrupando una gran cantidad de espacio entre estos valores. Por último, cabe resaltar que el sensor de Sentinel no ha recogido ningún dato entre los valores -1 y 0, quedando constancia de que no existen datos equivalentes a suelo desnudo. Las estadísticas muestran los siguientes datos.

Estadísticas	Sentinel 2021
Media	0,5044878
Desv. Estándar	0,07614033
Min	0,2269242
Max	0,72189349
Moda	0,45436376

Tabla 9. Estadísticas para el sensor de Sentinel. Elaboración propia.

Para el NDVI de Sentinel 2, en el área de estudio a una escala 1:3.000 de una extensión de 25 hectáreas, determinamos que se han analizado un total de 30.429 píxeles. La media total es de 0,504; su desviación estándar es de 0,076; los valores mínimos registrados son de 0,22 y los máximos de 0,72. La moda para estos datos se encuentra en 0,454. Estos datos en su conjunto muestran que la media total se localiza en el intervalo de vegetación densa, con una desviación estándar muy baja, lo cual significa que no hay una dispersión de datos, por lo que no existe apenas variabilidad. Los valores mínimos no alcanzan los intervalos inferiores a 0, por lo que no interpreta que en el territorio exista suelo desnudo, como en 2017. La máxima está en el intervalo de vegetación muy densa y los valores más repetidos están entre los intervalos 0,4 y 0,6.

Según nuestro histograma (*Anexo II, gráfica 12*), se puede observar tres tipos de secciones dentro del área de estudio. La primera abarca entre los intervalos 0,2 y 0,3, donde la frecuencia es escasa y la longitud entre intervalos es corta, por lo que se localizan pocos datos en esa sección. Desde el intervalo 0,3 a 0,4, la cantidad de datos en esa franja ha aumentado considerablemente, aumentando la frecuencia de repetición de manera lineal y progresiva. A partir del intervalo 0,4, aumenta la cantidad de datos y la frecuencia se vuelve una curva exponencial, siguiendo una normalidad gaussiana, registrando los valores más repetidos entre 0,4 y 0,6, repitiéndose más de 500 veces. La curva desciende su frecuencia entre los intervalos 0,5 y 0,6 y finalmente se asientan entre 0,6 y 0,7, siendo los valores más altos. Aun así, encontramos una cantidad de datos significativa en este intervalo.

Según los datos obtenidos con el dron (*Anexo II, Mapa 18*), el índice NDVI muestra una diferencia de tonalidades completa comparado con los resultados de Sentinel. Se puede percibir que los datos de los intervalos entre -1 y 0 son los más llamativos por ocupar una gran parte de la extensión de la zona de estudio, siendo el factor dominante en este entorno. Observamos que la mayor cantidad de vegetación se concentra en el lecho del arroyo, donde se puede ver claramente su transcurso. En esta zona es donde se encuentran los valores más altos, entre los intervalos 0,6 y 1. El resto de la zona de estudio presenta algunas zonas con presencia de vegetación densa con altos valores del índice, distribuidos mayormente en las zonas orientadas al norte, en umbría. El resto de zonas con vegetación dispersa se encuentran rodeadas de suelo desnudo y orientadas hacia el sur, a la solana.

Las estadísticas muestran los siguientes datos.

Estadísticas	Dron
Píxeles	13317987
Media	0,08871808
Desv. Estándar	0,23470218
Min	-0,92969561
Max	0,88290697
Moda	0

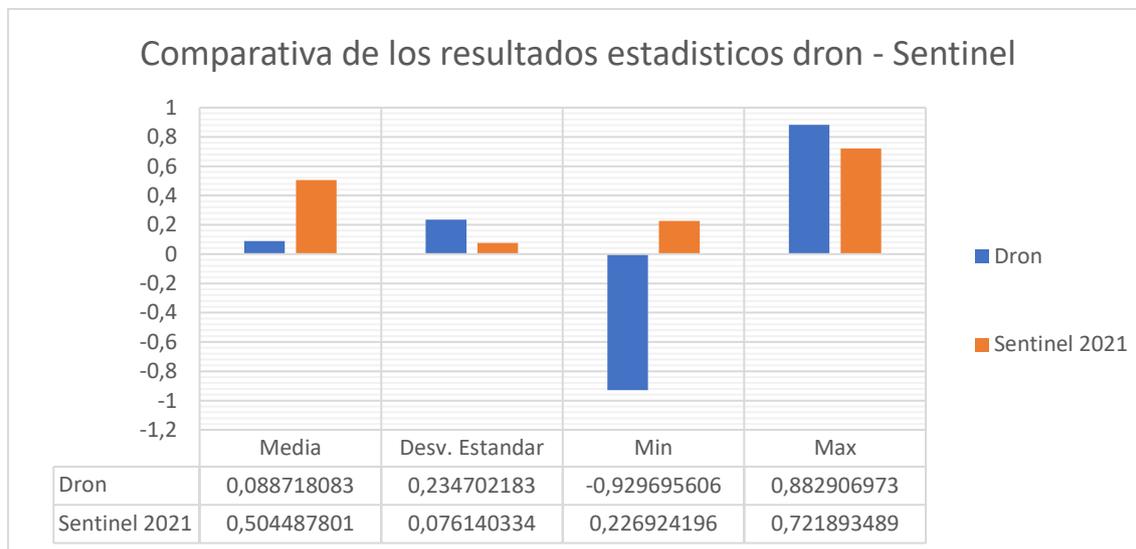
Tabla 10. Estadísticas para el sensor de Sentinel. Elaboración propia.

Para el NDVI de los datos obtenidos con el dron, se puede visualizar que la cantidad total de datos analizados es de 13.317.987 píxeles. La media es de 0,088, la desviación estándar es de 0,234, el valor mínimo registrado es de -0.92 y el máximo de 0,88. La moda se sitúa en 0. Estos datos se interpretan visualizando el promedio de datos, el cual se sitúa como cubierta vegetal débil. La dispersión de estos datos es muy alta por la desviación estándar, mostrando que la variabilidad entre datos es amplia. Los valores mínimos registrados son muy cercanos a -1, lo que supone que se ha podido obtener información muy precisa dentro del baremo, al igual que la máxima, recogiendo información muy precisa.

Según el histograma de los datos el dron (*Anexo II, gráfica 13*), se puede visualizar 3 tipos de secciones diferentes. En cuanto a la primera, abarca desde el -1, habiendo una cantidad de datos considerable, pero sin una frecuencia de repetición. A partir de 0,5, la frecuencia de repetición pasa a tener una curva exponencial, teniendo valores de repetición muy altos hasta 0,2, donde la curva baja exponencialmente su frecuencia hasta 0,5, en el que los datos se agrupan en menor medida hasta los valores más cercanos a 1.

Comparativa entre sensores

A partir del análisis de los resultados de cada sensor, se puede determinar la comparativa de resultados para ver si se asemejan, o no, los resultados entre resoluciones.



Gráfica 4. Comparativa estadística entre los sensores Sentinel y dron. Elaboración propia.

Según esta comparativa, se puede observar que la media de Sentinel es mayor respecto a la media del dron, según la desviación estándar, la diferencia del dron es mayor que Sentinel, la mínima del dron es el valor con mayor diferencia respecto a Sentinel y en la máxima el dron tiene valores más altos respecto Sentinel, pero son resultados semejantes entre sensores.

Según estos resultados comparativos, se puede determinar que las diferencias entre valores son muy amplias. Uno de los valores con mayor diferencia es la media, situándose para Sentinel como un espacio de vegetación densa y para el dron como un espacio de cubiertas vegetales débiles. La desviación estándar muestra una diferencia alta entre valores, debido a que, por la mejora de resolución del dron, este tiene una variabilidad de dispersión de datos mucho mayor que Sentinel, estando estos más agrupados y concentrados entre sí. La diferencia de la mínima se debe a que Sentinel no recogió ningún dato con un valor menor a 0 y la mínima del dron se sitúa en valores próximos a -1, de ahí la gran disparidad. La máxima es el valor con mayor semejanza que hay. Los resultados y la disparidad de los datos se pueden deber a que al trabajar Sentinel a una resolución de 10 metros el píxel, ese espacio puede abarcar otro tipo de información que determine el resultado final del valor del píxel. Según el histograma, la distribución y el comportamiento de los datos es similar, pero siendo en el dron datos con una mayor tendencia a los valores negativos. En cambio, Sentinel, muestra un histograma similar, pero con una distribución en torno a valores positivos.

Según este análisis, se puede deducir que, al tratarse de una diferencia de resolución muy grande, los datos tienden a ser más dispares entre sensores. La agrupación de los datos de Sentinel se localizan en los valores positivos entre 0,3 y 0,6, respecto a los datos del dron, que están localizados entre -0,5 y 0,5. Este caso es bastante parecido a la comparativa realizada entre los sensores de Deimos y Sentinel en

2017, por lo que se puede concluir que Sentinel al abarcar 10 metros el píxel, al ser una resolución menor abarca más espacio y centra la información a los elementos de mayor reflectancia, es decir, por la presencia de vegetación. Para nuestro estudio, poder representar Sentinel las zonas de riesgo de cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo, no ha sido posible a esta resolución. En cambio, los datos de los resultados del dron han captado la realidad del terreno debido a su resolución y precisión, representando el gran espacio en la zona de estudio de suelo desnudo y cubiertas débiles, identificando las zonas de riesgo más propensas a producirse erosión y desgaste del suelo, facilitando el efecto escorrentía en episodios torrenciales.

Desde el punto de vista territorial, esta técnica puede arrojarnos mucha información, pudiendo gestionar el espacio según la distribución espacial que tengan los elementos y poder analizar desde el punto de vista de la vegetación, las zonas de mayor o menor vigorosidad, tanto para la gestión ambiental de la cuenca, como para la agricultura de precisión de los cultivos.

6.1.2.3. Mapa a falso color

En los mapas de las imágenes a falso color, se puede observar que siguen la combinación 432 la cual representa las bandas infrarroja cercana, roja y verde. Estas dan lugar a una composición de tonalidades rojas las cuales tienen como finalidad mostrar según la intensidad de los tonos si hay mayor o menor presencia de vegetación. Según las imágenes obtenidas con el dron, se puede obtener una información mucho más detallada por la calidad de la resolución de las zonas que muestran una mayor actividad vegetativa respecto otras.

El motivo del análisis de esta variable es para obtener una diferencia visual respecto a la imagen que ofrece el satélite Sentinel a una resolución de 10 metros el píxel (*Anexo II, Mapa 19*), respecto a la imagen obtenida a una resolución de 13 centímetros el píxel con el dron (*Anexo II, Mapa 20*), mostrándose un nivel de nitidez y calidad en las imágenes incomparables respecto a las imágenes de Sentinel.

Comentando los resultados obtenidos por la combinación de bandas del dron se puede observar que las zonas donde se desarrolla mayor actividad vegetativa son las zonas donde transcurre el cauce del arroyo Jaboneros junto a las zonas con cultivos anulados más próximos al cauce. El resto del territorio muestra una tonalidad menos rojiza para las zonas con presencia vegetal que están situadas cerca de cubiertas vegetales débiles o suelo desnudo que se pueden observar claramente en tonalidades blanquecinas.

Desde el punto de vista como geógrafos, con técnicas de teledetección y realizando combinaciones de bandas, se puede identificar los elementos del territorio los cuales estamos analizando. En nuestro caso, con la combinación de falso color infrarrojo, se ha podido visualizar cuáles son las áreas con una mayor densidad de vegetación, pudiendo observar la diferencia de resolución tanto desde una perspectiva satelital como con la perspectiva del dron, teniendo una resolución centimétrica, lo cual brinda una gran claridad visual de la imagen.

6.1.2.4. Firmas espectrales

La firma espectral de la zona de estudio muestra los diferentes elementos que se distribuyen en el espacio las clases que vamos a analizar según el comportamiento espectral de cada uno son la vegetación natural, zonas de cultivo, suelo desnudo y cubiertas vegetales débiles. Gracias a la capacidad de precisión y la resolución tanto espacial como espectral obtenidas con el dron, se ha podido obtener información mucho más precisa del comportamiento espectral de dichos elementos analizados.

Sentinel 2

Los resultados de las firmas espectrales de Sentinel (*Anexo II, gráfica 14*), analizando todas las clases en su conjunto, se puede deducir que el patrón de distribución de datos es similar para todas las bandas, siendo más elevados ellas zonas con menos presencia de vegetación y más bajos con mayor presencia de vegetación.

Para la vegetación natural, la banda azul muestra un valor de reflectancia de 0,084, en la banda verde de 0,07, para la banda roja de 0,04 y la infrarroja de 0,2. Para los cultivos, la banda azul es de 0,08, la banda verde de 0,07, la roja de 0,05 y la infrarroja de 0,17. En el suelo desnudo, las firmas se corresponden en la banda azul con un valor de 0,1201 seguido en la banda verde de un valor de 0,11, en la banda roja de 0,1204, y en la banda infrarroja de 0,22. En la clase de cubierta vegetal débil, en la banda azul el valor es de 0,10 en la banda verde de 0,09, en la banda roja de 0,090 y en la banda infrarroja de 0,21 (*Anexo II, tabla 23*).

Como comentario general del comportamiento de las bandas espectrales para el sensor de Sentinel, se puede determinar cómo se ha comentado antes, que siguen un mismo patrón de comportamiento independientemente del tipo de clase y las diferencias. Los aspectos diferenciadores entre clases se muestran en las bandas azul y verde en las cuales cuanto menor es el valor mayor probabilidad de vegetación habrá, y viendo este suceso más marcado en las bandas rojas. Según los datos obtenidos en las firmas espectrales con el Dron se puede determinar que El comportamiento espectral entre clases es completamente diferente entre ellos, siendo característicos para cada uno de ellos y mostrando un comportamiento espectral diferente.

Dron

En la clase de vegetación natural (*Anexo II, gráfica 15*), el valor de la banda azul el valor es de 0,43, en la banda verde de 0,60, para la banda roja de 0,29. En la banda borde rojo de 1,05 y en la infrarroja cercana de 1,14. Para la clase zonas de cultivo, en la banda azul el valor es de 0,280, en la banda verde de 0,31, en la banda roja de 0,21, en la banda borde rojo de 0,73 y en la infrarroja de 0,81. En la clase de suelo desnudo la banda azul es de 0,97, en la banda verde es de 0,98, la banda roja es de 1,01, la banda borde rojo es de 0,93 y para la banda infrarroja de 0,74. Para la clase de cubiertas vegetales débiles la banda azul tiene un valor de 0,66, la banda verde de 0,64, la banda roja de 0,54, la banda borde rojo de 0,69, y la banda infrarroja de 0,60 (*Anexo II, tabla 24*).

Analizando los valores por banda, se puede observar que las zonas de vegetación tienen un valor más alto en las bandas borde rojo e infrarrojo cercano teniendo un crecimiento exponencial, comparado con el valor de la banda roja, la cual es la que menor es el valor para las zonas de vegetación. En contraposición el comportamiento espectral de la firma de las cubiertas vegetales débiles sigue una dinámica lineal, mostrando valores inferiores para ser cubiertas vegetales, por lo que podría indicar que dichas cubiertas están sufriendo algún tipo de estrés que limita el desarrollo de la planta. La causa más probable es por estrés hídrico. Los valores de suelo desnudo son muy altos en todas las bandas, reflejando toda la energía por tratarse de elementos que por su materia y composición no absorben energía, sino la reflejan.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	-80,70%	-87,98%	-85,35%	-82,22%
Zonas de cultivo	-68,10%	-76,60%	-75,04%	-79,00%
Suelo desnudo	-87,64%	-87,95%	-88,10%	-69,04%
Cubiertas vegetales débiles	-83,96%	-84,63%	-83,31%	-64,54%

Tabla 11. *Porcentaje diferencial por banda entre los sensores Sentinel y dron. Elaboración propia.*

Como se puede observar, los resultados del dron respecto a los de Sentinel, giran en torno al 80 % de diferencia en todas sus bandas, siendo mayores los valores del dron respecto a Sentinel. Esto es debido por la mejora de la resolución del dron, ya que es capaz de extraer los datos de reflectancia de los diferentes elementos en el territorio con más precisión.

Según la resolución espectral, como se ha comentado antes, la banda azul de Sentinel imposibilita la obtención de datos fiables para la vegetación, por estar el centro de longitud de onda desplazado hacia la región del verde, mientras que el dron en la banda azul se centra más en la región del ultravioleta.

Desde el punto de vista territorial, el uso de firmas espectrales con drones, al igual que con satélites de alta resolución como Deimos 2, pueden extraer la información y analizarla con mayor precisión espacial y espectral, determinando los diferentes comportamientos de los elementos espaciales y conocer su estado reflectivo. Esta herramienta puede ser de gran utilidad para identificar en series de vegetación cuales tienen un comportamiento espectral anormal, alterando su desarrollo y salud por causas como estrés hídrico, plagas, enfermedades entre otros.

6.2. Área de estudio. Muestra del píxel Sentinel 2. Escala 1:100

Los resultados recogidos en los mapas y las gráficas están plasmados en el anexo III: Datos y mapas de los resultados de Deimos respecto a la muestra del píxel de Sentinel, junio 2017. Escala 1:100.

La muestra del píxel a estudiar ha sido escogida por la cercanía del cauce del arroyo Jaboneros, el cual por el entorno en el que se encuentra, deberían existir, o no, más elementos diferenciadores entre resoluciones por variable.

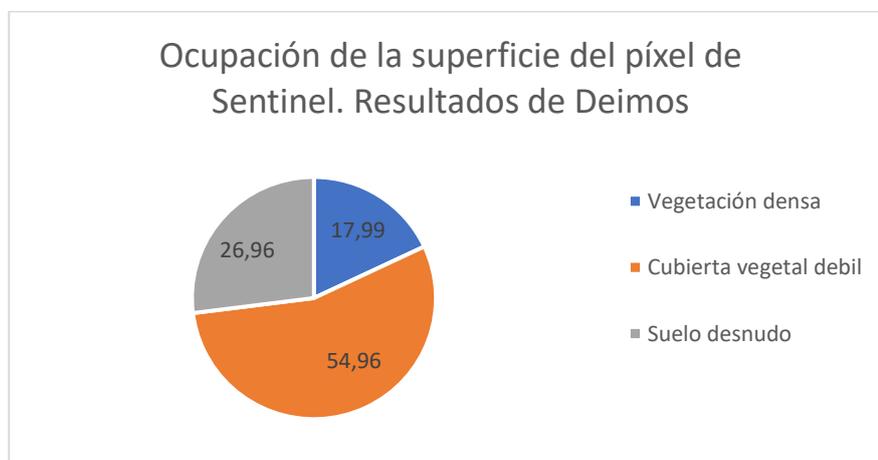
6.2.1. Junio 2017. Comparativa entre Deimos y Sentinel

6.2.1.1. Clasificación supervisada

Según la clasificación supervisada, el píxel de 10 metros de Sentinel 2 (*Anexo III, Mapa 21*) determina que esa celda corresponde a cubiertas vegetales débiles. De esos 100 metros cuadrados, se observa en una resolución de 3 metros el píxel, si el área de estudio presenta otros tipos de elementos según la clasificación anteriormente analizada. Se tiene que tener en cuenta que las clasificaciones supervisadas tienen un margen de error, el cual, en nuestro caso, a escala 1: 100, los valores entre vegetación natural y vegetación densa se pueden confundir, por lo que se agrupan estas dos clases y se matiza si se trata de vegetación o de otro tipo de clase.

En nuestro mapa, observamos que se muestran 3 tipos de resultados diferentes dentro del margen del píxel de Sentinel 2. En los 9 píxeles de 3 metros dentro de los 100 metros cuadrados se distribuyen las siguientes clases. Cubierta vegetal débil, suelo desnudo y cultivos arbolados. Se debe de tener en cuenta lo explicado anteriormente, por lo que lo se denomina como presencia de vegetación. Como se ha observado, en la distribución espacial del área del píxel de Sentinel 2, encontramos 3 tipos de clases diferentes. Para tener una base estadística, analizando cuántos metros cuadrados corresponden a cada píxel.

Según la tabla recogida en el anexo III, Sentinel abarca la extensión total de esos 100 metros cuadrados como cubierta vegetal débil. Según la clasificación con el satélite Deimos, los espacios están distribuidos de la siguiente forma.



Gráfica 5. Ocupación de la superficie del píxel de Sentinel. Resultados de Deimos. Elaboración propia.

- Vegetación: 17.99 metros cuadrados
- Cubierta vegetal débil: 54.96 metros cuadrados
- Suelo desnudo: 26.66 metros cuadrados.

Según este análisis (*Anexo III, tabla 25*), observamos que la clase con mayor ocupación en el área de estudio es la de cubierta vegetal débil, tal y como lo ha interpretado Sentinel. Esto nos indica que, para las variables de clasificación supervisada, Sentinel se centra en los valores predominantes de ese espacio, es decir, siguiendo la moda, a pesar de las diferencias de elementos que se encuentran en el píxel. Como conclusión, corroboramos que, para esta variable, la veracidad de los datos de Sentinel 2 desde el punto de vista del píxel es fiable, considerando la pérdida de información.

Por lo tanto, una vez verificado los resultados entre resoluciones y escalas, como geógrafos se puede gestionar de manera más eficiente el territorio, sabiendo los márgenes de error que existen para una correcta toma de decisiones.

6.2.1.2. Mapa NDVI

Para esta variable, se puede observar la distribución espacial de los elementos en esa área de estudio (*Anexo III, Mapa 22*). Sentinel interpreta el valor del píxel como 0,338, es decir, vegetación dispersa. Este es un valor alto comparado con los datos que muestra el sensor de Deimos, siendo estos en su mayoría pertenecientes a los intervalos -1 y 0, es decir, suelo desnudo. Para entender los resultados en 2017, vamos a tener como referencia un mapa de la zona de la muestra del píxel del mismo mes y año, para determinar de manera visual cuál es el estado de la zona en cuestión.

Estadísticas	Deimos 2
Píxeles totales	9
Media	-0,04219294
Desv. Estándar	0,12199534
Min	-0,16702892
Max	0,1924352
Moda	-0,16702892

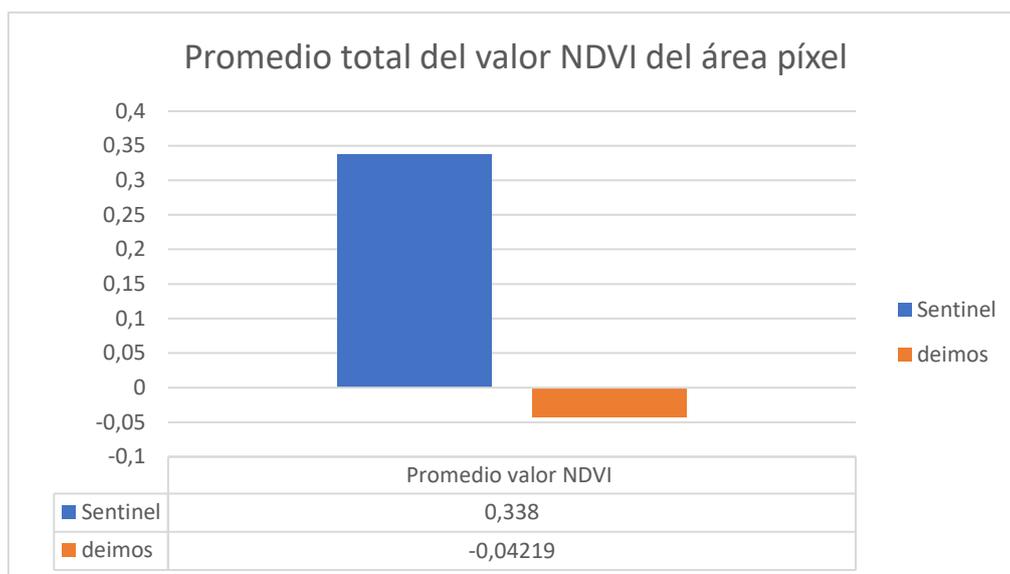
Tabla 12. *Estadísticas del sensor Deimos del píxel de estudio*. Elaboración propia.



Mapa 7. Mapa realizado en Google Earth de la zona de muestra del píxel y la resolución de Deimos 2 en la fecha estudiada. Elaboración propia.

Como se puede observar en la imagen, comparándola con el mapa del índice de vegetación, la zona de estudio en 2017 tiene una predominancia en suelo desnudo, dado que se trata del lecho del cauce, que intersecta hacia el sureste con un camino, con presencia de algunas zonas de vegetación, parecidas a cubiertas débiles y matorrales. Para tener datos fundamentados, vamos a tener en cuenta los valores estadísticos calculados.

Según estos resultados, observamos que, para 9 píxeles en su totalidad, la media es de -0,04, con una desviación estándar de 0,12, lo cual se atribuye que, para tratarse de 9 píxeles de tres metros, la dispersión de los datos es aceptable. El valor mínimo es de -0,16 y el máximo de 0,19. Siendo la moda de -0,16. Según el histograma, se diferencian dos tipos de secciones dentro de ese píxel, los que están entre los intervalos -0,20 y 0 que presentan los valores de frecuencia más altos, y la segunda sección concentrada entre los valores de 0,1 a 0,2, con apenas una frecuencia repetitiva. Según el histograma, se representan dos tipos de secciones diferentes, la primera con los que más valores repetidos presentan, se sitúan entre los intervalos -0,20 y 0, mientras que la siguiente sección la frecuencia de repetición es escaso, situado entre los valores de 0,05 y 0,2 (*Anexo III, tabla 26*).



Gráfica 6. Promedio total del valor NDVI del área del píxel Sentinel-Deimos. Elaboración propia.

Según estos datos, se puede comprobar que en esta variable los valores de Deimos no son semejantes al valor del píxel de Sentinel. Estos resultados son debidos a causa de Deimos tener una resolución espectral menor en la banda infrarroja, por lo que no ha sido capaz de identificar correctamente los píxeles correspondientes a vegetación débil, derivando a centrar la información en el valor reflectivo predominante siendo en gran parte los píxeles representados como suelo desnudo. Respecto al valor de Sentinel, se puede deducir que ha usado otro tipo de metodología para determinar el valor de ese píxel, probablemente por deberse a una agrupación en conjunto de datos similares, de valores mayores por lo que al pertenecer a ese grupo, se le ha dado un valor mayor. Esta teoría es la más factible, ya que los píxeles que tiene a su alrededor son de valores más altos, por lo que se asemeja al vecino más próximo. Como contamos con soporte fotográfico del área de estudio en cuestión para la fecha que estamos trabajando, se puede corroborar que la información de Deimos es parcialmente fiable a la realidad por la predominancia de suelos desnudos y parcialmente cubiertos por matorrales, teniendo en cuenta su pobre resolución espectral en la banda infrarroja.

Desde el punto de vista territorial, una vez realizadas las comparativas entre resoluciones, se puede visualizar las diferencias entre sensores, sabiendo cuál elegir respecto al espacio en cuestión que se ha estado analizando, teniendo en consideración los márgenes de errores de cada sensor para gestionar el territorio lo más eficientemente posible. Por la resolución de Deimos, se puede observar que, en el lecho del cauce del arroyo Jaboneros, hay presencia de vegetación y cubiertas vegetales, lo que en episodios de torrencialidad, el efecto de escorrentía sería reducido.

6.2.1.3. Firmas espectrales

El píxel tiene un valor en reflectancia determinada por banda, la cual está determinada como cubierta vegetal débil como se ha comprobado en la clasificación supervisada (*Anexo III, gráfica 17*).

En la banda azul, el valor para esta banda es de 0,1055, seguido de la banda verde de 0,1052, teniendo un descenso leve en la banda roja de 0,09 y un ascenso lineal en la banda del infrarrojo cercano, con un valor de 0,29 (*Anexo III, tabla 27*). Este comportamiento espectral está determinado como cubierta vegetal débil según las firmas analizadas anteriormente.

Dentro del espacio en cuestión del propio píxel de Sentinel, encontramos 3 diferentes tipos de elementos diferenciadores en resolución de 3 metros el píxel del sensor Deimos 2. Las diferencias registradas son las siguientes.

Para la vegetación, en la banda azul los valores son de 0,05, en la banda verde de 0,077, la banda roja de 0,072, teniendo un crecimiento en la banda infrarroja con un valor de 0,107. Para el suelo desnudo, el valor de la banda azul es de 0,09, en la banda verde, 0,140, en la banda roja de 0,145, siendo este más elevado, y en la banda infrarroja un valor de 0,10. para las cubiertas vegetales débiles, en la banda azul el valor es de 0,08, en la banda verde de 0,111, en la banda roja el valor es de 0,119 y en la infrarroja de 0,10 (*Anexo III, tabla 28*).

Diferencia porcentual			
B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
34%	-6%	-19%	187%

Tabla 13. *Diferencia porcentual entre sensores*. Elaboración propia.

Según la comparativa del promedio total de las firmas recogidas por parte del sensor Deimos 2 respecto al valor por banda del píxel Sentinel 2 (*Anexo III, gráfica 19*), observamos en la tabla las diferencias porcentuales entre bandas, teniendo de referencia el valor de Sentinel.

Para las bandas verdes y rojas la diferencia es menor al 20%, siendo estas bastante similares entre sensores, donde los valores más altos se corresponden a las bandas de Deimos. Para la banda azul el valor es mayor para Sentinel un 34% más, debido a que la resolución espectral de la banda azul es menor y está localizada entre la región del azul y del verde, no interpretando correctamente la firma de vegetación como se ha analizado anteriormente. Para la banda infrarroja la diferencia es de 187% a favor de Sentinel, lo que supone ser un valor bastante alto de diferencia.

Como conclusión, se puede comentar que la similitud entre firmas según su promedio es bastante similar según las bandas azul, verde y rojo, siendo altamente dispares en la infrarroja, por lo que el dato de esta variable a escala de píxel y de 10 metros de resolución es, dependiendo de la zona, es relativamente veraz, en las bandas verde y rojo del espectro visible, y variando en el infrarrojo cercano según la zona y siendo la banda azul desaconsejable para las firmas espectrales de vegetación.

6.2.2. Marzo 2021. Comparativa entre Dron y Sentinel.

Los mapas y las gráficas estarán recogidas en el anexo IV: Datos y mapas de los resultados del dron respecto a la muestra del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Escala 1:100.

Como se ha analizado anteriormente en la fecha de 2017, vamos a hacer una segunda comparativa de las variables, con un sensor de mayor resolución, concretamente de 13 centímetros el píxel, mediante las imágenes obtenidas con el dron. En este caso, al tener el dron una gran mejora de resolución espacial y espectral respecto a los otros sensores, se puede determinar, según el tipo de variable, que los resultados del dron sean los más fiables.

6.2.2.1. Clasificación supervisada

Según se puede observar en la clasificación supervisada del dron (*Anexo IV, Mapa 23*), este espacio está recubierto de vegetación en su totalidad, sin apenas mostrar las zonas de suelo desnudo y cubiertas vegetales débiles como se ha podido analizar en 2017, para poder tener una perspectiva mejor, se va a tener de apoyo una imagen obtenida con el dron mediante el proceso de la toma de imágenes para corroborar dicha información.

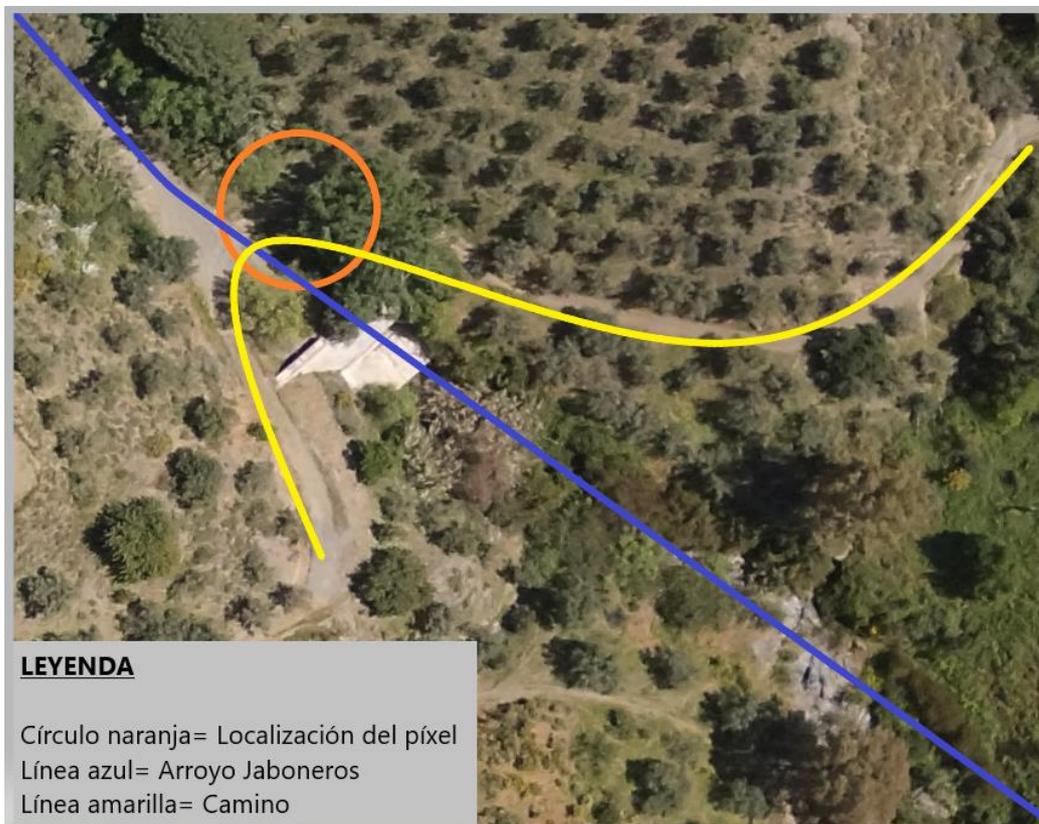


Figura 8. Imagen tomada en la misión de vuelo. Elaboración propia.

Según esta imagen, se puede observar diferentes elementos en la zona de estudio, en la leyenda se puede observar en el círculo naranja la zona de estudio en cuestión donde estaría localizado el píxel de Sentinel 2 en la realidad, el transcurso del cauce en la línea azul, y la línea amarilla que marca la dirección de un camino de acceso que a su vez cruza el cauce. Observando bien la zona donde confluyen estos dos elementos en el espacio de estudio, se percibe dentro del círculo zonas de sombra causada por el árbol, lo que no permite diferenciar a simple vista el transcurso de ese camino y el resto de otros posibles elementos.

Extrapolando estos resultados a la clasificación, se puede determinar que en la clasificación con dron hay un margen de error causado por las sombras, habiendo interpretado dichas zonas como espacios de vegetación, cuando puede, o no ser cierto. En nuestro caso se ha podido observar dicha zona de estudio y poder mostrar que la clasificación con dron para esta escala es errónea, quedando esta variable inválida. Por lo contrario, como en los datos de 2017 se ha corroborado la veracidad de la clasificación entre resoluciones y escalas, damos esta variable por zanjada y superada por la veracidad del dato del píxel de Sentinel 2.

Sabiendo los márgenes de errores de las clasificaciones supervisadas con drones, desde el punto de vista territorial se puede determinar que este tipo de variable para la resolución del dron puede aclarar información de gran detalle, según la zona, teniendo de referencia la realidad-terreno para corroborar dichos resultados. Se tendría que tener en cuenta, factores como sombras y comportamientos espectrales parecidos entre elementos para una clasificación lo más acorde con la realidad-terreno.

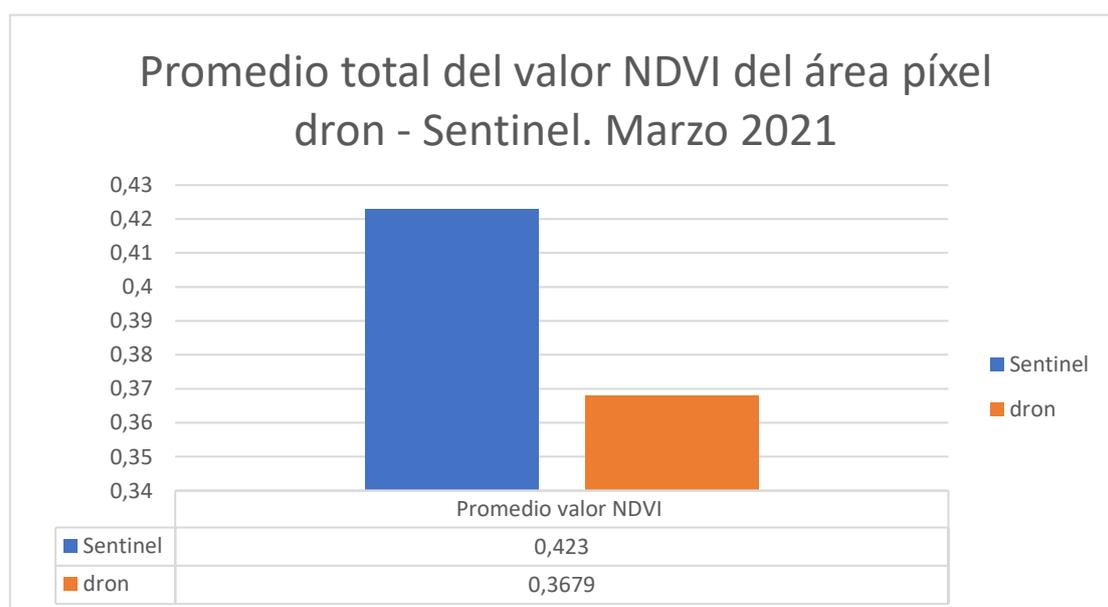
6.2.2.2. Mapa NDVI

Según nuestros datos del índice de vegetación para la zona de estudio dron (*Anexo IV, Mapa 24*), se puede observar que hay una gran heterogeneidad en la zona de estudio y gran calidad en los datos recogidos, esta vez pudiéndose interpretar el camino en la zona de sombra que en la clasificación no se percibía. En el área de estudio se abarcan todos los intervalos de la clasificación, mostrando la zona del lecho y del camino con valores entre -1 y 0, es decir, suelo desnudo, además de zonas con presencia de cubierta vegetal débil, vegetación dispersa, densa y zonas de mucha vigorosidad. Para tener una perspectiva más clara de los datos, se fundamentan en los resultados estadísticos de las imágenes del dron para los 100 metros cuadrados a analizar. Se tiene que tener en cuenta que el valor del píxel de Sentinel 2 para esta variable es de 0,423.

Estadísticas	Dron
Píxeles totales	4900
Media	0,36794601
Desv. Estándar	0,24294345
Min	-0,30926123
Max	0,81005496
Moda	-0,18982664

Tabla 14. Estadística del dron en base al resultado del área de estudio del píxel. Elaboración propia.

Según estos datos, observamos que, en la extensión de 100 metros cuadrados, se han obtenido un total de 4.900 píxeles. La media total es de 0,367, la desviación estándar es de 0,242, los valores mínimos registrados son de -0,309 y los máximos de 0,810. según la moda los valores más repetidos se encuentran en el valor -0,189. En el histograma observamos que hay dos distribuciones diferentes, esto quiere decir que estamos viendo en un solo píxel de Sentinel 2, dos tipos de agrupaciones de datos diferentes. La primera sección que se encuentra entre los intervalos de -0,3 a -0,1, el cual muestran que los datos están agrupados en un espacio relativamente cerrado y sin presencia de frecuencias notables, la segunda sección abarca de -0,1 a 0, el cual la frecuencia de está aumenta considerablemente, registrándose aquí la moda, volviendo a descender y tener una dinámica parecida a la primera sección, pero esta vez entre los intervalos 0 a 0,2. Por último, la tercera sección muestra un aumento en la frecuencia de repetición teniendo aquí su base más ancha, abarcando desde los 0,6 a 0,6 aproximadamente, descendiendo exponencialmente entre los valores de 0,6 a 0,8, por la escasez de datos en este grupo.



Gráfica 7. Promedio total del valor NDVI del área píxel dron-Sentinel. Elaboración propia.

Promedio entre valores NDVI
Diferencia porcentual
14,96%

Tabla 15. *Diferencia porcentual del promedio entre los valores NDVI Sentinel-Dron*. Elaboración propia.

Como se puede observar en la diferencia porcentual y en la gráfica, la diferencia entre el valor del promedio del NDVI del dron respecto al valor NDVI de Sentinel, es de 14,96%, siendo el valor de Sentinel mayor. Los resultados son relativamente semejantes entre ellos, corroborando que la veracidad de ese píxel respecto a la resolución dron, es parcial, con cierto ruido de trasfondo el cual el píxel de Sentinel 2 no es capaz de recoger dada su resolución, pero la información que ofrece tiene una gran validez. Esta variable en esta situación y para esta fecha, sigue cierta correlación, ya que en 2017 entre los sensores Deimos y Sentinel no hubo similitudes. Esto puede ser debido al cambio espacio-temporal entre fechas ya que en el mismo píxel se ha podido identificar la presencia de más vegetación y de un árbol, correspondiente a vegetación natural, el cual, al aumentar los valores de reflectividad promedios del dron, ha derivado tener cierta similitud con el valor del píxel de Sentinel.

Desde una perspectiva territorial, se puede obtener resultados muy precisos con cámaras multispectrales en drones a la escala en la que estamos trabajando. Esto nos permitiría recopilar información de gran calidad espectral para análisis basados en superficies pequeñas. Extrapolado a nuestro estudio, este resultado refleja una mayor calidad de datos en la zona respectiva al lecho del cauce del arroyo, pudiendo observar el impacto que tendrían episodios torrenciales tanto en las secciones de suelo desnudo como en las secciones de cubiertas vegetales.

6.2.2.3. Firmas espectrales

Según las firmas espectrales obtenidas con el dron, se han obtenido 3 tipos de clases de firmas diferentes, al igual que en los resultados de Deimos. Para el análisis de las firmas del dron, se ha implementado la banda borde rojo, la cual ofrece más información sobre la vegetación. Los valores de la firma espectral de Sentinel para ese píxel son los siguientes.

Respecto a los resultados del valor del píxel de Sentinel 2, dicho dato pertenece a la clase de cubiertas vegetales débiles por su comportamiento espectral, los valores de la banda azul son de 0,109, seguido de la banda verde con un valor de 0,103, en la banda roja obtiene un valor de 0,090 y por último en la banda infrarroja el valor asciende a 0,223 dron (*Anexo IV, tabla 32*).

En las firmas espectrales del dron (*Anexo IV, gráfica 22*) se puede clasificar los diferentes tipos de comportamientos espectrales según el tipo de clase. Para la vegetación natural, en la banda azul el valor es de 0,300, en la banda verde de 0,410, para la banda roja de 0,277, en la banda del borde rojo el valor asciende a 1,014 y en la banda infrarroja el valor desciende a 1,019. Para las zonas de suelo desnudo el comportamiento espectral es el siguiente. Para la banda azul, el valor es de 0,652, en la banda verde de 0,697, en la banda roja de 0,691, siguiendo una dinámica lineal, en la

banda borde rojo el valor es de 0,740 y en la infrarroja es de 0,608. Para las cubiertas vegetales débiles, la banda azul es de 0,402, para la verde de 0,454, en la banda roja el valor es de 0,33, en la banda borde rojo el valor es de 0,633 y para el infrarrojo de 0,564.

Según la gráfica de comparativa según el promedio del total de clases de las firmas del dron se puede comprobar que hay una gran diferencia entre los valores de reflectancia entre unos valores y otros, aunque el comportamiento espectral de Sentinel sea parecido, pero con valores más bajos.

Diferencia porcentual			
B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
-75,79%	-80,21%	-80,59%	-69,36%

Tabla 16. *Diferencia porcentual entre sensores*. Elaboración propia.

Como observamos en la tabla siguiente, se puede comprobar la disparidad de valores en términos porcentuales entre las firmas de Sentinel, y el promedio total de firmas del dron. Esta diferencia es debida a que la resolución y captación de datos del dron en términos de reflectancia son mucho mayores, dada su calidad y resolución. Bajo este resultado se puede determinar las firmas espectrales de Sentinel desde el punto de vista del píxel no es fiable, pero para firmas de agrupaciones de datos en conjunto como en la escala 1: 5.400 puede tener resultados más fiables por ser un espacio de estudio más amplio. A pesar de estos resultados, se puede decir que el comportamiento espectral de la firma tiene cierta semejanza, pero como se ha comentado, no son datos fiables a esta escala.

6.3. Salida de campo. Verificación realidad-terreno. Escala 1:1

Los mapas y las gráficas estarán recogidas en el anexo V: Reportaje fotográfico salida de campo y muestra del píxel de Sentinel 2. Verificación realidad-terreno. Mayo 2021. Escala 1:1.

Para poder fundamentar los resultados obtenidos tanto del área de estudio general, como de la muestra del análisis del píxel de Sentinel, 2, el día 17 de mayo se realizó una salida de campo para conocer el entorno y el ámbito de estudio, para poder comparar los resultados obtenidos de las diferentes variables y se correspondían a la realidad-terreno.

Desde el punto de vista de la zona de estudio general, se puede corroborar que los datos obtenidos en la variable de clasificación supervisada son certeros, como muestran los resultados, la distribución espacial de las zonas de cultivos, vegetación natural, cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo son semejantes a los resultados. Desde una perspectiva visual, se puede observar el desgaste del entorno causado por el estrés hídrico, las zonas de suelo desnudo con pruebas de erosión como las formaciones de cárcavas. Respecto a las cubiertas débiles se ha podido observar que están compuestas de matorrales xerófilos y otras especies como se puede ver en el reportaje

fotográfico figurado en el anexo V. Respecto a los cultivos arbolados, en su mayoría estaban compuestos por olivos, pero también hay presencia de almendros. Respecto a la vegetación natural desarrollada a pie de cauce, observamos los diferentes tipos de especies que se han desarrollado en el espacio, abarcando desde choperas hasta acebuchales. El cauce del arroyo tanto en la toma de imágenes de marzo, como en la salida de campo de mayo estaba seco, con restos de sedimentos en el lecho causado por las escorrentías provocadas en las anteriores riadas.

Una vez analizado el entorno de estudio, se procedió a descender hasta llegar al propio cauce donde se extrajo la muestra a analizar del píxel de Sentinel 2. Una vez llegados a la zona de estudio, se extrajeron las coordenadas de los vértices del píxel, para acordonar el recinto de una extensión de 10 metros tanto de largo como de ancho, con la finalidad de simular el píxel de estudio de Sentinel 2. Una vez acordonada la zona mediante cuerdas y estando georreferenciada por las coordenadas, se procedió a realizar un reportaje fotográfico de los 100 metros cuadrados, tanto con una cámara, como con un dron. Dentro del perímetro de estudio, pudimos comprobar los diferentes elementos que se encontraban en ese espacio, como restos sedimentarios en el lecho del cauce, vegetación débil, matorrales densos, una chopera de 5 metros aproximadamente y el camino viario que intersecta con el cauce.

Siguiendo y comprobando la distribución espacial de los elementos, comparándolo con los resultados de los diferentes sensores, según la clasificación supervisada del satélite Deimos, y el NDVI del dron, pudimos comprobar que la distribución espacial, a pesar de ser de una fecha diferente tenía cierta concordancia. Dado que los resultados de la clasificación supervisada a escala 1:100 del dron era errónea, procedimos a tener como referencia el mapa NDVI del dron de la muestra del píxel, ya que este sensor pudo recoger la información del terreno a la perfección. Pudimos observar las zonas que se corresponden a suelo desnudo, vegetación dispersa, débil y densa se asemejan y concordaban con la realidad-terreno.

7. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, se ha podido verificar y comprobar las diferentes variables y las diferencias de resolución comparándolo a la resolución de Sentinel, para poner a prueba la veracidad de sus datos. Se ha analizado toda la información posible desde las escalas 1:5.400 y 1:3.000, para poder realizar la comparativa de los resultados entre sensores. Según los resultados, no se ha cuestionado el porqué de las diferencias entre valores respecto a Sentinel y se ha profundizado en investigar el comportamiento de los datos desde el punto de vista del píxel de Sentinel, comparándolo con resoluciones mayores con el objetivo de obtener más información de los datos de resoluciones menores para determinar su validez, margen de error y comportamiento.

Para este estudio se ha podido determinar qué tipo de variable según su resolución tiene una mayor validez respecto a la veracidad de los datos, variando según el tipo de escala.

Según los resultados obtenidos con la variable de la clasificación supervisada, se ha verificado y corroborado que los resultados se asemejan entre resoluciones y escalas, dando por válida la calidad de la información que ofrece Sentinel respecto a resoluciones

de mayor calidad y respecto la realidad-terreno. Cabe destacar que dichos resultados de Sentinel servirían para tener un análisis espacial preliminar de la distribución de los diferentes elementos en la superficie, a pesar de dar resultados muy semejantes respecto resoluciones mayores, se ha determinado según el estudio del píxel, que el valor por píxel tiende a centrarse en el elemento predominante en ese espacio de 100 metros cuadrados, creando así agrupaciones de píxeles de una misma clase según el tipo y estado de suelo en el que se encuentre, pudiendo perderse información. A pesar de estos inconvenientes, la escala a la que se ha trabajado ha dado resultados aceptables, pudiendo servir la elaboración de clasificaciones supervisadas para escalas superiores a 1:3.000, para hacer estudios de mayor envergadura espacial.

La resolución del dron para clasificaciones supervisadas puede tener una gran calidad, pudiendo ser la resolución que más pueda diferenciar elementos y clasificarlos acorde a la realidad, pero existe un margen de error considerable a causa de tener comportamientos espectrales parecidos entre algunos elementos, pudiendo inducir a errores como se ha comprobado. Además, como desventajas se debe de contar con los factores de legislación, meteorología entre otros, para la ejecución de vuelo y la capacidad de extensión que pueda abarcar el dron, debido a las limitaciones por batería. Las clasificaciones supervisadas con dron pueden ser útiles para poder analizar las diferenciaciones de elementos con un margen de espacio centimétrico, para escalas inferiores a 1:3.000, para no perder información manteniendo un GSD aceptable, como en nuestro caso de 13 centímetros el píxel, el cual cuanto menor sea el GSD, mayor será la precisión, por lo que más información detallada se obtendrá, de ahí que la escala de trabajo recomendada cuanto menor es, mejor, dependiendo del tipo de estudio.

La resolución adecuada para tener una clasificación lo más correcta y semejante a la realidad, por el tipo de escala y extensión a la que se ha trabajado, es para sensores de una resolución aproximada de 3 metros el píxel como se ha realizado con Deimos, ya que Sentinel acierta con los datos, pero omite información relevante para la zona de estudio en cuestión y el dron tiene márgenes de errores. A una resolución de 3 metros, la información que se pierde es mucho menor que Sentinel y al haber más diferencias espectrales entre elementos por tener una resolución menor al dron, ha concluido con unos resultados excelentes para esta variable.

Esta técnica para la información territorial nos ha permitido tener una constancia de datos de ocupación de suelo remarcando las zonas de suelo desnudo, y cubiertas débiles los cuales son las más propensas a sufrir erosión y por tanto facilitar el efecto escorrentía en episodios de torrencialidad.

Respecto a las firmas espectrales, al ser una variable correlativa a la clasificación supervisada, se ha comprobado y analizado las diferencias por banda en las resoluciones espectrales de cada sensor. Estos resultados han conllevado a descubrir la ineficiencia de la banda azul de Sentinel y la infrarroja de Deimos para las firmas equivalentes a zonas de vegetación. En cambio, el dron por su resolución espacial y espectral, ha determinado ser el sensor con resultados de mayor calidad y precisión, por lo tanto, mayor fiabilidad. Para la zona de estudio los comportamientos espectrales de Sentinel eran parecidos entre clases, pudiendo diferenciarse las firmas entre vegetación y suelo desnudo, pero sin tener la firma característica equivalente a estos tipos de zonas. Los datos de Sentinel podrían ser útiles para otros tipos de estudio tanto de mayor escala,

como de un espacio menos heterogéneo, pudiendo obtener comportamientos espectrales con más diversidad entre elementos. Respecto a Deimos, al tener una buena resolución espacial, ha podido remarcar las diferencias entre firmas, teniendo un comportamiento similar al que deberían de tener los distintos elementos de la zona de estudio. Hay que tener en cuenta que la resolución espectral de la banda infrarroja es menor al resto de sensores, por lo que no resultan datos precisos y detallados en esta banda.

Respecto al estudio del píxel, se ha podido comparar las distintas firmas espectrales entre sensores, y se ha concluido que, respecto a los datos de Deimos, no guarda semejanza o correlación, tanto en los valores como en el comportamiento espectral, por los valores bajos de la infrarroja. En cambio, en la comparativa con el dron, se ha podido observar que a pesar de tener valores más altos que el dron, el comportamiento espectral de la firma guarda cierta semejanza. Para esta variable determinamos que Sentinel puede ofrecer un comportamiento espectral preliminar de la zona de estudio, dando paso al uso de sensores de mejor resolución espacial y espectral para una mejor recogida de firmas.

Este tipo de herramientas pueden ser de gran utilidad, para observar los comportamientos en base a la reflectividad de los elementos, tanto del suelo desnudo como de la vegetación, pudiendo observar patrones entre clases e identificando cuales son los valores o firmas que presentan más irregularidades. Como se ha mencionado anteriormente, se puede observar el estado de la vegetación, y localizar cuáles son las zonas con irregularidades, ya sea por estrés hídrico, enfermedades, plagas etc.

Según el índice de vegetación NDVI, se ha podido analizar la diferencia entre escalas, resoluciones y sensores. El sensor de Deimos ha mostrado tener datos menos fiables en el canal infrarrojo, siendo este ineficaz para la recopilación de datos correctos, sobre todo en las zonas de vegetación. Se ha comprobado que Sentinel marca una tendencia al alza en esta variable, interpretando en el territorio valores mayores respecto al sensor de Deimos. En las escalas base para los sensores de Deimos y del dron, la distribución de los datos en los histogramas sigue una normalidad gaussiana y un comportamiento similar, diferenciándolo en los valores medios, mínimos y la moda, siendo estos los más dispares respecto al histograma de Sentinel, el cual estaba notablemente desplazado hacia la derecha, es decir hacia los valores positivos respecto a los resultados de los otros sensores. En la muestra del píxel de Sentinel 2, los resultados son diferentes entre sensores. Para Deimos, no ha existido correlación alguna entre los valores promedios del NDVI. Estos resultados han derivado de la calidad de la resolución espectral de la banda infrarroja el cual en este índice, no ha podido recoger la información equivalente a cubiertas vegetales débiles, por estar situado el centro de longitud de onda más desviado hacia la región de la banda rojo, perdiendo esta información relevante respecto a vegetación débil. En cambio, los datos del dron en base al área del píxel de muestra de Sentinel 2, al tratarse de una situación espacio-temporal diferente, y a la mejora en calidad de resolución espacial y espectral, ha concluido con resultados similares entre dron y Sentinel, teniendo un valor promedio total con cierta similitud. A pesar de esto, en las secciones del histograma del área de estudio donde la frecuencia y el valor del píxel es correlativo entre sensores, entre los intervalos 0,3 y 0,6 existe más probabilidad de que los datos desde el punto de vista del píxel sean más semejantes. Verificando esta teoría, basados en el estudio del área del

píxel, al localizarse el píxel entre esos valores, se ha determinado que, en ese píxel concreto, la similitud del valor medio es semejante. Si se hubiera escogido un píxel fuera del rango mencionado, la correlación no sería tan similar, por lo que explicaría el método del sensor de Sentinel de crear agrupaciones de píxeles de valores mayores similares según el píxel vecino, perdiéndose como se ha comprobado gran cantidad de información ya que no representó ningún área como suelo desnudo con valores por debajo de 0. Con estos resultados, concretamos con que la fiabilidad, para los índices de vegetación de Sentinel según el área de estudio, puede ser parcial, teniendo en cuenta la resolución, la escala, el espacio de estudio y que tiende a recopilar los valores máximos, mostrando escasos valores mínimos según la zona.

Desde el punto de vista territorial, como se ha mencionado anteriormente, esta técnica puede sacar a la luz información relevante del espacio de estudio, tanto en nuestro caso para la identificación de los suelos desnudos y cubiertas débiles (a pesar de ser Sentinel ineficaz de mostrar dichas áreas), como para mostrar las zonas con vegetación más densa y vigorosa, para analizar desde el punto de vista de la salud de la vegetación, su desarrollo y estado.

Se puede afirmar que Sentinel puede ofrecer información relevante del territorio, siendo eficaz para el análisis de extensas áreas a escalas mayores, pero según este estudio, al ir enfocado tanto al análisis territorial como a la comprobación de la veracidad de los datos de menor resolución, se ha determinado según el tipo de variable, los márgenes de error pudiendo ser mayores o menores, permitiendo conocer desde el punto de vista de resoluciones, sensores y escalas, el comportamiento, la veracidad de sus datos y su fiabilidad. En conclusión, a pesar de ser un sensor creado para la realización de estudios espaciales de mayor envergadura, tras el análisis del área de estudio como la del dato del píxel, muestra información con cierta similitud respecto a la realidad-terreno, siendo apta para análisis de datos a escalas en torno a 1:3.000. Habiendo sido este sensor satelital construido para análisis de extensos espacios, una vez comprobada la fiabilidad de sus datos, se puede determinar según nuestro estudio que los datos que ofrece en las variables estudiadas comparadas con sensores de mayor resolución, son aceptables, permitiendo conocer los márgenes de errores por variable y la veracidad de los resultados para su uso, dando lugar a conocer mejor el comportamiento del sensor.

Desde el punto de vista territorial, la cuenca del Jaboneros presenta grandes extensiones de superficie con presencia de cubiertas débiles y suelo desnudo, causados tanto por los factores físicos naturales como humanos. Con los resultados de este estudio según las diferentes variables, se ha podido localizar las zonas de mayor riesgo erosivo, provocando tanto el desgaste del suelo como aridez, conllevando a ser áreas más vulnerables a producirse escorrentías de mayor impacto en episodios torrenciales, derivando a tener la cuenca un comportamiento irregular y provocando inundaciones, catástrofes y destrozos en las zonas urbanas próximas a la desembocadura del entorno de Pedregalejo. Para hacer frente a esta problemática muy común en las cuencas mediterráneas andaluzas, este tipo de herramientas sería de gran utilidad para la identificación de zonas de riesgos para la toma de decisiones efectivas y una correcta gestión de la cuenca. Dadas las condiciones climáticas y físicas, difícilmente estos espacios de riesgo se regenerarían de forma natural, por lo que se podrían tomar medidas de contención hidráulica mediante la replantación de especies que protejan el

suelo, conllevando a un menor impacto de escorrentías en los episodios torrenciales característicos de la climatología mediterránea. Estas soluciones son fundamentales para una gestión eficiente del territorio.

Como se ha demostrado, el uso de las geotecnologías puede ser de gran utilidad para la gestión del territorio, para una toma de decisiones lo más eficaz y eficiente posible, desde una perspectiva tecnológica, incorporando nociones de estadística, procesamiento de datos, teledetección, sistema de información geográficos, uso de herramientas como drones para resultados más detallados. Esta rama va sumada a la vertiente más informática, creando automatizaciones y registros de anomalías espacio-temporales gracias a técnicas de programación relacionadas a Machine learning y Data Science. Teniendo en cuenta estos tipos de herramientas para la gestión del espacio como geógrafos, se puede analizar el territorio desde nuevas perspectivas, pudiendo el geógrafo ocupar un puesto relevante en materia del análisis científico, siendo dentro de la rama científica, una pieza fundamental para tanto el análisis de datos, como para el análisis territorial con la relación hombre-medio, el cual solo la figura del geógrafo tiene la competencia de poder investigar, relacionar, explicar y decidir correctamente en la ordenación del territorio.

8. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Estatal de Seguridad Aérea. (2021). *Portal Visor Enaire Aesa*. <https://drones.enaire.es/>

Álcazar-Torralba, M. (2013). *Evaluación de la erosión hídrica en parcelas experimentales en campos agrícolas de secano mediterráneo*. [Tesis doctoral] Universidad Complutense de Madrid.

Allué-Andrade, J. L. (1990). Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA. INIA. *Colección Monografías INIA, n.º 69*. Madrid.

Bielza de Ory, V. (1989). *Territorio y sociedad de España*. Taurus.

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp.

Corrales-Aguilar, P. (2007). *La organización del campo malacitano durante la época romana*. [Artículo académico]. Universidad de Málaga.

Correas-Hernández, A., Viués-Ortega D., Bernardo-Sanz, S., Ramos-Campo D., García-Cabañas Bueno, J.A. & Vergara-Medino R. (2017). *Piloto de dron (RPAS)*. (3ª Edición). Paraninfo.

Deimos-Imaging. (2015) *DEIMOS-2 Imagery user guide*. Deimos-Imaging.

Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F. & Yan, Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, pp. 124-136.

Erhart, H. (1956). La genèse des sols en tant que phénomène géologique. [Artículo académico]. *Revue de géographie de Lyon*, vol. 31, n°4, pp. 351-352.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1984.). *Portal de Suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>

Gallegos-Reina, A. J. (2015). *Caracterización de cuencas fluviales periurbanas con riesgo de inundación en ámbitos mediterráneos y propuesta de cartografía de peligrosidad adaptada*. [Tesis Doctoral] Universidad de Málaga.

Gobierno de España, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). *Banco de datos de la naturaleza. Comunidad autónoma de Andalucía*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50_descargas_andalucia.aspx

Gobierno de España, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). *Mapa forestal de España 1:200.000*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe200_descargas.aspx

Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). *Portal AEMET*. <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/avisos>

Gómez-Plaza, A. (2000). *Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida: efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.

Hueso-González, P. (2017). *El sistema ecogeomorfológico Mediterráneo. Conceptos, métodos y técnicas*. VDM Verlag.

Manual de especificaciones DJI Phantom 4 pro Multispectral. (2021) <https://www.dji.com/es/p4-multispectral/specs>

Mérida-Rodríguez, M. (1994). *El monte San Antón (Málaga). Análisis de un espacio natural periurbano*. [Artículo académico]. Universidad de Málaga.

Pascual-Aguilar, J. A. & Díaz-Martín, M. (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. *Instituto IMDEA Agua*.

Rivas-Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. [Artículo académico]. Universidad Complutense de Madrid.

Ruiz-Sinoga, J. D. & Diaz, A. R. (2010). Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology*, 118, 3, pp. 359-368.

Ruiz-Sinoga, J. D. & Díaz, M. A. R. (2009). "Indicadores edáficos de degradación en el mediterráneo meridional español". En Ruiz-Sinoga, J. D. & Díaz, M. A. R. (2009), *Geografía, territorio y paisaje: el estado de la cuestión: actas del XXI congreso de geógrafos españoles*. Ciudad Real, 27-29 de octubre de 2009 (pp. 1829-1843). Universidad de Castilla-La Mancha.

Ruiz-Sinoga, J. D., Diaz, A. R., Murillo, J. F. M., & Galeote, M. G. (2015). Incidencia de la dinámica pluviométrica en la degradación del suelo. Sur de España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 68, pp. 177-204.

Ruiz-Sinoga, J.D., Gallegos-Reina, A., Delgado-Peña, J.J., Noguera-Robles, M.J., Romero-Lopera, A., Márquez-Carrero, J., Lucas-Santamaría, B. & Martínez-Murillo, J.F. (2003). *Variabilidad de los procesos de generación de escorrentía en laderas bajo condiciones mediterráneas*. [Apuntes académicos] Universidad de Málaga.

Sánchez, N. (2020). La provincia que produce más aguacates y mangos de Europa busca agua. *El país*. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2020-11-17/malaga-la-provincia-que-produce-mas-aguacates-y-mangos-de-europa-busca-agua.html>

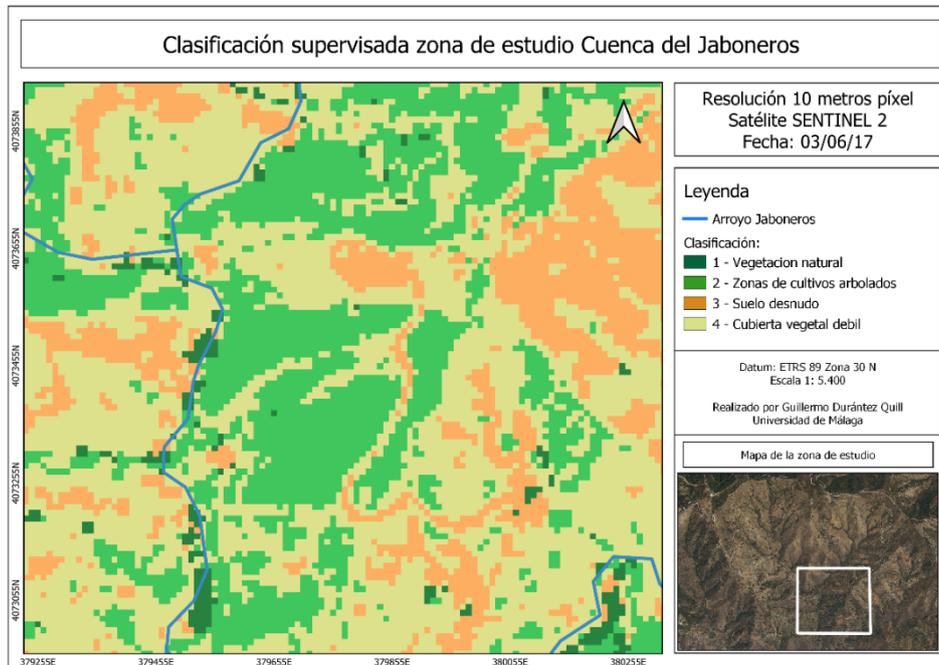
Senciales-González, J.M. & Rodrigo-Comino, J. (2011). Geomorfología de los Montes de Málaga: Pasado, presente y ¿futuro? *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 33, 81-109.

Sillero-Medina, J. A., Hueso-González, P. & Ruiz Sinoga, J. D. (2019). La precipitación geomorfológica como elemento clave en el modelado del paisaje mediterráneo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 2780, 1- 40.

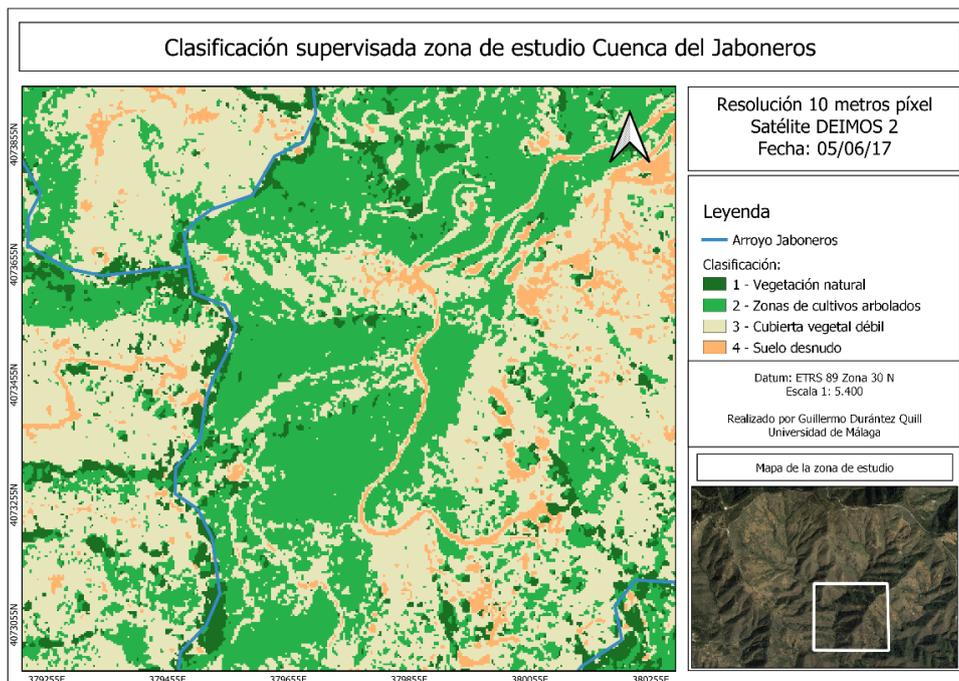
Strahler, A. N. & Strahler, A. H. (1989). *Geografía física*. Omega.

9. Anexos

Anexo I: Datos y mapas de la comparativa entre Deimos y Sentinel, junio 2017.
Escala 1:5400



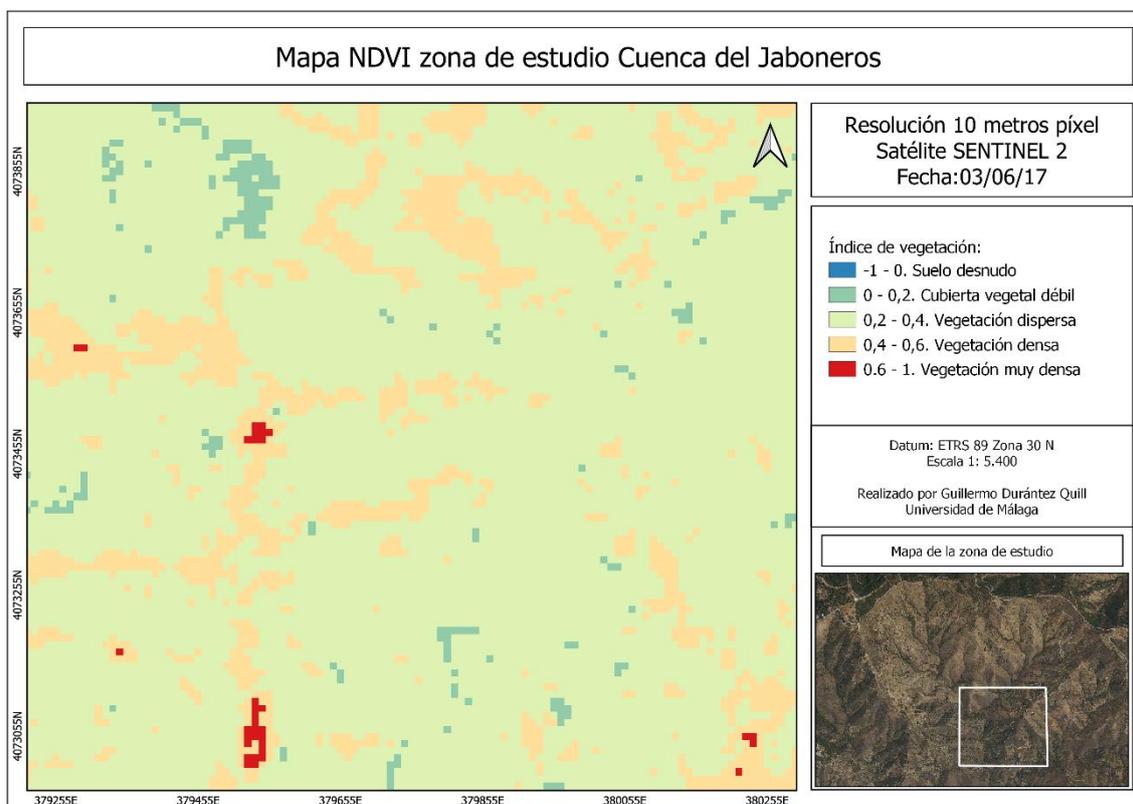
Mapa 8. Clasificación supervisada junio 2017, Sentinel 2. Elaboración propia.



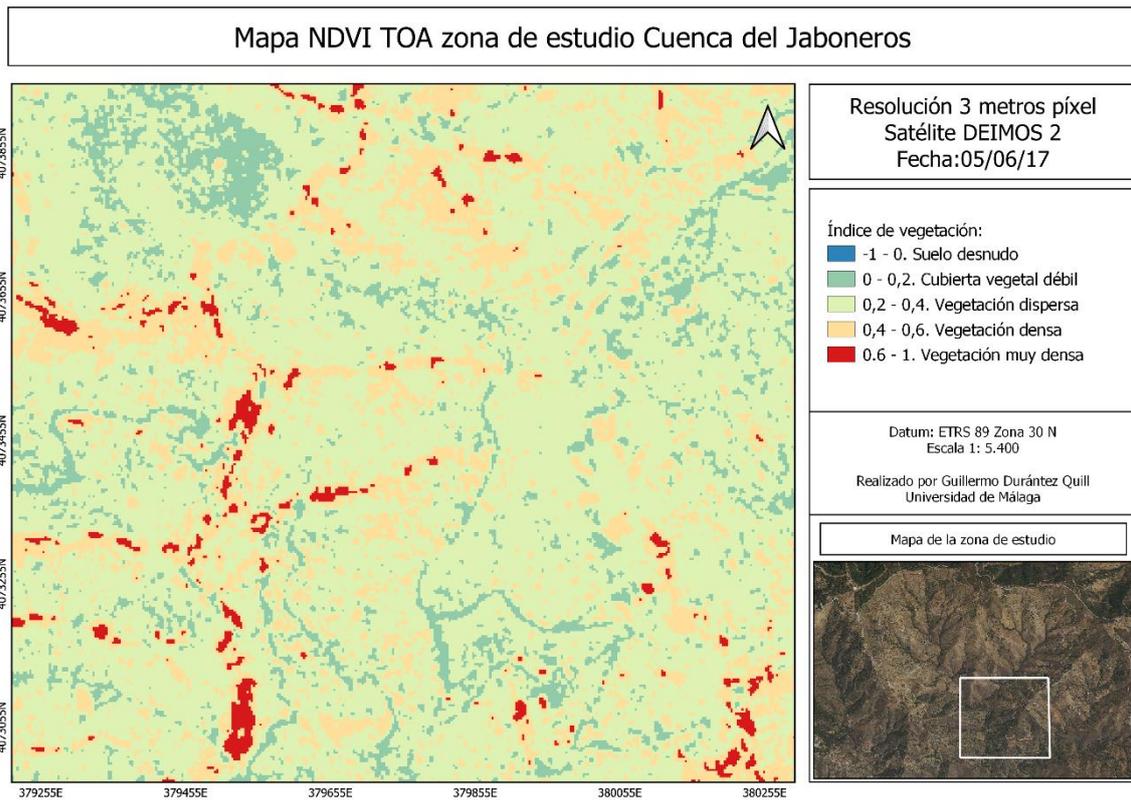
Mapa 9. Clasificación supervisada junio 2017, Deimos 2. Elaboración propia.

Clasificación	Sentinel	Deimos
Vegetación natural	2,68	8,62
Zonas de cultivos arbolados	34,7	45,56
cubierta vegetal débil	58,33	56,25
Suelo desnudo	20,49	6,51
Total	116	116

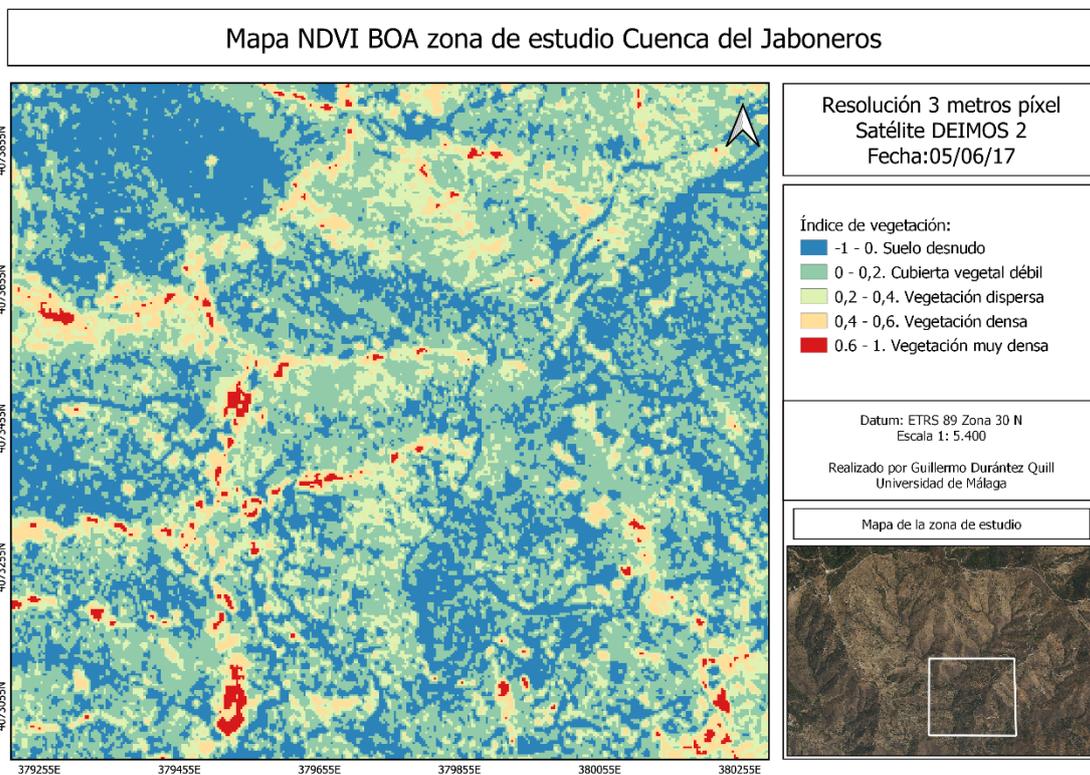
Tabla 17. *Tabla de la superficie en hectáreas entre sensores de la clasificación supervisada. Junio 2017.*
Elaboración propia.



Mapa 10. *Mapa NDVI junio 2017, Sentinel 2.* Elaboración propia.



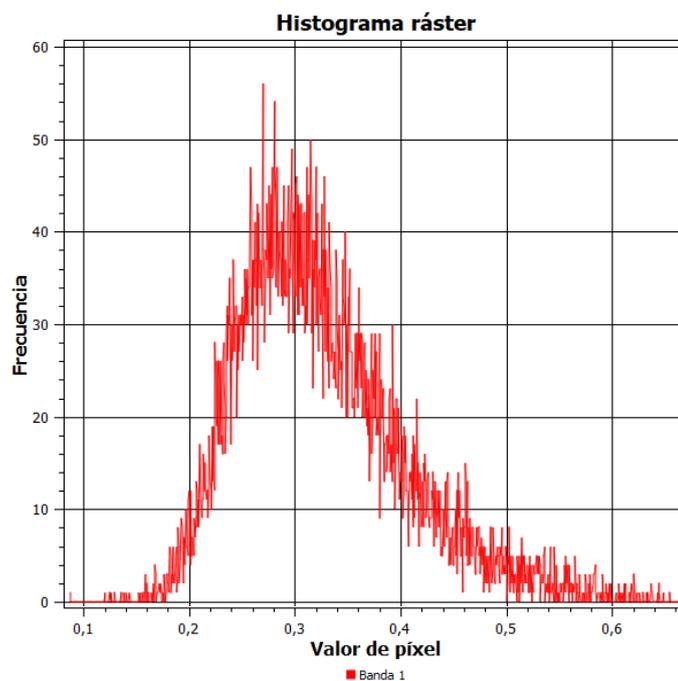
Mapa 11. Mapa NDVI junio 2017, Deimos 2 TOA. Elaboración propia



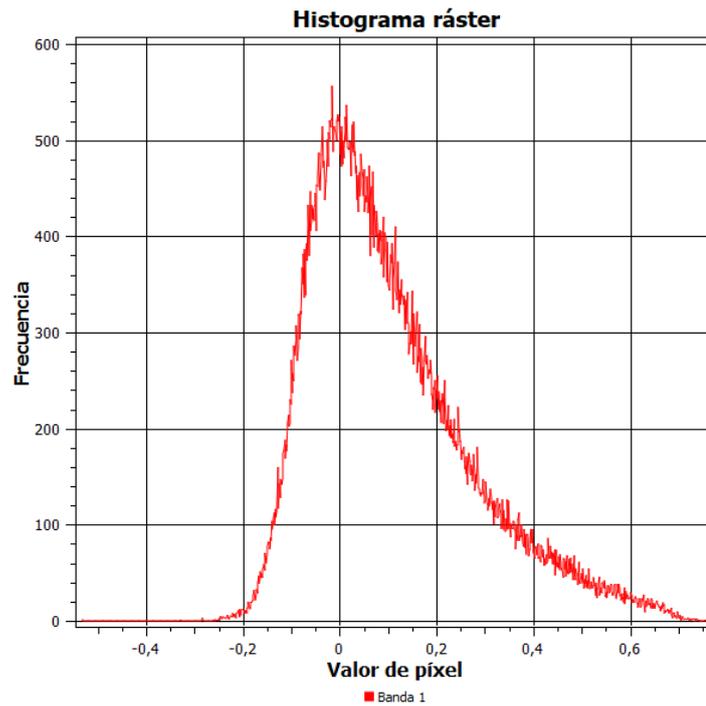
Mapa 12. Mapa NDVI, junio 2017, Deimos 2 BOA. Elaboración propia.

Estadísticas	DEIMOS TOA	DEIMOS BOA	SENTINEL 2017
Conteo	130081	130081	11620
Suma	41785,5929	13451,7659	3766,99227
Media	0,32122749	0,10341069	0,32418178
Mediana	0,30188105	0,06797591	0,31170829
Desv. Estándar	0,10800502	0,16576802	0,07867422
Min	0,01656041	-0,53357321	0,08695654
Max	0,76175296	0,76420379	0,66610044
Rango	0,74519255	1,297777	0,5791439
Minoría	0,01656041	-0,53357321	0,08695654
Moda	0,26548094	-0,03860616	0,33333334
Variedad	128664	129327	11358
Varianza	0,01166508	0,02747904	0,00618963

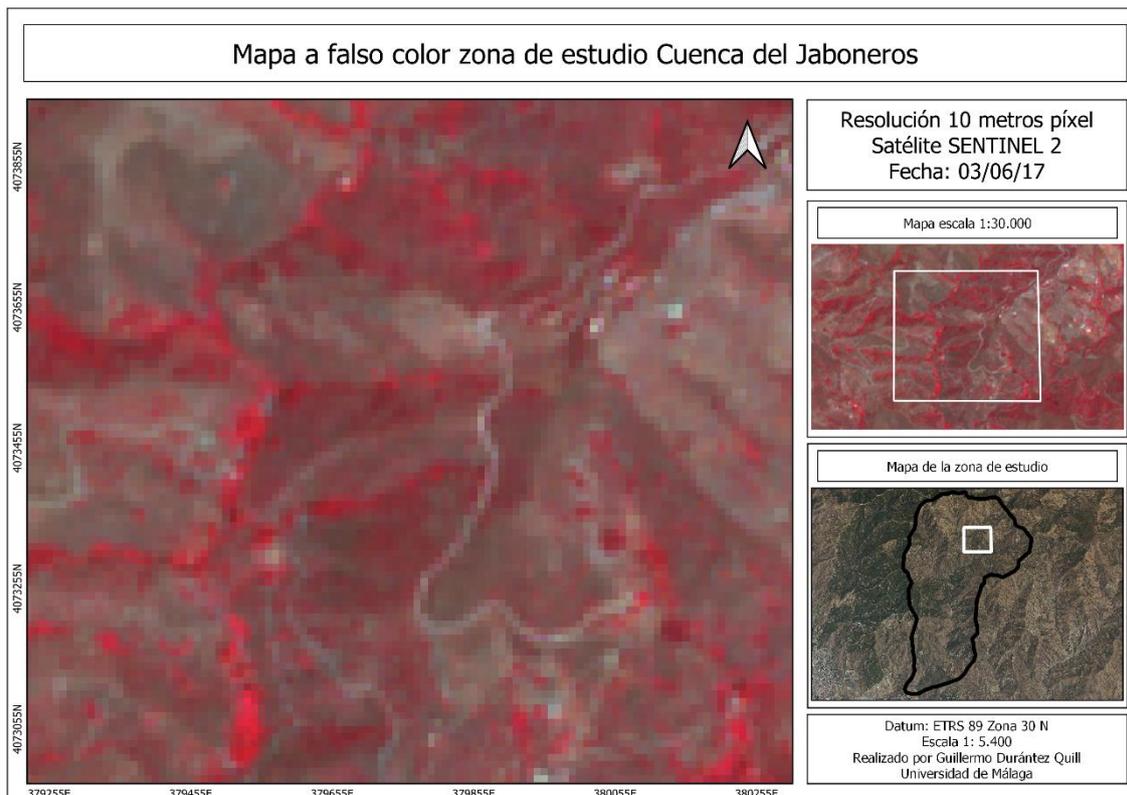
Tabla 18. *Tabla de los resultados estadísticos de los mapas NDVI de Deimos BOA y TOA, y de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.*



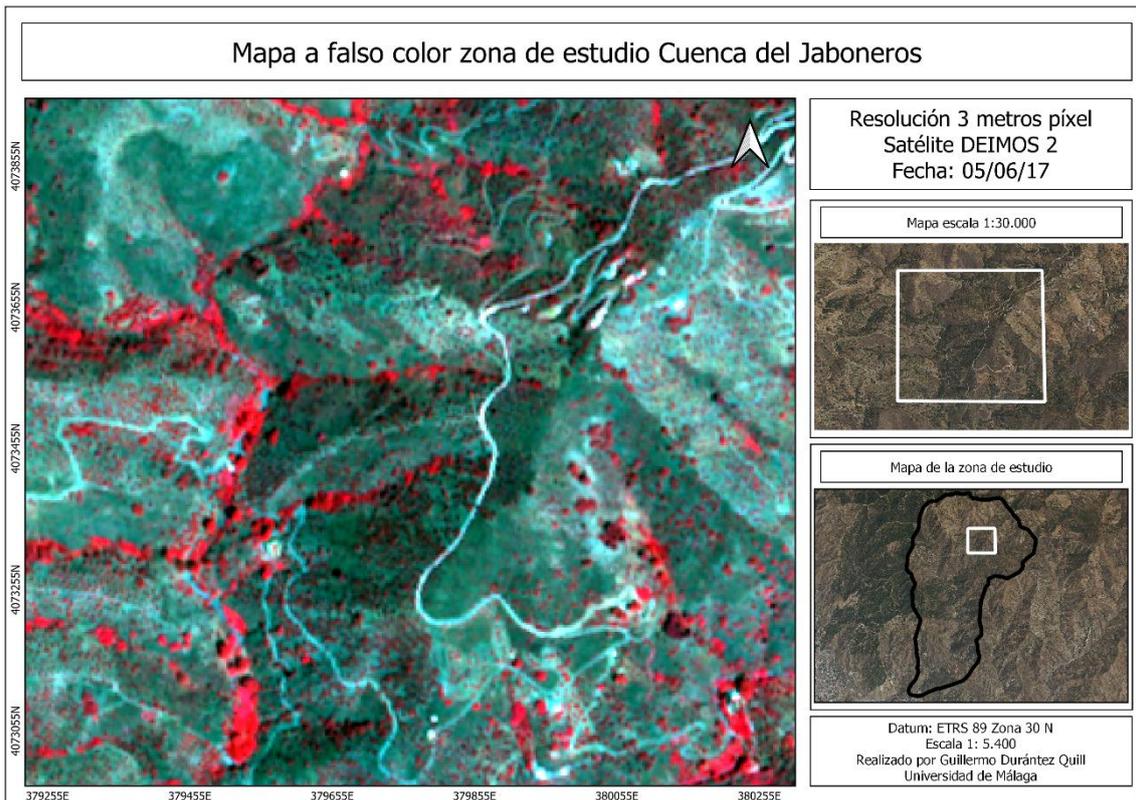
Gráfica 8. *Histograma del mapa NDVI de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.*



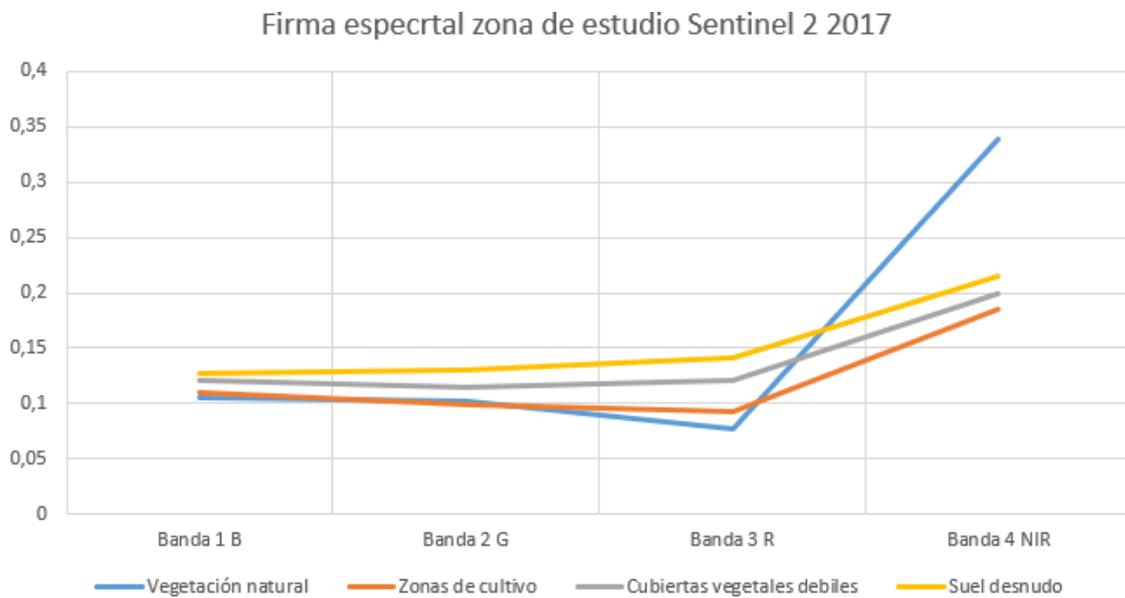
Gráfica 9. Histograma del mapa NDVI de Deimos. Junio 2017. Elaboración propia.



Mapa 13. Mapa falso color infrarrojo Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.



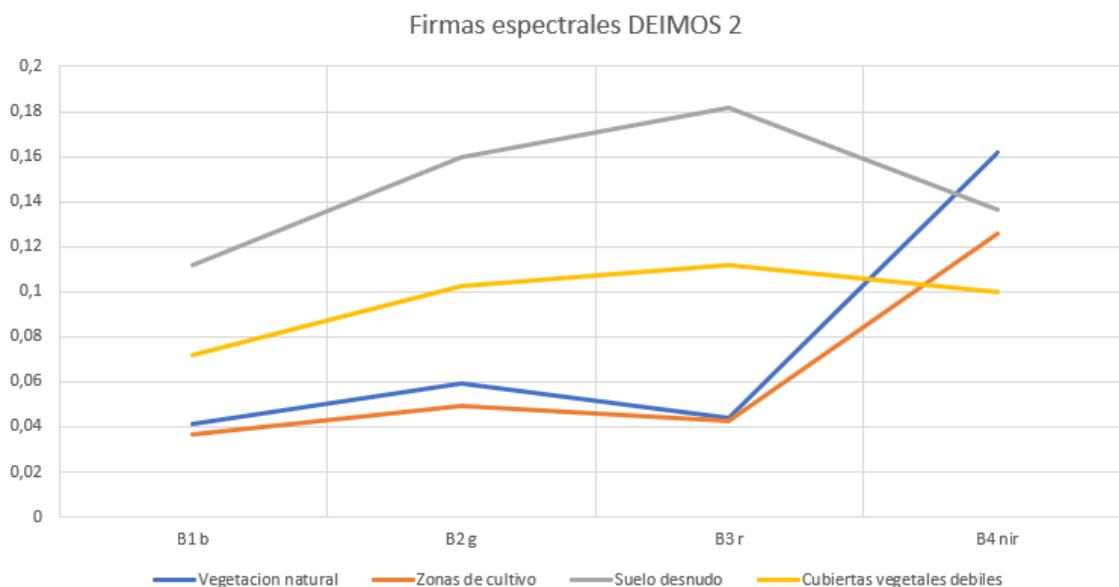
Mapa 14. Mapa falso color infrarrojo Deimos. Junio 2017. Elaboración propia.



Gráfica 10. Firma espectral Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	0,10549	0,1013	0,07694	0,33806
Zonas de cultivo	0,10937	0,0995	0,09273	0,1852
Cubiertas vegetales débiles	0,12022	0,11445	0,12162	0,19895
Suelo desnudo	0,1276	0,13083	0,1412	0,2146

Tabla 19. Datos espectrales por banda Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.



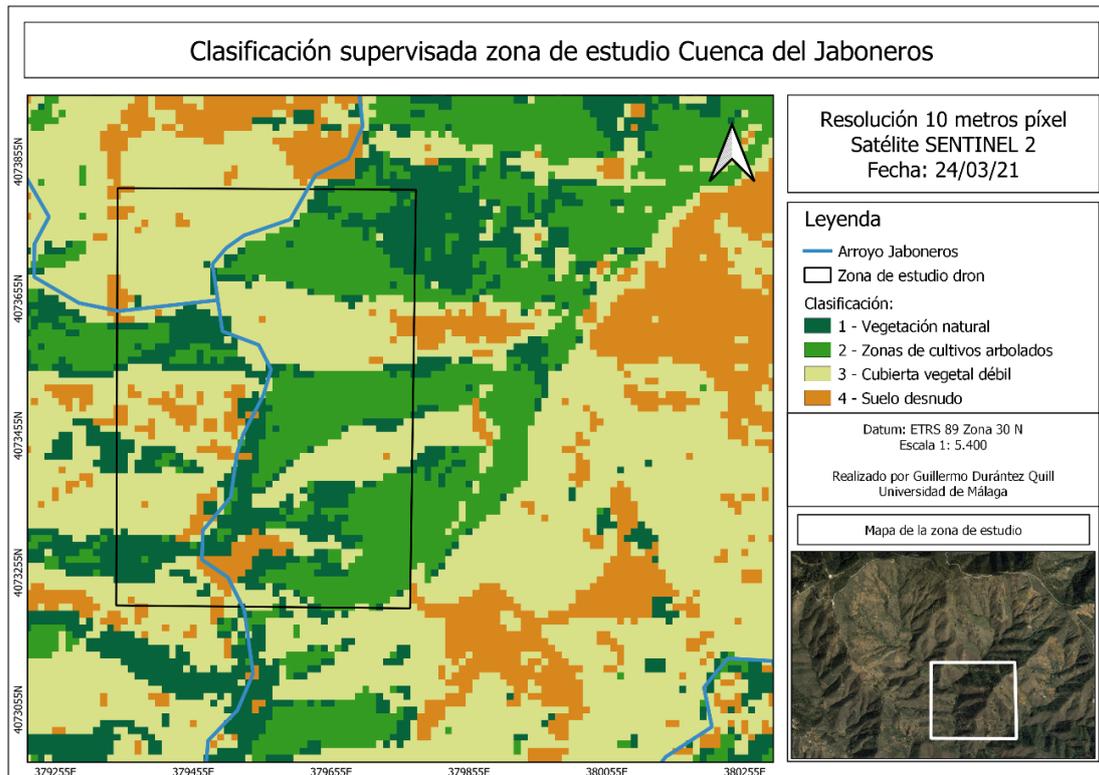
Gráfica 11. Firma espectral Deimos. Junio 2017. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	0,04125	0,05893	0,04417	0,16196
Zonas de cultivo	0,03692	0,04925	0,04272	0,12579
Suelo desnudo	0,11171	0,15992	0,18179	0,13632
Cubiertas vegetales débiles	0,07191	0,10229	0,1117	0,10016

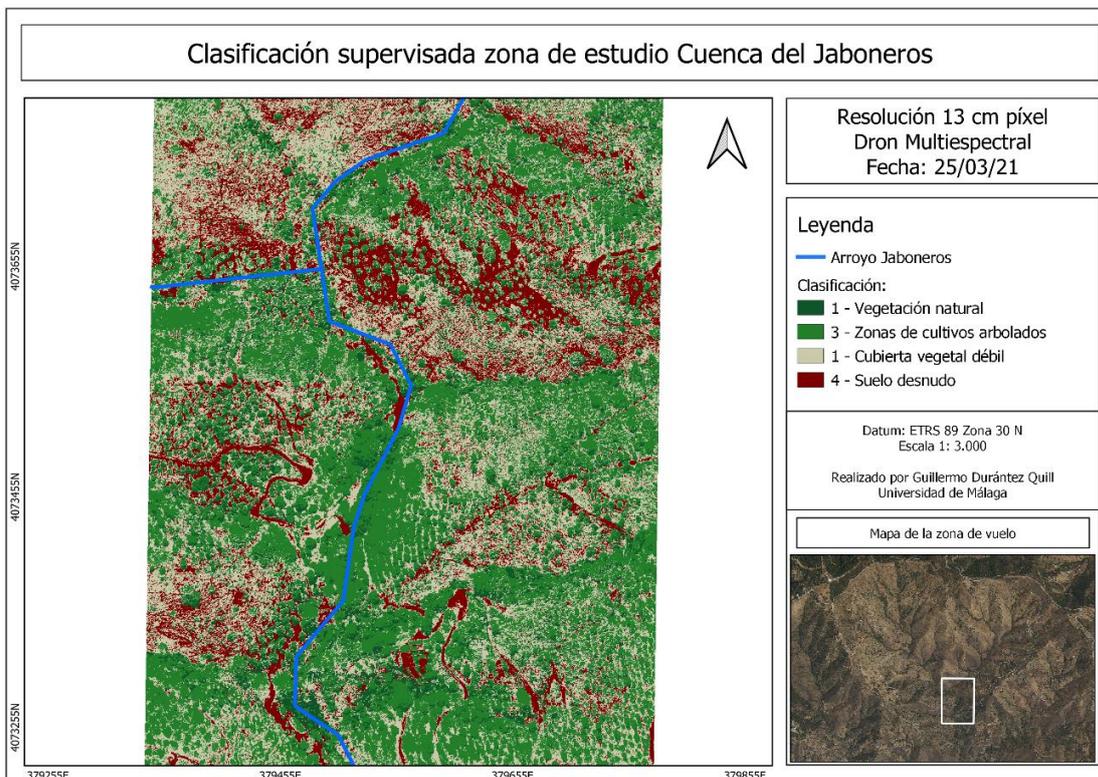
Tabla 20. Datos espectrales por banda Deimos. Junio 2017. Elaboración propia.

Anexo II: Datos y mapas de la comparativa entre dron y Sentinel, marzo 2021.

Escala 1:3000



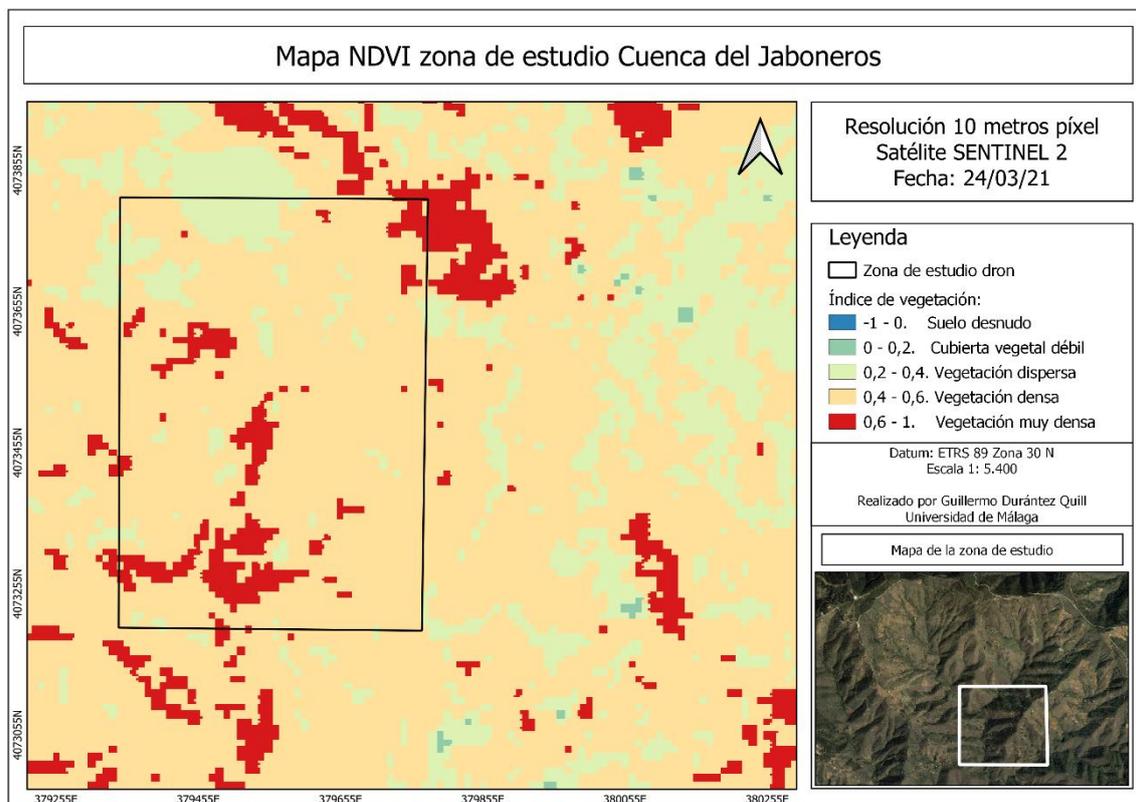
Mapa 15. Clasificación supervisada marzo 2021, Sentinel 2. Elaboración propia.



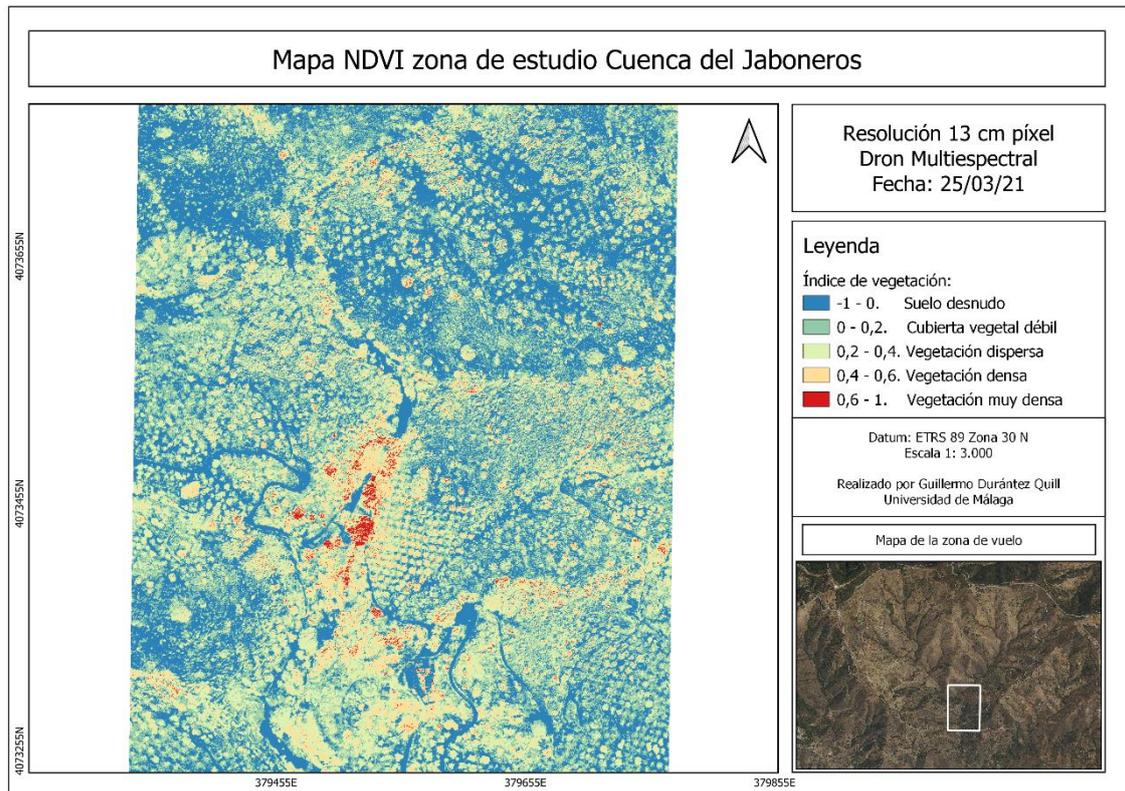
Mapa 16. Clasificación supervisada marzo 2021, dron. Elaboración propia.

Clasificación	Sentinel 2021	Dron
Zonas de vegetación	12,31	13,41
cubierta vegetal débil	11,24	7,48
Suelo desnudo	1,65	4,28
Total	25	25

Tabla 21. Tabla de la superficie en hectáreas entre sensores de la clasificación supervisada. Marzo 2021. Elaboración propia



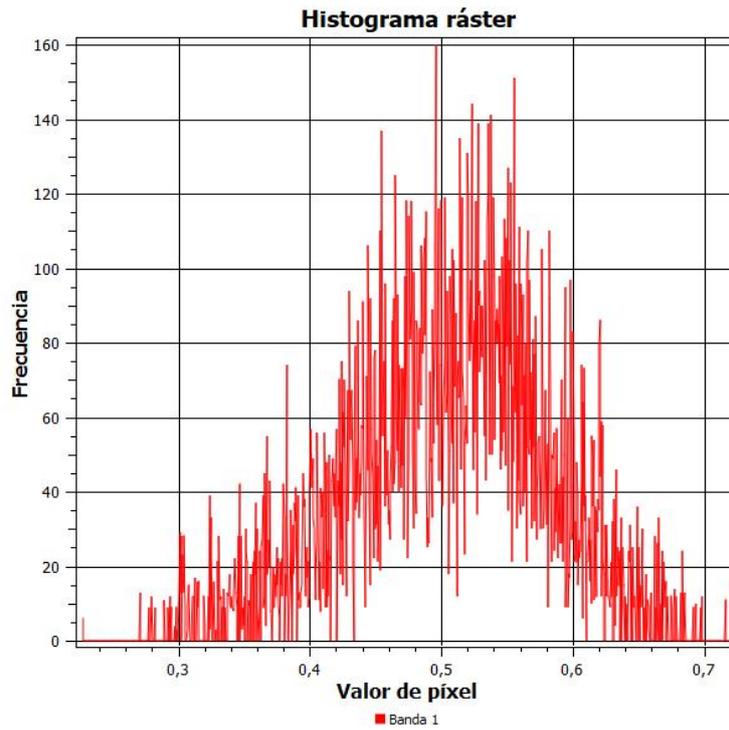
Mapa 17. Mapa NDVI marzo 2021, Sentinel 2. Elaboración propia.



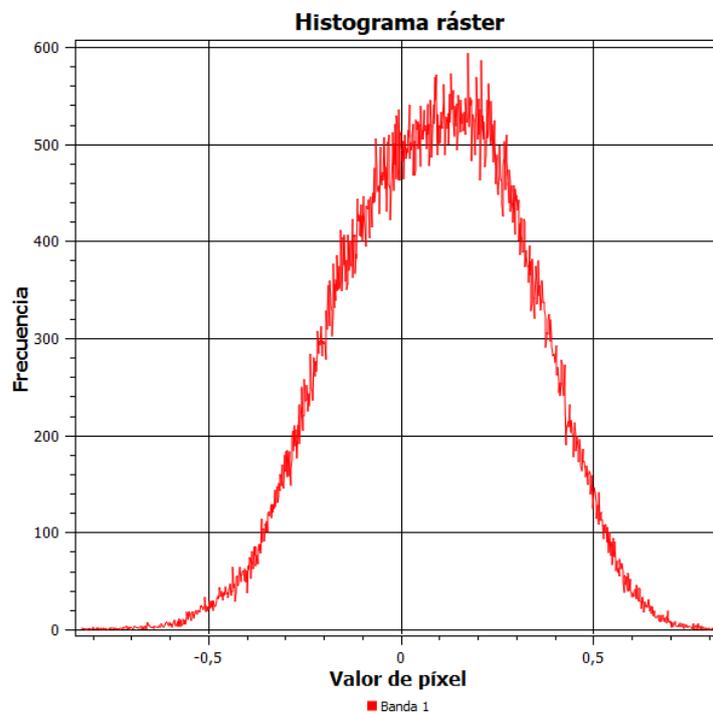
Mapa 18. *Mapa NDVI marzo 2021, dron.* Elaboración propia.

Estadísticas	Sentinel	Dron
Conteo	130081	13317987
Suma	62438,9599	1181546,28
Media	0,48000061	0,08871808
Mediana	0,48035231	0,09409054
Desv. Estándar	0,08636528	0,23470218
Min	0,0831461	-0,92969561
Max	0,73234594	0,88290697
Rango	0,64919984	1,81260258
Minoría	0,34259257	-0,92969561
Moda	0,5	0
Variedad	11623	11693353
Varianza	0,00745896	0,05508511

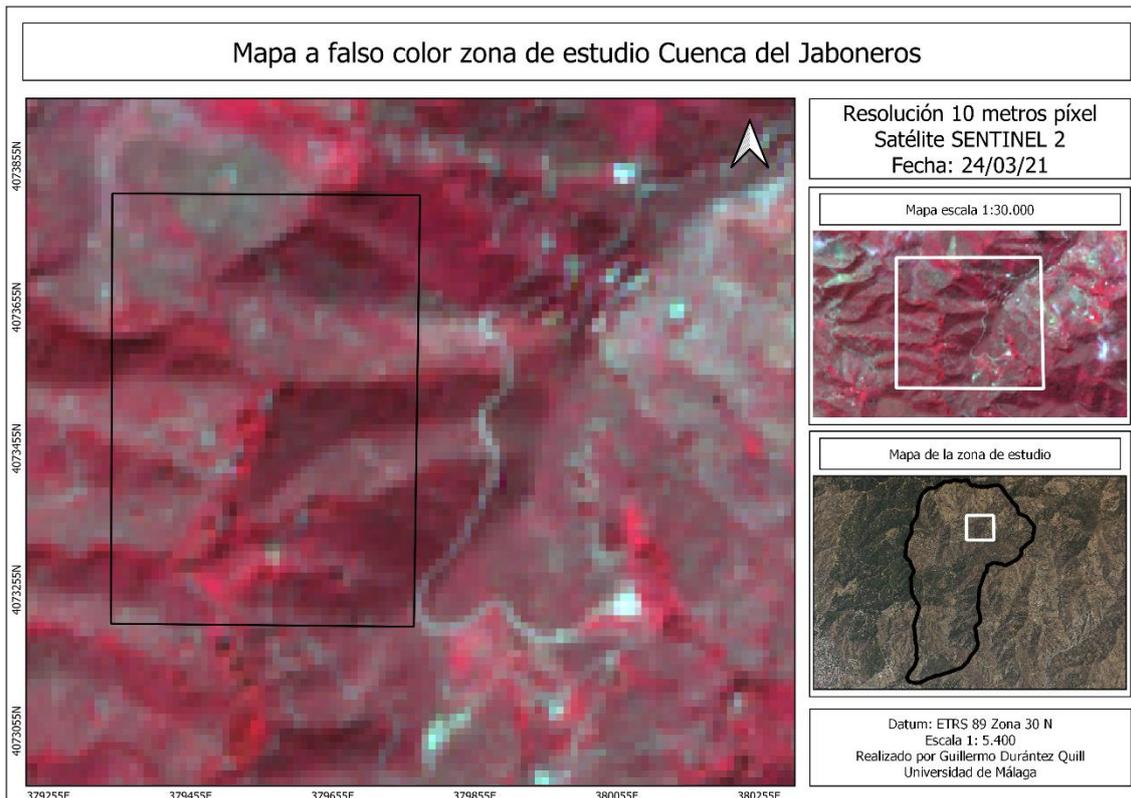
Tabla 22. *Tabla de los resultados estadísticos de los mapas NDVI de dron y Sentinel. Marzo 2021.* Elaboración propia.



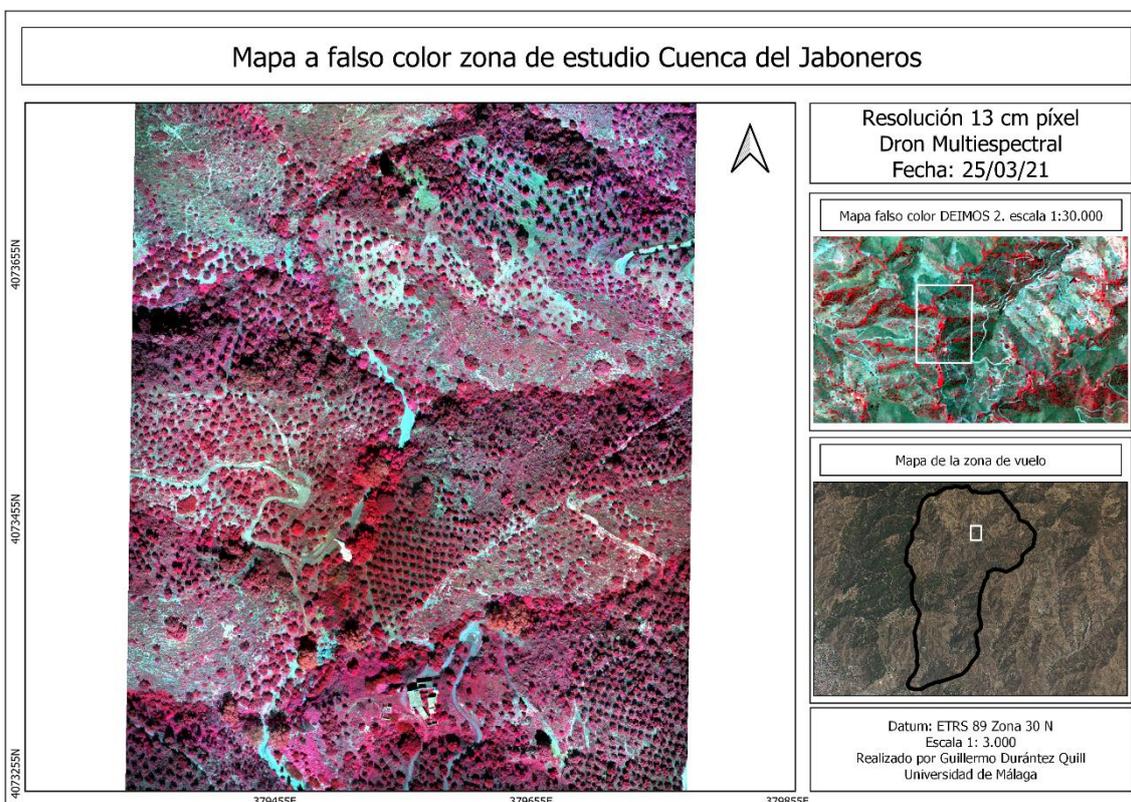
Gráfica 12. *Histograma del mapa NDVI de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.*



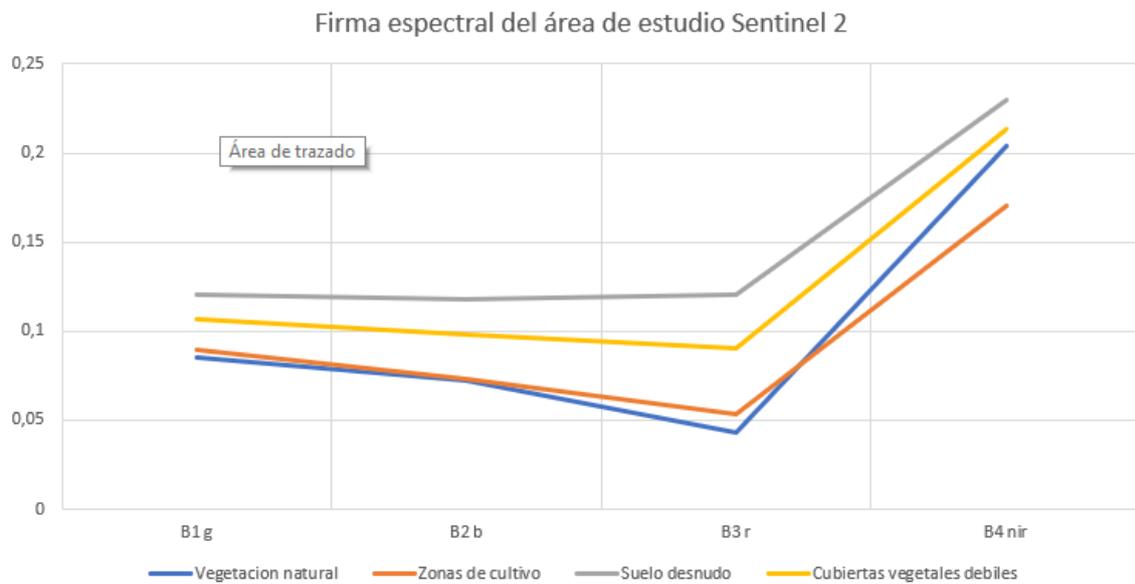
Gráfica 13. *Histograma del mapa NDVI de dron. Marzo 2021. Elaboración propia.*



Mapa 19. Mapa falso color infrarrojo Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.



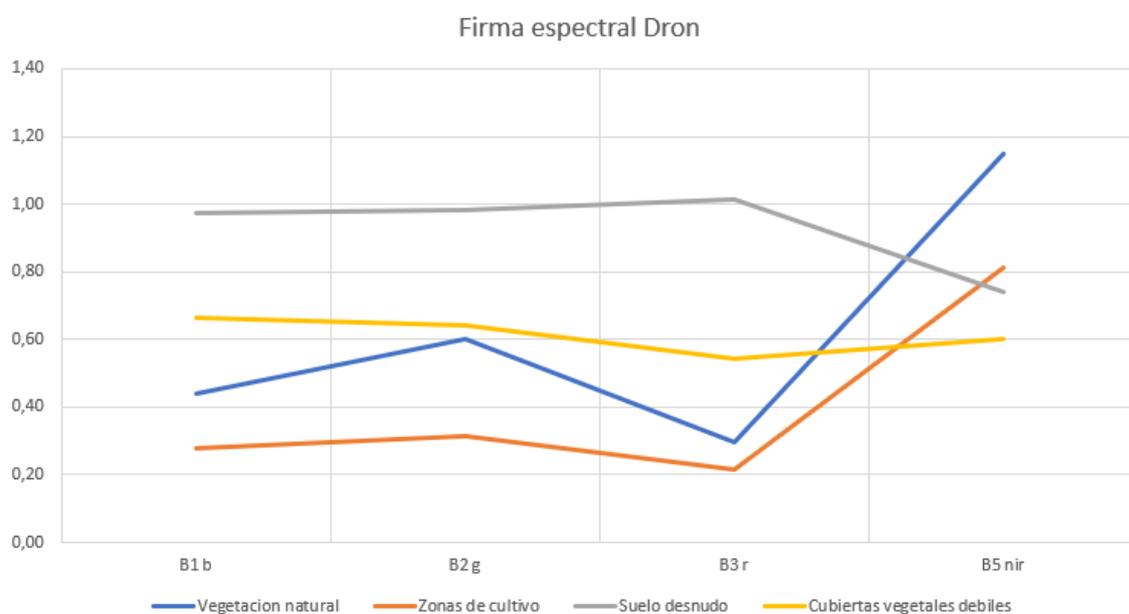
Mapa 20. Mapa falso color infrarrojo dron. Marzo 2021. Elaboración propia.



Gráfica 14. Firma espectral Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	0,0849	0,07243	0,04315	0,20425
Zonas de cultivo	0,08947	0,07347	0,05355	0,1704
Suelo desnudo	0,1201	0,1183	0,1204	0,2298
Cubiertas vegetales débiles	0,10647	0,09852	0,0905	0,21317

Tabla 23. Datos espectrales por banda Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

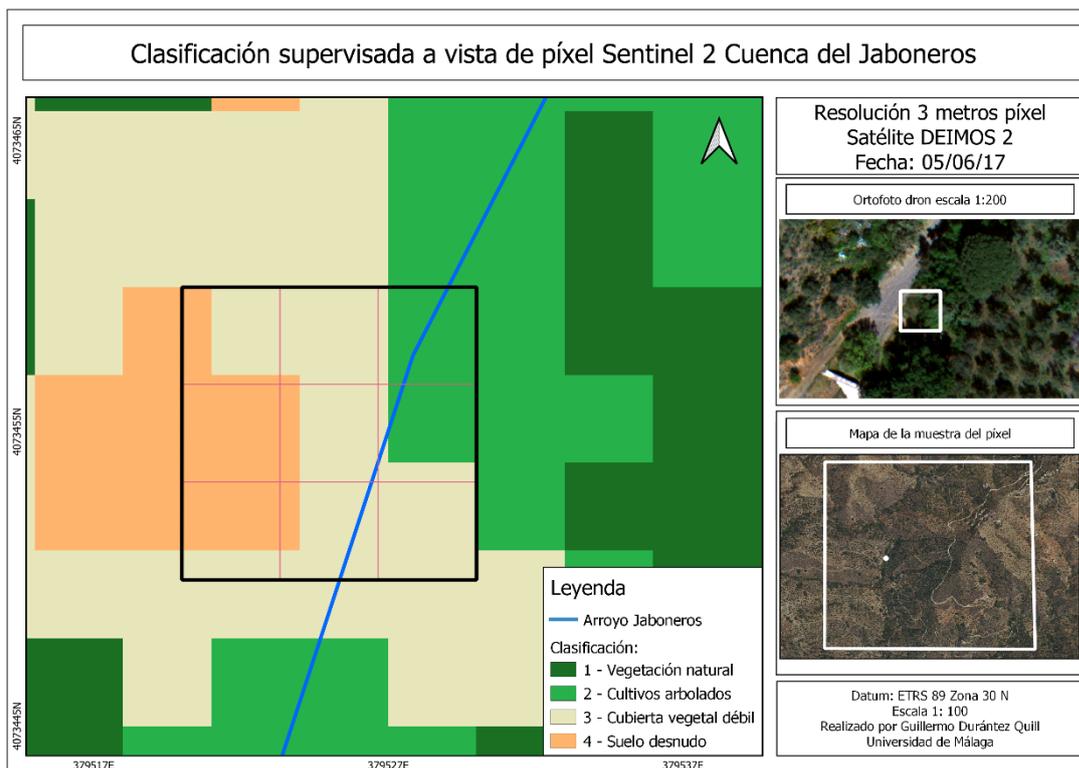


Gráfica 15. Firma espectral dron. Marzo 2021. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	b4 Borde rojo	B5 NIR
Vegetación natural	0,439980	0,602730	0,294520	1,053340	1,148630
Zonas de cultivo	0,280440	0,313990	0,214580	0,753780	0,811260
Suelo desnudo	0,972000	0,981690	1,012170	0,934760	0,742200
Cubiertas vegetales débiles	0,663750	0,640980	0,542350	0,697550	0,601140

Tabla 24. Datos espectrales por banda dron. Marzo 2021. Elaboración propia.

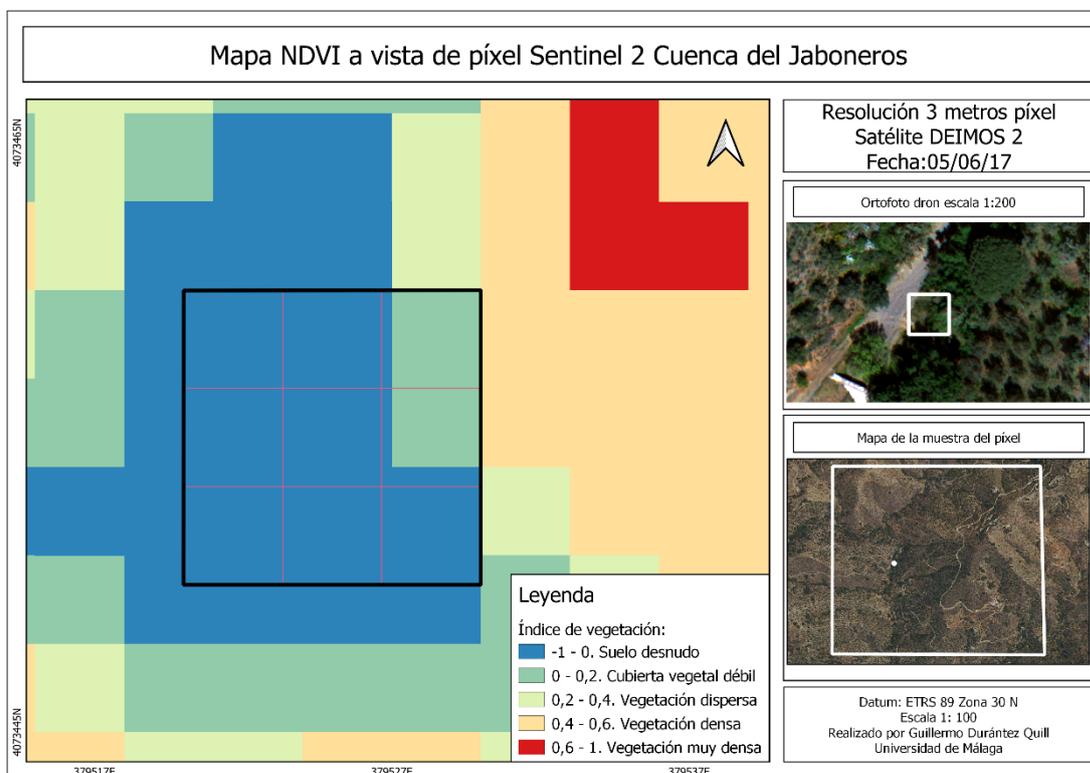
Anexo III: Datos y mapas de los resultados de Deimos respecto a la muestra del píxel de Sentinel, junio 2017. Escala 1:100



Mapa 21. Clasificación supervisada de Deimos en base al área del píxel de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

Clasificación	Sentinel	Deimos
Vegetación densa		17,99
Cubierta vegetal débil	100	54,96
Suelo desnudo		26,96
Total	100	99,91

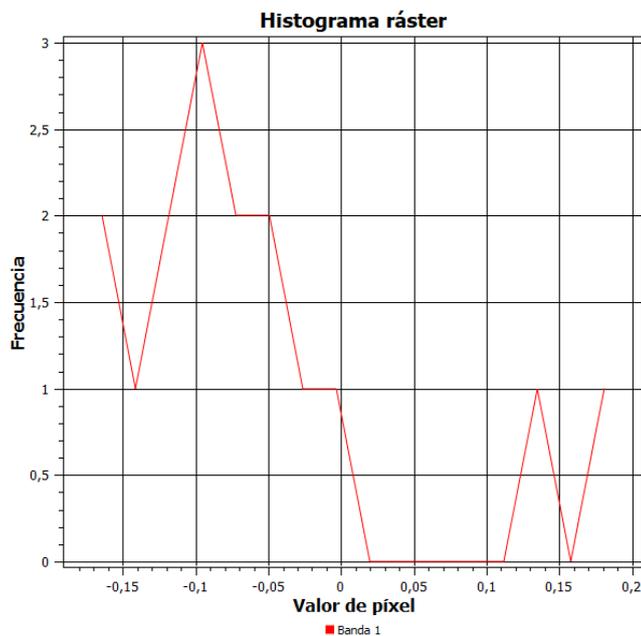
Tabla 25. Tabla de la superficie en metros cuadrados de la clasificación supervisada de Deimos en base al área del píxel de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.



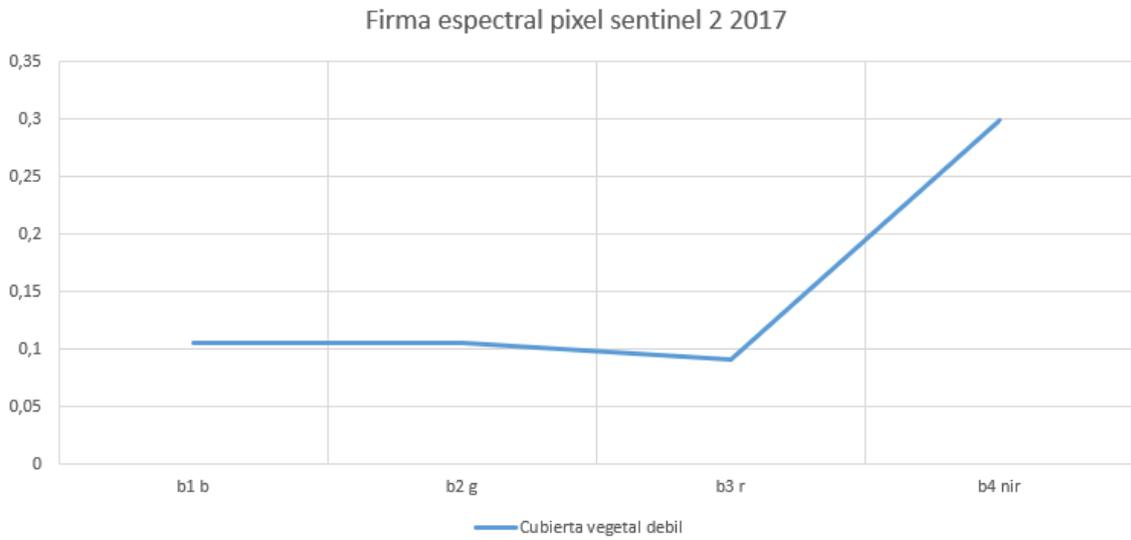
Mapa 22. Mapa NDVI de Deimos en base al área del píxel de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

Estadísticas	Deimos
Conteo	9
Suma	-0,3797365
Media	-0,04219294
Mediana	-0,06436158
Desv. Estándar	0,12199534
Min	-0,16702892
Max	0,1924352
Rango	0,35946412
Minoría	-0,16702892
Moda	-0,16702892
Variedad	9
Varianza	0,01488286

Tabla 26. Tabla de los resultados estadísticos del mapa NDVI de Deimos en base al área del píxel de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.



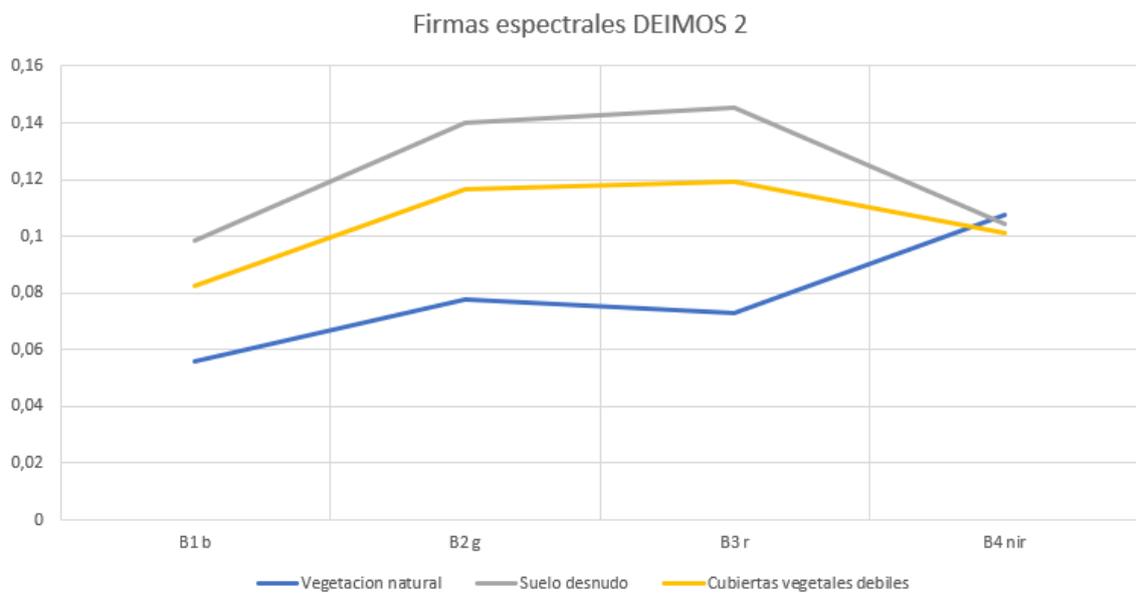
Gráfica 16. Histograma del mapa NDVI de Deimos en base al área del píxel de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.



Gráfica 17. Firma espectral del píxel de muestra de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Cubierta vegetal débil	0,10559	0,1052	0,09059	0,2998

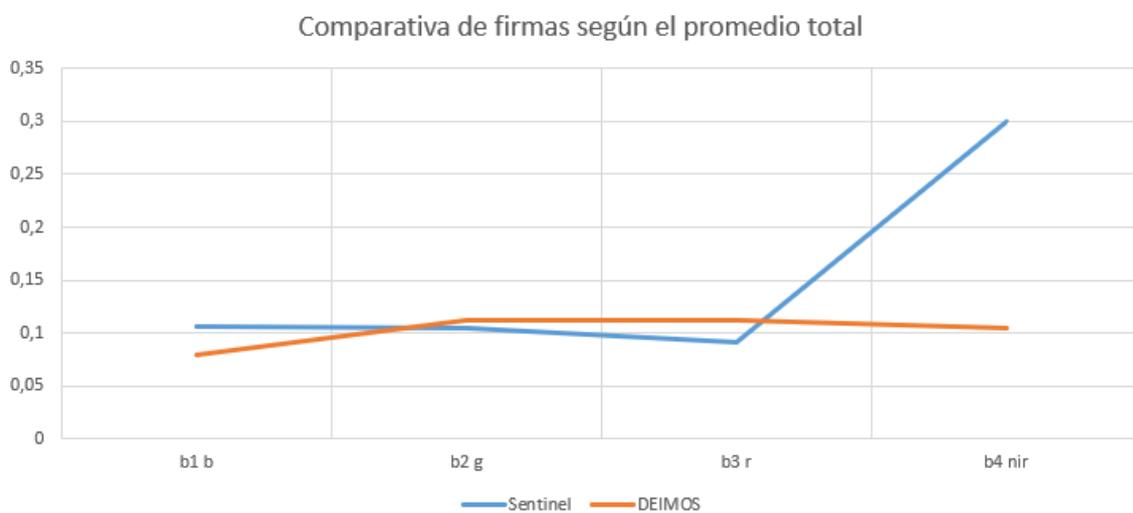
Tabla 27. Datos espectrales por banda del píxel de muestra de Sentinel Junio 2017. Elaboración propia.



Gráfica 18. Firma espectral de Deimos en base al píxel de muestra de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Vegetación natural	0,05591	0,07774	0,0729	0,10764
Suelo desnudo	0,09846	0,14023	0,14522	0,10442
Cubiertas vegetales débiles	0,08268	0,11684	0,11928	0,10124
Firma promedio	0,07901667	0,11160333	0,11246667	0,10443333

Tabla 28. Datos espectrales por banda en base al píxel de muestra de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

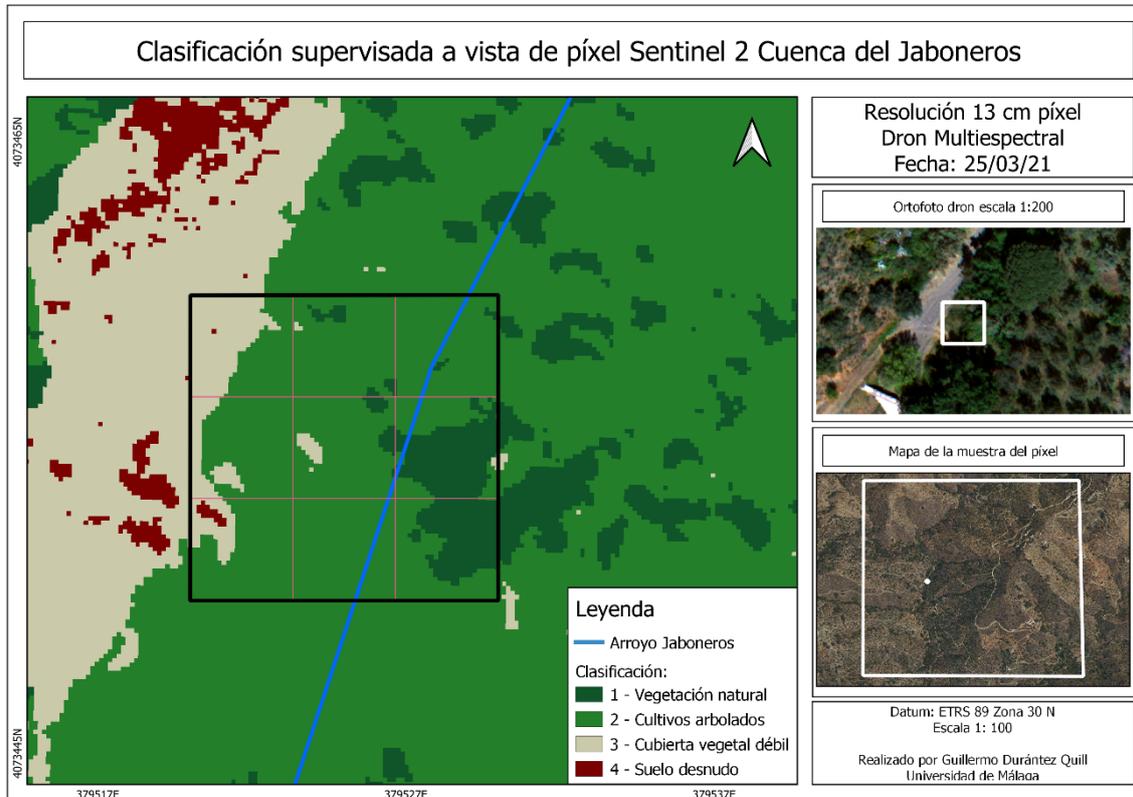


Gráfica 19. Comparativa del promedio de las firmas espectrales entre ambos sensores para el área del píxel de muestra de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

Sensor	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Sentinel	0,10559	0,1052	0,09059	0,2998
Deimos	0,07901667	0,11160333	0,11246667	0,10443333

Tabla 29. Datos espectrales por banda del promedio de las firmas espectrales entre ambos sensores para el área del píxel de muestra de Sentinel. Junio 2017. Elaboración propia.

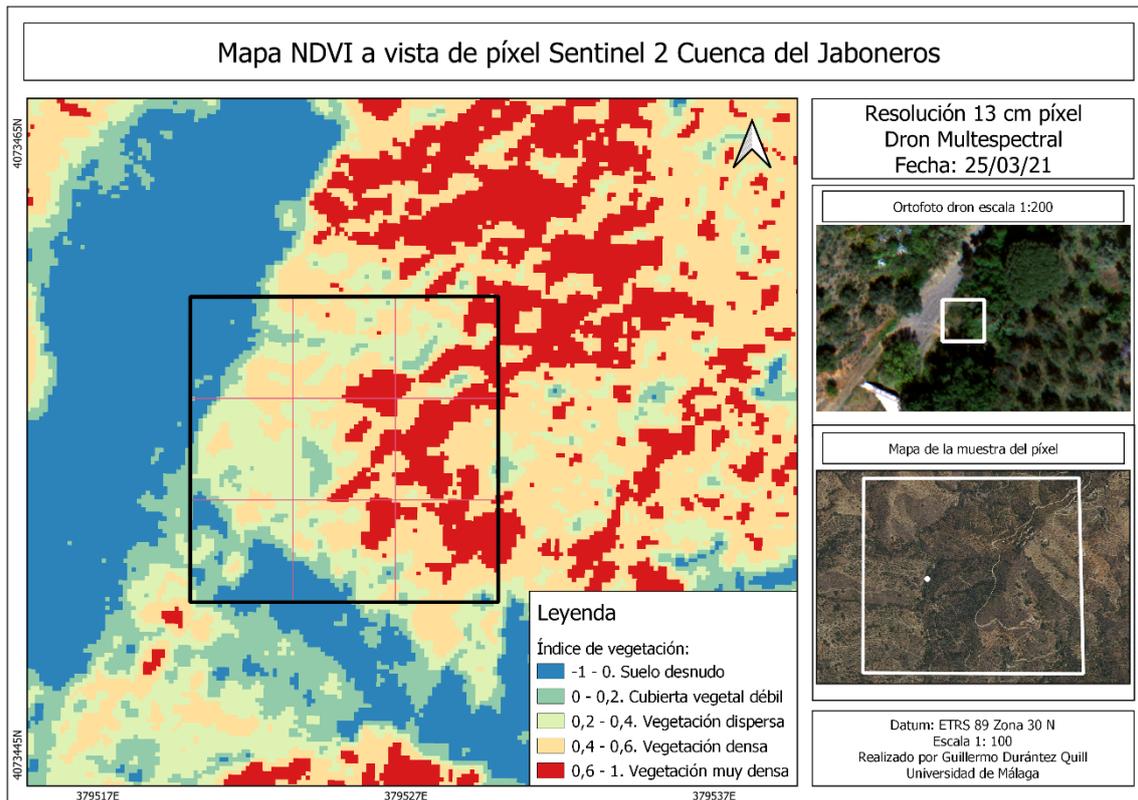
Anexo IV: Datos y mapas de los resultados del dron respecto a la muestra del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Escala 1:100



Mapa 23. Clasificación supervisada del dron en base al área del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Clasificación	Sentinel	Dron
Vegetación densa		82,72
Cubierta vegetal débil	100	11,31
Suelo desnudo		0,41

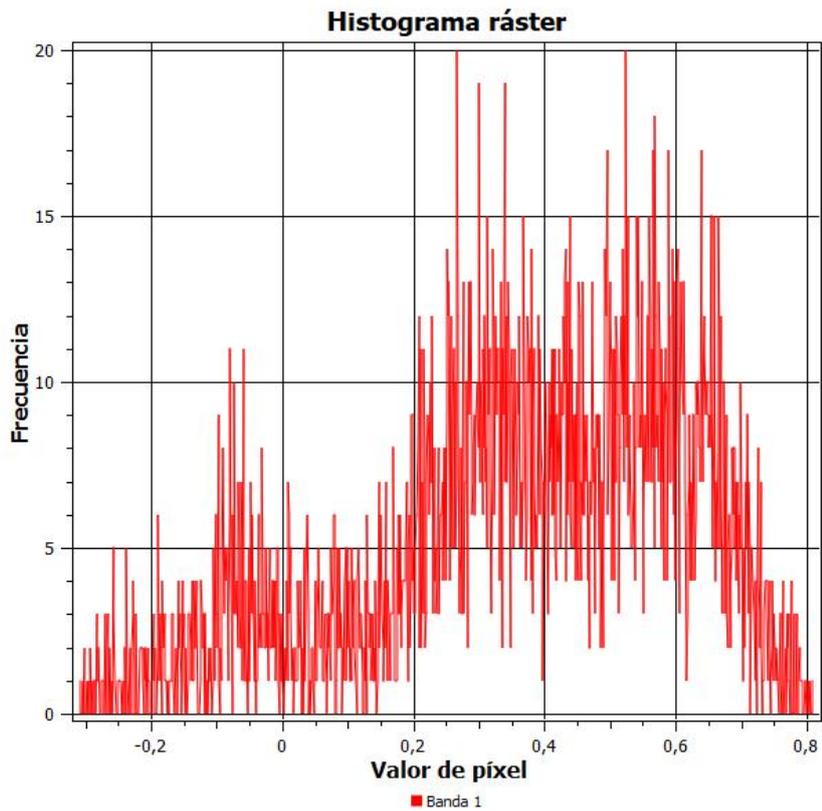
Tabla 30. Tabla de la superficie en metros cuadrados de la clasificación supervisada del dron en base al área del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia



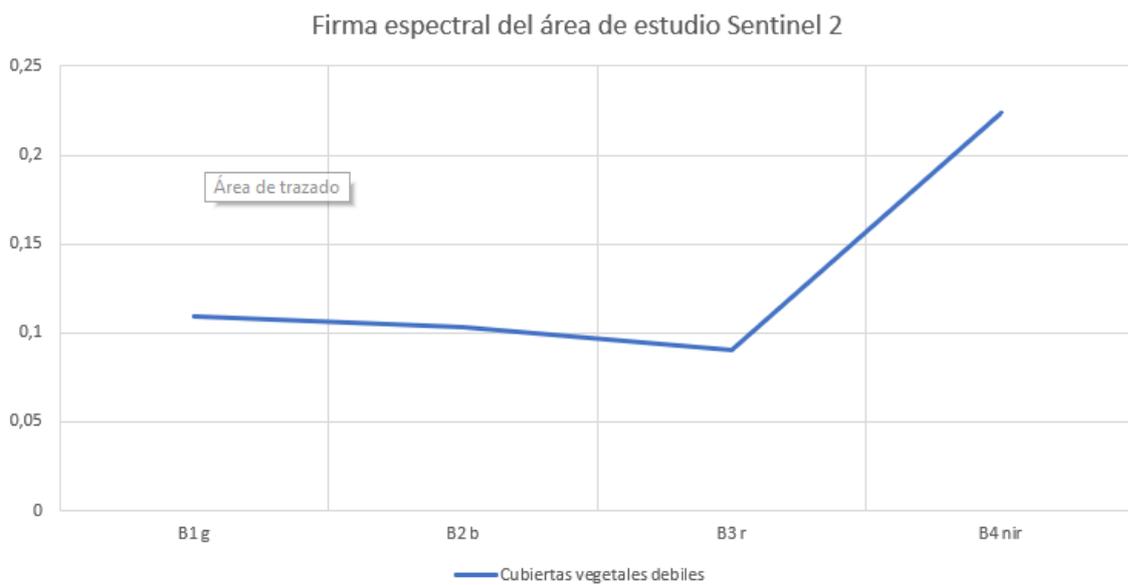
Mapa 24. Mapa NDVI del dron en base al área del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Estadísticas	Dron
Conteo	4900
Suma	1802,93545
Media	0,36794601
Mediana	0,3996795
Desv. Estándar	0,24294345
Min	-0,30926123
Max	0,81005496
Rango	1,11931619
Minoría	-0,30926123
Moda	-0,18982664
Variedad	3941
Varianza	0,05902152

Tabla 31. Tabla de los resultados estadísticos del mapa NDVI del dron en base al área del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia



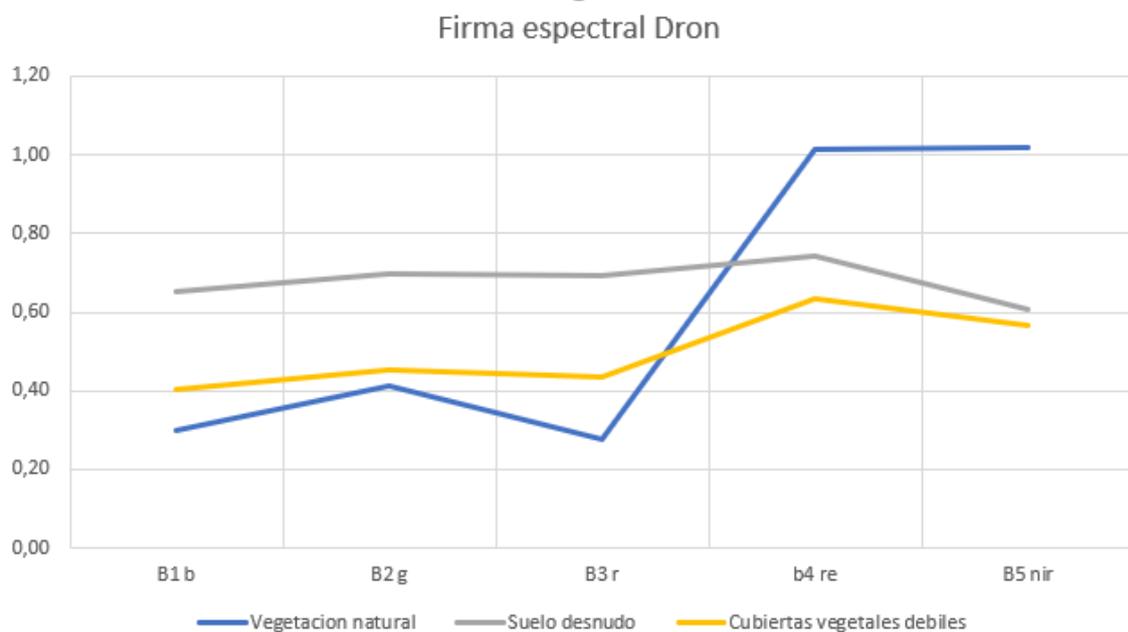
Gráfica 20. Histograma del mapa NDVI del dron en base al área del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.



Gráfica 21. Firma espectral del píxel de muestra de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

TIPO	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Cubiertas vegetales débiles	0,1093	0,103	0,0907	0,2239

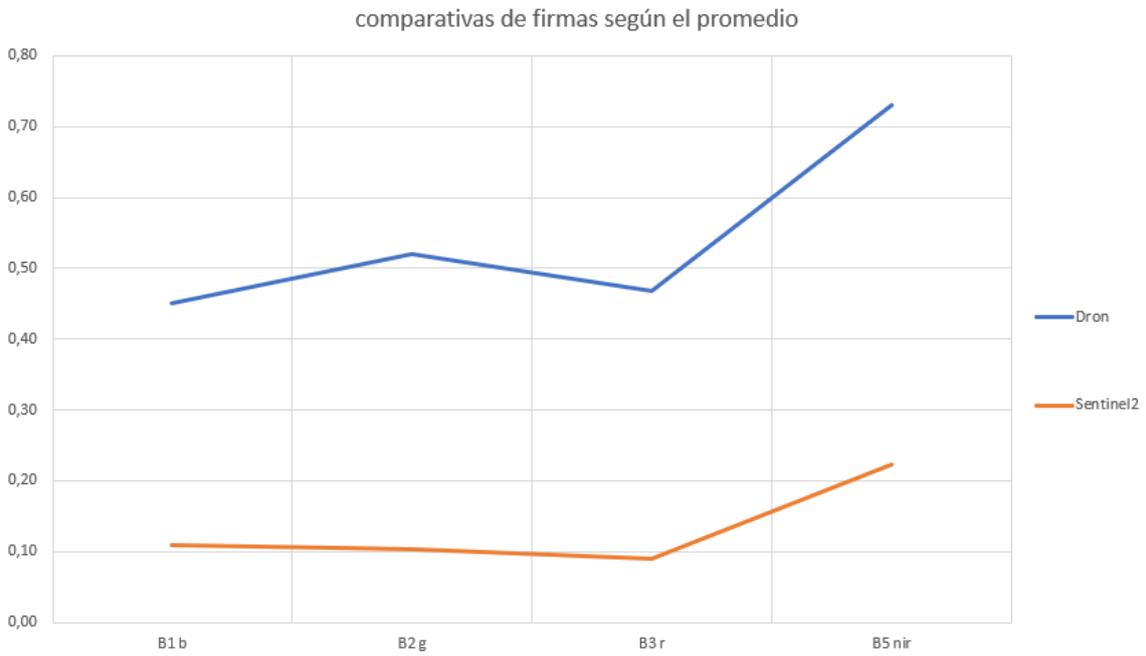
Tabla 32. Datos espectrales por banda del píxel de muestra de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.



Gráfica 22. Firmas espectrales del dron en base a la muestra del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Tipo	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	b4 Borde rojo	B5 NIR
Vegetación natural	0,30029	0,41002	0,27704	1,01459	1,0196
Suelo desnudo	0,65205	0,69721	0,69184	0,74052	0,60809
Cubiertas vegetales débiles	0,4023	0,45411	0,43305	0,63359	0,5647
Promedio total dron	0,451546667	0,520446667	0,46731	0,796233333	0,73079667

Tabla 33. Datos espectrales por banda del dron en base a la muestra del píxel de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.



Gráfica 23. Comparativa del promedio de las firmas espectrales entre ambos sensores para el área del píxel de muestra de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Sensor	B1 Azul	B2 Verde	B3 Rojo	B4 NIR
Sentinel 2	0,1093	0,103	0,0907	0,2239
Dron	0,451546667	0,520446667	0,46731	0,730796667

Tabla 34. Datos espectrales por banda del promedio de las firmas espectrales entre ambos sensores para el área del píxel de muestra de Sentinel. Marzo 2021. Elaboración propia.

Anexo V: Reportaje fotográfico salida de campo y muestra del píxel de Sentinel 2. Verificación realidad-terreno. Mayo 2021. Escala 1:1.



Figura 9. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Norte. (1) Ladera de montaña con cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo ocupado por matorrales xerófilos. (2) Zonas de cultivo de almendros. (3) Lecho del cauce del Arroyo Jaboneros con presencia de vegetación natural a su paso. Elaboración propia.

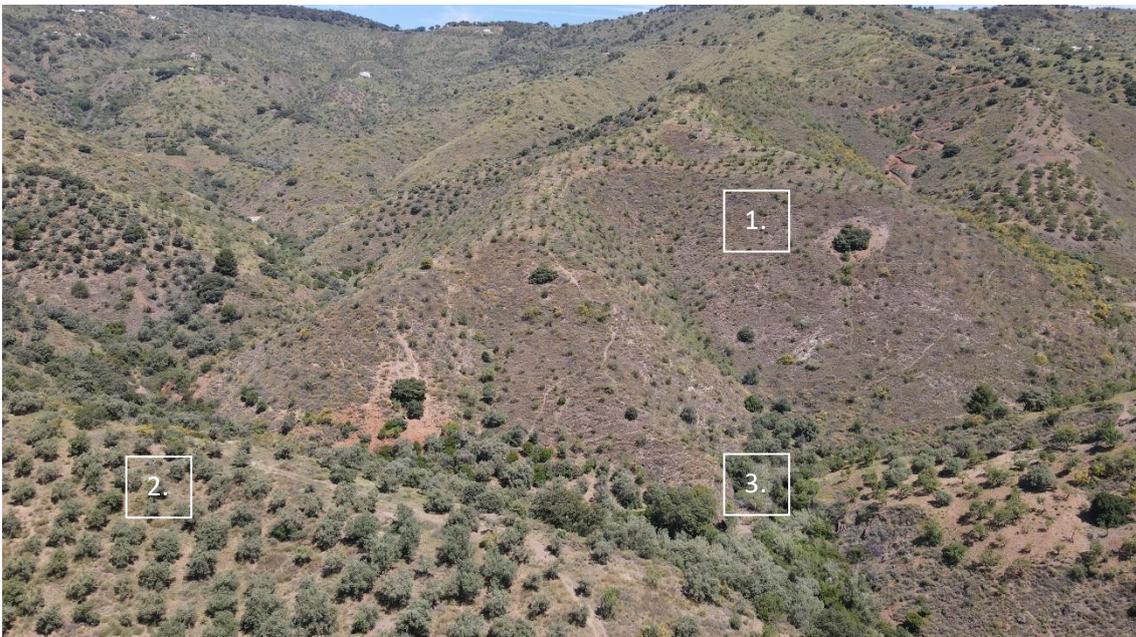


Figura 10. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Suroeste. (1) Ladera de montaña con cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo ocupado por matorrales xerófilos. (2) Zonas de cultivo de olivar. (3) Lecho del cauce del Arroyo Jaboneros con presencia de vegetación natural a su paso. Elaboración propia.



Figura 11. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Este. (1) Laderas expuestas en solana con cubiertas vegetales débiles y suelo desnudo ocupado por matorrales xerófilos. (2) Laderas expuestas en umbría orientadas al norte con cultivos de olivar. Elaboración propia.



Figura 12. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Sureste. (1) Laderas expuestas en umbría orientadas al norte con cultivos de olivar.



Figura 13. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Sur. (1) Laderas de menor pendiente expuestas en umbría orientadas al norte con cultivos de olivar. (2) Lecho del cauce del Arroyo Jaboneros con presencia de vegetación natural a su paso. Elaboración propia.

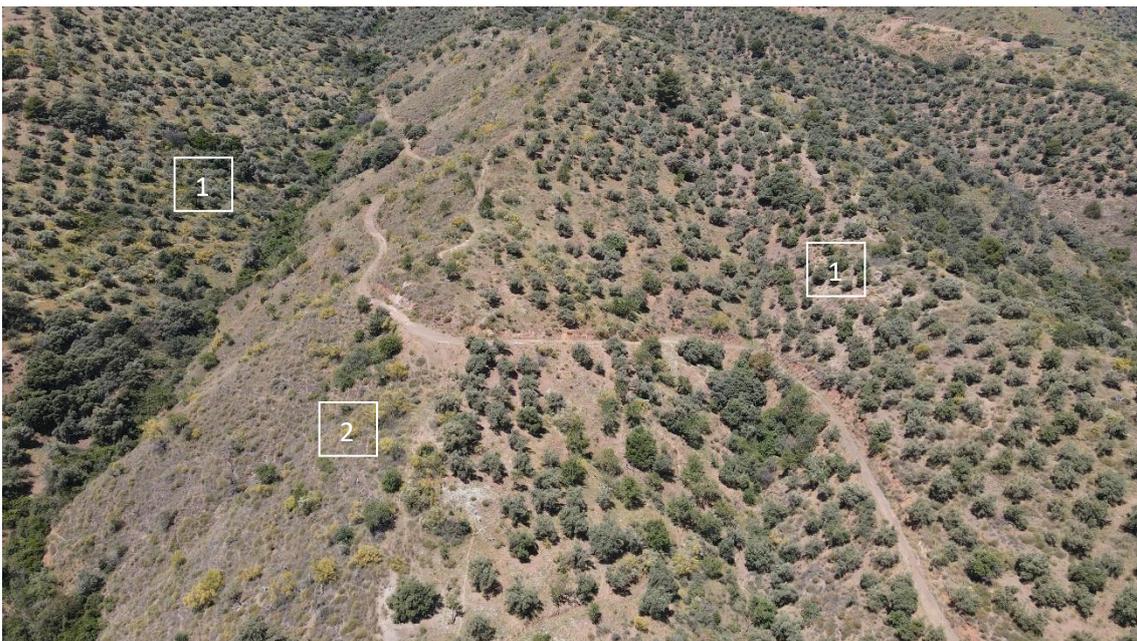


Figura 14. Imagen obtenida mediante dron del área de estudio. 17 mayo 2021. Orientación Este. (1) Laderas expuestas en umbría orientadas al norte con cultivos de olivar. (2) Ladera con cubiertas vegetales débiles por matorrales xerófilos. Elaboración propia.

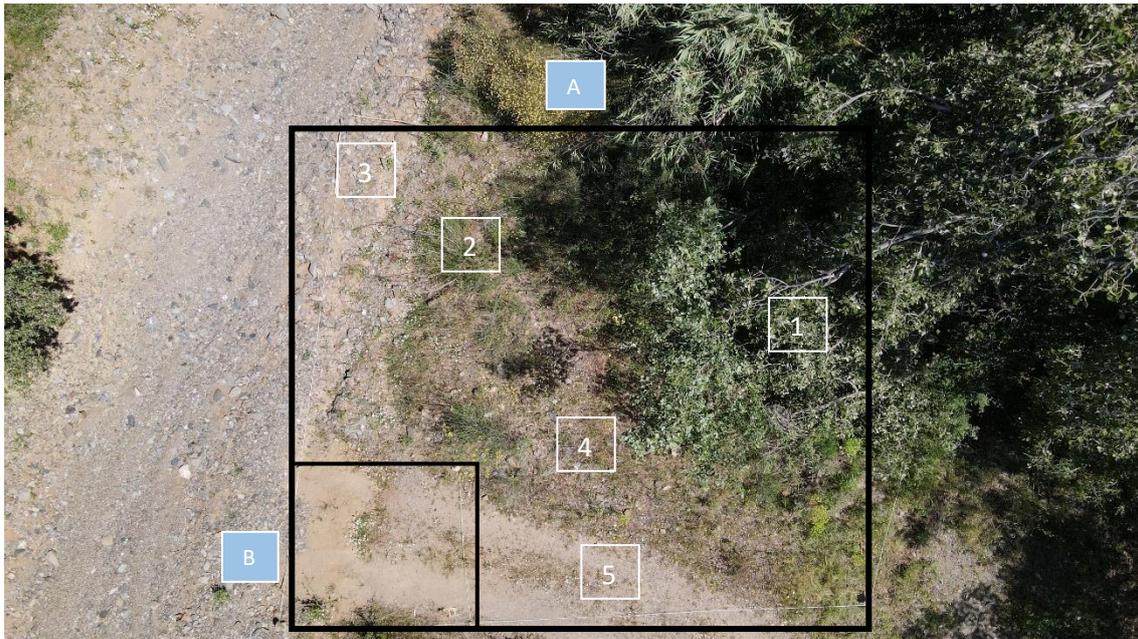


Figura 15. Imagen obtenida mediante dron del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. (A) Área de la muestra del píxel de Sentinel 2. 100 metros cuadrados. (B) Área equivalente a la resolución de Deimos 2. 9 metros cuadrados. (1) copa de un árbol. (2) cubiertas vegetales arbustivas, matorrales. (3) Lecho del cauce del Arroyo Jaboneros. (4) Cubiertas vegetales débiles. (5) Camino. Elaboración propia.



Figura 16. Imagen obtenida mediante dron del entorno del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. Área de la muestra del píxel (cuadrado amarillo). (1) Cultivos de olivar. (2) Lecho del cauce con vegetación natural. (3) Cubiertas vegetales débiles. Elaboración propia.



Figura 17. *Imagen del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. Elaboración propia.*



Figura 18. *Imagen del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. Elaboración propia.*



Figura 19. *Imagen del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. Elaboración propia.*



Figura 20. *Imagen del área de la muestra del píxel. 17 mayo 2021. Elaboración propia.*