

TESIS DOCTORAL

**DESARROLLO DE MÉTODOS GEO-ESPACIALES DE
EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS
DE CARÁCTER MEDIOAMBIENTAL DE LA POLÍTICA
AGRARIA COMÚN (PAC) EN RELACIÓN AL
CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO.
APLICACIÓN EN EXPLOTACIONES DE OLIVAR DE
MONTAÑA DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA**

Facultad de Filosofía y Letras
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

Programa de Doctorado Interuniversitario en Ciudad, Territorio y Planificación Sostenible



FRANCISCO JAVIER LIMA CUETO

DR. RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA
DRA. MARÍA LUISA GÓMEZ MORENO

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA 2021



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Facultad de Filosofía y Letras

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

*Programa de Doctorado Interuniversitario en Ciudad, Territorio y Planificación
Sostenible*

TESIS DOCTORAL

**DESARROLLO DE MÉTODOS GEO-ESPACIALES DE EVALUACIÓN Y
SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CARÁCTER MEDIOAMBIENTAL
DE LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) EN RELACIÓN AL
CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO. APLICACIÓN EN
EXPLOTACIONES DE OLIVAR DE MONTAÑA DE LA PROVINCIA DE
MÁLAGA**

DEVELOPMENT OF GEO-SPATIAL METHODS FOR THE EVALUATION AND
MONITORING OF ENVIRONMENTAL MEASURES OF THE COMMON
AGRICULTURAL POLICY (CAP) IN RELATION TO THE CONTROL OF SOIL
WATER EROSION. APPLICATION IN MOUNTAIN OLIVE GROVE FARMS
IN THE PROVINCE OF MALAGA.

Presentada por **D. Francisco Javier Lima Cueto** para la obtención del título de Doctor
en Geografía

Directores:

Dr. Rafael Blanco Sepúlveda

Dra. María Luisa Gómez Moreno

Tutor:

Dr. Rafael Blanco Sepúlveda

Málaga, octubre de 2021





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Francisco Javier Lima Cueto

 <https://orcid.org/0000-0002-7591-1103>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

DESARROLLO DE MÉTODOS GEO-ESPACIALES DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CARÁCTER MEDIOAMBIENTAL DE LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) EN RELACIÓN AL CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO. APLICACIÓN EN EXPLOTACIONES DE OLIVAR DE MONTAÑA DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Aspirante al grado de doctor

LIMA CUETO

FRANCISCO JAVIER

Firmado digitalmente por
LIMA CUETO FRANCISCO
JAVIER - Fecha:
2021.11.19
20:58:07 +01'00'

D. Francisco Javier Lima Cueto

Directores

Tutor

Firmado por BLANCO
SEPULVEDA RAFAEL - el
día 20/11/2021 con un
certificado emitido por AC
FNMT Usuarios

**Dr. Rafael Blanco
Sepúlveda**

GOMEZ
MORENO
MARIA
LUISA -

Firmado
digitalmente por
GOMEZ MORENO
MARIA LUISA -
Fecha: 2021.11.20
08:28:25 +01'00'

**Dr. María Luisa Gómez
Moreno**

Firmado por BLANCO
SEPULVEDA RAFAEL - el día
20/11/2021 con un certificado
emitido por AC FNMT Usuarios

**Dr. Rafael Blanco
Sepúlveda**

Málaga, octubre de 2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D./Dña FRANCISCO JAVIER LIMA CUETO

Estudiante del programa de doctorado CIUDAD, TERRITORIO Y PLANIFICACIÓN SOSTENIBLE de la Universidad de Málaga, autor/a de la tesis, presentada para la obtención del título de doctor por la Universidad de Málaga, titulada: DESARROLLO DE MÉTODOS GEO-ESPACIALES DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CARÁCTER MEDIOMBIENTAL DE LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) EN RELACIÓN AL CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO. APLICACIÓN EN EXPLOTACIONES DE OLIVAR DE MONTAÑA DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA.

Realizada bajo la tutorización de RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA y dirección de RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA Y MARÍA LUISA GÓMEZ MORENO (si tuviera varios directores deberá hacer constar el nombre de todos)

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo.

Igualmente asumo, ante a la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 18 de OCTUBRE de 2021

<p>LIMA CUETO FRANCISCO JAVIER</p> <p>Firmado digitalmente por LIMA CUETO FRANCISCO JAVIER - Fecha: 2021.11.19 20:58:24 +01'00'</p> <p>Fdo.: FRANCISCO JAVIER LIMA CUETO Doctorando/a</p>	<p>Firmado por BLANCO SEPULVEDA RAFAEL -el día 20/11/2021 con un certificado emitido por AC FNMT Usuarios</p> <p>Fdo.: RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA Tutor/a</p>
<p>Firmado por BLANCO SEPULVEDA RAFAEL - el día 20/11/2021 con un certificado emitido por AC FNMT Usuarios</p>	





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Escuela de Doctorado

Fdo.: RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA/ MARÍA LUISA GÓMEZ MORENO MARIA LUISA
Director/es de tesis

GOMEZ
MORENO

Firmado digitalmente
por GOMEZ MORENO
MARIA LUISA -

Fecha: 2021.11.20
18:47:18 +01'00'

UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



EFQM AENOR



Edificio Pabellón de Gobierno. Campus El Ejido.
29071
Tel.: 952 13 10 28 / 952 13 14 61 / 952 13 71 10
E-mail: doctorado@uma.es



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

**DESARROLLO DE MÉTODOS GEO-ESPACIALES DE EVALUACIÓN Y
SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CARÁCTER MEDIOAMBIENTAL
DE LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) EN RELACIÓN AL
CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO. APLICACIÓN EN
EXPLOTACIONES DE OLIVAR DE MONTAÑA DE LA PROVINCIA DE
MÁLAGA**

D. Francisco Javier Lima Cueto

Málaga, octubre de 2021



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

*Con especial cariño a mi abuelo,
Paco “el de polo”,
por trasmitirme su pasión por el campo y la agricultura.*



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Reconocimientos:

El presente trabajo de investigación ha sido realizado gracias al I Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Málaga (UMA) quién desde 2017 hasta 2021 ha financiado al doctorando con un contrato predoctoral. Siendo el espacio habitual de trabajo el grupo de investigación “Análisis Geográfico Regional” (HUM 776) del Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UMA, emplazado en el campus universitario de Teatinos (Málaga).

Así mismo, al desarrollo y consecución de sus objetivos, han contribuido el acceso a diferentes ayudas para la movilidad (nacional e internacional) del I Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación Científica de la UMA. Éstas, a su vez, han permitido al doctorado contactar y trabajar con otros grupos de investigación como tec4AGRO (technologies for sustainable agriculture) del Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC) y el Institute of Phytomedicine. Department of weed science (360b) de la Universidad de Hohenheim, Alemania, equipos que han colaborado directamente en el desarrollo de la última parte de la tesis.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Agradecimientos:

Ciertamente resulta cuanto menos complejo resumir en pocas líneas lo agradecido que estoy a todas aquellas personas que, de un modo u otro, se han visto involucradas en esta ilusionante aventura. Este trabajo es el resultado de varios años de investigación en los que han colaborado desde reconocidos académicos, hasta “catedráticos del olivar y del campo” no tan reconocidos, cuyos títulos no les han sido otorgados por institución alguna, sino por la vida, el tiempo y la experiencia. Sabrán ustedes de quien hablo, de los AGRICULTORES. En mi trabajo de campo los he encontrado de muchos tipos; a título principal, autónomos, por cuenta ajena, por cuenta propia, de fin de semana, jubilados, mujeres e hijos de agricultores. Todos, unos más y otros menos, sienten que el campo es obligación y devoción, penurias y goce, odio y amor. Son gente sencilla, honesta y trabajadora, que a lo largo de su vida no han hecho otra cosa que mantener el campo vivo y cuidar el medio rural (ni más ni menos), estando en la mayoría de los casos mal pagados y poco reconocidos. Sirvan estas palabras para reflejar mi merecido respeto y consideración hacia ellos.

En primer lugar, indiscutiblemente dar las gracias a mis directores de tesis, la Dra. Gómez Moreno y el Dr. Blanco Sepúlveda. Desde un primer momento habéis guiado mis pasos mostrándome el fascinante mundo de la investigación. A pesar de que los inicios no fueron fáciles, sabíais que me entusiasmaba lo que hacía y me apoyasteis sabiendo capotear la situación para enseñarme a extraer lo mejor de mí en cada momento. Luisa, poco tengo que decir de ti. Sabes que desde siempre te he tenido gran admiración, y tu forma de concebir la montaña ha inculcado en mí la verdadera esencia de la geografía. De carácter fuerte y directo (que impresiona al principio), siempre, y reitero siempre, te has mostrado amable y dispuesta todas las horas del día, y todos los días del año. Es y será un honor para mí, decir que soy tu discípulo. Rafael, trabajador y perfeccionista, tu rigor científico ha marcado mi trayectoria predoctoral, a veces hasta el desvanecimiento. Hoy agradezco que haya sido así, ello me ha permitido mejorar mi espíritu crítico trabajo tras trabajo, y adaptarme a las exigencias del mundo académico. Nunca os estaré lo suficientemente agradecido a ambos por apostar por mí.

También doy las gracias a mis compañeros del grupo de investigación Análisis Geográfico Regional, y en general a todo el Departamento de Geografía de la UMA por el acogimiento que me brindaron desde el primer momento. Especialmente al Dr. Federico Benjamín Galacho por despertar en mí, desde que era alumno, el interés por el análisis remoto de la superficie terrestre.

No sería justo dejar fuera de los agradecimientos a todos los miembros del grupo tec4AGRO del Instituto de Ciencias Agrarias del CSIC, Madrid. Especialmente a los Dres. D. José Manuel Peña y D. José Dorado, quienes me acogieron en su grupo como uno más desde el primer minuto. Mi estancia allí me brindó la oportunidad de aprender nuevas formas de trabajo, y permitió traerme de vuelta a Málaga una maleta repleta de amigos que, desde entonces, no han hecho más que enriquecer mi carrera personal y profesional. Gracias de corazón.

A todos aquellos mayores que han aportado su sabiduría a este proyecto y que algunos, por desgracia, no lo han visto culminar; Juan “el de lija” y Pedro “el de filomena”.

A mis abuel@s, agricultores y ganaderos “de toda la vida” que duramente trabajaron la tierra para llevar el pan a sus casas. Seguro que desde allá arriba siguen pendiente de las andanzas de su nieto.

A Alba Rueda, por ser mi compañera de vida desde que éramos adolescentes. Media vida juntos y siempre tan atenta, y dispuesta a apoyarme en aquellos momentos más difíciles de esta andadura. Gracias.

A mi hermano, fiel compañero de andanzas en algunas de las largas jornadas de campo. Gracias por estar siempre tan atento y pendiente de mí.

A mi sobrino, que vino cuando más lo necesitábamos, llenando de vida y energía a la familia. Seguramente, dentro de unos años estará leyendo todo esto.

Por último, y por ello no menos importante, a mis padres, Miguel e Isabel. Base fundamental de todo. Gracias por darme la vida y criarme en el mejor entorno posible, haciendo de mí la persona que soy hoy. Gracias por enseñarme el valor de las cosas y que, aunque cueste, la constancia es la mejor virtud para conseguir todo lo que uno se propone. Sois un ejemplo para mí.

Francisco Javier Lima Cueto

*“Ay olivar, mi olivar ay olivar, mi olivar, olvidado y mal vendido; donde yo le oí cantar,
y donde siempre he venido tras mis largos recorridos, por cielo, por tierra y mar”*

M^a Jesús Barquero Casas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<u>Páginas</u>
RESUMEN	1
SUMARY	3
LISTA DE ACRÓNIMOS	17

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN

Capítulo 1: Estado de la cuestión	22
1.1 Implicaciones ambientales de la erosión sobre el olivar, y el efecto de la transición socio-ecológica en el agrosistema.	22
1.2 Respuestas europeas y nacionales de la Política Agrícola Común (PAC) frente al problema erosivo.	27
1.3 La teledetección como herramienta para un desarrollo agrícola sostenible.	31
Capítulo 2: Finalidad y objetivos de la Tesis Doctoral	35
Capítulo 3: Presentación de la investigación y unidad temática del compendio.	38
BIBLIOGRAFÍA BLOQUE I	41

BLOQUE II: MEMORIA DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 4: Área de estudio y metodología.	59
4.1 Descripción el área de estudio	59
4.1.1. <i>Escala supramunicipal (Nivel A): El entorno de la Sierra de las Nieves: tradición histórica olivarera e inserción en la red de espacios naturales protegidos.</i>	59

4.1.2. Experimentación y observación (Nivel B): explotaciones con olivar del entorno de la Sierra de las Nieves.	63
4.2 Métodos	67
4.2.1 Método de evaluación de la erosión hídrica como herramienta para establecer las BCAM adaptadas al cultivo del olivar en área de montaña del sur de España (F1/OP1).	67
4.2.2 Método de estudio, partiendo de la capacidad agrológica, de la relación entre la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores, y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad (F2/OP2).	69
4.2.3 Método de cuantificación remota de la cubierta vegetal de suelo en olivar (F3/OP3, OM1 y OM2).	71
4.2.4 Método de evaluación remota de las características de la labranza en olivar (F3/OP4, OM1 y OM3).	74
Capítulo 5: Resultados y discusión.	77
5.1 Análisis de la erosión hídrica basado en indicadores visuales para el establecimiento de las BCAM adaptadas al cultivo del olivar (F1/OP1).	77
5.2 Relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la capacidad agrológica de las tierras y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos, como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad. (F2/OP2).	78
5.3 Cuantificación remota de la cubierta vegetal de suelo en olivar (OP3, OM1 y OM2).	81
5.4 Evaluación remota de las características críticas de la labranza en olivar (OP4, OM1 y OM3).	83
Capítulo 6. Conclusiones finales y líneas futuras de investigación	86
Chapter 7. Final conclusions and future lines of research	90
BIBLIOGRAFÍA BLOQUE II	93

BLOQUE III: PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 8. Contexto y publicaciones.	101
Capítulo 9. Artículos científicos publicados que conforman el compendio de investigación.	106
9.1 SOIL EROSION AND ENVIRONMENTAL REGULATIONS IN THE EUROPEAN AGRARIAN POLICY FOR OLIVE GROVES (<i>OLEA EUROPEA L.</i>) OF SOUTHERN SPAIN.	107
9.2 EL OLIVAR DE MONTAÑA Y LA CONSERVACIÓN DEL SUELO EN LA TRANSICIÓN DE LA ECONOMÍA ORGÁNICA A LA INDUSTRIAL: EL CASO DE SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA), 1940-1975.	125
9.3 EVOLUCIÓN DEL AJUSTE ENTRE PATRÓN DE LOCALIZACIÓN DEL OLIVAR Y CAPACIDAD AGROLÓGICA EN LA MONTAÑA MEDITERRÁNEA ANDALUZA (1956-2007). EL CASO DE SIERRA DE LAS NIEVES: RESPUESTAS LOCALES A FACTORES GLOBALES.	153
9.4 USING VEGETATION INDICES AND A UAV IMAGING PLATFORM TO QUANTIFY THE DENSITY OF VEGETATION GROUND COVER IN OLIVE GROVES (<i>OLEA EUROPAEA L.</i>) IN SOUTHERN SPAIN.	184
9.5 MAPPING TILLAGE DIRECTION AND CONTOUR FARMING BY OBJECT-BASED ANALYSIS OF UAV IMAGES	209

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Páginas

Índice de figuras:

Figura 1.	Localización del área de estudio y de los municipios que la componen	60
Figura 2.	Régimen de protección del área de estudio y zonas adyacentes	60
Figura 3.	Indicadores erosivos en el paisaje agrícola: (a) indicios de pérdida de suelo, (b) erosión laminar (c) erosión en cárcava, y (d) ejemplo de laboreo irracional, a favor de la línea de máxima pendiente que favorecen la escorrentía superficial.	62
Figura 4.	Explotaciones privadas de olivar comercial tradicional; (a) relieve alomado de una de las fincas de olivar (b) vista aérea del marco de plantación geométrico.	64

Figura 5.	Métodos de manejo de suelo y desherbado:(a) desbroce mecánico manual, (b) desbrozadora mecánica para tractor, (c) desbroce con ganado “a diente”, y (d) laboreo superficial de < 15 cm de profundidad	65
Figura 6.	Aperado de labranza: (a) cultivador de 9 brazos flexibles semi-suspendido, (b) detalle reja cultivador, (c) vista lateral del conjunto y (d) vista trasera del conjunto.	66
Figura 7.	Aperado para asentar el terreno tras el pase del arado: (a) rulo apisonado de 2 m de ancho, (b) rastra de púas y neumáticos	66
Figura 8.	Escala supramunicipal (Nivel A): (a) Fase 1. Objetivo particular 1 (OP1) valorar la posibilidad de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (<i>Olea europaea</i>) en áreas de montaña del sur de España, (b) Fase 2. Objetivo particular 2 (OP2) relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la capacidad agrológica de las tierras y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos, como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad.	68
Figura 9.	Escala de experimentación y observación. Explotaciones agrícolas (Nivel B): (c) Fase 3. Objetivo particular 3 (OP3) analizar la capacidad de los índices de vegetación junto con la tecnología UAV para cuantificar la densidad de cubierta vegetal existente en el suelo del olivar. Y Objetivo particular 4 (OP4) evaluar las características de la labranza mediante teledetección en parcelas cultivadas con muy alta precisión y bajo costo de computación.	72

Índice de tablas:

Tabla 1.	Criterios de selección de explotaciones OP1 *	69
Tabla 2.	Criterios de selección de explotaciones OP3 *	73
Tabla 3.	Criterios de selección de explotaciones OP4 *	74

ANEXO GENERAL

	<u>Páginas</u>
A) Normas de Condicionalidad con arreglo al art. 93	238
B) Cuadro de relación labores-medidas para el cumplimiento de la Condicionalidad.	240
C) Criterios de agrupación mapas de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía a escala 1:25.000 del año 1956. Nivel de detalle.	244



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

RESUMEN

Desde los acebuches naturales hasta las plantaciones de olivar actual ha mediado un largo proceso de interacción hombre-medio no exento de efectos ambientales negativos, entre los que destaca la erosión hídrica del suelo. Este tipo de degradación del suelo se ha configurado como un problema constante directamente relacionado con el manejo inadecuado del suelo agrícola, y más acusado en ámbitos mediterráneos donde las pendientes suelen ser pronunciadas, y las precipitaciones escasas y de carácter torrencial. Así, en la actualidad, la sostenibilidad de muchas de las explotaciones de olivar, sobre todo las de montaña, se encuentra cada vez más comprometida.

La Política Agraria Comunitaria (PAC en adelante) en 2003 se hizo eco de esta situación asumiendo la necesidad de alcanzar el desarrollo sostenible de la agricultura con el fin de hacer compatible la rentabilidad económica con la conservación medioambiental. En base a ello, instauró el sistema de Condicionalidad donde incorporó normas básicas en materia de medio ambiente, buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra (BCAM), salud pública, fitosanidad y bienestar animal (Reglamento UE n.º 1306/2013). En él, estableció una serie de medidas generales relacionadas con la conservación del suelo, prevención de la erosión, mantenimiento de la riqueza orgánica del mismo y protección de su estructura para evitar la compactación, que debían ser adaptadas por cada uno de los estados miembros al medio en el que iban a ser aplicadas, e ir acompañadas por instrumentos de control y seguimiento que velaran por su cumplimiento. A día de hoy, estos mecanismos de adaptación, control y seguimiento no se muestran efectivos, encerrando importantes deficiencias metodológicas.

Derivado de lo anterior, la presente tesis doctoral se centra en contribuir a la generación de conocimiento aplicable al diseño y uso de herramientas basadas en la teledetección y en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con las que los estados miembros puedan efectuar de manera ágil y precisa una adaptación, control y seguimiento de las normas de condicionalidad impuesta por la PAC relacionadas con la protección del suelo.

Para este fin se ha seleccionado como área piloto el piedemonte de la Sierra de las Nieves, situado en el centro-oeste de la provincia de Málaga (España). De gran riqueza olivarera, avalada con la Denominación de Origen Protegida (DOP Manzanilla Aloreña), se compone por los municipios de Álora, Alozaina, Casarabonela, Monda, Guaro y Tolox, que conforman un referente territorial en lo que respecta a olivar tradicional de montaña media mediterránea, donde, en demasiadas ocasiones, su paisaje ofrece claros ejemplos de la precaria situación ambiental en la que se encuentran la mayoría de estos ecosistemas agrícolas.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación ponen de manifiesto: a) la posibilidad de usar un método de análisis de la erosión hídrica basado en indicadores visuales como herramienta para identificar factores de erodabilidad en cultivos de olivar y adaptar las BCAM a las condiciones de cada región. Su aplicación en explotaciones de olivar de montaña media mediterránea mostró que el sistema de cultivo ecológico es el que se encuentra menos afectado por erosión hídrica, debido a la ausencia de laboreo y a

la presencia de cubierta vegetal sobre el suelo; b) la continuidad de las prácticas correspondientes a la economía orgánica hasta principios de los años sesenta y la baja adaptación que las medidas de control de la erosión aplicadas en la etapa preindustrial tienen a las condiciones actuales; c) la existencia de dos patrones de ajuste del olivar a la capacidad agrológica (CA) de la tierra desde 1956 a 2007. Uno entre 1956 y 1977 donde la ampliación del olivar es limitada (13,97 ha/año) y acorde con la CA, extendiéndose en tierras antes ocupadas por cultivos herbáceos. Otro entre 1977 y 2007, en el que la expansión del olivar es intensa (47,25 ha/año) y afecta a tierras de menor aptitud. También han mostrado la adaptación del campesinado a distintos contextos, pasando de anteponer el estatus a la rentabilidad, a primar la rentabilidad derivada de la subvención, no siendo la CA un factor determinante; d) el potencial de la teledetección como herramienta para la mejora de la gestión agrícola permitiendo analizar con gran precisión factores críticos de la erosión como: i) la cubierta vegetal del suelo, mediante índices de vegetación, de los cuales el más sensible fue el IRVI, que explicó el 82% ($p < 0,001$) de la variabilidad de la densidad de cubierta vegetal, y ii) laboreo, mediante el innovador procedimiento *OBIA4tillage* que produjo mapas de labranza con muy alta precisión tanto para las imágenes RGB como para las multiespectrales (R^2 de 0,99 y 0,93, respectivamente). Finalmente, e) la capacidad de la metodología propuesta para establecer las BCAM adaptadas a cada región y consolidar un sistema remoto de control y seguimiento sobre aquellas directrices relacionadas con la protección del suelo.

Palabras Clave: Teledetección; sistemas de información geográfica (SIG); olivar de montaña media; análisis de imágenes basado en objetos (OBIA); imágenes multiespectrales; índices de vegetación; vehículos aéreos no tripulados (UAV); sostenibilidad agraria; capacidad agrológica (CA); erosión hídrica; cobertura vegetal del suelo; laboreo/no laboreo; economía orgánica; evolución de cultivos; políticas agrarias; condicionalidad (PAC); agricultura de precisión.

SUMMARY

From the natural wild olive trees to the current olive grove plantations, there has been a long process of human-environment interaction which has not been free of negative environmental effects. From the mid-20th century onwards (Gómez, 2009), the socio-ecological transition of cultivation took place, understood as a process whereby resources of inorganic origin gradually replaced traditional organic products. In short, the shift from an eminently multifunctional crop (organic economy) to one focused on the intensive production of high-quality foodstuffs for human consumption, an increasing part of which is exported to other countries (industrial economy). This transition had a direct impact on the farming system (Berbel and Giannocaro 2013). The use of excessive tillage, at first, and then of agrochemicals, replaced the forage and cover crops that protected the olive grove soil, the adjustment of plantations to the characteristics of the land gave way to the uncontrolled densification of planting frames, and the wealth of pre-existing olive grove varieties was reduced (varietal simplification) to those that were more productive and market-oriented (García, 2006). This process of change towards artificial and forced agriculture caused significant negative externalities (Beaufoy, 2002). Mountain agricultural ecosystems became increasingly fragile in the face of erosion processes that resulted in physical degradation of the soil due to over-tillage and biological degradation due to a reduction in organic matter content (De la Rosa et al., 2005).

Of all the degradation processes affecting soil, water erosion is the most important worldwide (Eswaran, 2001). Land use and vegetation cover are considered to be the most influential and determining factors (García-Ruiz et al., 2015; Labrière et al., 2015). Net soil loss volumes are intensely aggravated when the soil is disaggregated and does not have any type of cover capable of buffering the energy of the water drop impact. This commonly occurs in olive orchards, where the area between rows is kept bare of plants by tillage to avoid competition for water and nutrients with the crop (Gómez et al., 2018). Chen et al. (2021) pointed out the crucial role of living plant cover in arid and semi-arid systems, and Blanco et al. (2021b) showed the key role of dead plant cover in erosion rates. Tillage has been the most widespread method of maintaining olive orchards without vegetation cover, and has emerged as one of the most important strategies for the growth of agricultural production on a global scale (Kienzle, 2013; FAO, 2017). Today, mechanised tillage is still the most common soil management practice in Mediterranean croplands (Gómez et al., 2014; Gómez, 2017; Gómez et al., 2018; Xiloyannis et al., 2008). However, its intensive and irrational use can worsen soil structure and thus its hydrological response, generating higher runoff and erosion rates, particularly in the wet period when runoff and erosion risks are higher (Sastre et al., 2018).

The Community Agricultural Policy (CAP) in 2003 took this situation into account by assuming the need to achieve the sustainable development of agriculture in order to make economic profitability compatible with environmental conservation. On this basis, it established the cross-compliance system where it incorporated basic standards on the environment, good agricultural and environmental condition of the land (GAEC), public health, plant health and animal welfare (EU Regulation N°. 1306/2013). It established a series of general measures related to soil conservation, prevention of erosion,

maintenance of soil organic richness and protection of soil structure to avoid soil compaction. These measures were to be adapted by each member state to the environment in which they were to be applied, and were to be accompanied by control and monitoring instruments to ensure compliance. To date, these adaptation, control and monitoring mechanisms are not effective, and contain important methodological deficiencies.

Derived from the above, this doctoral thesis focuses on contributing to the generation of knowledge applicable to the design and use of tools based on remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) with which the member states can carry out in an agile and precise way an adaptation, control and monitoring of the cross-compliance rules imposed by the CAP related to soil protection.

To this end, the following particular objectives (PO) are set:

- PO1: to assess the possibility of establishing GAEC adapted to olive (*Olea europaea*) crops in mountain areas of southern Spain.
- PO2: to relate the evolution of the location pattern of olive groves in Mediterranean mountain areas in the medium term (1956-2007) to the agrological capacity of the land and the response of farming societies to changes in socio-economic factors, such as agricultural policies, demographic conditions and the value system, and to analyse the terms in which this response adjusts to this capacity.
- PO3: to analyse the capacity of vegetation indices together with UAV technology to quantify the density of existing vegetation cover on the olive grove ground.
- PO4: evaluate, with precision and low computational cost, the characteristics of tillage by remote sensing in cultivated plots.

The choice and delimitation of the study area where to develop the stated objectives is based on the complementary combination of two scales of analysis: region (Sierra de las Nieves) and farm (farm). The former is located in the centre-west of the province of Malaga (Spain). With an area of 491.62 km², it is made up of the municipalities of Álora, Alozaina, Casarabonela, Monda, Guaro and Tolox. All of them belong to the district of the Ministry of Agriculture South-Central Guadalhorce and are located in the foothills that connect the Sierra de las Nieves with the Guadalhorce Valley. With the exception of Álora, included because it concentrates an important olive grove with similar characteristics to the other municipalities, they are part of the LEADER S^a de las Nieves region (Rural Development Group S^a de las Nieves, 2016), of the Biosphere Reserve of S^a de las Nieves (declared in 1995) and of the Intercontinental Reserve of the Mediterranean (declared in 2006). Some, such as Monda and Tolox, also place a large part of their territory under the figure of the S^a de las Nieves National Park, declared in July 2021 (Law 9/2021 of 1 July), and previously (1989) recognised as a natural park. The second scale unit of analysis (farm) is made up of 92 private farms of traditional commercial olive groves (olive groves which, unlike the research plots, are in continuous use and management by the owners, which, on occasions, makes research tasks difficult), significant of the unsustainable situation in which the olive groves of the Mediterranean mid-mountains currently find themselves. Depending on the objectives and stages of the research process, one or other scale was used.

Each of the research procedure phases has a specific analysis methodology depending on the objective to be covered. For PO1, a water erosion assessment method was applied as a tool for establishing GAEC adapted to olive growing in mountain areas of southern Spain. Experimental and indirect methods of erosion analysis were discarded and a low-cost, simple and quick to apply direct methodology was chosen, which would allow sampling in a large number of cases and provide more data to increase reliability and representativeness. The method described in Blanco (2018) and applied in Blanco and Aguilar (2015, 2016), Blanco et al. (2018) and Blanco et al. (2021a and 2021b) was used, which is an improvement on indirect methods by incorporating sampling procedures that allow quantitative analysis of the erosive state of the soil, using visual indicators. The method allows the quantification of erosion in the plot with a double analysis: (1) analysis of the erosive state of the soil (percentage of surface affected by erosion) and (2) quantitative analysis of soil losses (volume of soil lost in $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

PO2 was approached with a methodology that combines oral information with cartographic information corresponding to the "Maps of land use and land cover of Andalusia at a scale of 1:25,000 for the years 1956, 1977 and 2007. Detailed level of the Andalusian Environmental Information Network (REDIAM)", considering that these sources complement each other in order to meet the objectives. Thus, based on the existing bibliography and the preliminary analysis of the study area, in accordance with Naredo (1983), we opted for the "semi-structured interview" (Aguirre, 1995), in which the researcher uses open questions, which gives the opportunity to receive more nuances in the response, and allows the different topics of interest to be interwoven. Statistics on farm structure from the agricultural censuses of 1962 (CA, 1962), 1972 (CA, 1972) were also used to verify and complete the information provided in this respect by informants and those of 1989 (CA, 1989), 1999 (CA, 1999) and 2009 (CA, 2009), to analyse the relationship between changes in the olive grove and agricultural structures. And information on the tensions surrounding olive growing in the period of the Spanish democratic transition has been sought in the local press in nearby areas. Finally, knowledge of the agrological capacity (AC) of the study area was essential to assess its agricultural suitability and to better understand erosion processes. This was determined using the method of De la Rosa and Moreira (1987). This is a categorical method, adapted from the evaluation systems developed by the USDA (1961) and FAO (1976), which classifies soils into classes and subclasses according to their potential.

After deciding through literature review that vegetation indices were the most appropriate tool for remote analysis of land cover, 57 commercial olive orchards were selected for PO3. These were flown with a Parrot Bluegrass quadcopter drone (Parrot S. A, Paris, France) and image mosaics were generated in Pix4Dmapper Pro software, version 4.2.25 (Pix4D S. A, Prilly, Switzerland) from the information obtained by a Parrot Sequoia multispectral sensor (Parrot S. A, Paris, France). Once the images were obtained, vegetation indices were applied based on two criteria: one, that they used one of the four bands obtained by the multispectral camera (G, R, RE and NIR) and two, that they had demonstrated a variable behaviour depending on the density of vegetation cover in the pre-existing scientific literature. The vegetation indices selected were: a) the conventional ones: Inverse Ratio Vegetation Index (IRVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Difference Vegetation Index (DVI), Green Vegetation Index (GVI), Green-Red Vegetation Index (GRVI) and Vogelmann Rededge Index (VREI) and b) those corrected or derived from

traditional indicators, or normalised difference vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Red Edge (NRDE), Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Following application of the indices, ground vegetation cover density was quantified by means of 115 randomly distributed ground-truth sampling plots. Of 1 m² each, they were divided into 12.5 cm² quadrats providing 49 control points (CP) where ground vegetation cover was quantified in the field by means of binary classes "vegetation present" and "vegetation absent". The mean reflectance value of the spectral bands and vegetation indices was calculated for the sampling plots, due to the differences in spatial resolution between the flights performed on the different farms. Finally, the sensitivity of the vegetation indices to quantify the density of vegetation cover was evaluated. The relationship between spectral bands, indices and ground-truth data was determined by linear regression analysis (Stepwise method) and the sensitivity that the indices showed in the different cover ranges was determined by analysis of variance (ANOVA) and Tukey's honestly-significant-difference (HSD) test. All statistical analyses were performed with IBM SPSS Statistics 25.0.

In contrast to the previous methods, the existing literature did not reflect appropriate techniques and methodologies that had been successfully employed in the study of the characteristics of tillage at the required level. Therefore, the analysis procedure summarised below was developed for PO4. First, ultra-high-resolution images were acquired in 20 commercial olive orchards. Several flights were made with different drones and sensors. Some images were obtained with a Parrot Bluegrass quadcopter and Parrot Sequoia multispectral sensor (Parrot SA, Paris, France). The others were obtained with a DJI Phantom 4 Pro quadcopter and a 1" CMOS camera (DJI Ltd., Shenzhen (China) with a 20 Mpx (5472 x 3648 pixels) resolution RGB sensor. Orthomosaics and geospatial products such as digital terrain models (DTM) and digital surface models (DSM) were generated in Pix4Dmapper Pro software, version 4.2.25 (Pix4D S.A., Prilly, Switzerland). The whole process was automatic, with the exception of the geolocation of a set of ground control points taken on each of the study farms using a Trimble Geo XH-6000 (GPS) global geopositioning station (Trimble GeoSpatial, Munich, Germany). To map the tillage direction, an innovative procedure was created with eCognition Developer 9.5 software (Trimble GeoSpatial, Munich, Germany) using OBIA techniques. The procedure was named *OBIA4tillage* and structured as a set of rules applied in several stages. The algorithm was created and its estimates were evaluated using 40 validation (ground-truth) plots of 10 x 10 m size. The validation plots were different from the training fields, resulting in an independent evaluation procedure. The validation vectors were superimposed on the tillage direction maps, and the estimated tillage was compared with the values of the slope, the intercept and the coefficient of determination (R^2) of the linear equation between the two variables. The root mean square error (RMSE) was calculated as an additional measure of the overall error of the estimates. The *OBIA4tillage* algorithm was also evaluated according to the type of camera used, as well as the soil tone (light vs. dark) and the density of ground vegetation (bare, sparse, medium and dense) observed in each validation plot. Finally, the tillage direction map was combined with the slope direction map to automatically generate a contour tillage map. The slope direction layer was calculated from the DTM obtained from the UAV imagery using

ArcGis 10.7 software (ESRI, California, USA). Tillage direction values were measured in degrees clockwise, 0°-180° (north-south) and 90°-270° (east-west) following a full circle. Contour (perpendicular to the slope) and non-contour (along the slope) tillage type was calculated using raster map algebra according to the criteria established by Drzewiecki et al. (2013).

The results showed:

a) The possibility of using a water erosion analysis method based on visual indicators as a tool to identify erodibility factors in olive crops and to adapt GAEC to the conditions of each region. The results showed that the organic no-tillage system was the most effective in reducing soil water erosion in the study area. The soils under conventional and organic cultivation with ploughing showed the least affected area by erosion ($7.15\pm 8.68\%$), in contrast to the soils under organic cultivation system without ploughing ($52.64\pm 9.82\%$). Regarding the factors influencing erosion, the Mann-Whitney test of variance between area not affected by erosion and soil management (tillage/no tillage) confirmed that there are significant differences at the 99% confidence interval ($U=1.00$, $p<0.01$). These results, expressed as cropping systems, indicated that soils with conventional and organic cultivation with ploughing had less area not affected by erosion ($7.15\pm 8.68\%$) than soils with organic cultivation system without ploughing ($52.64\pm 9.82\%$).

The percentage of area affected by erosion also showed a significant relationship with the cropping system, analysed through the variables dummy tillage ($R = 0.91$; $p<0.01$), olive grove vegetation cover ($R = -0.46$; $p<0.01$), bare soil area ($R = 0.62$; $p<0.01$) and surface vegetation cover ($R = -0.54$; $p<0.01$). Correlation coefficients increased in all cases when analysing the area not affected by erosion: dummy tillage ($R = -0.92$; $p<0.01$), dummy cover ($R = 0.62$; $p<0.01$), bare soil area ($R = -0.73$; $p<0.01$) and surface vegetation cover ($R = 0.70$; $p<0.01$); and incorporating soil rock cover ($R = -0.40$; $p<0.05$).

The regression analysis with the area affected by erosion as the dependent variable included only the dummy variable tillage as a predictor in the model, with a goodness of fit (corrected R^2) of 0.82; thus, 82% of the variability of erosion is explained by the indicated variable. The regression analysis with the area not affected by erosion as the dependent variable generated two models. The first was simple, also with the dummy variable tillage as a predictor, with a goodness of fit of 0.85. The second model was multiple and included, in addition to the previous variable, bare soil surface, with a goodness-of-fit of 0.90.

The Kruskal-Wallis test of variance between the area not affected by erosion and that of bare soil, grouped in the intervals 0 to 10, 10 to 40 and 40 to 70%, confirmed that there were significant differences (Chi-square = 21.07; $p<0.01$). Soils with more than 40% uncovered area showed the lowest amount of area not affected by erosion (1.67 ± 1.61). They were followed with close values (8.75 ± 9.36) by soils between 10 and 40% bare surface and, finally, the non-eroded surface was 40% (42.81 ± 20.03) in soils with less than 10% bare surface.

b) The continuity of the practices corresponding to the organic economy until the early 1960s and the low adaptation of the erosion control measures applied in the pre-industrial stage to current conditions. Regarding the process of change undergone by olive growing between 1940 and 1975 in the spatial area of the Andalusian Mediterranean mountains, the results corroborated the long and discontinuous transition between the industrial economy and the organic economy in Spanish mountain areas (Gómez, 2009), confirming the continuity, in the autarkic phase (1939-1958), of elements typical of the organic economy, such as the stick plough as a fundamental implement and the diversification of the olive grove's olive residues in a context of subsistence orientation of the family farm. They show that this management did not change until the early 1950s, when the larger owners began to introduce chemical fertilizers and more complex implements, such as gangs and tractors. During these years, green olives also began to be marketed. And they specify that the spread of the management of the industrial economy took place between 1958 and 1975, with the following changes: the change in the socio-economic structure of the country as a whole, which involved i) the change in diet and the drastic fall in wheat prices, ii) the rural exodus, with the consequent reduction in family labour, iii) the spread of technified inputs with the replacement of animal traction by mechanization, and of organic fertilizers by chemical fertilizers. In the study area, i) it is the cooperatives that in the 1960s spread these changes in management; ii) emigration led to the spread of access to land, an evolution common to other areas in the province of Malaga (Ocaña and Gómez, 2008).

c) The existence of two patterns of adjustment of the olive grove to the agrological capacity (AC) of the land from 1956 to 2007. The results showed that, in the baseline situation (1956), corresponding to the aforementioned organic economy phase, 83% of the olive grove was spread mainly on S3 (56.02%) and N (27.18%) land. The pattern of location reflected the processes of fragmentation, a legacy of the formulas applied in the Repartimientos, and the prevailing system of inheritance from father to son. Also, the association of olive groves with herbaceous crops in the area of flysches and schistose hills. This location was in line with the microtopographical agronomic conditions, the flysch being the unit with the greatest agrological capacity in which to locate the olive grove. These results verify the approach of Naredo (1983) in which the adaptation of the traditional planting frameworks to the soil and climatic conditions at the micro-scale is highlighted.

Between 1956 and 1977 the olive grove area only increased by 279.42 ha (13.97 ha per year), of which 116.14 ha on S3 land, 96.32 ha on S2 land and only 54 ha on N land. Most of them were occupied by association and mosaic of rainfed and irrigated arable and woody crops (the presence of irrigated crops in these associations is very low, representing only 0.08% in 1956, 0.02% in 1977 and 0.21% in 2007, and therefore is not significant in the evolution of the same), rainfed arable crops and association and mosaic of woody and arable crops with natural vegetation. In all cases, these are uses that lost interest due to the fall in cereal and fodder prices. At this time, the olive grove descends from the rougher foothills (N) towards the best lands of the flysch (S2 and S3) where the slopes are less steep (between 15-30%), which means an expansion in accordance with the AC of the land.

Between 1977 and 2007, the rate of olive grove expansion intensified (47.25 ha per year), which was located mainly on N land (727.83 ha), although it also affected 458.89 ha of S3 and 162.57 ha of S2. As in the previous phase, the expansion is nourished by the land that comes from the drainage of rainfed arable crops (already very depleted) and from the association and mosaic of arable and woody crops in rainfed and irrigated areas. Once all the excellent, good and moderate flysch lands (S1, S2 and S3) were occupied, the expansion of the olive grove continued towards more marginal areas (N), which took in more than 30% of the expansion experienced in this period, thus resulting in a loss of adaptation of the crop to the AC of the land.

In relation to the response of farming societies to changes in socio-economic factors and their impact on the adjustment between agrological capacity and location pattern, the results show that, with equal policies, it is the socio-economic environments at regional level that condition decision-making. Thus, with regard to the CAP applied in the first phase following Spain's accession to the European Union, in environments with higher unemployment at regional level, such as Extremadura or Andalusia, farmers opt for olive groves in medium mountain areas, linked to the use of family labour even with reduced remuneration due to the profitability margin. In Catalonia, on the other hand, olive growing ceased to be an attractive option during the development period and was replaced by other less labour-intensive options. On the other hand, and as indicated above, this option entailed a loss of adaptation of the crop to the AC of the land.

Finally, the results showed that the cultivation procedures applied in the organic phase are not suitable as current management proposals for mountain olive groves adapted to the cross-compliance system because of: the complex involvement of livestock in weeding, the very negative valuation by most of the farmers of the vine cover that grows spontaneously on the olive grove soil and because only in the context of an abundant labour force poorly paid in daily wages and/or linked to the subsistence family farm, can the agricultural practices they applied for erosion control be understood.

d) The potential of remote sensing as a tool for the improvement of agricultural management, allowing for a highly accurate analysis of critical erosion factors such as vegetation cover and tillage. In the first one, the results showed the capacity of vegetation indices (VI) together with UAV technology to quantify the density of existing vegetation cover in the olive grove soil. Regression analyses between spectral bands and ground vegetation cover density (VGC) of olive groves showed that the R and G wavelengths had a higher explanatory power ($R^2 = 0.58$ and $R^2 = 0.50$, $p < 0.001$, respectively) than the NIR and RE bands ($R^2 = 0.33$ and $R^2 = 0.17$, $p < 0.001$, respectively). However, when the R and NIR bands were combined, the multiple regression analysis was significantly improved (corrected $R^2 = 0.74$, $p < 0.001$). The IVs successfully quantified VGC and augmented the vegetation reflectance information obtained by the spectral bands individually. IRVI, NDVI and NRVI were the most explanatory for estimating VGC density ($R^2 > 0.81$, $p < 0.001$) in the study area. All of them operated in the R and NIR bands, which allowed them to obtain the best results. Although these three VIs showed values very close to each other, the best result was obtained with the IRVI ($R^2 = 0.82$, $p < 0.001$). This was not the case for those VIs that based their calculations on the G or RE bands. The results indicated that the G-band, used individually, gave an acceptable result ($R^2 = 0.50$, $p < 0.001$). However, its incorporation into VIs worsened their performance.

This was the case for GNDVI ($R^2 = 0.80$, $p < 0.001$) and more noticeably for GRVI ($R^2 = 0.52$, $p < 0.001$), with respect to NDVI ($R^2 = 0.81$, $p < 0.001$). These VI showed lower results when substituting R band for G (GNDVI) and NIR for G (GRVI). On the other hand, the RE band, used individually, did not perform well ($R^2 = 0.17$, $p < 0.001$), which is also reflected in the VIs that have incorporated it in their calculation, such as VREI ($R^2 = 0.48$, $p < 0.001$) and NDRE ($R^2 = 0.50$, $p < 0.001$). Thus, it was shown that VIs based on the RE band are not very sensitive to the quantification of VGC.

The Inverse Ratio (IRVI), compared to the Simple Ratio (RVI) ($R^2 = 0.49$, $p < 0.001$), was found to substantially improve the results. The rest of the simple VI (DVI, GVI and VREI) had the lowest values, explaining only 48-67% of the variability in VGC.

Similarly, normalization substantially improved the results of the VIs. This was the case for NDVI ($R^2 = 0.81$, $p < 0.001$) which, without normalization (DVI), had a lower ability to explain VGC ($R^2 = 0.67$, $p < 0.001$). This difference was more sensitive with the NRVI ($R^2 = 0.81$, $p < 0.001$) which, without normalizing (RVI), reduced its explanatory power by 32% ($R^2 = 0.49$, $p < 0.001$).

As expected, the behaviour of VIs against different VGC densities was not homogeneous. The ability of the VIs to differentiate VGC densities increased with increasing range of canopy interval. The HSD Tukey test showed that the most suitable indices to quantify areas with VGC densities higher than 80%, at a canopy interval range of 10%, were RVI ($p < 0.001$), DVI, GVI and SAVI ($p < 0.01$) and NRVI and NDVI ($p < 0.05$). NDRE and VREI were expected to obtain the same result as the previous ones, as they are indices that are usually more robust and perform better in areas where there is a higher canopy density (Mutanga and Skidmore, 2004), as they do not present deficiencies due to saturation (Huete et al., 2002; Eitel et al., 2011; Marx, 2013). These VI started to become significant ($p < 0.05$) when the canopy range was 15% (VREI) and 20% (NDRE).

For the discrimination of areas with VGC density below 30%, IRVI ($p < 0.01$) was shown to be the most significant index at a canopy interval range of 15%. It was not until the 30% cover interval range that IRVI, NRVI and NDVI ($p < 0.001$ and $p < 0.01$) and GNDVI and SAVI ($p < 0.001$ and $p < 0.05$) were significant in differentiating all vegetation cover intervals with the same range. From the above, it follows that VIs are particularly sensitive to detect and quantify homogeneous surfaces, such as fully covered areas and areas without vegetation cover, which is not the case when VGC is sparse or intermediate, because surface reflectance does not depend exclusively on the cover, but also on other factors, such as the soil (Huete et al., 1985; Iaquina and Fouilloux, 1998).

Finally, in the evaluation of tillage characteristics by remote sensing in cultivated plots. The results showed the capacity of remote analysis mechanisms for the study of tillage in olive groves. The main advance obtained at this stage has been the automatic, robust and self-adaptable procedure to any ultra-high resolution (UHR) remote image. Regardless of the sensor used (RGB and multispectral) and the scenario studied (e.g. tree planting pattern, soil tonalities, etc.), *OBIA4tillage* has been able to successfully perform three consecutive tasks: 1) remote and automatic identification of the tillage feature (furrow), 2) calculation of the direction of the tillage furrows, and 3) zoning of the contour and non-contour tillage areas.

The first part of the process resulted in a tillage direction map at 1 m spatial resolution that showed, in unprecedented detail, the main tillage patterns used at plot level. The linear relationship between observed and estimated tillage direction values showed a high accuracy of the *OBIA4tillage* procedure for both sensors used. However, the results with RGB were slightly better ($R^2 = 0.992$), than those obtained with the multispectral sensor ($R^2 = 0.927$) with RMSE of 3.23 and 9.65 respectively. This can be attributed to the higher spatial resolution of the former (5472×3648 pixel images, 20 MP) compared to the latter (1280×960 pixel images, 1.2 MP). Comparing the spatial and spectral resolutions of both cameras, the critical aspect in the identification of the ploughing was to have remote images with a ground pixel size (GSD) of a few centimeters that would allow the identification of the ploughing furrow, rather than having images with more spectrum or infrared information.

It was observed in the study plots that the tillage direction was predominantly homogeneous and, in many cases, this did not coincide with the longest side of the plot, thus contradicting the underlying assumption adopted by previous methodologies in the analysis of tillage direction (Drzewiecki et al., 2013).

OBIA4tillage has also overcome some of the intrinsic weaknesses of object analysis such as segmentation errors shown in Sheeren et al. (2009), or confusions between objects of similar shape or structure cited in Aksoy et al. (2010). This has been achieved with a method that, far from applying a standard segmentation and classification, develops a new algorithm adapted to the intrinsic diversity of the studied fields avoiding the effect of clouds, crop and shadows, common sources of errors that severely impair the quality of the classification and affect the interpretation of the results (Ng et al., 2017).

Soil background and vegetation cover were other factors studied that also tend to have a great impact on the quality of image analysis (Huete, 1988), mainly in traditional pixel-based classifications. On the one hand, the *OBIA4tillage* procedure was insensitive to soil showing similar results for light and dark soils ($R^2 = 0.96$), although the RMSE was significantly better for light soils. In contrast, the density of vegetation on the ground did have a direct effect, showing the best results in areas with extreme values of vegetation ground cover density, i.e. either in areas of dense vegetation or on bare soil ($R^2 = 0.99$), and a very low RMSE of 2.21 and 3.77 respectively. In contrast, it had some imprecision in estimating tillage directions in areas with medium ($R^2 = 0.96$, RMSE = 6.80) and sparse ($R^2 = 0.81$, RMSE = 8.20) vegetation density, because tillage marks were more difficult to identify in the latter scenarios due to the impact of patchy vegetation patches on soil structure.

In the second part of the process, the tillage direction map was combined with the slope direction map in ranges of 0° - 180° . From the cross-referencing of information, the areas with contour and non-contour tillage were obtained, thus being able to estimate the suitability of tillage in relation to the slope of the land for the purpose of studying erosion risks. The results showed that the practice of contour ploughing was not very widespread in most of the plots analysed, while in others it occupied more than 90% of the surface area.

Overall, the *OBIA4tillage* procedure represents a methodological improvement for the study of ploughed land and proves to be an effective tool to contribute to: 1) support

studies on tillage erosion risk assessment, 2) enable effective and timely monitoring of tillage erosion effects through the adoption of a remote sensing system that reports the incidence of tillage at various time scales (Xu et al. 2019) and 3) providing public agencies responsible for agricultural policies with effective tools to monitor compliance with contour tillage strategies in cultivated areas, thus verifying the implementation of cross-compliance measures related to soil management and carbon stock as stipulated by the current CAP agricultural regulations (EC, 2020).

Finally, e) the capacity of the proposed methodology to establish GAEC adapted to each region and to consolidate a remote control and monitoring system on those guidelines related to soil protection. The main focus of future research.

Keywords: Remote sensing; geographic information systems (GIS); mountain olive groves; agrological capacity (AC); agricultural sustainability; crop evolution; agro-environmental measures; water erosion; cross-compliance (CAP); organic economy; vegetation ground cover; multispectral, vegetation indices; unmanned aerial vehicles (UAV); tillage/no tillage; object-based image analysis (OBIA); precision agriculture.

BIBLIOGRAPHY:

- Aksoy, S., Akcay, H.Gö., Wassenaar, T., 2010. Automatic Mapping of Linear Woody Vegetation Features in Agricultural Landscapes Using Very High-Resolution Imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48, 511–522. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2027702>
- Beaufoy, G., 2002. Beaufoy. The environmental impact of the olive oil production in the European union: Practical options for improving the environmental impact <http://www.ec.europa.eu/environment/agriculture/pdf/oliveoil.pdf>, Accessed 11th Mar 2019.
- Berbel Vecino, J. and Giannocaró, G., 2013. "Economics of olive groves in Andalusia. In VV. AA.: Andalusia. The olive grove. Seville. Advanced Studies Group on Territory and Environment. Pp. 133-146.
- Blanco, R., 2018. An erosion control and soil conservation method for agrarian uses based on determining the erosion threshold. *MethodsX* 5, 761–772. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.07.007>
- Blanco, R., Aguilar, A., 2015. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agric. Ecosyst. Environ.* 210, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.032>
- Blanco, R., Aguilar, A., 2016. The erosion threshold for a sustainable agriculture in cultures of vean (*Phaseolus vulgaris L.*) under conventional tillage and no-tillage in Northern Nicaragua. *Soil Use Manag.* 32. <https://doi.org/10.1111/sum.12271>
- Blanco, R., Aguilar, A., y Lima, F., 2021a. Impact of weed control by hand tools on soil erosion under a no-tillage system cultivation. *Agronomy*, 2021, 11, 974. DOI: 10.3390/agronomy11050974.
- Blanco, R., Enríquez, F., Lima, F., 2021b. Effectiveness of conservation agriculture (tillage vs. vegetal soil cover) to reduce water erosion in maize cultivation (*Zea mays L.*): An experimental study in the sub-humid uplands of Guatemala. *Geoderma*, 404, 115336, 1-11. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115336.
- CA, 1962. Agricultural Census 1962. National Institute of Statistics. Available in: <https://www.ine.es/inebaseweb/libros.do?tntp=194256>. Last access: 19/08/2021.
- CA, 1972. Agricultural Census 1972. National Institute of Statistics. Provincial data, province of Malaga. Madrid: INE.
- CA, 1989. Agricultural Census 1989. National Institute of Statistics. Available in: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736194955.
- CA, 1999. Agricultural Census 1999. National Institute of Statistics. Available in: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736195186

- CA, 2009. Agricultural Census 2009. National Institute of Statistics. Available in: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106. Last access: 19/08/2021.
- Chen, J., Li, Z., Xiao, H., Ning, K., Tang, C., 2021. Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review. *J. Environ. Manage.* 282, 111924. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111924>.
- De la Rosa, D. de la, Moreira, J.M., 1987. Ecological evaluation of natural resources in Andalusia. Regional Government of Andalusia.
- De la Rosa, D., Diaz-Pereira, E., Mayol, F., Czyz, E.A., Dexter, A.R., Dumitru, E., Enache, R., Fleige, H., Horn, R., Rajkay, K., Simota, C., 2005. SIDASS project: Part 2. Soil erosion as a function of soil type and agricultural management in a Sevilla olive area, southern Spain. *Soil Tillage Res.* 82, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.01.004>.
- Drzewiecki, W., Wężyk, P., Pierzchalski, M., Szafrńska, B., 2013. Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure Appl. Geophys.* 171, 867–895. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0669-7>
- EC, 2020. Specific objectives of the future CAP. Brief No 5. European Commission. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming_fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-5-soil_en.pdf. (Accessed 8.18.20)
- Eitel, J.U.H., Vierling, L.A., Litvak, M.E., Long, D.S., Schulthess, U., Ager, A.A., Krofcheck, D.J., Stoscheck, L., 2011. Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer Wood land. *Remote Sens. Environ.* 115, 3640–3646. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.002>
- Eswaran, H., 2001. Land degradation: An overview. CRC Press.
- FAO, 1976. Outline for land assessment. FAO soil bulletin, N° 32. Roma.
- FAO, 2017. Sustainable agricultural mechanization. I7473EN10617 - Revis. Version.
- García, M.D., 2006. The olive grove in Andalusia and the European Union protection system [WWW Document]. URL http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362006000200008 (accessed 3.1.21).
- García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Lana-Renault, N., Sanjuán, Y., 2015. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology* 239, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>.

- Gómez, J.A., 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current knowledge. *Hung. Geogr. Bull.* 66, 13–28. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.2>.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghem, T., Lora, Á., Giráldez, J.V., 2018. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 977–989. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8339-9>.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghem, T., Lora, Á., Giráldez, J.V., 2018. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 977–989. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8339-9>.
- Gómez, J.A., Infante-Amate, J., De Molina, M.G., Vanwalleghem, T., Taguas, E.V., Lorite, I., 2014. Olive Cultivation, its Impact on Soil Erosion and its Progression into Yield Impacts in Southern Spain in the Past as a Key to a Future of Increasing Climate Uncertainty. *Agriculture* 4, 170–198. <https://doi.org/10.3390/agriculture4020170>.
- Gómez, M.L. 2009. "The role of mountains in Iberian territories: validity of the unified perspective of geography". In the geographical perspective on the challenges of society and the environment in the Iberian context. eds. J. Bosque and V. M. Rodríguez, 149-179. Madrid: Universidad de Alcalá.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ., The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring* 83, 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25, 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Huete, A.R., Jackson, R.D., Post, D.F., 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil back grounds. *Remote Sens. Environ.* 17, 37–53. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90111-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90111-7)
- Iaquinta, J., Fouilloux, A., 1998. Influence of the heterogeneity and topography of vegetated land surfaces for remote sensing applications. *Int. J. Remote Sens.* 19, 1711–1723. <https://doi.org/10.1080/014311698215207>
- Kienzle, J. (Ed.), 2013. Mechanization for rural development: a review of patterns and progress from around the world, Integrated crop management. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., Bernoux, M., 2015. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 203, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.027>.

- Marx, A. 2013. The Impact of the RapidEye Red Edge Band in Mapping Defoliation Symptoms; ESA Living Planet Symposium: Edinburgh, UK; Available online: <http://seom.esa.int/LPS13/5405ddfb/> (accessed on 1 July 2017).
- Mutanga, O., Skidmore, A.K., 2004. Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. *Int. J. Remote Sens.* 25, 3999–4014. <https://doi.org/10.1080/01431160310001654923>
- Naredo, J.M., 1983. The crisis of the olive grove as a traditional "organic" crop. *Agric. Soc.* 167–288.
- Ng, M.K.-P., Yuan, Q., Yan, L., Sun, J., 2017. An Adaptive Weighted Tensor Completion Method for the Recovery of Remote Sensing Images With Missing Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 55, 3367–3381. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2670021>
- Ocaña, C. y Gómez, M. L. 2008. "Changes in the organisation of the territory: case study: territorial dynamics in Malaga: the Axarquía". In *Spain and the Mediterranean. A reflection from Spanish geography. Spanish contribution to the XXXI Congress of the International Geographical Union*, ed. M. Alario, 67-71. Madrid: Spanish Committee of the International Geographical Union.
- Sastre, B., Marques, M.J., García-Díaz, A., Bienes, R., 2018. Three years of management with cover crops protecting sloping olive groves soils, carbon and water effects on gypsiferous soil. *CATENA* 171, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.003>.
- Sheeren, D., Bastin, N., Ouin, A., Ladet, S., Balent, G., Lacombe, J.-P., 2009. Discriminating small wooded elements in rural landscape from aerial photography: a hybrid pixel/object-based analysis approach. *Int. J. Remote Sens.* 30, 4979–4990. <https://doi.org/10.1080/01431160903022928>
- USDA (1961). Land capability classification. S. C. S. Hb. 2010.
- Xiloyannis, C., Martinez Raya, A., Kosmas, C., Favia, M., 2008. Semi-intensive olive orchards on sloping land: Requiring good land husbandry for future development. *J. Environ. Manage., A Sustainable Future for Olive Production on Sloping Land* 89, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.04.023>.
- Xu, H.C., Jia, L.Z., Zhang, J.H., Zhang, Z.H., Wei, Y.H., 2019. Combined effects of tillage direction and slope gradient on soil translocation by hoeing. *CATENA* 175, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.039>

LISTA DE ACRÓNIMOS

- AEMET:** Agencia estatal de meteorología
- ANP:** Analytical Network Process
- B:** Banda Azul
- BCAM/GAEC:** Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales de la tierra
- CA/AC:** Capacidad agrológica
- CE/EC:** Comunidad europea
- CEDER:** Centro de desarrollo rural
- CEE:** Comunidad económica europea
- CMOS:** Semiconductor complementario de óxido metálico
- CT:** Laboreo convencional
- DOP:** Denominación de origen protegida
- DSM:** Modelo digital de superficie
- DTM:** Modelo digital del terreno
- DVI:** Índice de vegetación diferencial
- E_i:** Erosión por salpicadura (%)
- E_l:** Erosión laminar (%)
- E_n:** Ninguna evidencia de erosión (%)
- E_t:** Erosión total (%)
- E_v:** Erosión volumen (m³/ha-1)
- FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- FEADER:** Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural
- FEAGA:** Fondo Europeo Agrícola de Garantía Agraria
- FEGA:** Fondo Español de Garantía Agraria
- G:** Banda verde
- GNDVI:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde
- GPS:** Sistema de Posicionamiento Global
- GRVI:** Índice de vegetación verde-rojo
- GSD:** Tamaño de píxel en el terreno

GVI: Índice de vegetación verde

Hi: Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión por salpicadura (%)

Hi: Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión laminar (%)

Hs: Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión en surcos (%)

HSD: Diferencia honestamente significativa

Hse: Suelo alterado por herramienta susceptible de erosión (%)

ICONA: Instituto para la Conservación de la Naturaleza

INE: Instituto nacional de estadística

INES: Inventario Nacional de Erosión de Suelos

IRVI: Índice de vegetación de relación inversa

ITGE: Instituto tecnológico geominero de España

L: Laboreo

LIDAR: Detección y localización de imágenes por láser

LO: Ley del olivar

LUCDEME: Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo

MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

MO: Materia Orgánica

MP: Megapíxel

N: Tierras marginales o improductivas

NDRE: Diferencia normalizada Borde rojo

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada

NIR: Infrarrojo cercano

Nrv: No existe erosión bajo residuos vegetales (%)

NRVI: Índice de vegetación normalizado

NT: No laboreo

Nv: No existe erosión bajo cubierta vegetal viva (%)

OA: Olivar andaluz

OBIA: Análisis de imágenes basado en objeto

OE: Objetivo específico

OE: Olivar ecológico

OG: Objetivo general

OM: Objetivo metodológico

OP: Objetivo particular

Or: Otras características de la superficie (rocas) (%)

P: Factor de método de control de la erosión

PAC/CAP: Política Agrícola Común

PDOA: Plan director del olivar andaluz

Pi: Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión por salpicadura (%)

PIO: Producción integrada de olivar

Pl: Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión laminar (%)

Pse: Suelo alterado por pisoteo susceptible de erosión (%)

R: Banda roja

RE: Banda borde de rojo

REDIAM: Red de información ambiental de Andalucía

RGB: Fotografía convencional

RLG: Requisitos Legales de Gestión

RMSE: Raíz del error cuadrático medio

RUSLE: Ecuación universal de pérdida de suelo revisada

RVI: Ratio Índice de vegetación

S1: Tierras con excelente capacidad de uso

S2: Tierras con buena capacidad de uso

S3: Tierras con moderada capacidad de uso

SAVI: Índice de vegetación ajustado al suelo

Sd: Suelo descubierto

SIG: Sistemas de información geográfica

SIGPAC: Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas

SP: Puntos de control

UAV: Vehículo aéreo no tripulado

UE/EU: Unión europea

UGV: Vehículo terrestre no tripulado

UHR: Ultra alta resolución

UMA: Universidad de Málaga

USDA: Departamento de agricultura de Estados Unidos.

USLE: Ecuación universal de pérdidas de suelo

VGC: Cubierta vegetal de suelo

VI: Índice de vegetación

VREI: Índice borde rojo de Vogelmann

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN

Capítulo 1: Estado de la cuestión.

1.1 Implicaciones ambientales de la erosión sobre el olivar, y el efecto de la transición socio-ecológica en el agrosistema.

A pesar de la importancia que el olivo tiene actualmente en España, siendo el país con más superficie de olivar, a mediados del siglo XIX apenas tenía una tercera parte del actual plantío (Garrido, 2005). Esto se debe a que, en contextos históricos preindustriales mediterráneos, el olivo formaba parte de la arboricultura de secano, integrado en una *coltura promiscua*, que los dispersaba en las tierras calmas cerealistas. Algunos investigadores los interpretan como un aprovechamiento más forestal que agrícola, en el sentido de que era capaz de suministrar una alta gama de productos de poda o pasto con bajos insumos externos y pocas labores (Infante-Amate y Molina, 2013). En la mayoría de los casos, su cultivo en campiña se desarrollaba adecuadamente sobre cualquier terreno apoyado en el conocimiento empírico adquirido por el agricultor durante años de cultivo y dedicación transmitido de padres a hijos. En base a ello, los árboles se ajustaban perfectamente a las características de los suelos (riqueza, humedad, insolación, pendiente, etc.) y se empleaban, cuando eran necesarias, técnicas de control de la erosión (cultivo de forrajeras, terrazas, albarradas, sangraderas, caballones, etc.). A lo anterior se sumaba la riqueza de variedades de olivar, que eran difundidas atendiendo, más a las condiciones medioambientales del suelo, que a criterios de productividad del cultivo (Guzmán et al., 2000; García, 2006). También los sistemas de siembra estaban orientados a la longevidad del cultivo, sembrando a partir de semillas, sierpes, tocones o pequeñas estaquillas que, aunque tardaban más en dar sus frutos, eran más resistentes (sobre todo los olivos obtenidos a partir de acebuches salvajes).

Su identificación como manifestación de la *coltura promiscua*, llevaba aparejado que su suelo, tradicionalmente era cultivado con forrajeras o leguminosas que cumplían un doble suministro de alimento. Por un lado, para el ganado, que era la fuerza de trabajo, y por el otro para el suelo, ya que éste se enriquecía con sus aportes de nitrógeno, además de recibir luego el estercorado del propio ganado que lo pastoreaba. Estas prácticas hicieron del olivar tradicional campañés un claro reflejo de sostenibilidad, no sólo era productivo, sino que aunaba su producción con la conservación de suelos (aumentando la riqueza de materia orgánica considerablemente), ecosistemas y paisajes (Parra, 1988), pero en el olivar de montaña no ocurría lo mismo.

La función de la montaña mediterránea andaluza en la localización y gestión del olivar presenta semejanzas y diferencias respecto al olivar campañés. El predominio de pequeñas y medianas propiedades las aleja de la expansión del olivar para exportación de aceite previo a la Guerra Civil. Por el contrario, su presencia en ellas era muy secundario y destinado a la autosuficiencia, y aquí radica la semejanza, pues también era objeto de *coltura promiscua* acompañando a los cultivos herbáceos. Ha sido a finales del s. XX cuando los efectos de la Política Agrícola Común (PAC en adelante) ha llevado aparejada,

en estas zonas de media montaña, su expansión en tierras de poca capacidad agrológica (elevadas pendientes), y bajo sistemas productivos poco adecuados a las condiciones del medio. A esta expansión en superficie hay que unirle otro cambio, desde mediados del S.XX (Gómez, 2009) tiene lugar la transición socio-ecológica del cultivo entendida como proceso mediante el cual, los recursos de origen inorgánico han ido sustituyendo a los productos orgánicos tradicionales. En definitiva, el paso de un cultivo eminentemente multifuncional (economía orgánica) hacia otro centrado en la producción intensiva de alimentos de alta calidad para el consumo humano, de los cuales, una parte creciente es exportada a otros países (economía industrial).

Como se ha adelantado, esta transición tuvo un impacto directo en el sistema de explotación (Berbel y Giannocaró 2013). El empleo de labranza excesiva, en un primer momento, y de agroquímicos después, sustituyó a las forrajeras y cubiertas vegetales que protegían el suelo del olivar, el ajuste de las plantaciones a las características marcadas por el terreno dio paso a la densificación sin control de los marcos de plantación, y la riqueza de variedades de olivar preexistentes fueron reducidas (simplificación varietal) a aquellas más productivas y orientadas al mercado (García, 2006). Este proceso de cambio hacia una agricultura artificial y forzada causó importantes externalidades negativas (Beaufoy, 2002). Los ecosistemas agrarios de montaña se mostraron cada vez más frágiles frente a procesos erosivos que derivaron en degradación física del suelo por exceso de laboreo y biológica por reducción del contenido de materia orgánica (De la Rosa et al., 2005). Las tasas de erosión de suelo aumentaron en intensidad (Taguas y Gómez, 2015; Gómez, 2003), y el balance de nutrientes se volvió claramente negativo (Vanwalleghem et al., 2011; Infante-Amate y Molina, 2013). En definitiva, todo repercutió en una reducción masiva de la infraestructura ecológica que se relaciona con una disminución drástica de la biodiversidad de los espacios agrícolas (Sánchez et al., 2008; Scheidel y Krausmann, 2011) que derivó en costes de producción extra soportados por el agricultor a veces inconscientemente (Morgan, 1997; de la Rosa et al., 2005; Gómez et al., 2009).

De todos los procesos de degradación que afectan al suelo, la erosión hídrica es el más importante en todo el mundo (Eswaran, 2001). La Unión Europea identificó la protección de los suelos como una prioridad clave (CE, 2006) y su riesgo es particularmente alto en la cuenca mediterránea (Ayoub et al., 1991). El mecanismo fundamental que desencadena este tipo de erosión es el impacto de la gota de agua de lluvia contra el suelo (*splash*). Este fenómeno provoca la ruptura de los agregados y la liberación de las partículas primarias de arena, limo y arcilla susceptibles de ser transportadas ladera abajo por los flujos de escorrentía que, a su vez, provocan a su paso más ruptura de agregados y arranque de partículas que son depositadas cuando la velocidad del flujo disminuye (Lal, 2001 y 2002).

Su origen se debe a factores muy variados entre los que se incluyen la agresividad de las precipitaciones mediterráneas (Shi et al., 2021), las fuertes pendientes (Ramos et al., 2008), la escasa resistencia de los materiales (texturas arcillosas) frente a la erosión, la débil o nula cobertura vegetal, y determinadas prácticas agrícolas (Pastor et al, 1998) relacionadas con la gestión del suelo y de sus propiedades (Gómez et al., 2009), que generan efectos negativos a largo plazo en los servicios ecosistémicos del mismo (Parras-Alcántara et al., 2016).

Una evaluación adecuada de los problemas de erosión depende en gran medida de su contexto espacial, económico, ambiental y cultural (Warren, 2002). Muchos han sido los estudios que han abordado los efectos de la erosión hídrica en el suelo. Éstos han sido afrontados desde los procesos de degradación que genera en el propio suelo, hasta los impactos en el rendimiento de los cultivos (Gómez et al., 2014). Aunque existen autores que cuestionan su impacto en la seguridad alimentaria global (Crosson, 1997, Lomborg, 2001), la erosión del suelo genera fuertes impactos ambientales y altos costes económicos por su efecto en la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua (Lal, 1998, Pimentel et al., 1995). En trabajos como Colombo et al. (2003a), para la cuenca alta del Genil, se valoran los daños por erosión entre 42 y 72 € ha/año. Mientras que, para olivares de montaña tradicional, Taguas y Gómez (2015) llegan a establecer las pérdidas hasta en 100 € ha/año. Estos costes y efectos de la erosión hídrica no sólo se ciñen a los límites de la propia explotación agrícola, sino que también afectan a la gestión de las fincas limítrofes y a sus infraestructuras (Fernández et al., 2016; Carpena et al., 2017).

Además, la erosión favorece la emisión del carbono orgánico del suelo a la atmósfera en forma de CO₂ y CH₄, lo que provoca un impacto en el calentamiento global (Lal, 2004), que, previsiblemente, se espera que incida en un aumento de las tasas de erosión (Nearing et al., 2004).

En lo que respecta al olivar mediterráneo, muchos científicos sostienen que la erosión es el principal problema asociado (Guzmán, 1999; Beaufoy, 2001; Pastor et al., 2001). De todos los usos de suelo existentes en la región mediterránea, los olivares presentan las tasas de erosión de suelo más altas (Pastor y Castro, 1995; Schoorl y Veldkamp, 2001), que se han visto incrementadas en las últimas décadas con la transición socio-ecológica del cultivo (Gómez et al., 2014). La prolongación en el tiempo de prácticas inapropiadas vinculadas al manejo de la tierra, como el laboreo irracional en áreas con altas pendientes (Beniston et al., 2015) y la eliminación de la cubierta vegetal entre olivos que protege el suelo (Moreno et al., 2009; Infante-Amate, 2012), han alentado este deterioro ambiental de las explotaciones. En la actualidad, la erosión hídrica se configura como la principal causa de degradación del suelo en el olivar andaluz con tasas de erosión superiores a 10 Mg ha/año (INES, 2006; Panagos et al., 2015), valor considerado por muchos autores como insostenible, al superar la capacidad de regeneración del suelo (Gómez et al., 2003).

La erosión en olivar se ha estudiado mediante distintos métodos de análisis, tanto directos como indirectos. Los primeros miden la erosión en campo a partir de procedimientos experimentales, como microparcels (De la Rosa et al., 2005) o colectores de sedimentos (Gómez et al., 2009). Otros, emplean métodos que permiten analizar la erosión en cultivos de olivar con técnicas radiométricas (Mabita et al., 2012), utilizando Cesio-137 o a partir de mediciones topográficas de precisión con teodolitos (Kraushaar et al., 2014). Los segundos (métodos indirectos) estiman la erosión mediante modelos. El más utilizado es USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation/Revised Universal Soil Loss Equation) empleado por Vanwalleghem et al. (2011) para cuantificar los efectos de la erosión histórica en cultivos de olivar del sur de España. Otros modelos, basados en el anterior, han mejorado las estimaciones en condiciones ambientales particulares. Este es el caso del “Analytical Network Process” (ANP) de Nekhay et al. (2009), adaptado a zonas montañosas de clima mediterráneo. Todos ellos estiman la pérdida anual de suelo mediante formulaciones empíricas (González, 1991). Por último, hay otros métodos de

estudio que estudian cualitativa o cuantitativamente la erosión del suelo con indicadores visuales, y se basan en la valoración del estado erosivo del suelo mediante la presencia o ausencia de indicadores, su número y tamaño (Mutekanga et al., 2010; Blanco, 2018).

De todos los factores que influyen en este tipo de erosión (hídrica), el uso del suelo y la cubierta vegetal están considerados los más dinámicos y determinantes (García-Ruiz et al., 2015; Labrière et al., 2015). Los volúmenes de pérdida de suelo neta se agravan intensamente cuando el suelo está desagregado y no tiene ningún tipo de cobertura capaz de amortiguar la energía del impacto de la gota de agua. Esto ocurre comúnmente en los olivares, donde el área entre hileras se mantiene desnuda de plantas mediante laboreo para evitar la competencia por el agua y los nutrientes con el cultivo (Gómez et al., 2018). Chen et al. (2021) señalaron el papel crucial de la cubierta vegetal viva en los sistemas áridos y semiáridos, y Blanco et al. (2021) mostraron el papel clave de la cubierta vegetal muerta en las tasas erosivas. Por lo tanto, para controlar la erosión hídrica, es necesario implementar medidas biofísicas derivadas directamente de la gestión del suelo a nivel de campo, ladera o cuenca.

El efecto de la cubierta vegetal sobre la mitigación de la erosión del suelo se refleja principalmente en la escorrentía y la pérdida de suelo (Durán et al., 2011). Los beneficios que proporciona la cubierta vegetal al suelo son manifiestos a diferentes niveles, aéreo, superficial e interno. Las estructuras aéreas de las plantas (hojas y tallos) interceptan las gotas de lluvia reduciendo el porcentaje de la misma que impacta de manera directa contra el suelo (Shou et al., 2016). En superficie, la acumulación de hojarasca y de restos orgánicos muertos procedentes de la cubierta vegetal actúan sobre la rugosidad de la superficie del suelo, minimizando el movimiento de las partículas ladera abajo (Hartanto et al., 2003) y mejorando las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo (Turmel et al., 2015). Por último, internamente, la influencia de las raíces de la cubierta vegetal sobre la mejora de la estructura del suelo ha sido mostrada por Degens (1997) y Angers y Caron (1998). La penetración de las raíces incrementa la cohesión de los agregados del suelo y modifica su estado hídrico promoviendo la infiltración (Hu et al., 2009; Palese et al., 2014). El entrelazamiento de las partículas por las raíces para formar y estabilizar macroagregados ha sido enfatizado en muchos estudios (Bearden y Petersen, 2000; Rillig et al., 2002), mostrando que las raíces remanentes eran más importantes que los brotes de un abono verde de leguminosas para favorecer la agregación (Puget y Drinkwater, 2001) y mejorar la resistencia frente a la erosión por escorrentía (Gyssels et al., 2005; Wang y Zhang, 2017; Guo et al., 2019). También, a través de la exudación, las raíces consolidan las partículas del suelo (Morel et al., 1991) y, una vez muertas, con su descomposición promueven su estructura. Autores como Gale et al. (2000) encontraron que la mayoría de los agregados estables se formaron después de la senescencia y no durante la fase vegetativa. Además, los efectos positivos de los exudados de las raíces sobre el contenido de materia orgánica, la cohesión del suelo y la estabilidad de los agregados del suelo también se muestran beneficiosos para el control de la erosión del suelo (Guo et al., 2018; Zhang et al., 2019).

El papel de la vegetación para mitigar la erosión del suelo en tierras agrícolas en pendiente está probado (Yan et al., 2021). En los olivares mediterráneos, la presencia de vegetación viva o muerta protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia, reduce el sellado de la superficie del suelo (López-Vicente et al., 2016; Gómez, 2017), y la

velocidad del flujo superficial (Franzluebbers, 2002). Esto es de vital importancia en el medio semiárido mediterráneo en el que se extiende el olivar, ya que mejora la capacidad de infiltración del suelo, aumentando la disponibilidad de agua para el olivo y reduciendo el riesgo de competencia hídrica entre este cultivo principal y la cobertura vegetal (Bombino et al., 2019). Además de estos beneficios hidrológicos, la cubierta vegetal aumenta el almacenamiento de carbono (en forma de materia orgánica) y reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Repullo et al., 2012; Wang et al., 2010).

Así, en los últimos diez años, el uso de cobertura vegetal en el suelo del olivar se ha extendido en España (González-Sánchez et al., 2015). El mantenimiento de la cobertura vegetal del suelo se consolida como la mejor opción de manejo en condiciones de olivar en secano, facilitando mayor biomasa y más diversidad bacteriana que en suelos sin cobertura vegetal. La diversidad microbiana del suelo merece especial atención por ser un indicador biológico preciso de la calidad del suelo y muy sensible al mal manejo del cultivo (control químico de malezas y labranza del suelo) (Moreno et al., 2009). Por el contrario, el mantenimiento del suelo desnudo disminuye la diversidad biológica del mismo conduciendo a una reducción de la estabilidad de la comunidad microbiana, lo que provoca un mal funcionamiento de la biota del suelo y de sus funciones relacionadas con la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y, en última instancia, la producción vegetal (Brussaard et al., 2004).

Para reducir la erosión y mejorar las propiedades físicas, entre ellas, el almacenamiento de agua, de los suelos en los olivares, varios estudios durante las últimas cinco décadas han demostrado la posibilidad de sustituir la labranza convencional por prácticas agrícolas de menor impacto, como los cultivos de cobertura temporal (Gómez et al., 2014; Sastre et al., 2017; Bombino et al., 2021) o acolchado con residuos de poda (Repullo et al., 2012). Algunos de ellos como Correia et al. (2015) muestran los beneficios que los cultivos de cobertura de leguminosas tienen sobre la rentabilidad y la sostenibilidad de olivares de secano destacando, junto con Sastre et al. (2018), las ventajas de mantener la cubierta vegetal en términos de mejorar la fertilidad del suelo y la retención de agua. Algo difícil de alcanzar con las prácticas de labranza convencionales en las que se mantiene el olivar sin cobertura de suelo, favoreciendo así su degradación (Guimarães et al., 2021).

El laboreo ha sido el método más extendido en el mantenimiento del olivar sin cobertura vegetal, y se ha configurado como una de las estrategias más importantes para el crecimiento de la producción agrícola a escala global (Kienzle, 2013; FAO, 2017). En la actualidad, la labor mecanizada sigue siendo la práctica de gestión del suelo más común en las tierras de cultivo mediterráneas (Gómez et al., 2014; Gómez, 2017; Gómez et al., 2018; Xiloyannis et al., 2008). Ha sido empleada en la preparación del terreno para la siembra, en el control de las malas hierbas, para la reducción de los costes de producción (Singh, 2006), para facilitar la cosecha, así como para favorecer la incorporación de fertilizantes y materia orgánica en el suelo. Sin embargo, su uso intensivo e irracional puede empeorar la estructura del suelo y con ello su respuesta hidrológica generando mayores tasas de escorrentía y erosión, particularmente en el período húmedo en el que los riesgos de escorrentía y erosión son mayores (Sastre et al., 2018). Esto se explica porque la labranza disminuye el contenido de materia orgánica del suelo al aumentar las tasas de mineralización y la emisión de CO₂ a la atmósfera (Kassam et al., 2009; García-Ruiz, 2010; García-Díaz et al., 2016); reduce la capacidad de infiltración debido a la

degradación de la estructura del suelo (Palese et al., 2014) y también destruye las raíces del olivo en la capa de arado reduciendo la capacidad de absorción de agua del árbol (Sastre et al., 2018).

En cultivos de ladera, el uso del laboreo acelera los procesos de erosión (Beniston et al., 2015), debido a que la labranza mecanizada genera movimientos del suelo alternativos, tanto ascendentes como descendentes (Jia et al., 2017), que provocan la alteración de la estructura del suelo, haciéndolo más susceptible a la erosión y a la pérdida de fertilidad (Zhang et al., 2017). Así, la erosión por laboreo es desencadenada por la propia actividad del cultivo y, en ocasiones, también actúa como agravante del resto de procesos erosivos que afectan al suelo (Lobb et al., 1995; Wang et al., 2016). Una dirección de labor orientada a favor de la pendiente puede convertirse en caminos preferenciales de escorrentía y provocar un incremento de la erosión hídrica (Souchere et al., 1998; Takken et al., 2001).

Los efectos resultantes de la erosión por labranza dependen tanto de factores antropogénicos como naturales. Los primeros se refieren a la forma y el tamaño de las áreas labradas, disposición del cultivo, dinámica de manejo y ejecución de la labranza en las tierras agrícolas, así como, de las características de las herramientas de labranza (azada, cultivador, gradas de disco, etc.), fuerzas de tracción (animales, humanos o maquinaria) y dirección, velocidad y profundidad del arado (Gerontidis et al., 2001; Van Muysen et al., 2002; Heckrath et al., 2006; Godwin, 2007; Nyssen et al., 2014; Xu et al., 2019; J. Zhang et al., 2019). Los segundos, incluyen principalmente las propiedades de suelo y la topografía del terreno, donde la pendiente tiene la mayor relevancia (Lobb et al., 1999; Heckrath et al., 2006; Xu et al., 2019; J. Zhang et al., 2019).

1.2 Respuestas europeas y nacionales de la Política Agrícola Común (PAC) frente al problema erosivo.

La importancia de la agricultura está presente en las políticas europeas, no sólo por su relación con la producción de alimentos, sino también por ser el sostén de la mayoría de las comunidades rurales, las cuales, a su vez, mantienen el campo y la forma de vida rural viva. Ante las consecuencias negativas sobre el medio ambiente que la agricultura ha traído consigo en algunos lugares, la Política Agrícola Común (PAC) asumió la necesidad de alcanzar el desarrollo sostenible de la agricultura con el fin de hacer compatible la rentabilidad económica con la conservación medioambiental, para lo que, en 2003 instauró el sistema de Condicionalidad (en el que se profundiza más adelante). Pero la orientación del organismo europeo no ha ido siempre en esta línea. Interesa destacar, por su vinculación con los objetivos de este trabajo, las dos orientaciones contrapuestas que ha seguido la PAC desde sus inicios a la hora de contemplar la cuestión ambiental en materia de olivar.

La PAC nace en un contexto económico de escasez alimentaria tras la Segunda Guerra Mundial. Este hecho justifica el establecimiento de una política intervencionista y productivista con el fin de abastecer a la sociedad de alimentos a unos precios asequibles y que garantizaran un nivel de vida equitativo a la población agrícola. Por ello, la PAC se centró en el establecimiento de medidas dentro de su política de precios y mercados.

Dichas medidas dieron sus frutos a lo largo de las siguientes décadas de tal manera que la situación comunitaria se tornó de una situación deficitaria a otra excedentaria. Partiendo del ingreso de España en la Comunidad Económica Europea (1986-87), en la campaña que sigue entre 1986 y 2003, la PAC continuaba siendo productivista, subió el precio del aceite y se aplicaron ayudas fundamentadas en la producción (1986, CEE). La segunda orientación de la PAC se inserta ya en las tendencias postproductivistas. El primer cambio tiene lugar en 2003 con la Reforma Fischler (Reglamento (CE) N°1782/2003), que establecía un sistema de ayudas directas al agricultor denominado régimen de Pago Único (Reglamento (CE) 795/2004). En él, las ayudas se desacoplan de la producción y son los agricultores los que la reciben, no por producir sino por contar con una explotación agraria. En la reforma de 2014 se mantiene el sistema de Condicionalidad anunciado (Reglamento UE N° 640/2014) que, con arreglo al artículo 93 (Reglamento UE N. ° 1306/2013) se divide en: a) Requisitos Legales de Gestión (RLG) y b) Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales de la tierra (BCAM) (ver ANEXO GENERAL: A) “Normas de condicionalidad con arreglo al art. 93”). En estas últimas BCAMs, es donde se adoptan por primera vez medidas destinadas a la conservación del suelo y su reserva de carbono relacionadas con la cobertura vegetal y del laboreo racional:

“Cobertura mínima del suelo” (BCAM 4), “Gestión mínima de las tierras que refleje las condiciones específicas locales para limitar la erosión” (BCAM 5), “mantenimiento del nivel de materia orgánica del suelo mediante prácticas apropiadas, incluida la prohibición de quemar rastrojos arables, excepto por razones de sanidad vegetal” (BCAM 6).

Según el reglamento UE N° 640/2014, estas directrices son la base a partir de la cual cada estado miembro debe adoptar sus propias normas nacionales de Condicionalidad atendiendo a las características específicas de cada una de las regiones que lo componen. Entre estas características se incluyen: las condiciones edafológicas y climáticas; los sistemas de cultivo (utilización del suelo, rotación de cultivos, prácticas de cultivo, etc.) y las estructuras agrarias existentes. Dichas medidas son de obligado cumplimiento para los agricultores beneficiarios de las ayudas, de lo contrario, pueden ser sancionados por incumplimiento de acuerdo al Título VI, capítulo I del Reglamento UE N° 1306/2013. Para ello, en el Título V del citado reglamento se traslada a los estados miembros la necesidad de disponer de un eficaz sistema de gestión y control que garantice el cumplimiento de la legislación reguladora de los regímenes de ayuda y las medidas de condicionalidad. Conscientes de esta ardua tarea, la PAC en los Art. 6, 22 y 74 de este último reglamento, contempló la necesidad de emplear, cuando fuera necesario, la teledetección como herramienta para los controles sobre el terreno de las parcelas, entre ellos el seguimiento de los recursos agrícolas y de la salud del suelo. Para ello, en el citado reglamento se manifiesta la intención de reservar una partida económica destinada a sufragar los gastos derivados de la asistencia técnica necesaria para la aplicación de dicha tecnología. En territorio español, a día de hoy, no somos conscientes de las posibilidades del empleo de tecnologías remotas para los fines propuestos, más allá del Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) creado previamente a la aplicación de este marco regulatorio, en febrero de 2005.

En virtud de este marco regulador, el control de su cumplimiento en España se realiza a varios niveles. En el escalón superior se encuentra la Unión Europea (órgano legislativo)

que, a partir de sus reglamentos, expone las bases generales en materia de condicionalidad. Por debajo se encuentran las administraciones de los estados miembros y el nivel autonómico (órganos ejecutores), que son las encargadas de adaptar las bases generales de la condicionalidad que expone la UE a las características de cada una de las regiones que componen el estado miembro, además de diseñar las herramientas necesarias para controlar la aplicabilidad de las condiciones.

A nivel nacional, el organismo encargado del cumplimiento de la Condicionalidad es el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA). El FEGA es un organismo autónomo de los previstos en el artículo 98 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) a través de la Secretaría General de Agricultura y Alimentación. El FEGA tiene como misión principal hacer que los fondos de la PAC asignados a España (Fondo Europeo Agrícola de Garantía Agraria (FEAGA) y Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER)), se apliquen estrictamente a lograr los objetivos de esta política, llegando de manera eficaz a los beneficiarios que cumplen con los requisitos establecidos para su concesión, dentro de los plazos previstos en la normativa reguladora, fomentando una aplicación homogénea de las ayudas de la PAC en todo el territorio del Estado, evitando el fraude y minimizando los riesgos de correcciones financieras derivados de una gestión incorrecta de dichos Fondos (FEGA, 2021).

Para conseguir un correcto entendimiento y aplicación del sistema de condicionalidad por parte de los agricultores, el FEGA elaboró en 2015 manuales específicos de cumplimiento de la condicionalidad para aquellos cultivos más representativos del ámbito nacional como son el almendro, cítrico, cultivos herbáceos, manzano, melocotonero, olivar, pastos permanentes, uva de mesa y viñedos. En relación con el cultivo objeto de la presente tesis doctoral, el FEGA redactó un manual en el que contempla normas concretas destinadas al control de la erosión (ver ANEXO GENERAL: B) “Cuadro de relación labores-medidas para el cumplimiento de la condicionalidad”) entre las que destacan:

- ✓ *“No se permite realizar labores con volteo en la dirección de la máxima pendiente en recintos con pendientes superiores al 15% salvo que se disponga de autorización”*
- ✓ *“Mantener una cubierta vegetal de anchura mínima de 1 m en las calles transversales a la línea de máxima pendiente, en el caso de olivar con pendiente igual o superior al 10%, en el que se mantenga el suelo desnudo en los ruedos de los olivos mediante la aplicación de herbicidas. En caso de no poder establecerse de manera transversal debido al sistema de riego o el diseño de la parcela, se colocará paralelamente a la línea de máxima pendiente.”*
- ✓ *“En el momento de diseñar la plantación y establecer el marco, se deberán disponer las filas de plantones de forma que se minimice la erosión del terreno. Una forma de llevarlo a cabo es diseñarlas de manera que las labores puedan realizarse siguiendo las curvas de nivel”*.
- ✓ *“Es obligatorio mantener en buen estado los elementos estructurales y no alterarlos, excepto con autorización y, en el caso de las terrazas de retención,*

deben evitarse los aterramientos, derrumbamientos y la aparición de cárcavas”

- ✓ *“Evitar la creación de caminos o accesos específicos para el laboreo, susceptibles de introducir variaciones en la escorrentía y de producir erosión hídrica del suelo, salvo autorización”.*

Fuente: Manual de cumplimiento de la condicionalidad olivar. FEAGA. (MCC, 2015)

Este organismo también recoge los mecanismos de control en el “*Plan nacional de controles de condicionalidad*”, y para Andalucía en el denominado “*Plan Andaluz de controles de condicionalidad*”. Ambos planes (derivados del reglamento de condicionalidad) anuncian “*controles administrativos*” y “*controles sobre el terreno*” como herramientas de cumplimiento, indicando que los primeros podrán sustituir a los segundos, cuando éstos garanticen que su eficiencia es equivalente a la de las comprobaciones sobre el terreno. Hasta la fecha, los controles sobre el terreno son aleatorios y realizados tan sólo al 1% del número total de beneficiarios a través de un muestreo (PNCC, 2021 y PACC, 2015). En ellos, técnicos especializados se desplazan, previo aviso, a las explotaciones para la verificación del cultivo y revisión del cuaderno de explotación sin reparar en la existencia/efectividad de las medidas aplicadas frente a la erosión.

Al nivel autonómico, con el objeto de adaptar la normativa comunitaria y nacional a las particularidades del territorio andaluz, se publica la Orden de 12 de junio de 2015 (orden reguladora), por la que se establecen las normas de la condicionalidad que deben cumplir las personas beneficiarias que reciban pagos directos, determinadas primas anuales de desarrollo rural, o pagos en virtud de determinados programas de apoyo al sector vitivinícola. En el artículo 3 de la Orden reguladora, se indica que la Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera (DGPAG) asumirá el desarrollo de las medidas necesarias para el cumplimiento de la Condicionalidad, la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA) realizarán los controles sobre el terreno necesarios para comprobar el cumplimiento de los requisitos y las normas de la Condicionalidad en el ámbito agrícola (salvo los controles sobre las explotaciones adscritas a las entidades instrumentales de la Conserjería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, que serán realizados la DGPAG) y ganadero. Los controles en el ámbito ganadero a realizar desde las Oficinas Comarcales Agrarias (OCAS), serán coordinadas por las Delegaciones Territoriales de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente (DDTT) (PACC, 2015).

Debido a la importancia que el olivo tiene en la región andaluza, la Junta de Andalucía ha ido elaborando también documentos, leyes y manuales relacionados con el cultivo, como: *El olivar Andaluz* (OA, 2003), la *Ley del olivar* (LO, 2011), *Producción Integrada de Olivar* (PIO, 2011), *Olivar ecológico* (OE, 2011) y el *Plan director del Olivar Andaluz* (PDOA, 2014). En los tres primeros, se valora el impacto y la importancia que la erosión tiene en las explotaciones de olivar, mostrando claramente la necesidad de adoptar medidas destinadas a la conservación, mejora y protección del suelo. De carácter obligatorio, prohibitivo o recomendado, establecen normas derivadas del Manual de cumplimiento de la Condicionalidad para el olivar (MCCO, 2015). Entre ellas destacan las limitaciones al laboreo y el buen manejo de las cubiertas vegetales con el fin de configurar sistemas agrarios más respetuosos con el medio ambiente. No obstante,

tampoco se recogen, en ninguno de los documentos, mecanismos claros para el control del cumplimiento de dichas normas.

A pesar de ser España el segundo país que más se beneficia de la PAC recibiendo el 12,1% del total del presupuesto, sólo superado por Francia (16,9%) (Reglamento (UE) n.º 1306/2013 y Reglamento (UE, Euratom) n.º 1311/2013 (DO L 347 de 20. 12. 2013), las insuficiencias metodológicas que presenta su procedimiento administrativo de adaptación y control de la Condicionalidad son patentes. Mientras que la normativa a cumplir se muestra clara y concisa, los mecanismos empleados para su control y aplicación no lo son tanto. Es obvio que la carencia de herramientas específicas que controlen y valoren los factores de erodabilidad relacionados con el suelo impide la realización de un control efectivo del estado erosivo del suelo y de la aptitud de las medidas aplicadas. Lo que, a su vez, imposibilita el control efectivo de la Condicionalidad, y su adaptación a cada una de las regiones que componen los estados miembros.

Por todo lo anterior, el método apropiado debería tener la capacidad de:

- proporcionar información remota de utilidad relacionada con la erosión hídrica, conservación del suelo en explotaciones de olivar para definir medidas de BCAM plenamente adaptadas a cada región,
- controlar periódicamente tanto a nivel de parcela agraria, como a gran escala, los factores de erodabilidad más dinámicos e importantes (cubierta vegetal y laboreo), para evaluar el estado erosivo del suelo, identificar de manera ágil y sencilla las zonas más propensas a ser afectadas por erosión,
- mejorar los actuales procedimientos de control empleados por los organismos competentes en el cumplimiento de la Condicionalidad (PAC) para alcanzar una gestión ambiental sostenible de las explotaciones agrícolas.

1.3 La teledetección como herramienta para un desarrollo agrícola sostenible.

La actual preocupación por la destrucción de los ecosistemas y la constante amenaza del calentamiento global, ha hecho que el sector agrícola haya dejado de centrarse exclusivamente en la producción de alimentos a cualquier coste para apostar, cada vez más, por la producción sostenible. A la luz de este desafiante contexto para la agricultura, es necesaria la optimización de las prácticas de manejo de una manera más sostenible (Areal et al., 2018). Abordar este gran desafío adaptativo no es tarea fácil, sin embargo, la teledetección muestra grandes aptitudes para afrontar problemas de sostenibilidad (Avtar et al., 2020). En la bibliografía existente se muestra el dilatado papel que la teledetección ha tenido en el desarrollo sostenible, desde la evaluación ambiental (Avtar et al., 2013; Holloway y Mengersen, 2018; Avtar et al., 2020) hasta los peligros naturales (Dudhani et al., 2006).

La teledetección es la técnica de adquisición de información sobre un objeto o fenómeno a distancia mediante el empleo de sensores y plataformas. Los primeros miden la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objetivo, y los segundos se emplean como elementos portantes de los primeros. El tipo de información resultante dependerá

tanto de las propiedades específicas del sensor: RGB, multiespectral, hiperespectral, LiDAR, térmico; como de la plataforma: satélite, avión, vehículo aéreo no tripulado (UAV) o vehículo terrestre no tripulado (UGV). Además, de otros factores indirectos como la iluminación y las condiciones atmosféricas existentes durante la adquisición de los datos. El resultado se define por sus capacidades espectrales, direccionales y de polarización, resolución espacial y frecuencias de revisión, así como la relación señal-ruido. En el campo de la agricultura, la información de interés consiste en conocer las características de los sistemas agrícolas, y especialmente de su dinamismo.

El potencial de las técnicas de detección remotas en la agricultura se ha venido demostrando desde la década de 1980, siendo utilizada para una gran variedad de aplicaciones en todo el mundo (Mulla, 2013; Defourny et al., 2019), entre las que se encuentra la mejora de la eficiencia agrícola (Ozdogan et al., 2010; Weiss et al., 2020). En la última década, el uso operativo de datos de teledetección se ha intensificado debido al fuerte aumento de los desarrollos tecnológicos en los sistemas de captura (satélites, UAV, UGV o sensores), almacenamiento y procesamiento de datos. Estas mejoras de la técnica han ampliado el horizonte de posibilidades en el monitoreo de la agricultura desde la teledetección (predicción de rendimiento, riego, detección de malezas). De este modo, la detección remota se ha consolidado como una herramienta cada vez más asequible para la ciencia, lo que hace que su explotación sea más confiable y rentable (Wolfert et al., 2017). Esto ha dado lugar a un creciente número de literatura publicada en la que se muestra que la teledetección para la agricultura ha alcanzado un cierto nivel de conocimiento, y que el interés en las aplicaciones agrícolas está creciendo exponencialmente, especialmente desde 2013 (Weiss et al., 2020).

Hoy en día, las nuevas técnicas de teledetección permiten analizar al detalle la superficie terrestre mostrando probadas capacidades para realizar una correcta evaluación de las prácticas de manejo de cultivos (Hunt y Daughtry, 2018) y condiciones del mismo; estado hídrico (Bellvert et al., 2014) y necesidades de riego (Calera et al., 2017); etapas fenológicas; detección de malezas, enfermedades (Mahlein, 2015) o nutrientes (Colombo et al., 2003b; Gitelson, 2004; Baret et al., 2007; López-Granados, 2011). También de las características específicas del contexto geomorfológico donde se encuentra (Matsushita et al., 2007) y de las propiedades del suelo (Ge et al., 2011). Todo ello consolida su utilidad como herramienta de soporte para la toma de decisiones (Mondal y Basu, 2009), ayudando a optimizar los flujos de trabajo y a minimizar el trabajo manual en las aplicaciones agrícolas (Kragh et al., 2017).

No obstante, la estimación de las características de los campos de cultivo a nivel de parcelas a partir de la teledetección no es una tarea sencilla. En ocasiones, su utilidad se encuentra limitada por las capacidades del sensor y de la plataforma de obtención que, de no ser adecuados, pueden generar datos que no aseguren la obtención de buenos resultados (Baret y Buis, 2008; Wang, 2015; Jacob et al., 2017). El problema se agrava cuando, en determinados escenarios, se mezcla la información espectral del suelo, malas hierbas y cultivo (Lamb y Brown, 2001; Sánchez et al., 2001). La clave de esta cuestión radica en que la resolución espacial debe estar de acuerdo con el tamaño del campo de cultivo (especialmente cuando se consideran fincas pequeñas) y ser siempre menor que el tamaño o patrón de cultivo/maleza (López-Granados, 2011) o elemento en cuestión que vayamos a analizar remotamente. La solución a dichas limitaciones ha venido, en parte,

de la mano de la propia técnica mediante las plataformas de teledetección a baja altura que, junto con técnicas de clasificación de imagen entre las que se encuentran los índices de vegetación (VI) y el análisis de imágenes basado en objeto (OBIA), ha proporcionado un mejor acercamiento a niveles de pequeñas explotaciones agrícolas.

El uso de los VI para el análisis de las coberturas vegetales se ha extendido y configurado como una técnica de clasificación más precisa que las tradicionales (supervisada / no supervisada), ya que tiene la ventaja de mantener información espectral detallada y la imagen con toda su nitidez. Los VI se derivan de operaciones aritméticas realizadas con información espectral de la radiación reflejada por la vegetación en diferentes longitudes de onda (Broge y Leblanc, 2001). Especialmente se usan aquellos que utilizan las bandas R (banda roja) y NIR (infrarrojo cercano) (Fang y Liang, 2008), debido a que la relación entre ellas es básica actuando como prueba para controlar el vigor de la vegetación. Los principios básicos son ampliamente conocidos. La vegetación vigorosa, en el espectro visible, entre 400 y 700 nm (rojo) aparece en color oscuro debido a la alta absorción de los pigmentos de sus hojas (principalmente clorofila), con un pequeño aumento de la reflectancia alrededor de 550 nm (verde), en contraste con su alta reflectancia entre 700 y 1300 nm (infrarrojo cercano). La utilidad de los VI es variada, permitiendo evaluar las características biofísicas del dosel vegetal, como el índice de área foliar, la biomasa y las actividades fisiológicas (Baret y Guyot, 1991; Richardson et al., 1992), clasificar los tipos de cobertura vegetal (Song et al., 2017), y determinar la proporción de cada tipo de cobertura con respecto al área total estudiada (Xiao y Moody, 2005; Barati et al., 2011; Torres-Sánchez et al., 2014; Yun et al., 2016).

No obstante, en determinadas ocasiones, los escenarios agrícolas son tan complejos, que la información espectral de ultra alta resolución (UHR) no es suficiente para alcanzar una clasificación o análisis óptimo. Por lo que se recurre a otros métodos como el antes enunciado OBIA, que integran en su análisis tanto las características espectrales como las morfológicas, contextuales y jerárquicas de los objetos segmentados. OBIA supera algunas de las limitaciones de los métodos basados en píxeles segmentando las imágenes en grupos de píxeles adyacentes con valores espectrales homogéneos y luego utilizando estos grupos, llamados “objetos”, como elementos básicos de su análisis de clasificación (Blaschke et al., 2014; Jiménez-Brenes et al., 2017; De Castro et al., 2019). Por ejemplo, Yu et al. (2006) crearon un inventario de vegetación completo para un área de estudio en el norte de California y pudieron demostrar empíricamente que el enfoque OBIA superó el problema de los *efectos de sal y pimienta*¹ encontrados en los resultados de clasificación de los enfoques tradicionales por píxel. Además, permite semi-automatizar el proceso de clasificación lo que mejora la eficiencia del mismo y ahorra tiempo (Hussain et al., 2013; Blaschke et al., 2014; Novelli et al., 2016).

El procedimiento de análisis OBIA se basa en conceptos de segmentación, detección de bordes, extracción de características y clasificación utilizado en el análisis de imágenes

¹ Efecto que se produce en imágenes cuando la señal es afectada por intensas y repentinas perturbaciones o impulsos. Se caracteriza por cubrir de forma dispersa toda la imagen con una serie de píxeles blancos y negros (Rosin y Collomosse, 2012).

de teledetección durante décadas (Kettig y Landgrebe, 1976; Strahler et al., 1986; Lobo et al., 1996; Baltsavias, 2004).

En agricultura, OBIA ha sido usado con éxito en imágenes satelitales para el mapeo y análisis de cultivos (Luciano et al., 2019), parches de malezas (Castillejo-González et al., 2014) prácticas de conservación en el suelo como las terrazas (Tindall et al., 2008; Drzewiecki et al., 2013), y prácticas de deterioro de suelo como los caminos rurales que se extienden en la dirección de la pendiente (Karydas et al., 2009), entre otras. La aplicación de OBIA a imágenes de muy alta resolución procedentes de UAV incrementa su potencial, respondiendo al importante desafío de automatizar el procesamiento de imágenes en agricultura (Peña et al., 2013; Castillejo-González et al., 2014; Mathews, 2014; López-Granados et al., 2016; Jiménez-Brenes et al., 2017; Souza et al., 2017; De Castro et al., 2018).

OBIA también se está aplicando a fuentes no basadas en imágenes (sensores activos) como las nubes de puntos LiDAR con el objetivo de detectar edificios (Tomljenovic et al., 2016) o inventariar bosques (Weinacker et al., 2004).

A este potencial, se une la llegada de la computación en la nube (Gorelick et al., 2017), que facilita la explotación de los datos de teledetección y permite un cambio de paradigma en el mapeo de cultivos en grandes extensiones geográficas (Azzari y Lobell, 2017). Junto a ello, estas técnicas remotas generadoras de grandes volúmenes de información pueden ser aprovechadas para que los formuladores de políticas y los tomadores de decisiones locales y regionales tengan información espacial actualizada sobre cómo evolucionan el agroecosistema (Weiss et al., 2020) tanto a pequeña, como a gran escala, en función de las necesidades, y con mayor o menor detalle en función de la tecnología aplicada.

Capítulo 2: Finalidad y objetivos de la Tesis Doctoral

La finalidad fundamental de esta tesis es la aplicación y desarrollo de técnicas de detección remota que proporcionen información de utilidad relacionada con la erosión hídrica y conservación del suelo en explotaciones de olivar. El cumplimiento de este objetivo está, a su vez, orientado, a mejorar los actuales procedimientos de control empleados por los organismos competentes en el cumplimiento de la Condicionalidad (PAC) para alcanzar una gestión ambiental sostenible de las explotaciones agrícolas.

Para ello, se marcan los siguientes objetivos:

2.1 Objetivo general

OG: desarrollar y aplicar técnicas remotas como herramientas con la que los estados miembros puedan adaptar, gestionar y controlar, a escala de parcela, las BCAM impuestas por la PAC relacionadas con la protección del suelo.

2.2 Objetivos particulares y específicos

OP1: valorar la posibilidad de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea*) en áreas de montaña del sur de España.

- ✓ **OE1:** determinar cuál de los sistemas de explotación empleados es el más efectivo para reducir la erosión del suelo del olivar.
- ✓ **OE2:** identificar los factores de erosión que afectan al suelo del olivar.
- ✓ **OE3:** definir las BCAM adaptadas a las características específicas de la región.
- ✓ **OE4:** determinar si el método de campo de análisis de la erosión hídrica del suelo (Blanco, 2018) que hemos desarrollado y aplicado en otros contextos geográficos (Blanco y Aguilar, 2015, 2016; Blanco et al., 2018; Blanco et al., 2021a, 2021b) es apropiado para valorar la capacidad potencial de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea L.*) en áreas de montaña.

OP2: relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la capacidad agrológica de las tierras y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos, como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad.

- ✓ **OE5:** determinar el proceso de cambio experimentado por el cultivo del olivar entre 1940 y 1972 en el ámbito espacial de la montaña mediterránea andaluza, bajo la hipótesis de que se trata de una evolución desde un contexto socioeconómico correspondiente a la economía orgánica (Wrigley, 1988) a uno vinculado a la economía industrial.
- ✓ **OE6:** considerar si los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica pueden ser de utilidad como propuestas de gestión actual del olivar de montaña adaptadas al sistema de condicionalidad.

OP3: analizar la capacidad de los índices de vegetación junto con la tecnología UAV para cuantificar la densidad de cubierta vegetal existente en el suelo del olivar.

- ✓ **OE7:** mejorar el conocimiento científico sobre la respuesta mostrada por los VI a las diferentes densidades de cubierta vegetal del suelo en olivar.
- ✓ **OE8:** demostrar la capacidad de cuantificar de forma remota la densidad de cubierta vegetal del suelo en olivares con cobertura heterogénea.
- ✓ **OE9:** cartografiar las densidades de cubierta vegetal existente en el suelo del olivar a nivel de parcela, como una medida para el control del riesgo de erosión.
- ✓ **OE10:** contribuir a la provisión de herramientas de control y seguimiento que permitan a los beneficiarios de la PAC cumplir los requisitos de Condicionalidad en términos de cobertura mínima del suelo.
- ✓ **OE11:** conocer la temporalidad de las operaciones realizadas en el suelo del olivar de montaña, para adecuarlas a las condiciones de precipitación, y evitar la existencia de suelos desnudos en los períodos de lluvias más intensas.

OP4: evaluar, con precisión y bajo costo de computación, las características de la labranza mediante teledetección en parcelas cultivadas.

- ✓ **OE12:** analizar mediante teledetección los campos agrícolas arados, identificando y mapeando las marcas de labranza, y calculando automáticamente la dirección principal del laboreo a partir de los surcos de labor.
- ✓ **OE13:** validar la calidad del procedimiento en diferentes escenarios. Evaluando la precisión según el sensor utilizado (luz visible *vs.* multiespectral), el tono del suelo de fondo y la densidad de la vegetación del suelo.
- ✓ **OE14:** cartografiar las áreas de labranza de contorno y de las áreas de labranza sin contorno como una medida del riesgo de erosión de la labranza.

- ✓ **OE15:** contribuir a la provisión de herramientas de control y seguimiento que permitan a los beneficiarios de la PAC cumplir los requisitos de condicionalidad en términos de gestión adecuada del laboreo.

2.3 Objetivos metodológicos.

OM1: consolidación de un método remoto basado en sensores RGB y multiespectral unidos a tecnología UAV para analizar y cuantificar la cubierta vegetal, y el laboreo de suelo en olivares.

OM2: identificar, de entre los VI existentes y aplicados hasta la fecha, cuáles son los más sensibles para el monitoreo y cuantificación de la densidad de la cubierta vegetal del suelo en olivares, determinando los más precisos en cada escenario de densidad de cubierta vegetal de suelo.

OM3: desarrollo de un procedimiento remoto para el estudio de campos agrícolas arados basado en tecnología OBIA-UAV.

Capítulo 3: Presentación de la investigación y unidad temática del compendio.

Según se ha anunciado previamente, la precaria situación ambiental que presenta el olivar de media montaña, y la falta de mecanismos adecuados que permitan el control y seguimiento de las BCAM impuestas por la PAC relacionadas con el suelo y la reserva de carbono, son los cimientos a partir de los cuales se desarrolla la presente investigación. Como se deduce de lo expuesto en el apartado 1.3., el procedimiento por el que se ha optado como respuesta a dicha situación de déficit metodológico es el de la teledetección, ya que la detección remota proporciona herramientas muy adecuadas y precisas para el análisis de la superficie terrestre tanto a pequeña como a gran escala. Su capacidad de observación de la tierra en cualquier momento y situación, junto con la agilidad y automatismo que adquiere el proceso, una vez consolidado, la afianzan como la tecnología con mayor aptitud para afrontar la problemática propuesta.

Esta tesis doctoral se centra en la consolidación de herramientas de detección remota que contribuyan al uso agrario eficiente del recurso suelo, lo que permitirá seguir avanzando hacia un modelo de desarrollo agrícola sostenible. Para lograr con éxito dicho cometido, éste ha sido abordado mediante la siguiente secuencia de fases que cohesionan ordenadamente la estructura del trabajo. Cada una de ellas muestra los interrogantes de partida a los que se han ido dando respuestas con el desarrollo de la investigación:

Fase 1 (F1):

- *¿Cuál de los sistemas de explotación empleados en los olivares de montaña es el más efectivo para reducir la erosión hídrica del suelo? y ¿Cuáles son los factores erosivos responsables de esas pérdidas de suelo?*. Las respuestas a estas cuestiones se recogen en **Lima Cueto, F. J.; Blanco Sepúlveda, R.; Gómez Moreno, M. L. (2018). “Soil erosion and environmental regulations in the european agrarian policy for olive groves (*Olea europea*) of southern Spain”. *Agrociencia*, 52: 293-308. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1670/1670>. En este artículo se pone de manifiesto la efectividad del sistema de cultivo ecológico sin labor para reducir la erosión. Y se muestra como el laboreo o su ausencia y la cubierta vegetal fueron los factores de erodabilidad estadísticamente más significativos.**

Ante las aseveraciones mostradas en trabajos como Gómez et al. (2014) sobre la expansión de la mecanización en el olivar a fines de la década de 1950, que trajo consigo la propagación del laboreo irracional en áreas de altas pendientes (Beniston et al., 2015a) y el claro reflejo de sostenibilidad que, para autores como Parra (1988), Guzmán et al. (2000) y García (2006), mostraban el olivar tradicional durante la economía orgánica, se planteó: a) determinar el proceso de transición al que había asistido el cultivo en la montaña mediterránea andaluza, con especial atención a la evolución en el manejo del suelo y, b) partir de la hipótesis de que la gestión agraria de la fase orgánica del olivar

podiera aplicarse como un instrumento apropiado para la gestión de la explotación actual. Esto dio lugar a la siguiente fase.

Fase 2 (F2):

- *¿Cuándo se produjo la transición del cultivo entre 1940 y 1972 en el ámbito espacial de la montaña mediterránea andaluza? y ¿Los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica pueden ser de utilidad para la propuesta de formas de gestión del olivar de montaña adaptadas al sistema de condicionalidad?.* Las repuestas a estas cuestiones se muestran en **Lima Cueto, F. J.**; Gómez Moreno, M. L.; Blanco Sepúlveda, R. (2017). “*El olivar de montaña y la conservación del suelo en la transición de la economía orgánica a la industrial: el caso de Sierra de las Nieves (Málaga), 1940-1975*”. *AGER. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*. DOI: 10.4422/ager.2017.05. Los resultados de este artículo muestran la continuidad de las prácticas correspondientes a la economía orgánica hasta principios de los años sesenta, cuando se incorporan procedimientos propios de la economía industrial, y la baja adaptación de las mismas a las medidas de condicionalidad, demostrando la excepción del caso de la montaña mediterránea respecto al patrón general del olivar ya expresado en el punto 1.1.
- *¿Cuál ha sido el patrón de ajuste del olivar a la capacidad agrológica del área de estudio desde 1956 a 2007?, ¿Qué papel han tenido los cambios socio-económicos como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores, en dicho ajuste? y ¿Ha sido la capacidad agrológica un factor determinante?.* Las respuestas han sido recogidas en **Lima Cueto, F. J.**; Gómez Moreno, M. L.; Blanco Sepúlveda, R. (2021). “*Evolución del ajuste entre patrón de localización del olivar y capacidad agrológica en la montaña mediterránea andaluza (1956-2007). El caso de Sierra de las Nieves: respuestas locales a factores globales*” (Aceptado para su publicación en Cuadernos Geográficos). En el citado trabajo se muestran dos patrones de ajuste. Uno entre 1956 y 1977 con una ampliación del olivar limitada y acorde con la capacidad agrológica (CA), extendiéndose en tierras antes ocupadas por cultivos herbáceos, y otro entre 1977 y 2007, donde la expansión del olivar se produce principalmente sobre tierras de menor aptitud. Los resultados reflejan la adaptación del campesinado a los distintos contextos, pasando de anteponer el estatus a la rentabilidad, a primar la rentabilidad derivada de la subvención, no siendo la CA un factor determinante.

En paralelo a la fase anterior (2), una vez identificados los factores de erodabilidad (fase 1), el siguiente paso fue determinar:

Fase 3 (F3):

- *¿Qué fuentes de información remota y mecanismos metodológicos de los que dispone la ciencia actual pueden ser de utilidad para el estudio de la superficie del suelo (cubierta vegetal & laboreo) y la configuración de una herramienta de análisis, control y seguimiento de las BCAM relacionadas con el suelo?.* Acorde con los factores de erosión derivados de la fase 1, dos fueron los artículos que dieron respuesta a dicha cuestión. El primero de ellos se centró en el análisis de la cobertura vegetal: **Lima-Cueto, F. J.; Blanco-Sepúlveda, R.; Gómez-Moreno, M. L. y Galacho-Jiménez, F. B. (2019).** “*Using Vegetation Indices and a UAV Imaging Platform to Quantify the Density of Vegetation Ground Cover in Olive Groves (Olea Europaea L.) in Southern Spain*”. *Remote Sens.* 11, 2564. DOI: 10.3390/rs11212564. En él se muestra la capacidad de los índices de vegetación junto con la tecnología UAV para el cálculo preciso de la densidad de cubierta vegetal que crece de manera espontánea en el suelo del olivar. El segundo, “*Mapping tillage direction and contour farming by object-based analysis of UAV images*”. *Computers and electronics in Agriculture*, 187, 2021, 106281. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106281>, se centró en el siguiente factor de erodabilidad, el laboreo. Muestra la capacidad de la tecnología UAV, junto con el procesamiento de Imágenes Basado en Objetos (OBIA) para crear un procedimiento automático (*OBIA4tillage*) que permita el conocimiento remoto de las características críticas de la labranza, como son la dirección y el laboreo de contorno.

BIBLIOGRAFIA BLOQUE I:

- Angers, D.A., Caron, J., 1998. Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks, in: Van Breemen, N. (Ed.), *Plant-Induced Soil Changes: Processes and Feedbacks*, *Desarrollos En Biogeoquímica*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 55–72. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2691-7_3.
- Areal, F.J., Jones, P.J., Mortimer, S.R., Wilson, P., 2018. Measuring sustainable intensification: Combining composite indicators and efficiency analysis to account for positive externalities in cereal production. *Land Use Policy* 75, 314–326. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.001>.
- Avtar, R., Komolafe, A.A., Kouser, A., Singh, D., Yunus, A.P., Dou, J., Kumar, P., Gupta, R.D., Johnson, B.A., Thu Minh, H.V., Aggarwal, A.K., Kurniawan, T.A., 2020. Assessing sustainable development prospects through remote sensing: A review. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 20, 100402. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100402>.
- Avtar, R., Kumar, P., Singh, C.K., Sahu, N., Verma, R.L., Thakur, J.K., Mukherjee, S., 2013. Hydrogeochemical Assessment of Ground water Quality of Bundelkhand, India Using Statistical Approach. *Water Qual. Expo. Health* 5, 105–115. <https://doi.org/10.1007/s12403-013-0094-2>.
- Ayoub, A.T., Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G., UNEP, Centre, I.S.R. and I., 1991. World map of the status of human-induced soil degradation.
- Azzari, G., Lobell, D.B., 2017. Landsat-based classification in the cloud: An opportunity for a paradigm shift in land cover monitoring. *Remote Sens. Environ., Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences* 202, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.025>.
- Baltsavias, E.P., 2004. Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens., Integration of Geodata and Imagery for Automated Refinement and Update of Spatial Data bases* 58, 129–151. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2003.09.002>.
- Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 14, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.06.001>.
- Baret, F., Buis, S., 2008. Estimating Canopy Characteristics from Remote Sensing Observations: Review of Methods and Associated Problems, in: Liang, S. (Ed.), *Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 173–201. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6450-0_7.

- Baret, F., Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.* 35, 161–173. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90009-U).
- Baret, F., Houlès, V., Guérif, M., 2007. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. *J. Exp. Bot.* 58, 869–880. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl231>.
- Bearden, B.N., Petersen, L., 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungion soil structure and agregat estability of a vertisol. *Plant Soil* 218, 173–183. <https://doi.org/10.1023/A:1014923911324>.
- Beaufoy, G., 2001. El impacto medioambiental de la producción de aceite de oliva en la Unión Europea: opciones prácticas para mejorar el impacto medioambiental, Foro Europeo de Conservación de la Naturaleza y Pastoralismo; Asociación para el Análisis y Reforma de la Política Agrorural, Peterborough, Reino Unido.
- Beaufoy, G., 2002. Beaufoy. The environmental impact of the olive oil production in the European union: Practical options for improving the environmental impact <http://www.ec.europa.eu/environment/agriculture/pdf/oliveoil.pdf>, Accessed 11th Mar 2019.
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P.J., Girona, J., Fereres, E., 2014. Mapping crop water stress index in a ‘Pinot-noir’ vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precis. Agric.* 15, 361–376. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9334-5>.
- Beniston, J.W., Shipitalo, M.J., Lal, R., Dayton, E.A., Hopkins, D.W., Jones, F., Joynes, A., Dungait, J. a. J., 2015a. Carbon and macronutrient losses during accelerated erosion under different tillage and residue management. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 218–225. <https://doi.org/10.1111/ejss.12205>.
- Berbel Vecino, J. y Giannocaró, G., 2013. "Economía de los olivares en Andalucía. En VV. AA.: Andalucía. *El olivar*. Sevilla. Grupo de Estudios Avanzados sobre Territorio y Medio Ambiente. Págs. 133-146.
- Blanco, R., 2018. An erosion control and soil conservation method for agrarian uses based on determining the erosion threshold. *MethodsX* 5, 761–772. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.07.007>.
- Blanco, R., Enríquez, F. 2018. Erosion Control in the Sustainable Cultivation of Maize (*Zea mays* L.) and Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at Two Stages of the Agricultural Cycle in Southern Guatemala. *Sustainability*, 10, 4654. DOI: [10.3390/su10124654](https://doi.org/10.3390/su10124654).
- Blanco, R., Aguilar, A., y Lima, F., 2021a. Impact of weed control by hand tools on soil erosion under a no-tillage system cultivation. *Agronomy*, 2021, 11, 974. DOI: [10.3390/agronomy11050974](https://doi.org/10.3390/agronomy11050974).

- Blanco, R., Enríquez, F., Lima, F., 2021b. Effectiveness of conservation agriculture (tillage vs. vegetal soil cover) to reduce water erosion in maize cultivation (*Zea mays* L.): An experimental study in the sub-humid uplands of Guatemala. *Geoderma*, 404, 115336, 1-11. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115336.
- Blaschke, T., Hay, G.J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Queiroz Feitosa, R., van derMeer, F., van derWerff, H., van Coillie, F., Tiede, D., 2014. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 87, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>.
- Bombino, G., Denisi, P., Gómez, J.A., Zema, D.A., 2019. Water Infiltration and Surface Runoff in Steep Clayey Soils of Olive Groves under Different Management Practices. *Water* 11, 240. <https://doi.org/10.3390/w11020240>.
- Bombino, G., Denisi, P., Gómez, J.A., Zema, D.A., 2021. Mulching as best management practice to reduce Surface runoff and erosion in steep clayey olive groves. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 9, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.002>.
- Broge, N.H., Leblanc, E., 2001. Comparing prediction power and stability of broad band and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sens. Environ.* 76, 156–172. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8).
- Brussaard, L., Kuyper, T., Didden, W.A.M., Goede, R. G. M., G., Bloem, J., 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity - Importance and resilience to management stress and disturbance, in: *Managing Soil Quality; Challenges in Modern Agriculture*. pp. 139–161.
- Calera, A., Campos, I., Osann, A., D’Urso, G., Menenti, M., 2017. Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users. *Sensors* 17, 1104. <https://doi.org/10.3390/s17051104>.
- Carpena, R., Moya, F., Mellado, I., Colomo, C., Bédmar, P., Gil, D., Calero, J., Pérez, A., Fernández, T., Sánchez, M., Tovar, J., 2017. Análisis de riesgos asociados a las infraestructuras viarias de la Diputación Provincial de Jaén, IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Santander, pp. 335-346.
- Castillejo-González, I.L., Peña-Barragán, J.M., Jurado-Expósito, M., Mesas-Carrascosa, F.J., López-Granados, F., 2014. Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wild oat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBird imagery for site-specific management. *Eur. J. Agron.* 59, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.009>.
- CE, 2006. EC Communication from the commission to the council, the European parliament, the European economic and social committee of the regions Thematic Strategy for Soil Protection, (COM (2006) 231 final) (2006).

- Chen, J., Li, Z., Xiao, H., Ning, K., Tang, C., 2021. Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review. *J. Environ. Manage.* 282, 111924. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111924>.
- Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D., Marino, C.M., 2003b. Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sens. Environ.* 86, 120–131. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00094-4).
- Colombo, S., Calatrava-Requena, J., Hanley, N., 2003a. The economic benefits of soil erosion control: An application of the contingent valuation method in the Alto Genil basin of southern Spain. *J. Soil Water Conserv.* 6, 367–373.
- Correia, C.M., Brito, C., Sampaio, A., Dias, A.A., Bacelar, E., Gonçalves, B., Ferreira, H., Moutinho-Pereira, J., Rodrigues, M.A., 2015. Leguminous Cover Crops Improve the Profitability and the Sustainability of Rainfed Olive (*Olea europaea* L.) Orchards: From Soil Biology to Physiology of Yield Determination. *Procedia Environ. Sci., Agriculture and Climate Change – Adapting Crops to Increased Uncertainty (AGRI 2015)* 29, 282–283. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.213>.
- Crosson, P., 1997. Will erosion threaten agricultural productivity? *Environment*, 39 (8), págs. 4 – 12.
- De Castro, A.I., Rallo, P., Suárez, M.P., Torres-Sánchez, J., Casanova, L., Jiménez-Brenes, F.M., Morales-Sillero, A., Jiménez, M.R., López-Granados, F., 2019. High-Throughput System for the Early Quantification of Major Architectural Traits in Olive Breeding Trials Using UAV Images and OBIA Techniques. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01472>.
- De Castro, A.I., Torres-Sánchez, J., Peña, J.M., Jiménez-Brenes, F.M., Csillik, O., López-Granados, F., 2018. An Automatic Random Forest-OBIA Algorithm for Early Weed Mapping between and within Crop Rows Using UAV Imagery. *Remote Sens.* 10, 285. <https://doi.org/10.3390/rs10020285>.
- De la Rosa, D., Diaz-Pereira, E., Mayol, F., Czyz, E.A., Dexter, A.R., Dumitru, E., Enache, R., Fleige, H., Horn, R., Rajkay, K., Simota, C., 2005. SIDASS project: Part 2. Soil erosion as a function of soil type and agricultural management in a Sevilla olive area, southern Spain. *Soil Tillage Res.* 82, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.01.004>.
- Defourny, P., Bontemps, S., Bellemans, N., Cara, C., Dedieu, G., Guzzonato, E., Hagolle, O., Inglada, J., Nicola, L., Rabaute, T., Savinaud, M., Udriou, C., Valero, S., Bégué, A., Dejoux, J.-F., El Harti, A., Ezzahar, J., Kussul, N., Labbassi, K., Lebourgeois, V., Miao, Z., Newby, T., Nyamugama, A., Salh, N., Shelestov, A., Simonneaux, V., Traore, P.S., Traore, S.S., Koetz, B., 2019. Near real-time agriculture monitoring at national scale at parcel resolution: Performance assessment of the Sen2-Agri automated system in

- various cropping systems around the world. *Remote Sens. Environ.* 221, 551–568. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.007>.
- Degens, B.P., 1997. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Soil Res.* 35, 431–460. <https://doi.org/10.1071/s96016>.
- Drzewiecki, W., Wężyk, P., Pierzchalski, M., Szafrńska, B., 2013. Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure Appl. Geophys.* 171, 867–895. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0669-7>.
- Dudhani, S., Sinha, A.K., Inamdar, S.S., 2006. Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India. *Energy Policy* 34, 3195–3205. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.011>.
- Durán Zuazo, V.H., Pleguezuelo, C.R.R., Peinado, F.J.M., de Graaff, J., Martínez, J.R.F., Flanagan, D.C., 2011. Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of terraces: Implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff. *CATENA* 84, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.10.004>.
- Eswaran, H., 2001. *Land degradation: An overview*. CRC Press.
- Fang, H., Liang, S., 2008. Leaf Area Index Models, in: Jørgensen, S.E., Fath, B.D. (Eds.), *Encyclopedia of Ecology*. Academic Press, Oxford, pp. 2139–2148. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00190-7>.
- FAO, 2017. Sustainable agricultural mechanization. I7473EN10617 - Revis. Version.
- FEGA, 2021: Misión y Visión del Fondo Español de Garantía Agraria. Accesible en: <https://www.fega.es/es/el-fega/mision-y-vision>. Último acceso: 09/04/2021.
- Fernández, T., Pérez, J.L., Cardenal, J., Gómez, J.M., Colomo, C., Delgado, J., 2016. Analysis of Landslide Evolution Affecting Olive Groves Using UAV and Photogrammetric Techniques. *Remote Sens.* 8, 837. <https://doi.org/10.3390/rs8100837>.
- Franzluebbers, A.J., 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Tillage Res., Conservation Tillage and Stratification of Soil Properties* 66, 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2).
- Gale, W.J., Cambardella, C.A., Bailey, T.B., 2000. Root-Derived Carbon and the Formation and Stabilization of Aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 201–207. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641201x>.
- García, M.D., 2006. El olivar en Andalucía y el sistema de protección de la Unión Europea [WWW Document]. URL

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362006000200008 (accessed 3.1.21).

- García-Díaz, A., Allas, R.B., Gristina, L., Cerdà, A., Pereira, P., Novara, A., 2016. Carbon input threshold for soil carbon Budget optimization in eroding vineyards. *Geoderma* 271, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.020>.
- García-Ruiz, J.M., 2010. The effects of land use on soil erosion in Spain: A review. *CATENA* 81, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>.
- García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Lana-Renault, N., Sanjuán, Y., 2015. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology* 239, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>.
- Garrido, L., 2005. *Olivar y cultura del aceite en la historia de Jaén*.
- Ge, J.A. Thomasson, R. Sui, 2011. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review. *Front. EarthSci.*, 5, pp. 229-238.
- Gerontidis, D.V.S., Kosmas, C., Detsis, B., Marathianou, M., Zafirious, T., Tsara, M., 2001. The effect of mold board plow on tillage erosion along a hillslope. *J. Soil Water Conserv.* 56, 147–152.
- Gitelson, A.A., 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. *J. Plant Physiol.* 161, 165–173. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>.
- Godwin, R.J., 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil Tillage Res.* 97, 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.010>.
- Gómez, J.A., 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current know ledge. *Hung. Geogr. Bull.* 66, 13–28. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.2>.
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S., Fereres, E., 2003. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use Manag.* 19, 127–134. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2003.tb00292.x>.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghem, T., Lora, Á., Giráldez, J.V., 2018. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 977–989. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8339-9>.
- Gómez, J.A., Infante-Amate, J., De Molina, M.G., Vanwalleghem, T., Taguas, E.V., Lorite, I., 2014. Olive Cultivation, its Impact on Soil Erosion and its Progression into Yield Impacts in Southern Spain in the Past as a Key to a Future of Increasing Climate Uncertainty. *Agriculture* 4, 170–198. <https://doi.org/10.3390/agriculture4020170>.

- Gómez, J.A., Sobrinho, T.A., Giráldez, J.V., Fereres, E., 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil Tillage Res.* 102, 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.005>.
- Gómez, M.L. 2009. “La función de la montaña en los territorios ibéricos: validez de la perspectiva unificada de la geografía”. In *La perspectiva geográfica ante los retos de la sociedad y el medio ambiente en el contexto ibérico*. eds. J. Bosque and V. M. Rodríguez, 149-179. Madrid: Universidad de Alcalá.
- González, M. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología* 5: 13-50.
- González-Sánchez, E.J., Veroz-González, O., Blanco-Roldan, G.L., Márquez-García, F., Carbonell-Bojollo, R., 2015. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil Tillage Res.* 146, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.016>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ., Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Guimarães, D.V., Silva, M.L.N., Beniaich, A., Pio, R., Gonzaga, M.I.S., Avanzi, J.C., Bispo, D.F.A., Curi, N., 2021. Dynamics and losses of soil organic matter and nutrients by water erosion in cover crop management systems in olive groves, in tropical regions. *Soil Tillage Res.* 209, 104863. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104863>.
- Guo, M., Wang, W., Kang, H., Yang, B., 2018. Changes in soil properties and erodibility of gully heads induced by vegetation restoration on the Loess Plateau, China. *J. Arid Land* 10, 712–725. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0121-z>.
- Guo, M., Wang, W., Shi, Q., Chen, T., Kang, H., Li, J., 2019. An experimental study on the effects of grass root density on gully head cut erosion in the gully region of China’s Loess Plateau. *Land Degrad. Dev.* 30, 2107–2125. <https://doi.org/10.1002/ldr.3404>.
- Guzmán Álvarez J. R., 1999. Olivicultura y ecología: la situación en España *Olivae*, 78, págs. 41 – 49.
- Guzmán, G., Molina, M., Guzmán, E., 2000. Introducción a la Agroecología como Desarrollo Rural Sostenible.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y., 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* 29, 189–217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S.E., Asdak, C., 2003. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability

- of forest management. *For. Ecol. Manag.* 180, 361–374. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00656-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00656-4).
- Heckrath, G., Halekoh, U., Djurhuus, J., Govers, G., 2006. The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes. *Soil Tillage Res.* 88, 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.06.001>.
- Holloway, J., Mengersen, K., 2018. Statistical Machine Learning Methods and Remote Sensing for Sustainable Development Goals: A Review. *Remote Sens.* 10, 1365. <https://doi.org/10.3390/rs10091365>.
- Hu, W., Shao, M., Wang, Q., Fan, J., Horton, R., 2009. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses. *Geoderma* 149, 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.016>.
- Hunt, E.R., Daughtry, C.S.T., 2018. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture? *Int. J. Remote Sens.* 39, 5345–5376. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1410300>.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 80, 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006>.
- INES, 2006. Inventario Nacional de Erosión de Suelos. Provincial de Jaén, escala 1:250.000. Min. Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 398 pp.
- Infante-Amate, J., 2012. The Ecology and History of the Mediterranean Olive Grove: The Spanish Great Expansion, 1750 - 2000. *Rural Hist.* 23, 161–184. <https://doi.org/10.1017/S0956793312000052>.
- Infante-Amate, J., Molina, M., 2013. The Socio-Ecological Transition on a Crop Scale: The Case of Olive Orchards in Southern Spain (1750–2000). *Hum. Ecol.* 41, 961–969. <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9618-4>.
- Jacob, F., Lesaignoux, A., Oliosio, A., Weiss, M., Caillault, K., Jacquemoud, S., Nerry, F., French, A., Schmutge, T., Briottet, X., Lagouarde, J.-P., 2017. Reassessment of the temperature-emissivity separation from multispectral thermal infrared data: Introducing the impact of vegetation canopy by simulating the cavity effect with the SAIL-Thermique model. *Remote Sens. Environ.* 198, 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.006>.
- Jia, L.Z., Zhang, J.H., Zhang, Z.H., Wang, Y., 2017. Assessment of gravelly soil redistribution caused by a two-tooth harrow in mountainous landscapes of the Yunnan-Guizhou Plateau, China. *Soil Tillage Res.* 168, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.12.010>.
- Jiménez-Brenes, F.M., López-Granados, F., de Castro, A.I., Torres-Sánchez, J., Serrano, N., Peña, J.M., 2017. Quantifying pruning impacts on olive tree

architecture and annual canopy growth by using UAV-based 3D modelling. *Plant Methods* 13, 55. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0205-3>.

- Karydas, C.G., Sekuloska, T., Silleos, G.N., 2009. Quantification and site-specification of the support practice factor when mapping soil erosion risk associated with olive plantations in the Mediterranean island of Crete. *Environ. Monit. Assess.* 149, 19–28. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0179-8>.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Pretty, J., 2009. The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 292–320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>.
- Kettig, R.L., Landgrebe, D.A., 1976. Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects. *IEEE Trans. Geosci. Electron.* 14, 19–26. <https://doi.org/10.1109/TGE.1976.294460>.
- Kienzle, J. (Ed.), 2013. Mechanization for rural development: a review of patterns and progress from around the world, Integrated crop management. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Kragh, M., Christiansen, P., Laursen, M., Larsen, M., Steen, K., Green, O., Karstoft, H., Jørgensen, R., 2017. FieldSAFE: Dataset for Obstacle Detection in Agriculture. *Sensors* 17. <https://doi.org/10.3390/s17112579>.
- Kraushaar, S., N. Herrmannb, G. Ollesch, H.J. Vogel, y C. Siebert. 2014. Mound measurements — quantifying medium-term soil erosion under olive trees in Northern Jordan. *Geomorphology* 213: 1-12.
- Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., Bernoux, M., 2015. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 203, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.027>.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304 (5677), pp. 1623-1627.
- Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17 (4), pp. 319-464.
- Lal, R., 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degrad. Dev.* 12, 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>.
- Lal, R., 2002. *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc, New York.
- Lamb, D.W., Brown, R.B., 2001. PA—Precision Agriculture: Remote-Sensing and Mapping of Weeds in Crops. *J. Agric. Eng. Res.* 78, 117–125. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0630>.
- LO, 2011. Ley del Olivar de Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía. Accesible en: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2011/205/1>. Último acceso: 09/04/2021.

- Lobb, D.A., Gary Kachanoski, R., Miller, M.H., 1999. Tillage translocation and tillage erosion in the complex up land landscapes of southwestern Ontario, Canada. Paper presented at International Symposium on Tillage Translocation and Tillage Erosion held in conjunction with the 52nd Annual Conference of the Soil and Water Conservation Society, Toronto, Canada, 24–25 July 1997. *Soil Tillage Res.* 51, 189–209. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00037-9).
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.G., Miller, M.H., 1995. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope land scape positions measure dusing 137Cs as a tracer. *Can. J. Soil Sci.* 75, 211–218. <https://doi.org/10.4141/cjss95-029>.
- Lobo, A., Chic, O., Casterad, A., 1996. Classification of Mediterranean crops with multisensor data: per-pixel versus per-object statistics and image segmentation. *Int. J. Remote Sens.* 17, 2385–2400. <https://doi.org/10.1080/01431169608948779>.
- Lomborg, B., 2001. *The sceptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- López-Granados, F., 2011. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Res.* 51, 1–11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00829.x>.
- López-Granados, F., Torres-Sánchez, J., De Castro, A.-I., Serrano-Pérez, A., Mesas-Carrascosa, F.-J., Peña, J.-M., 2016. Object-based early monitoring of a grassweed in a grass crop using high resolution UAV imagery. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 67. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0405-7>.
- López-Vicente, M., García-Ruiz, R., Guzmán, G., Vicente-Vicente, J.L., Van Wesemael, B., Gómez, J.A., 2016. Temporal stability and patterns of runoff and runon with different cover crops in an olive orchard (SW Andalusia, Spain). *CATENA* 147, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.002>.
- Luciano, A.C. dos S., Picoli, M.C.A., Rocha, J.V., Duft, D.G., Lamparelli, R.A.C., Leal, M.R.L.V., Le Maire, G., 2019. A generalized space-time OBIA classification scheme to map sugarcane areas at regional scale, using Landsat images time-series and the random forest algorithm. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 80, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.013>.
- Mabita, L., S. Chhem-Kiethb, A. Tolozab, T. Vanwallegem, C. Bernardd, J. Infante, M. González, y J.A. Gómez. 2012. Radioisotopic and physicochemical background indicators to assess soil degradation affecting olive orchards in southern Spain. *Agr. Ecosyst. Environ.* 159: 70-80.
- Mahlein, A.-K., 2015. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. *Plant Dis.* 100, 241–251. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>.

- Mathews, A.J., 2014. Object-based spatiotemporal analysis of vine canopy vigor using an expensive unmanned aerial vehicle remote sensing system. *J. Appl. RemoteSens.* 8, 085199. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.085199>.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G., 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors* 7, 2636–2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>.
- MCCO, 2015. Manual para el cumplimiento de la Condicionalidad. *Olivar*. Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Accesible en: https://www.fega.es/sites/default/files/imported/PwfGcp/imagenes/es/Fega_Manual_Olivar_tcm5-27458.pdf. Último acceso: 18/08/2021.
- Mondal, P., Basu, M., 2009. Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies. *Prog. Nat. Sci.* 19, 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.020>.
- Morel, J.L., Habib, L., Plantureux, S., Guckert, A., 1991. Influence of maize root mucilage on soil aggregate stability | SpringerLink [WWW Document]. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02465226> (accessed 4.6.21).
- Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., Cañizares, R., Castro, J., Benítez, E., 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.011>.
- Morgan, R.P.C., 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Mundi-Prensa.
- Mulla, D.J., 2013. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng., Special Issue: Sensing Technologies for Sustainable Agriculture* 114, 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.
- Mutekanga, F.P., S.M. Visser, y L. Stroosnijder. 2010. A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganda. *Geoderma* 160: 165-174.
- Nearing, M.A., Pruski, F.F., O’Neal, M.R., 2004. Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *J. Soil Water Conserv.* 59, 43–50.
- Nekhay, O., M. Arriaza, y L. Boerboom. 2009. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: A case study from Spanish mountain olive plantations. *J. Environ. Manag.* 90: 3091-3104.
- Novelli, A., Aguilar, M.A., Nemmaoui, A., Aguilar, F.J., Tarantino, E., 2016. Performance evaluation of object-based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain).

- Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation 52, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.011>.
- Nyssen, J., Debever, M., Poesen, J., Deckers, J., 2014. Lynchets in eastern Belgium — a geomorphic feature resulting from non-mechanized crop farming. *CATENA* 121, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.011>.
- OA, 2003. El Olivar Andaluz. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Accesible en: <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/43454.html>. Último acceso: 09/04/2021.
- OE, 2011. Olivar Ecológico. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Accesible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/bb87c396-23d1-4384-9411-063d2a0c0154/download>. Último acceso: 09/04/2021.
- Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G., Cervantes, C., 2010. Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges. *Remote Sens.* 2, 2274–2304. <https://doi.org/10.3390/rs2092274>.
- PACC, 2015. Plan Andaluz de controles de Condicionalidad. Año 2015 y siguientes. Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera. Conserjería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. Accesible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Plan_Andaluz_Condicionalidad_2015%20y%20siguientes_FIRMADO.pdf. Último acceso: 18/08/2021.
- Palese, A.M., Vignozzi, N., Celano, G., Agnelli, A.E., Pagliai, M., Xiloyannis, C., 2014a. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. *Soil Tillage Res.* 144, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.010>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C., 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy* 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
- Parra, F., 1988. La Dehesa y el olivar. Debate.
- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Keesstra, S., Cerdà, A., Brevik, E.C., 2016. Long-term effects of soil management on ecosystem services and soil loss estimation in olive grove top soils. *Sci. Total Environ.* 571, 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.016>.
- Pastor M., Castro J., 1995. Soil management systems and erosion *Olivae*, 59, pp. 64-74.

- Pastor M., Castro J., Humanes M.D., Muñoz J., 2001. Sistemas de manejo del suelo en olivar de Andalucía. *Edafología*, 8, págs. 75 – 98.
- Pastor, M., Castro, J y Humanes, M. D., 1998. La erosión y el olivar. Asociación Española laboreo de conservación / Suelos vivos.
- PDOA, 2014. Plan Director del Olivar Andaluz. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. Accesible en: <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Plan%20Director%20de%20Olivar.pdf>. Último acceso: 09/04/2021.
- Peña, J.M., Torres-Sánchez, J., de Castro, A.I., Kelly, M., López-Granados, F., 2013. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *PloS One* 8, e77151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077151>.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, pp. 2671117-2671123.
- PIO, 2011. Producción Integrada del Olivar. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Accesible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159656Produccion_Integrada_Olivar.pdf. Último acceso: 09/04/2021.
- PNCC, 2021. Condicionalidad. Plan Nacional de Controles y criterios para la aplicación de penalizaciones. Subdirección General Sectores Especiales. 3/2021. Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Fondo Español de Garantía Agraria O.A. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Gobierno de España. Accesible en: https://www.fega.es/sites/default/files/SE-CIRCULAR_3-2021_EE98293_CONDICIONALIDAD_2021.PDF. Último acceso: 18/08/2021.
- Puget, P., Drinkwater, L.E., 2001. Short-Term Dynamics of Root- and Shoot-Derived Carbon from a Leguminous Green Manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 771–779. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653771x>.
- Ramos, M.I., Feito, F.R., Gil, A.J., Cubillas, J.J., 2008. A study of spatial variability of soil loss with high resolution DEMs: A case study of a sloping olive grove in southern Spain. *Geoderma* 148, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.015>.
- Repullo, M.A., Carbonell, R., Hidalgo, J., Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R., 2012. Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil Tillage Res.* 124, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.04.003>.
- Richardson, A.J., Wiegand, C.L., Wajura, D.F., Dusek, D., Steiner, J.L., 1992. Multisite analyses of spectral-biophysical data for Sorghum - ScienceDirect

- [WWW Document]. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425792900620> (accessed 3.6.21).
- Rillig, M.C., Wright, S.F., Eviner, V.T., 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil* 238, 325–333. <https://doi.org/10.1023/A:1014483303813>.
- Sánchez, J.D., Gallego, V., Araque, E., 2008. El monocultivo olivarero jiennense: ¿del productivismo a la sostenibilidad? | *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* [WWW Document]. URL <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2038> (accessed 3.2.21).
- Sánchez, M., López, F.J.A., Ruiz, C.P., Tovar, J., 2001. Mejora de la fiabilidad en la identificación del olivar utilizando un modelo geométrico de reflectancia. *Rev. Teledetec. Rev. Asoc. Esp. Teledetec.* 11–16.
- Sastre, B., Barbero-Sierra, C., Bienes, R., García-Díaz, A., 2017. Soil loss in an olive grove in Central Spain under cover crops and tillage treatments, and farmer perceptions | *SpringerLink* [WWW Document]. URL <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11368-016-1589-9> (accessed 4.6.21).
- Sastre, B., Marques, M.J., García-Díaz, A., Bienes, R., 2018. Three years of management with over crops protecting sloping olive groves soils, carbon and water effects on gypsiferous soil. *CATENA* 171, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.003>.
- Scheidel, A., Krausmann, F., 2011. Diet, trade and land use: a socio-ecological analysis of the transformation of the olive oil system. *Land Use Policy* 28, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.04.008>.
- Schoorl, J.M., Veldkamp, A., 2001. Linking land use and land scape process modelling: a case study for the Álora region (south Spain). *Agric. Ecosyst. Environ., Predicting Land-Use Change* 85, 281–292. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00194-3).
- Shi, D., Jiang, G., Peng, X., Jin, H., Jiang, N., 2021. Relationship between the periodicity of soil and water loss and erosion-sensitive periods based on temporal distributions of rainfall erosivity in the Three Gorges Reservoir Region, China. *CATENA* 202, 105268. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105268>.
- Shou, W., Musa, A., Liu, Z., Qian, J., Niu, C., Guo, Y., 2016. Rainfall partitioning characteristics of three typical sand-fixing shrubs in Horqin Sand Land, north-eastern China. *Hydrol. Res.* 48, 571–583. <https://doi.org/10.2166/nh.2016.177>.

- Singh, G., 2006. Estimation of a Mechanisation Index and Its Impact on Production and Economic Factors—a Case Study in India. *Biosyst. Eng.* 93, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.08.003>.
- Song, W., Mu, X., Ruan, G., Gao, Z., Li, L., Yan, G., 2017. Estimating fractional vegetation cover and the vegetation index of bare soil and highly dense vegetation with a physically based method. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 58, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.01.015>.
- Souchere, V., King, D., Daroussin, J., Papy, F., Capillon, A., 1998. Effects of tillage on runoff directions: consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *J. Hydrol.* 206, 256–267. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00103-6).
- Souza, C.H.W. de, Lamparelli, R.A.C., Rocha, J.V., Magalhães, P.S.G., 2017. Mapping skips in sugarcane fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Comput. Electron. Agric.* 143, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.006>.
- Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Smith, J.A., 1986. On the nature of models in remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 20, 121–139. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(86\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(86)90018-0).
- Taguas, E., Gómez, J.A., 2015. Vulnerability of olive orchards under the current CAP (Common Agricultural Policy) regulations on soil erosion: a study case in Southern Spain. *Land Use Policy Int. J. Cover. Asp. Land Use* 683–694.
- Takken, I., Govers, G., Jetten, V., Nachtergaele, J., Steegen, A., Poesen, J., 2001. Effects of tillage on runoff and erosion patterns. *Soil Tillage Res., XVth ISTRO Conference on Tillage at the Threshold of the 21st Century: Looking Ahead* 61, 55–60. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00178-7).
- Tindall, D., Denham, R., Witte, C., Carey, B., 2008. Development and application of remote sensing techniques for detecting and mapping a land management practice: contour banks 37.
- Tomljenovic, I., Tiede, D., Blaschke, T., 2016. A building extraction approach for Airborne Laser Scanner data utilizing the Object Based Image Analysis paradigm. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 52, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.007>.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J.M., de Castro, A.I., López-Granados, F., 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Comput. Electron. Agric.* 103, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.009>.
- Turmel, M.-S., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N., Govaerts, B., 2015. Crop residue management and soil health: A systems analysis. *Agric. Syst., Biomass use trade-offs in cereal cropping systems: Lessons and implications from the developing world* 134, 6–16. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.009>.

- Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., 2002. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil Tillage Res.* 65, 77–93. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00282-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00282-3).
- Vanwallegem, T., Amate, J.I., de Molina, M.G., Fernández, D.S., Gómez, J.A., 2011. Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.003>.
- Wang, B., Zhang, G.-H., 2017. Quantifying the Binding and Bonding Effects of Plant Roots on Soil Detachment by Overland Flow in 10 Typical Grass lands on the Loess Plateau. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81, 1567–1576. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0249>.
- Wang, Q., Li, Y., Alva, A., 2010. Cropping Systems to Improve Carbon Sequestration for Mitigation of Climate Change. *J. Environ. Prot.* 01, 207. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.13025>.
- Wang, Y., 2015. Quantitative Remote Sensing Inversion in Earth Science: Theory and Numerical Treatment. *Handb. Geomath.* 1775–1806. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54551-1_26.
- Wang, Y., Zhang, J.H., Zhang, Z.H., Jia, L.Z., 2016. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly land scape. *Sci. Total Environ.* 551–552, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.045>.
- Warren, A., 2002. Land degradation is contextual. *Land Degrad. Dev.* 13, 449–459. <https://doi.org/10.1002/ldr.532>.
- Weinacker, H., Koch, B., Heyder, U., Weinacker, R., 2004. Development of Filtering, segmentation and modelling modules for LIDAR and multispectral data as a fundament of an automatic forest inventory system. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 36, 50–55.
- Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G., 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sens. Environ.* 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.-J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agric. Syst.* 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.
- Wrigley, E.A., 1988. *Continuity, Chance and Change: The Character of the Industrial Revolution in England*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139168045>.
- Xiao, J., Moody, A., 2005. A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover with in a desert-to-up land transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sens. Environ.* 98, 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.011>.

- Xiloyannis, C., Martinez Raya, A., Kosmas, C., Favia, M., 2008. Semi-intensive olive orchards on sloping land: Requiring good land husbandry for future development. *J. Environ. Manage., A Sustainable Future for Olive Production on Sloping Land* 89, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.04.023>.
- Xu, H.C., Jia, L.Z., Zhang, J.H., Zhang, Z.H., Wei, Y.H., 2019. Combined effects of tillage direction and slope gradient on soil translocation by hoeing. *CATENA* 175, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.039>.
- Yan, Y., Zhen, H., Zhai, X., Li, J., Hu, W., Ding, C., Qi, Z., Qiao, B., Li, H., Liu, X., Zhang, X., 2021. The role of vegetation on earth bunds in mitigating soil erosion in Mollisols region of Northeast China. *CATENA* 196, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104927>.
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M., Schirokauer, D., 2006. Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 72, 799–811. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.7.799>.
- Yun, H., Park, S.H., Kim, H.-J., Lee, W., Lee, K., Hong, S., Jung, G., 2016. Use of Unmanned Aerial Vehicle for Multi-temporal Monitoring of Soybean Vegetation Fraction. *J. Bio syst. Eng.* 41, 126–137. <https://doi.org/10.5307/JBE.2016.41.2.126>.
- Zhang, B., Zhang, G., Yang, H., Wang, H., 2019. Soil resistance to flowing water erosion of seven typical plant communities on steep gully slopes on the Loess Plateau of China. *CATENA* 173, 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.036>.
- Zhang, J., Yang, M., Deng, X., Liu, Z., Zhang, F., 2019. The effects of tillage on sheet erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau. *Soil Tillage Res.* 187, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.014>.
- Zhang, J.H., Wang, Y., Jia, L.Z., Zhang, Z.H., 2017. An interaction between vertical and lateral movements of soil constituents by tillage in a steep-slope landscape. *CATENA* 152, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.030>.

BLOQUE II: MEMORIA DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 4: Área de estudio y metodología.

La elección y delimitación del área de estudio donde desarrollar los objetivos enunciados se basa en la combinación complementaria de dos escalas de análisis: comarca (Sierra de las Nieves) y explotación agrícola (finca). La primera se emplea para profundizar en la historia reciente del cultivo, conocer mejor el funcionamiento del agrosistema olivarero y buscar el origen de su problemática erosiva. La segunda, se configura como la unidad de acción territorial y manejo óptima, tanto para el estudio del suelo agrícola y de los fenómenos erosivos que le afectan, como para el control del cumplimiento de las normas de Condicionalidad relacionadas con el suelo y su reserva de carbono.

4.1 Descripción del área de estudio.

4.1.1. Escala supramunicipal (Nivel A): El entorno de la Sierra de las Nieves: tradición histórica olivarera e inserción en la red de espacios naturales protegidos.

La primera unidad escalar de análisis (supramunicipal) se ubica en el centro-oeste de la provincia de Málaga (España). Con una extensión de 491,62 km², está integrada por los municipios de Álora, Alozaina, Casarabonela, Monda, Guaro y Tolox (Figura 1). Todos ellos pertenecen a la comarca del Ministerio de Agricultura Centro-Sur Guadalhorce y se emplazan en el piedemonte que conecta la Sierra de las Nieves con el Valle del Guadalhorce. A excepción de Álora, incluido por concentrar un importante olivar de características similares al de los otros municipios, forman parte de la comarca LEADER S^a de las Nieves (Grupo de Desarrollo Rural S^a de las Nieves, 2016), de la Reserva de la Biosfera de la S^a de las Nieves (declarada en 1995) y de la Reserva Intercontinental del Mediterráneo (declarada en 2006). Algunos como Monda y Tolox, también sitúan gran parte de su territorio bajo la figura de Parque Nacional S^a de las Nieves, declarado en julio de 2021 (Ley 9/2021 de 1 de julio), y previamente (1989) reconocido como parque natural (Figura 2).

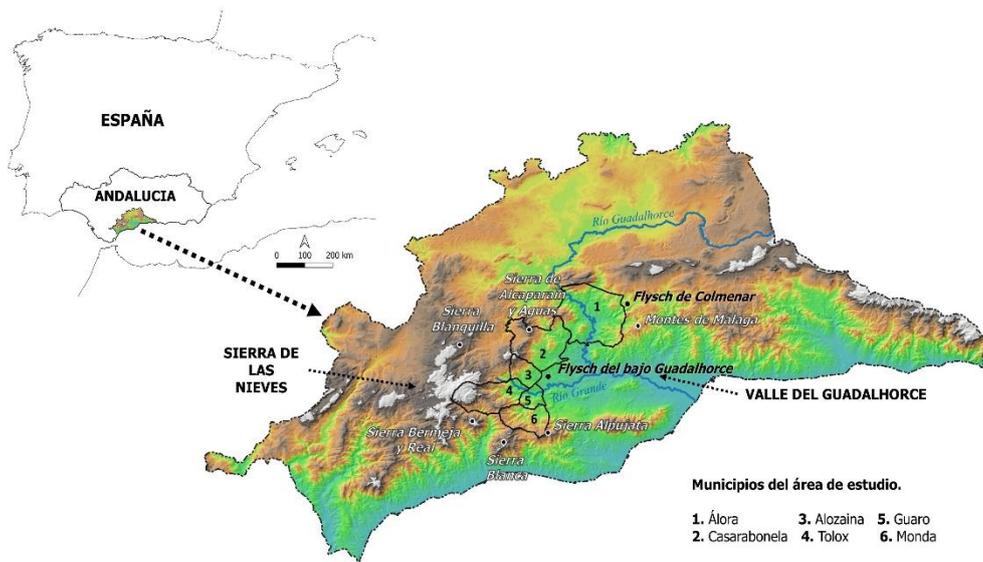


Figura 1. Localización del área de estudio y de los municipios que la componen (Fuente: Elaboración propia a partir de REDIAM, 2012).

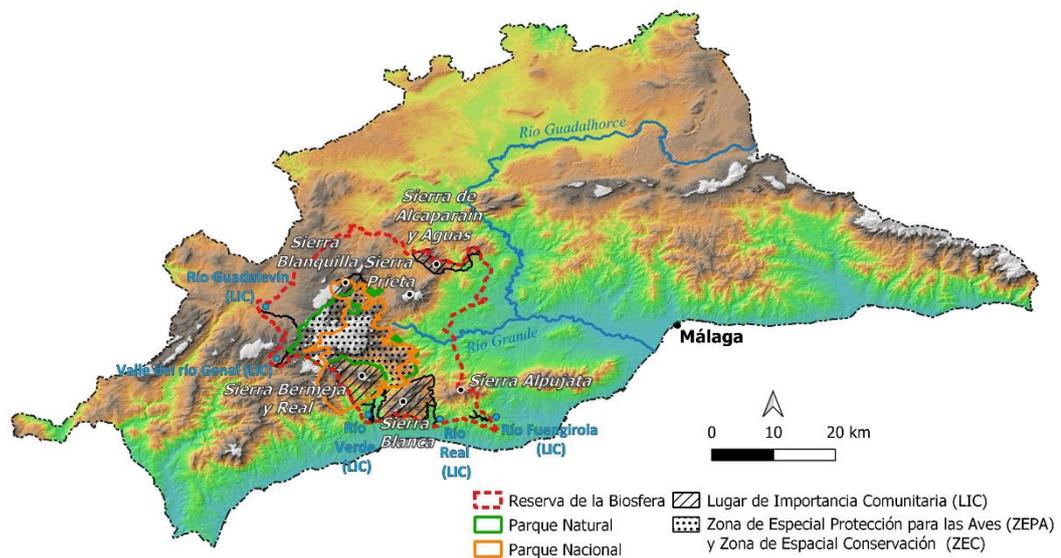


Figura 2. Régimen de protección del área de estudio y zonas adyacentes (Fuente: Elaboración propia a partir de REDIAM, 2012).

Pese a su reducida extensión, presenta una marcada complejidad geológica derivada de su localización intermedia entre el valle del Guadalhorce y la sierra de las Nieves (dentro de las cordilleras Béticas), que lleva aparejada la yuxtaposición de diversas

unidades que pasamos a enunciar de norte a sur y de oeste a este². La S^a de las Nieves, se compone de materiales calizos que conforman las mayores alturas del área de estudio (pico Torrecilla 1.919 m) y configura su límite occidental. Entre sus abruptas laderas y su piedemonte esquistoso, se han desarrollado plataformas de travertinos, base de regadíos de origen andalusí y de localización del poblamiento concentrado. En su sector suroeste y sur se encuentra la vertiente norte de las sierras Blanca (marmórea) y Alpujata (peridotítica) con cimas comprendidas entre los 1.200 y 1.500 m. La continuidad del piedemonte esquistoso las rodea y en él se encajan las redes de drenaje que nacen en estas sierras y que tributan en el río Guadalhorce, generando fondos y terrazas aluviales. Este piedemonte enlaza, en el ángulo sureste, con los materiales aluviales de la Hoya de Málaga mediante colinas arcillosas con klipes areniscosos y calizos del flysch del bajo Guadalhorce (ITGE, 1990). En el sector septentrional, las molas depositadas en el proceso de colmatación de la hoya del Guadalhorce se sitúan al oeste de este curso y al otro lado, se extienden el extremo occidental del flysch de Colmenar (ángulo noreste) y de los Montes de Málaga (flanco oriental). La principal consecuencia de esta configuración es el predominio (81,49% de la superficie) de un relieve con pendientes superiores al 25% y de moderada altura (entre 300 y 600 m).

En conjunto, el clima responde al tipo mediterráneo templado Csa (Köppen, 1900), con una termometría media anual de 18,4 °C y una pluviometría de 636 mm anuales. Los veranos son secos y cálidos, y los inviernos fríos y poco húmedos³. La impronta del relieve modifica estos valores al incidir en las direcciones y comportamientos de las masas de aire, generando una moderada ruptura de la zonalidad climática de oeste (zonas más altas) a este (zonas más bajas).

El poblamiento es de origen fundamentalmente bereber (s. IX) y actualmente la comarca alberga poco más de 25.000 hab. (51,16 hab./km²), (INE, 2021), de los cuales el 53% se concentran en Álora. El resto de municipios no superan, en ninguno de los casos, los 2.700 habitantes. El poblamiento se localiza principalmente en el piedemonte organizando el uso del territorio con predominio del minifundismo y la microparcelación, aunque cabe destacar la presencia de medianas propiedades, sobre todo en las tierras calmas del flysch. Las fuentes bibliográficas indican la continuidad del olivo, como arboleda dispersa (propia de una economía orgánica) en el flysch, desde la transición de la cultura nazarita a la cristiana entre los siglos XV y XVII (López de Coca, 1977; Ruiz, 1984), en consonancia con los resultados del seguimiento de larga escala temporal de Infante-Amate (2012a). Para mediados del siglo XVIII el Catastro de Ensenada (1752) revela que la mayor proporción de superficie cultivada con olivar en la provincia de Málaga se concentra en la comarca de estudio, prolongada en la unidad de piedemonte hacia otros municipios⁴. Estas proporciones oscilan entre el 25% de Guaro y

² La información referida a composición litológica se ha extraído de Gómez (1989).

³ Los datos climáticos han sido estudiados a partir de la serie de datos 1977-2021 obtenidos de la única estación meteorológica existente en el área de estudio "Estación de Alozaina", localizada a 380 m.s.n.m y perteneciente a la Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio ambiente de la Junta de Andalucía.

⁴ Estos municipios son Alhaurín de la Torre, Alhaurín el Grande y Coín, excluidos del área de estudio por el débil significado que actualmente tiene el olivar en su territorio. Los datos cuantitativos aportados sobre la evolución reflejada por el catastro de Ensenada y por la cartografía catastral de 1870 a 1881 se han tomado de Gómez-Moreno (1989: 326-327, 355-357).

el 0,4% de Monda, pasando por el 16,1% de Alosaina, el 13,1% de Álora y el 3,9% de Casarabonela. Dicha fuente informa de la continuidad de su carácter disperso y complementario al cereal, con calidad baja del producto achacado al injerto reciente de acebuches (Gómez-Moreno, 1989). Más adelante, los mapas de cultivos y aprovechamientos de 1875 (Gómez-Moreno, 1989) reflejan la continuidad de los mismos con la excepción de Guaro, que lo sustituye por la vid. Este patrón de localización disperso del cultivo se mantuvo hasta el Desarrollismo, cuando el olivo (tanto para aceituna de mesa como de aceite) pasa a ser el primer cultivo en la mayoría de los municipios del área de estudio, entre los que destaca Alosaina, donde actualmente ocupa más del 70% de su superficie cultivada (CA, 2009).

En relación a lo descrito en el apartado 1.1 donde se ponía de manifiesto que, en determinados contextos históricos preindustriales de campiña el olivar tradicional mostraba ser un claro reflejo de sostenibilidad, en las zonas de montaña dicho paradigma difícilmente puede ser cumplido. En el área de estudio, el actual paisaje agrario altamente erosionado (Figura 3) es muestra clara de ello, demostrando el difícil equilibrio que ha venido existiendo entre la población (prácticas agrarias) y los recursos.

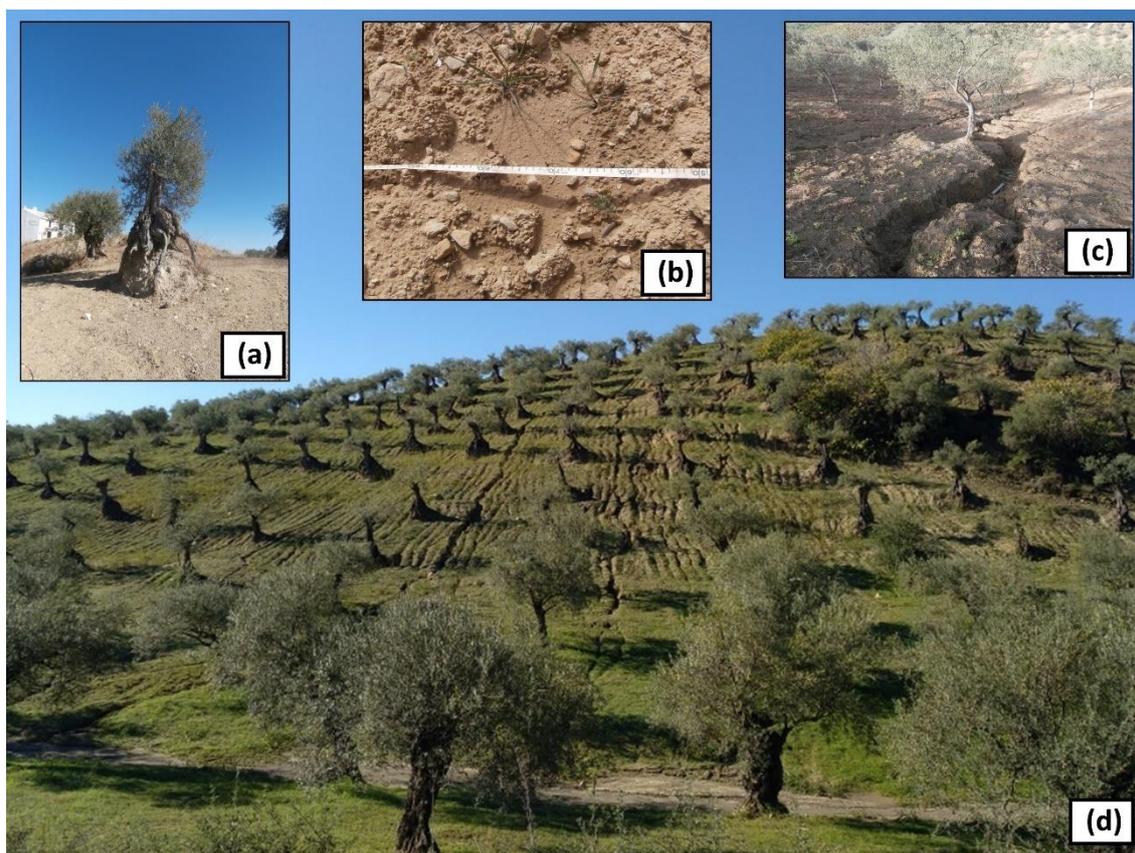


Figura 3. Indicadores erosivos en el paisaje agrícola: (a) indicios de pérdida de suelo, (b) erosión laminar (c) erosión en cárcava, y (d) ejemplo de laboreo irracional, a favor de la línea de máxima pendiente que favorecen la escorrentía superficial (Fuente: Fotografías del autor).

En definitiva, el área de estudio se configura como una comarca rural de montaña media mediterránea de gran trayectoria olivarera y una acusada problemática ambiental que, en la actualidad, pone en tela de juicio la sostenibilidad de muchos de sus espacios agrícolas. Un ambiente encajado dentro de un medio natural de gran valor ecológico reconocido por el marco legislativo regional, nacional e internacional, por lo que se consolida como un complejo escenario, idóneo para el desarrollo de los objetivos propuestos, en el que se requiere de manera urgente la búsqueda de una buena articulación y armonía entre el *Ager* y el *Saltus*.

De acuerdo con el concepto de “conectividad ecológica del territorio” (Artículo 20: Título I de la Ley 42/2007. Instrumentos para el conocimiento y la planificación del patrimonio natural y de la biodiversidad) como clave para las estrategias de protección de la naturaleza (Gómez et al., 2017), en la Reserva de la Biosfera S^a de las Nieves, colindantes al parque natural homónimo, se extienden usos complementarios del territorio en forma de mosaico agrario en los que el olivar se manifiesta en su máxima expresión. Estos ecosistemas agrícolas periféricos actúan como barreras naturales de protección, por lo que de su buen uso y gestión depende también la sostenibilidad del resto de ecosistemas, debido a la interconectividad entre biotopos. De ahí, la importancia de consolidar un uso sostenible del territorio buscando compatibilizar los procedimientos de explotación agraria con la conservación ambiental de acuerdo a los criterios fijados por la Condicionalidad.

4.1.2. Experimentación y observación (Nivel B): explotaciones con olivar del entorno de la Sierra de las Nieves.

La segunda unidad escalar de análisis (explotación agrícola) se compone de 92 fincas privadas de olivar comercial⁵ tradicional (Figura 9), significativas de la insostenible situación en la que se encuentra en la actualidad el olivar de montaña media mediterránea. En función de los objetivos y etapa del proceso investigador fueron seleccionadas unas u otras. En su mayoría se extienden a lo largo del Flysch de Alozaina, dentro de las Unidades Intermedias de los sistemas Béticos. Según Gómez-Moreno (1987) esta unidad está compuesta por conglomerados, margas, arcillas, areniscas, calizas con *Microcodium* y silexitas del mioceno inferior que propician un relieve ondulado de morfología suave y pendiente media entorno al 25% aunque con máximas puntuales que pueden alcanzar el 40% (Figura 4a). En ellas el cultivo se distribuye en marcos de plantación geométricos con 8–10 m de separación entre árbol, lo que proporciona una densidad promedio de 160 árboles por hectárea (Figura 4b).

⁵ Se trata de olivares que, al contrario de las parcelas de investigación, se encuentran en continuo uso y gestión por parte de los propietarios, lo que, en ocasiones, dificulta las tareas de investigación.

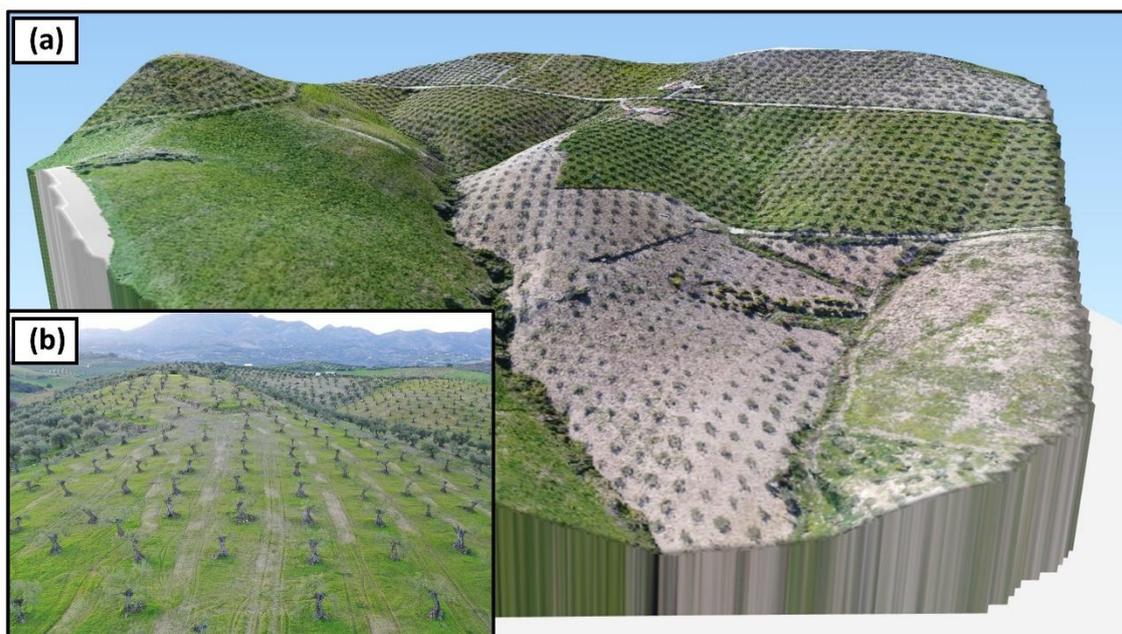


Figura 4. Explotaciones privadas de olivar comercial tradicional; (a) relieve alomado de una de las fincas de olivar (b) vista aérea del marco de plantación geométrico (Fuente: Elaboración propia).

Los suelos se clasifican como cambisoles cálcicos, cambisoles vérticos, regosoles cálcicos y vertisoles háplicos (FAO, 2014), con una profundidad promedio de $66,4 \pm 30,9$ cm y un contenido medio de carbono orgánico de $20,3 \pm 13,5$ g kg⁻¹ en los horizontes superficiales, capacidad de intercambio catiónico frecuentemente menor a 25 cmol kg⁻¹ y saturación de iones de calcio por su naturaleza litológica (LUCDEME, 2006).

La existencia de un período de déficit hídrico prolongado, de abril a septiembre, unido al régimen de secano en el que son cultivadas la mayoría de las explotaciones, han propiciado desde sus inicios (aunque de manera más acusada en el Desarrollismo), el empleo de manejos de suelo destinados al control de las cubiertas vegetales adventicias que crecen de manera espontánea sobre el suelo del olivar, y que, a lo largo de la historia, han sido consideradas por los agricultores como perniciosas para el cultivo por competir en nutrientes y recursos hídricos.

En la actualidad, el olivar se cultiva bajo dos sistemas de explotación: convencional y ecológico. El primero con más tradición aplicada y plenamente extendido por la mayoría de los municipios a lo largo de los años, y el segundo, de reciente implantación (2011), es fruto de la preocupación institucional (Mancomunidad de Municipios de la S^a de las Nieves) por la sostenibilidad ambiental de las explotaciones. Éste último, no ha sido muy aceptado entre la mayoría de los agricultores debido a que prefieren continuar con su modo de hacer tradicional ajeno a las BCAM, lo que refleja un escaso control y aplicación de la misma, y demuestra la idoneidad de los objetivos de la tesis.

En lo que respecta al manejo del suelo, el sistema de cultivo ecológico realiza dos desbroces mecánicos (Figura 5a y 5b) o “a diente” (Figura 5c) y en algunos casos, aplica uno o dos pases de arado poco profundo (<15 cm) (Figura 5d). Al igual que ocurre con el desbroce, el arado depende de las precipitaciones y de la densidad de cobertura vegetal

existente en cada momento. Por lo general, los agricultores que aplican este sistema tienden a evitar el empleo del arado, y lo utilizan sólo en condiciones en las que el suelo se presenta muy compacto por el tránsito de la maquinaria. Esto hace que, en unos casos, las explotaciones ecológicas traten la cubierta vegetal con arado superficial y desbroces, o sólo con alguno de los dos métodos, lo que ha permitido el manejo del sistema productivo ecológico con laboreo y sin él.

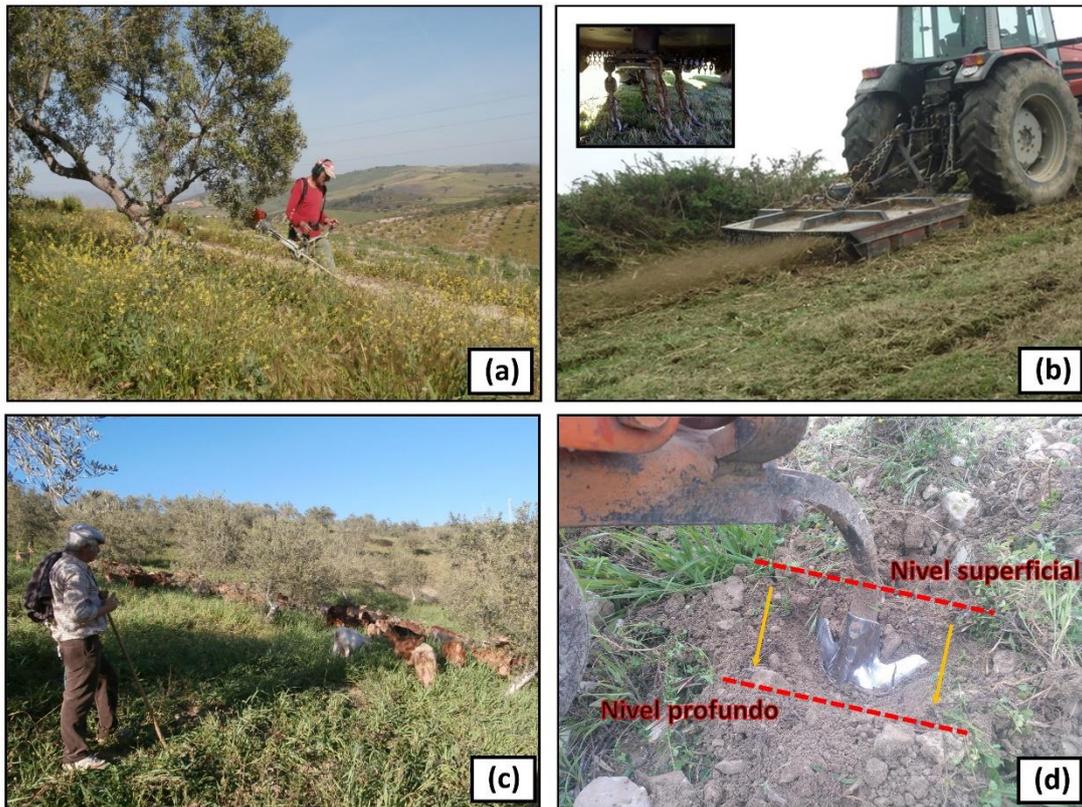


Figura 5. Métodos de manejo de suelo y desherbado:(a) desbroce mecánico manual, (b) desbrozadora mecánica para tractor, (c) desbroce con ganado “a diente”, y (d) laboreo superficial de < 15 cm de profundidad (Fuente: Elaboración propia).

Para las labores de arado emplean cultivadores de 9 brazos flexibles semi-suspendidos (Figura 6a) con rejas “pie de pato” (Figura 6b) portados en tractores orugas (Foto 6c y 6d), los más adecuados para terrenos accidentados y comúnmente utilizados en cultivos de olivar de montaña. La dirección del laboreo varía de unas parcelas a otras. Aunque, en la mayoría de los casos, el agricultor intenta que sea más o menos perpendicular a la pendiente para evitar la erosión, no siempre es así.



Figura 6. Aperado de labranza:(a) cultivador de 9 brazos flexibles semi-suspendido, (b) detalle reja cultivador, (c) vista lateral del conjunto y (d) vista trasera del conjunto (Fuente: Fotografías el autor).

Finalmente, durante los meses de verano se emplean rulos apisonadores (Figura 7a) o rastras de púas y neumáticos (Figura 7b) para eliminar las grietas de retracción, adecuar el terreno para la recolección y evitar el crecimiento de nuevas plántulas.



Figura 7. Aperado para asentar el terreno tras el pase del arado:(a) rulo apisonado de 2 m de ancho, (b) rastra de púas y neumáticos (Fuente: Fotografías el autor).

El sistema de cultivo convencional elimina las adventicias mediante arado, empleando el mismo apero que el sistema ecológico, pero sin control de profundidad, llegando hasta los 20 cm o más dependiendo de la dureza y pedregosidad del terreno. Normalmente, se efectúan dos o tres pases de arado (y en ocasiones excepcionales hasta 4), que comienzan tras la recolección y se prolongan hasta junio. Los rastreos o ruleos mantienen las mismas características que en el sistema ecológico.

4.2. Métodos

Cada una de las fases de procedimiento de investigación cuenta con una metodología concreta de análisis en función del objetivo a cubrir.

4.2.1 *Método de evaluación de la erosión hídrica como herramienta para establecer las BCAM adaptadas al cultivo del olivar en área de montaña del sur de España (F1/OP1).*

Para el estudio de la erosión hídrica se descartaron métodos experimentales e indirectos de análisis erosivo y se optó por una metodología directa de bajo coste, sencilla y rápida de aplicar, que permitiera muestrear en un número elevado de casos y disponer de más datos que aumentaran la fiabilidad y representatividad. Se empleó el método descrito en Blanco (2018) y aplicado en Blanco y Aguilar (2015, 2016), Blanco et al. (2018) y Blanco et al. (2021a y 2021b), que supone una mejora de los métodos indirectos al incorporar procedimientos de muestreo que permiten analizar cuantitativamente el estado erosivo del suelo, mediante indicadores visuales. El método permite cuantificar la erosión en la parcela con un análisis doble: (1) análisis del estado erosivo del suelo (porcentaje de superficie afectada por erosión) y (2) análisis cuantitativo de las pérdidas de suelo (volumen de suelo perdido en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). El estado erosivo se analiza utilizando una versión adaptada de la prueba de presencia / ausencia de indicadores visuales y su número y tamaño. Examina, los tipos de erosión (salpicadura, laminar, surcos y cárcavas), los procesos que hayan afectado al suelo (alteración mecánica del suelo por herramienta y por pisoteo, deposiciones de sedimentos) y los codifica mediante un índice, que indica el tipo de proceso, y un subíndice, que proporciona información complementaria (susceptibilidad a la erosión, tipo de erosión, tipo de cobertura vegetal protectora, entre otros). En el análisis de erosión, las pérdidas de suelo se estiman mediante mediciones volumétricas de los surcos y las cárcavas. El volumen de suelo perdido se calcula asumiendo que las secciones transversales de estas características tienen una forma geométrica, ya sea semielíptica, semicircular, triangular o trapezoidal. El método de muestreo que utiliza para evaluar cuantitativamente la erosión del suelo consiste en un muestreo de transectos o cuadrículas y en el uso de cuadrículas para el análisis de pérdida de suelo.

El muestreo se realizó en 36 parcelas de estudio encuadradas dentro de 15 fincas de olivar comercial (Figura 8a) seleccionadas en función de los criterios expuestos en la tabla 1(a). Se analizó la influencia sobre la erosión de los siguientes factores: sistema de cultivo y manejo del suelo (laboreo/no laboreo), pendiente de ladera, cobertura vegetal viva, altura mínima al suelo de la cobertura de olivar, y cobertura superficial de residuos vegetales. La pendiente de ladera se midió con un clinómetro manual y la distancia al

suelo de la cobertura de árbol se midió con un distanciómetro láser. El tipo de manejo del suelo en cada finca se identificó mediante entrevistas con los agricultores.

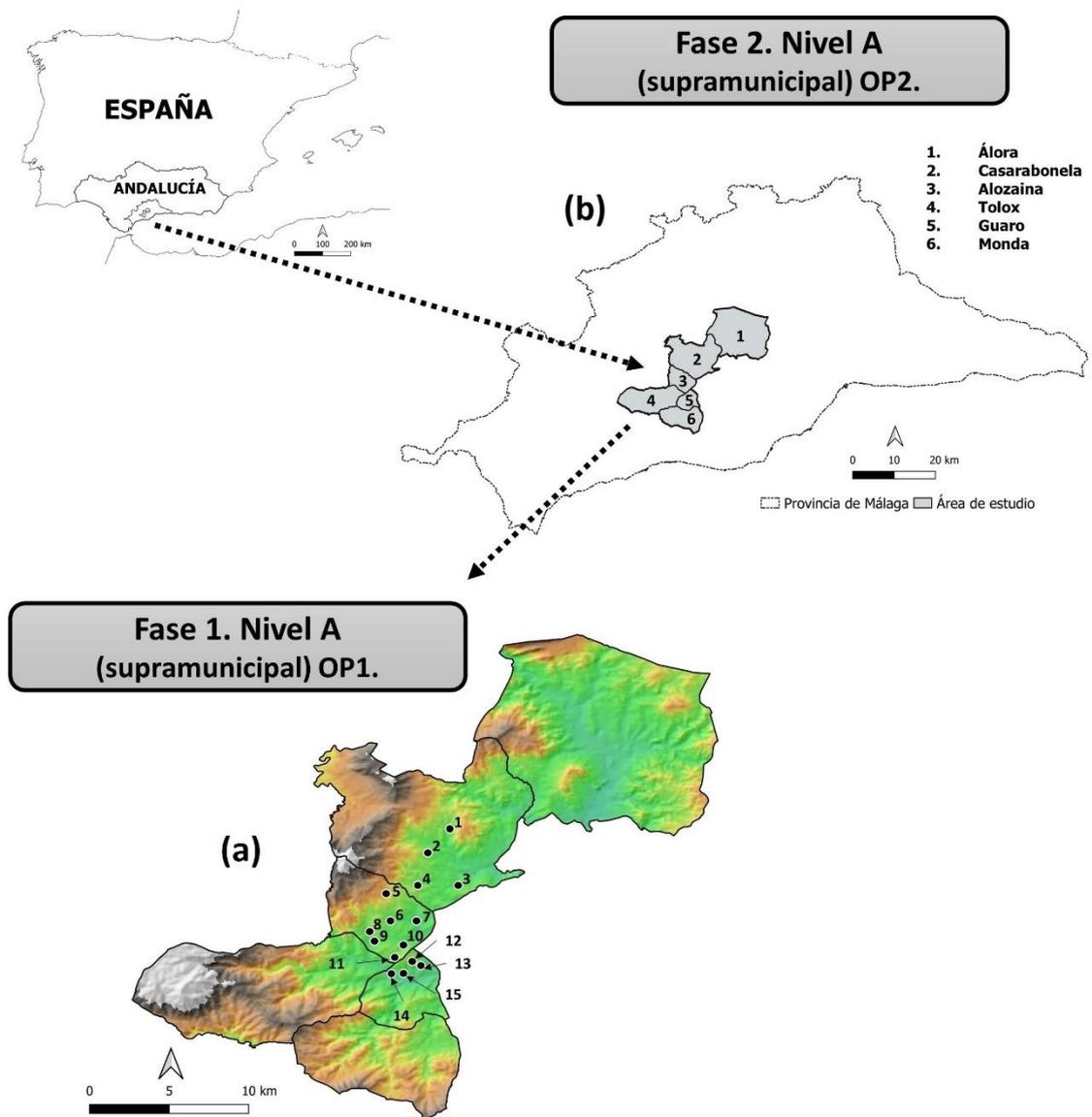


Figura 8. Escala supramunicipal (Nivel A): (a) Fase 1. Objetivo particular 1 (OP1) valorar la posibilidad de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea*) en áreas de montaña del sur de España, (b) Fase 2. Objetivo particular 2 (OP2) relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la capacidad agrológica de las tierras y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos, como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad. (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 1. Criterios de selección de explotaciones OP1 *

- ✓ Que fueran olivares comerciales.
- ✓ De similares características edáficas.
- ✓ Que aplicaran alguno de los siguientes sistemas de cultivo; convencional, ecológico con labor y ecológico sin labor.
- ✓ Que sus pendientes fueran variables y comprendidas entre <20 % y 40 %.

Dentro de las 15 fincas seleccionadas, se delimitaron 36 áreas homogéneas de muestreo (parcelas de estudio) de una extensión comprendida entre 0,1 y 0,5 Ha del siguiente modo:

- 12 parcelas con pendientes <20 % de las cuales:
 - 4 con sistema productivo convencional.
 - 4 con sistema productivo ecológico con labor.
 - 4 con sistema ecológico sin labor.
- 12 parcelas con pendientes 20-30 % de las cuales:
 - 4 con sistema productivo convencional.
 - 4 con sistema productivo ecológico con labor.
 - 4 con sistema ecológico sin labor.
- 12 parcelas con pendientes 30-40 % de las cuales:
 - 4 con sistema productivo convencional.
 - 4 con sistema productivo ecológico con labor.
 - 4 con sistema ecológico sin labor.

* OP= Objetivo particular

La erosión del suelo y los factores de erodabilidad se analizaron mediante correlación bivariada (coeficiente de correlación de Pearson), análisis de regresión múltiple (método stepwise) y análisis de varianza mediante los test de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis. El sistema de cultivo es una variable cualitativa y categórica de tres clases, que se transformó a cuantitativa mediante variables Dummy. Así, se sustituyeron con dos variables indicadoras, con respuesta dicotómica: presencia (1) o ausencia de laboreo (0) y presencia de cobertura vegetal superficial (1) o ausencia (0). El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS, versión 22.0.

4.2.2 Método de estudio, partiendo de la capacidad agrológica, de la relación entre la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores, y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad (F2/OP2).

El proceso fue abordado para toda el área de estudio (Figura 8b) seleccionada en función de los criterios expuestos en el apartado 4.1.1. Se aplicó una metodología que

permitió conocer en profundidad aspectos cuantitativos y cualitativos relacionados con el olivar de la época como: su extensión, localización, prácticas de laboreo, patrón de consumo, comercialización de esquilmos, entre otros. Aspectos, en ocasiones, imposibles de conocer mediante otros métodos y que permiten precisar la función que tenía el olivo en las economías familiares y locales.

La metodología aplicada en esta fase ha sido diseñada combinando la información oral con la cartográfica correspondiente, considerando que estas fuentes se complementan para satisfacer el cumplimiento de los objetivos. Así, partiendo de la bibliografía existente y del análisis preliminar del área de estudio, de acuerdo con Naredo (1983) se optó por la “entrevista semi-estructurada” (Aguirre, 1995), en la que el investigador utiliza preguntas abiertas, lo que da la oportunidad de recibir más matices en la respuesta, y permite entrelazar los diferentes temas de interés. Esta opción facilita el conocimiento en profundidad de aspectos cualitativos de las prácticas de laboreo aplicadas al olivar, el patrón de consumo y comercialización de sus esquilmos, pudiendo precisar la función del olivo en las economías familiares y locales. No obstante, presenta el inconveniente de que no permite su tratamiento estadístico dificultando la extrapolación de su significado. Se consideró que los informantes más adecuados eran personas que hubieran sido agricultores en la postguerra, ya que, los activos en este sector en los decenios previos a la misma rozarían el centenar de años y su número sería muy reducido. Este hecho establece el primer límite de los resultados en la etapa de la Autarquía, 1940, cifrando en 75 años la edad mínima como criterio de selección de los informantes. Otro criterio de selección de los informantes fue utilizar la categoría “jefes de explotación de más de 65 años” del Censo Agrario (Instituto Nacional de Estadística, 2009) para estratificar las entrevistas totales (60) en función de la distribución de estos en el área de estudio. También se recurrió a las estadísticas sobre estructura de la explotación de los censos agrarios de 1962 (CA, 1962), 1972 (CA, 1972) para constatar y completar la información aportada a este respecto por los informantes y los de 1989 (CA, 1989), 1999 (CA, 1999) y 2009 (CA, 2009), para analizar la relación entre cambios del olivar y estructuras agrarias. Por último, se ha buscado en la prensa local de áreas cercanas información sobre las tensiones que rodean al cultivo del olivar en la etapa de la Transición democrática española.

La segunda fuente (cartográfica) fueron los “Mapas de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía a escala 1:25.000 de los años 1956, 1977 y 2007. Nivel detalle de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)”. A partir de ellos, se analizó la localización del olivar y la evolución de su patrón de ajuste. Permitted cartografiar y cuantificar el alcance de la superficie de olivar, así como conocer sus pautas de localización en relación con las características agronómicas del conjunto del terrazgo. La amplia tipología de usos ofrecida para el área de estudio fue exportada a Microsoft Excel 2010, donde se procedió a su agrupación en 8 categorías (ver tabla 1 anexo). El resultado de esta agrupación se recogió tanto de forma cuantitativa (cuadro de distribución de los usos del suelo por municipios) como cartográfica, volcando el archivo Excel a un sistema de información geográfica (SIG). En el análisis se han utilizado también los mapas geológicos y topográficos E. 1: 50.000 números 1037, 1038, 1051, 1052, 1065 y 1066 para precisar la relación entre usos y condiciones agronómicas. Para el tratamiento de todas las capas de información se utilizó el software ArcGis 10.7.1.

Finalmente, el conocimiento de la capacidad agrológica (CA) del área de estudio era fundamental para valorar su aptitud agrícola y comprender mejor los procesos erosivos. Se determinó utilizando el método de De la Rosa y Moreira (1987). Se trata de un método categórico, adaptado de los sistemas de evaluación desarrollados por el USDA (1961) y la FAO (1976), que clasifica los suelos en clases y subclases según sus potencialidades.

4.2.3 *Método de cuantificación remota de la cubierta vegetal de suelo en olivar (F3/OP3, OM1 y OM2).*

Tras determinar mediante revisión bibliográfica que los índices de vegetación se consolidaban como la herramienta más apropiada para el análisis remoto de las cubiertas vegetales de la superficie terrestre, se identificó que, hasta la fecha, no habían sido aplicados para cuantificar densidad de cubierta vegetal de suelo en cultivos leñosos de olivar. Por ello, se desarrolló un método de trabajo que constaba de los siguientes pasos:

(1) Seleccionar 57 fincas de olivares comerciales (Figura 9) en función de los criterios expuestos en la tabla 2. Realizar vuelos con un dron quadcopter Parrot Bluegrass (Parrot S. A, París, Francia) y generar mosaicos de imágenes en el software Pix4Dmapper Pro, versión 4.2.25 (Pix4D S. A, Prilly, Suiza) a partir de la información obtenida por un sensor multiespectral Parrot Sequoia (Parrot S. A, París, Francia) capaz de capturar cuatro bandas espectrales en luz infrarroja visible e invisible: verde (G), rojo (R), red edge (RE) e infrarrojo cercano (NIR).

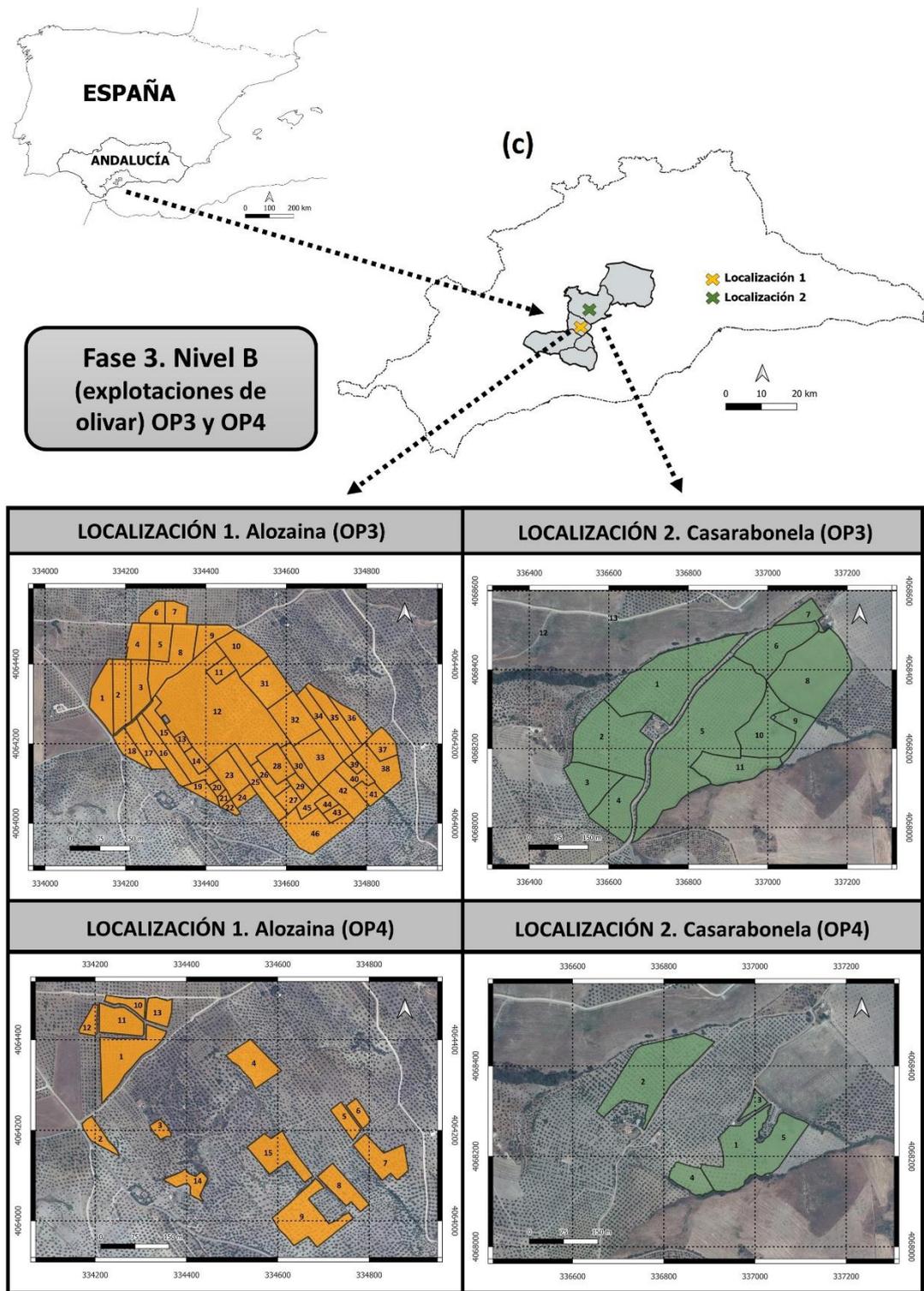


Figura 9. Escala de experimentación y observación. Explotaciones agrícolas (Nivel B): (c) Fase 3. Objetivo particular 3 (OP3) analizar la capacidad de los índices de vegetación junto con la tecnología UAV para cuantificar la densidad de cubierta vegetal existente en el suelo del olivar. Y Objetivo particular 4 (OP4) evaluar las características de la labranza mediante teledetección en parcelas cultivadas con muy alta precisión y bajo costo de computación. (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 2. Criterios de selección de explotaciones OP3*

Para el análisis de la cobertura vegetal se seleccionaron 57 fincas de olivar comercial emplazadas en dos localizaciones diferentes y bajo los siguientes requisitos:

- ✓ Que mostraran la amplia gama de densidades de cubierta vegetal de suelo que presentan los olivares de montaña, comprendidas entre suelo desnudo (0% de cubierta) y vegetación densa (100% de cubierta). Para ello se identificaron parcelas con diferentes manejos de suelo, labradas en diferentes fechas, con el objeto de que las recientemente labradas no mostraran cubierta, las labradas hacen más de 15 días empezaran a mostrar los primeros brotes y las no labradas o labradas hace meses presentaran gran densidad de cobertura vegetal de suelo.
- ✓ Que estuvieran próximas entre sí con el objeto de que se abarcaran todas en un máximo dos planes de vuelo.
- ✓ Que reunieran las condiciones topográficas necesarias para realizar un vuelo seguro a 85-90 m de altura.
- ✓ Que se tuviera el consentimiento de los propietarios.

* OP= Objetivo particular

(2) Aplicar índices de vegetación en base a dos criterios, uno, que emplearan alguna de las cuatro bandas obtenidas por la cámara multispectral (G, R, RE y NIR) y dos, que en la literatura científica preexistente hubieran demostrado un comportamiento variable en función de la densidad de cobertura vegetal. Los índices de vegetación seleccionados fueron: a) los convencionales: Inverse Ratio Vegetation Index (IRVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Difference Vegetation Index (DVI), Green Vegetation Index (GVI), Green-Red Vegetation Index (GRVI) y Vogelmann Rededge Index (VREI) y b) los corregidos o derivados de indicadores tradicionales, o índices de vegetación de diferencia normalizada: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Red Edge (NRDE), Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) y Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI).

(3) Cuantificar la densidad de cobertura vegetal del suelo por medio de 115 parcelas de muestreo usadas como verdad-terreno y distribuidas aleatoriamente. De 1 m², cada una, fueron divididas en cuadrantes de 12,5 cm² lo que proporcionó 49 puntos de control (SP) en los que la cubierta vegetal de suelo fue cuantificada en campo mediante clases binarias “vegetación presente” y “vegetación ausente”.

(4) Calcular el valor de reflectancia medio de las bandas espectrales y de los índices de vegetación en las parcelas de muestreo, debido a las diferencias en la resolución espacial existente entre los vuelos realizados en las distintas fincas.

(5) Evaluar la sensibilidad de los índices de vegetación para cuantificar la densidad de la cobertura vegetal de suelo. La relación entre las bandas espectrales, los índices y los datos de verdad-terreno se determinó mediante análisis de regresión lineal (Stepwise method) y la sensibilidad que los índices mostraban en los diferentes rangos de cubierta

se determinó mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y el test de Tukey's honestly-significant-difference (HSD). Todos los análisis estadísticos se realizaron con IBM SPSS Statistics 25.0.

4.2.4 Método de evaluación remota de las características de la labranza en olivar (F3/OP4, OM1 y OM3).

A diferencia de los anteriores métodos, la bibliografía existente no reflejaba técnicas ni metodologías apropiadas que hubieran sido empleadas con éxito en el estudio de las características del laboreo al nivel requerido. Sin embargo, aplicadas a otros contextos, se contemplaban técnicas que se postulaban como buenos instrumentos para la consolidación de una metodología de análisis sólido de las características del laboreo. En base a ellas, se creó el procedimiento de análisis resumido a continuación en las siguientes fases:

- (1) Adquisición de imágenes de ultra alta resolución en 20 fincas de olivares comerciales (Figura 9) que reunieran los requisitos expuestos en la tabla 3. Se hicieron varios vuelos con drones y sensores diferentes. Unas imágenes fueron obtenidas con un cuadricóptero Parrot Bluegrass y sensor multiespectral Parrot Sequoia (Parrot SA. París, Francia). Este sensor está compuesto por cuatro cámaras capaces de capturar 4 bandas (G, R, RE y NIR). Y las otras se obtuvieron con un cuadricóptero DJI Phantom 4 Pro y una cámara CMOS de 1" (DJI Ltd., Shenzhen (China) con un sensor RGB de 20 Mpx (5472 x 3648 píxeles) de resolución. Ambos vuelos fueron realizados a 90 metros de altura, con un solape lateral de 30% y frontal de 60%.

Tabla 3. Criterios de selección de explotaciones OP4*

Para el análisis de la labranza se seleccionaron 57 fincas de olivar comercial emplazadas en dos localizaciones diferentes y bajo los siguientes requisitos:

- ✓ Que presentaran laboreo bajo diferentes densidades de cubierta vegetal de suelo y diferentes tonalidades de sustrato (claro y oscuro).
- ✓ Que siguieran diferentes patrones de laboreo.
- ✓ Que los surcos de labor fueran claramente visibles en las imágenes remotas.
- ✓ Que todas estuvieran labradas con el mismo sistema de apero.

* OP= Objetivo particular

(2) Generación del ortomosaico y productos geospaciales. Los modelos digitales del terreno (DTM) y superficie (DSM), fueron creados con el software Pix4Dmapper Pro, versión 4.2.25 (Pix4D S.A., Prilly, Suiza). Todo el proceso fue automático, con la excepción de la geolocalización de un conjunto de puntos de control terrestre tomados en cada una de las fincas de estudio mediante una estación de geoposicionamiento global

Trimble Geo XH-6000 (GPS) (TrimbleGeoSpatial, Munich, Alemania). Se produjeron dos ortomosaicos con distancia de muestreo (GSD) de 0,101 m y 0,037 m, y dos pares de MDT y MDS con GSD de 0,50 m y 0,18 m para las imágenes multispectrales y RGB respectivamente.

(3) Desarrollo y aplicación de un procedimiento innovador para cartografiar la dirección del laboreo. Con el software eCognitionDeveloper 9.5 (TrimbleGeoSpatial, Munich, Alemania) se creó un algoritmo original para mapear las operaciones de labranza usando técnicas OBIA. El procedimiento fue nombrado *OBIA4tillage* y estructurado como un conjunto de reglas aplicadas en varias etapas. La primera y segunda incluían la segmentación de parcelas y la clasificación automática de árboles, sombras y suelo desnudo, seguidas de una tercera en la que se identificaban los surcos y crestas que genera el laboreo en el suelo como elementos clave para el cálculo de la dirección de la labranza. Esta etapa también fue diseñada para ignorar aquellos objetos longitudinales o lineales causados por la textura o la imagen de fondo y que no pertenecen a las marcas de labranza, minimizando así el impacto de estos falsos positivos. Por último, la cuarta y quinta etapa consistió en el mapeo en cuadrícula de las parcelas según la labranza y la exportación de datos e imágenes.

(4) Evaluación de las estimaciones de *OBIA4tillage*. El algoritmo *OBIA4tillage* fue creado en parcelas representativas y para cada tipo de imagen (RGB/Multiespectral) como escenarios de entrenamiento. Posteriormente, fue aplicado al resto de la región de estudio y evaluado en 40 parcelas de validación (verdad-terreno) de 10 x 10 m de tamaño. Las parcelas de validación eran diferentes a los campos de entrenamiento, lo que resulta en un procedimiento de evaluación independiente. Los surcos de labranza observados en cada parcela de validación fueron delineados manualmente sobre el ortomosaico y guardados como un archivo vectorial de validación con valores reales de la dirección de la labranza. A continuación, los vectores de validación fueron superpuestos a los mapas de dirección de la labranza, y la labranza estimada fue comparada con los valores de la pendiente, la interceptación y el coeficiente de determinación (R^2) de la ecuación lineal entre ambas variables. El error cuadrático medio de la raíz (RMSE) fue calculado como una medida adicional del error global de las estimaciones. El algoritmo *OBIA4tillage* también fue evaluado según el tipo de cámara utilizada, así como el tono del suelo (claro vs oscuro) y la densidad de la vegetación del suelo (desnuda, escasa, media y densa) observada en cada parcela de validación.

(5) Generación del mapa de laboreo de contorno. Se combinó el mapa de dirección de laboreo con el mapa de dirección de la pendiente para delinear automáticamente las zonas donde se practica el laboreo de contorno/no contorno en las zonas labradas. La capa de dirección de la pendiente fue calculada a partir del DTM obtenido con las imágenes UAV mediante el software ArcGis 10.7 (ESRI, California, EEUU). Los valores de la dirección de laboreo se midieron en grados en el sentido de las agujas del reloj, 0°-180° (norte-sur) y 90°-270° (este-oeste) siguiendo un círculo completo. El tipo de labranza de contorno (perpendicular a la pendiente) y no contorno (a lo largo de la pendiente) se calculó utilizando el álgebra de los mapas rasterizados según los criterios establecidos por Drzewiecki et al. (2013), quienes consideraron laboreo de contorno en aquellas zonas en las que la diferencia entre las direcciones de labranza y de pendiente se encuentran en el rango de 75 y 105 grados (es decir, ambas direcciones son perpendiculares dentro de un

rango de $\pm 15^\circ$), mientras que el no contorno es la zona restante. Este umbral puede ser modificado por el usuario según las condiciones particulares de cada cultivo o región, lo que lógicamente llevaría a una zonificación diferente.

5.1 Análisis de la erosión hídrica basado en indicadores visuales para el establecimiento de las BCAM adaptadas al cultivo del olivar (F1/OP1).

Los resultados mostraron que el sistema ecológico sin labor fue el más efectivo para reducir la erosión hídrica del suelo en el área de estudio. El arado, y la cubierta vegetal, fueron los factores que explicaron dicha efectividad. Por tanto, sostienen la posibilidad de usar el método de análisis de la erosión hídrica basado en indicadores visuales de Blanco (2018) como herramienta para identificar factores de erodabilidad en cultivos de olivar, lo que puede permitir adaptar las BCAM a las condiciones de cada región.

En lo que respecta a los factores que influyen en la erosión, la prueba de Mann-Whitney de varianza entre la superficie no afectada por erosión y el manejo del suelo (laboreo/no laboreo) confirmó que existen diferencias significativas en el intervalo de confianza de 99% ($U = 1,00$; $p < 0,01$). Estos resultados, expresados como sistemas de cultivos, indican que los suelos con el cultivo convencional y ecológico con arado presentaron la superficie menos afectada por erosión ($7,15 \pm 8,68\%$), en contraste respecto a los suelos con sistema de cultivo ecológico sin arado ($52,64 \pm 9,82\%$). Esto es debido a que el laboreo deja el suelo al descubierto y rompe su estructura original, lo que reduce su capacidad de infiltración (Palese et al., 2014) y su resistencia a la erosión (Zhang et al., 2007). Estas consecuencias provocan que el suelo sea más vulnerable a los procesos de degradación en comparación con el manejo sin laboreo (Arshad et al., 1999; Evans, 2006).

El porcentaje de superficie afectada por erosión también presentó una relación significativa con el sistema de cultivo, analizado a través de las variables dummy laboreo ($R = 0,91$; $p < 0,01$), la cobertura vegetal de olivar ($R = -0,46$; $p < 0,01$), la superficie de suelo descubierto ($R = 0,62$; $p < 0,01$) y la cobertura vegetal superficial ($R = -0,54$; $p < 0,01$). Los coeficientes de correlación se incrementaron en todos los casos cuando se analizó la superficie no afectada por erosión: dummy laboreo ($R = -0,92$; $p < 0,01$), dummy cobertura ($R = 0,62$; $p < 0,01$), superficie de suelo descubierto ($R = -0,73$; $p < 0,01$) y cobertura vegetal superficial ($R = 0,70$; $p < 0,01$); y se incorpora la cobertura de rocas del suelo ($R = -0,40$; $p < 0,05$).

El análisis de regresión con la superficie afectada por erosión, como variable dependiente, incluyó en el modelo sólo a la variable dummy laboreo como predictora, con una bondad de ajuste (R^2 corregida) de 0,82; así, el 82% de la variabilidad de la erosión la explica la variable indicada (Cuadro 3. Ecuación 1. Bloque III. Capítulo. 9.1). El análisis de regresión con la superficie no afectada por erosión como variable dependiente, generó dos modelos. El primero fue simple, también con la variable dummy laboreo como predictora, con una bondad de ajuste de 0,85 (Cuadro 3. Ecuación 2. Bloque III. Capítulo. 9.1). El segundo modelo fue múltiple e incluyó, además de la variable anterior, a la superficie de suelo descubierto, con una bondad de ajuste de 0,90 (Cuadro 3. Ecuación 3. Bloque III. Capítulo. 9.1).

La prueba de Kruskal-Wallis de varianza entre la superficie no afectada por erosión y la de suelo descubierto, agrupada en los intervalos 0 a 10, 10 a 40 y 40 a 70%, confirmó que existían diferencias significativas ($\text{Chi cuadrado} = 21,07; p < 0,01$). Los suelos con más de 40% de superficie descubierta mostraron la menor cantidad de superficie no afectada por erosión ($1,67 \pm 1,61$). Les siguieron, con valores cercanos ($8,75 \pm 9,36$), los suelos entre el 10 y el 40% de superficie descubierta y, finalmente, la superficie no erosionada se elevó al 40% ($42,81 \pm 20,03$) en los suelos con superficie descubierta inferior al 10%.

Estos resultados coinciden con los mostrados por Leys et al. (2010), quienes indicaron que la cobertura vegetal del suelo fue la variable más importante para explicar la escorrentía y la erosión hídrica. El papel de la vegetación para mitigar la erosión del suelo en tierras agrícolas en pendiente está probado (Yan et al., 2021). En los olivares mediterráneos, autores como López-Vicente et al. (2016), Gómez (2017) y Franzluebbbers (2002) han mostrado el efecto beneficioso de protección que la cubierta vegetal, tanto viva como muerta, ejerce sobre el suelo reduciendo el sellado de la superficie y la velocidad del flujo superficial.

Así, la cobertura vegetal de suelo y el laboreo se presentaron como los factores más influyentes en la erosión hídrica del suelo en olivar. Mientras que otros factores como la cobertura de copa del olivar y su altura mínima o incluso la pendiente de ladera, no presentaron una relación estadísticamente significativa con la erosión. Estos resultados coinciden con los mostrados por Nanko et al. (2008) en el primer caso, y con Blanco y Aguilar (2015, 2016) en el segundo.

5.2 Relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en la montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la capacidad agrológica de las tierras y la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos, como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores y analizar los términos en los que esta respuesta se ajusta a dicha capacidad. (F2/OP2).

5.2.1. Respecto al proceso de cambio experimentado por el cultivo del olivar entre 1940 y 1975 en el ámbito espacial de la montaña mediterránea andaluza, los resultados:

a) Corroboran la prolongada y discontinua transición entre la economía industrial y la economía orgánica en las áreas de montaña españolas (Gómez, 2009), constatando la continuidad, en la fase autárquica (1939-1958), de elementos propios de la economía orgánica como el arado de palo como apero fundamental y la diversificación de los esquilmos del olivar en un contexto de orientación de la explotación familiar hacia la subsistencia.

b) Muestran que esta gestión no cambia hasta principios de los cincuenta cuando los mayores propietarios empiezan a introducir abonado químico y aperos más complejos como gangas y tractores. En estos años también la aceituna de verdeo empieza a comercializarse.

c) Precisan que la difusión de la gestión propia de la economía industrial tiene lugar entre 1958 y 1975, manifestándose en los siguientes cambios: el cambio de la estructura socioeconómica del conjunto del país, que implica i) el cambio de la dieta y el descenso drástico de los precios del trigo, ii) el éxodo rural, con la consiguiente disminución de la mano de obra familiar, iii) la difusión de los inputs tecnificados con la sustitución de la tracción animal por la mecanización, y de los abonos orgánicos por los químicos. En el área de estudio, i) son las cooperativas las que en los años 60 difunden estos cambios en la gestión; ii) la emigración redundante en la difusión del acceso a la tierra, una evolución común a otras áreas de la provincia de Málaga (Ocaña y Gómez, 2008).

5.2.2. Respecto al ajuste entre capacidad agrológica y evolución del patrón de localización del olivar derivado de estos cambios, así como del inducido por el ingreso de España en la Unión europea

Los resultados muestran que, en la situación de partida (1956), correspondiente a la citada fase de economía orgánica, el 83% del olivar se extendía principalmente por tierras S3 (56,02%) y N (27,18%). La pauta de ubicación reflejaba los procesos de fragmentación, herencia de las fórmulas aplicadas en los Repartimientos, y del sistema de herencia de padres a hijos imperante. También la asociación del olivar con cultivos herbáceos en la zona de los flysches y colinas esquistas. Esta localización se ajustaba a las condiciones agronómicas microtopográficas, siendo el flysch la unidad con mayor capacidad agrológica en la que situar el olivar. Estos resultados verifican el planteamiento de Naredo (1983) en el que se destaca la adaptación de los marcos tradicionales de plantación a las condiciones edáficas y climáticas a microescala.

Entre 1956 y 1977 la superficie de olivar sólo se incrementó en 279,42 ha, (13,97 ha año), de las que 116,14 ha en tierras S3, 96,32 ha en tierras S2 y sólo 54 ha en tierras N. La mayoría de ellas estaban ocupadas por asociación y mosaico de cultivos herbáceos y leñosos en secano y regadío⁶, cultivos herbáceos en secano y asociación y mosaico de cultivos leñosos y herbáceos con vegetación natural. En todos los casos, se trata de usos que perdieron el interés debido al descenso de los precios del cereal y las forrajeras. Para estas fechas, el olivar desciende del piedemonte más agreste (N) hacia las mejores tierras del flysch (S2 y S3) donde las pendientes son menos pronunciadas (entre 15-30%), lo que supone una expansión acorde a la CA de las tierras.

Entre 1977 y 2007, se intensifica el ritmo de expansión del olivar (47,25 ha año) que se localiza en mayor medida en tierras N (727,83 ha) aunque también afectó a 458,89 ha de las S3 y 162,57 ha de S2. Como en la fase anterior, la expansión se nutre de las tierras que provienen de la sangría de cultivos herbáceos en secano (ya muy mermados) y de la asociación y mosaico de cultivos herbáceos y leñosos en secano y regadío. Ocupadas todas las excelentes, buenas y moderadas tierras de los flysch (S1, S2 y S3), la expansión del olivar continuó hacia zonas más marginales (N), las cuales acogieron más del 30% de la expansión experimentada en este periodo, redundando por tanto en una pérdida de adaptación del cultivo a la CA de las tierras.

⁶ La presencia de los cultivos de regadío en estas asociaciones es muy escasa, representando sólo el 0,08% en 1956, 0,02% en 1977 y 0,21% en 2007, y por ello no es significativa de la evolución de la misma.

5.2.3. En relación a la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores socio-económicos y a su incidencia en el ajuste entre capacidad agrológica y patrón de localización.

De los resultados se ha deducido que, a igualdad de políticas, son los entornos socioeconómicos de escala regional los que condicionan la toma de decisiones. Así, en relación con la PAC aplicada en la primera fase que sigue al ingreso de España en la Unión Europea, en entornos con mayor paro a escala regional, como el extremeño o el andaluz los campesinos optan por el olivar en las zonas de montaña media, ligado al empleo de la mano de obra familiar aún con remuneración reducida por el margen de rentabilidad. Por el contrario, en Cataluña ya en el Desarrollismo el olivar dejó de ser una opción atractiva, sustituida por otras menos demandantes en mano de obra. Por otra parte, y como se ha indicado, esta opción supone una pérdida de adaptación del cultivo a la CA de las tierras.

5.2.4. Considerar si los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica pueden ser de utilidad como propuestas de gestión actual del olivar de montaña adaptadas al sistema de condicionalidad.

Los resultados mostraron que estos procedimientos no son idóneos por los motivos que se exponen a continuación: a) la participación del ganado en el estercolado y deshierbe se mostró realmente compleja. Aunque de manera general se reconoce el estiércol como beneficioso para el olivar, la información sobre la vinculación entre el semoviente y el olivar es contradictoria. En algunos casos se muestra la compatibilidad del ganado menor (cabras, ovejas y cerdos) con el ciclo productivo del olivo como elemento de desherbado y estercolado, y en otros aluden a una relación hostil. b) Frente a esta indefinición, las opiniones sobre el desherbado del olivar son unánimes. La cobertura arvense que crece de manera espontánea en el suelo del olivar era valorada muy negativamente por la mayoría de los agricultores de la época debido, según ellos, a la competencia por los recursos (nutrientes y agua) que ejerce al cultivo. Su eliminación se hacía a base de laboreos continuos y profundos. c) Por último, sólo en el contexto de una abundante mano de obra mal retribuida en jornales y/o ligada a la explotación familiar de subsistencia, pueden entenderse las prácticas agrarias que aplicaban para el control de la erosión. Enterramiento de cárcavas con piedras, mantenimientos de cauces limpios, construcción de diques, albarradas, calzadillas, sangraderas y atajadizo eran las prácticas más comunes.

En función de lo anterior, los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica difícilmente pueden ser de utilidad para la propuesta de forma de gestión de olivar de montaña adaptada al sistema de condicionalidad, debido a la percepción del laboreo continuado y profundo como prácticas fundamentales para la producción. Autores como Calatrava et al. (2007), mostraron como dichas prácticas conducen a un empobrecimiento del suelo al favorecer la mineralización de la materia orgánica y los procesos erosivos. De igual manera que el mantenimiento de la cobertura vegetal en el suelo del olivar no está bien visto, aún menos el cultivo de leguminosas y forrajeras como abono sideral que autores como Naredo (1983) constataban en sus estudios como medida paliativa de la erosión. En conjunto, estas constataciones cuestionan la estabilidad a largo plazo de las

prácticas preindustriales (Naredo, 1983) y, por el contrario, ratifican los planteamientos de Remmers (1993) poniendo de manifiesto la dificultad de identificar criterios de sostenibilidad, no ya en las prácticas agrarias de los entrevistados sino sobre todo en su sistema de valores agronómicos.

5.3 Cuantificación remota de la cubierta vegetal de suelo en olivar (OP3, OM1 y OM2).

Los resultados manifestaron la capacidad de los mecanismos de análisis remoto para el estudio de las cubiertas vegetales en olivar. Los análisis de regresión entre las bandas espectrales y la densidad de cubierta vegetal de suelo (VGC) de olivar mostraron que las longitudes de onda R y G tenían una mayor capacidad explicativa ($R^2 = 0,58$ y $R^2 = 0,50$, $p < 0,001$, respectivamente) que las bandas NIR y RE ($R^2 = 0,33$ y $R^2 = 0,17$, $p < 0,001$, respectivamente). No obstante, cuando se combinaron las bandas R y NIR el análisis de regresión múltiple mejoró significativamente (R^2 corregida = 0,74, $p < 0,001$). Los índices de vegetación (VI) cuantificaron con éxito la VGC e incrementaron la información de reflectancia de la vegetación obtenida por las bandas espectrales de manera individual. IRVI, NDVI y NRVI fueron los que presentaron mayor capacidad explicativa para estimar la densidad de VGC ($R^2 > 0,81$, $p < 0,001$) presente en el área de estudio. Todos operaban con las bandas R y NIR lo que les permitió obtener los mejores resultados. Esto es debido al comportamiento espectral de la vegetación con una mayor absorción de las ondas electromagnéticas en la región R, por la clorofila, y alta reflectancia en la región del NIR debido a las estructuras micro celulares que conforman el material de la hoja (Tucker, 1980). Aunque estos tres VI mostraron valores muy próximos entre sí, el mejor resultado se obtuvo con el IRVI ($R^2 = 0,82$, $p < 0,001$), cuya capacidad para medir la biomasa herbácea verde presente al final de la temporada de lluvia ya fue mostrada por Verbesselt et al. (2006). No ocurrió lo mismo con aquellos VI que basaron sus cálculos en las bandas G o RE. Los resultados indicaron que la banda G, empleada de manera individual, obtenía un resultado aceptable ($R^2 = 0,50$, $p < 0,001$). Sin embargo, su incorporación a los VI empeoró el resultado de los mismos. Fue el caso del GNDVI ($R^2 = 0,80$, $p < 0,001$) y más sensiblemente del GRVI ($R^2 = 0,52$, $p < 0,001$), con respecto al NDVI ($R^2 = 0,81$, $p < 0,001$). Estos VI mostraron resultados más bajos al sustituir la banda R por la G (GNDVI) y la NIR por la G (GRVI). Estos resultados coinciden con los obtenidos en los trabajos de Khajeddin (1995) y Barati et al. (2011), en los que se muestran que el uso de la banda G reduce la sensibilidad de los VI. Por otro lado, la banda RE, utilizada de manera individual, no obtuvo buenos resultados ($R^2 = 0,17$, $p < 0,001$), lo que se refleja de igual modo en los VI que la han incorporado a su cálculo, como VREI ($R^2 = 0,48$, $p < 0,001$) y NDRE ($R^2 = 0,50$, $p < 0,001$). Así se mostró que los VI basados en la banda RE son poco sensibles a la cuantificación de VGC, a pesar de que autores como Dong et al. (2019) afirmaron que eran los más sensibles a la clorofila y a partir de ellos era posible lograr un modelo empírico para la estimación del índice de área foliar en diferentes cultivos.

Se comprobó que el Inverse Ratio (IRVI), comparativamente con el Simple Ratio (RVI) ($R^2 = 0,49$, $p < 0,001$), mejoró sustancialmente los resultados. El resto de los VI simples (DVI, GVI y VREI) presentaron los valores más bajos, al explicar tan sólo entre el 48 y el 67% de la variabilidad de la VGC.

De la misma manera, la normalización mejoró sustancialmente los resultados de los VI. Este ha sido el caso del NDVI ($R^2 = 0,81$, $p < 0,001$) que, sin normalizar (DVI), presentó una capacidad más baja para explicar la VGC ($R^2 = 0,67$, $p < 0,001$). Esta diferencia se mostró más sensible con el NRVI ($R^2 = 0,81$, $p < 0,001$) que, sin normalizar (RVI), se redujo un 32% su capacidad explicativa ($R^2 = 0,49$, $p < 0,001$). Estos resultados son acordes a los obtenidos por Carlson y Ripley (1997) y Hassan et al. (2019), quienes obtuvieron buenos resultados con índices normalizados, como el NDVI, para estimar la fracción de cobertura vegetal. La normalización de los índices suele mejorar los resultados porque permite una mayor separación de la vegetación verde del brillo del suelo de fondo (Rouse et al., 1973) y reducen los efectos producidos por los factores topográficos, atmosféricos y de iluminación (Baret y Guyot, 1991).

A pesar de la confianza depositada en SAVI, éste no se encontró entre los índices con mejores resultados ($R^2 = 0,77$, $p < 0,001$), debido a que el área de estudio presentaba un predominio de zonas con alta densidad de cubierta vegetal (el 44% de los puntos de control contenían una VGC superior al 80%) y este VI fue diseñado para analizar zonas con escasa cubierta vegetal (Huete, 1988).

Como era de esperar, el comportamiento de los VI frente a las distintas densidades de VGC no fue homogéneo. La capacidad de los VI para diferenciar densidades de VGC aumentó con el incremento del rango de intervalo de cubierta. El HSD Tukey test mostró que los índices más adecuados para cuantificar zonas con densidades de VGC superiores al 80%, a un rango de intervalo de cubierta del 10%, fueron RVI ($p < 0,001$), DVI, GVI y SAVI ($p < 0,01$) y NRVI y NDVI ($p < 0,05$). Se esperaba que NDRE y VREI obtuvieran el mismo resultado que los anteriores, ya que son índices que, normalmente, se muestran más robustos y funcionan mejor en las zonas donde existe una mayor densidad del dosel (Mutanga y Skidmore, 2004), al no presentar carencias por saturación (Huete et al., 2002; Eitel et al., 2011; Marx, 2013). Estos VI empezaron a mostrarse significativos ($p < 0,05$) cuando el rango de cubierta fue del 15% (VREI) y del 20% (NDRE).

Para la discriminación de zonas con densidad de VGC inferior al 30%, IRVI ($p < 0,01$) se mostró como el índice más significativo a un rango de intervalo de cubierta del 15%. Su capacidad de estimación disminuyó con el aumento de la biomasa, ya que cuanto mayor es la biomasa, menor es la reflectancia de la banda R y mayor la reflectancia de la banda NIR (Verbesselt et al., 2006).

No fue hasta el rango de intervalo de cubierta del 30% cuando IRVI, NRVI y NDVI ($p < 0,001$ y $p < 0,01$) y GNDVI y SAVI ($p < 0,001$ y $p < 0,05$) se mostraron significativos para diferenciar todos los intervalos de cobertura vegetal con un mismo rango. De lo anterior, se deduce que los VI son especialmente sensibles para detectar y cuantificar superficies homogéneas, como son las zonas completamente cubiertas y las zonas sin cubierta vegetal, lo que no ocurre cuando la VGC es escasa o intermedia, debido a que la reflectancia de la superficie no depende exclusivamente de la cubierta, sino también de otros factores, como el suelo (Huete et al., 1985; Iaquina y Fouilloux, 1998).

En este estudio, se puso al límite la capacidad de aplicación de los VI, al ser utilizados en una región donde la cubierta de suelo era muy heterogénea, desde parcelas labradas hace meses en las que la VGC cubría el suelo densamente, hasta parcelas recientemente labradas en las que el suelo se presentaba desnudo, y bajo diferentes manejos de suelo

(laboreo vs no laboreo). En este contexto, se asume como normal que no sea hasta el rango de intervalo de cubierta del 30% cuando algunos de los VI se muestran significativos para diferenciar todos los intervalos de cobertura vegetal con un mismo rango, y se prevé una mejoría de los resultados en cultivos o zonas en las que las cubiertas de suelo no sean tan heterogéneas.

5.4 Evaluación remota de las características críticas de la labranza en olivar (OP4, OM1 y OM3).

Los resultados manifestaron la capacidad de los mecanismos de análisis remoto para el estudio del laboreo en olivar. El principal avance obtenido en esta etapa ha sido el procedimiento automático, robusto y auto adaptable a cualquier imagen remota de ultra alta resolución (UHR). Independientemente del sensor utilizado (RGB y multiespectral) y del escenario estudiado (por ejemplo, patrón de plantación de árboles, tonalidades de suelo, etc.), *OBIA4tillage* se ha mostrado capaz de realizar con éxito tres tareas consecutivas: 1) identificación remota y automática del rasgo de la labranza (surco), 2) cálculo de la dirección de los surcos de la labranza, y 3) zonificación de las áreas de labranza de contorno y sin contorno.

De la primera parte del proceso, se obtuvo como resultado un mapa de dirección de laboreo a 1 m de resolución espacial que mostró, con un detalle sin precedentes, los principales patrones de laboreo empleados a nivel de parcela. La relación lineal entre los valores observados y los estimados de la dirección de labranza mostró una alta precisión del procedimiento *OBIA4tillage* para ambos sensores empleados. No obstante, los resultados con RGB fueron ligeramente mejores ($R^2 = 0,992$), que los obtenidos con el sensor multiespectral ($R^2 = 0,927$) con RMSE de 3,23 y 9,65 respectivamente. Esto puede atribuirse a la mayor resolución espacial del primero (imágenes de 5472×3648 píxeles, 20 MP) con respecto al segundo (imágenes de 1280×960 píxeles, 1,2 MP). Comparando las resoluciones espaciales y espectrales de ambas cámaras, el aspecto crítico en la identificación de la labranza era disponer de imágenes remotas con un tamaño de píxel en el terreno (GSD) de unos pocos centímetros que permitieran identificar el surco de labor, en lugar de tener imágenes con más espectro o información infrarroja. Esto llevó a mejores resultados con la cámara RGB porque su resolución espacial supera a la de los sensores espectrales (Maes y Steppe, 2019).

Se observó en las parcelas de estudio que la dirección de labranza era predominantemente homogénea y, en muchos casos, ésta no coincidía con el lado más largo de la parcela, contradiciendo así el supuesto de base adoptado por metodologías anteriores en el análisis de la dirección de la labranza (Drzewiecki et al., 2013). Los patrones de labranza se mostraron diferentes en cada parcela debido, principalmente, a la decisión personal de cada agricultor. El criterio principal empleado era la reducción del número de maniobras del tractor, lo que a su vez dependía de una combinación de factores como el tamaño y la forma de las parcelas, sus características topográficas, marco de plantación del cultivo y los obstáculos físicos. Los cambios en la dirección de la labranza detectados con respecto a la dirección principal, se produjeron en zonas muy localizadas y estuvieron vinculados a los giros del tractor al final de cada pase de labor y en las proximidades de los obstáculos. Esta valiosa información puede integrarse en los modelos

de traslocación de labranza existentes que se muestran limitados en escenarios complejos con numerosos árboles u obstáculos (Vanwalleghem et al., 2010). También puede alimentar los algoritmos de predicción de la redistribución del suelo surgida de diferentes patrones de labranza en una parcela dada (De Alba, 2003).

La combinación de imágenes UHR con técnicas OBIA fue esencial para la obtención de dichos resultados. La información extraída sobre las características geométricas, posición, y jerarquía de los objetos permitió que el procedimiento *OBIA4tillage* fuera bastante robusto en la clasificación de los signos de labranza y en el cálculo de la dirección de labranza. En trabajos anteriores, se ha explotado la capacidad de la teledetección y de OBIA para cartografiar características lineales de la vegetación/suelo y otros elementos singulares asociados al estudio de la tierra (Díaz-Varela et al., 2014; Karydas et al., 2009), patrones de cultivo (Torres-Sánchez et al., 2015), o paisajes agrícolas (Sheeren et al., 2009; Aksoy et al., 2010), pero hasta donde sabemos, este es el primer intento de detectar y medir las características lineales de operaciones de labranza en escenarios de cultivo.

OBIA4tillage ha superado también algunas de las debilidades intrínsecas del análisis de objeto como los errores de segmentación mostrados en Sheeren et al. (2009), o confusiones entre objetos de forma o estructura similar citados en Aksoy et al. (2010). Ello se ha conseguido con un método que, lejos de aplicar una segmentación y clasificación estándar, desarrolla un nuevo algoritmo adaptado a la diversidad intrínseca de los campos estudiados evitando el efecto de las nubes, del cultivo y de las sombras, fuentes de errores comunes que perjudican gravemente la calidad de la clasificación y afectan a la interpretación de los resultados (Ng et al., 2017).

El fondo del suelo y la cubierta vegetal fueron otros factores estudiados que también suelen tener un gran impacto en la calidad del análisis de las imágenes (Huete, 1988), principalmente en las clasificaciones tradicionales basadas en píxeles. Por un lado, el procedimiento *OBIA4tillage* era insensible al suelo mostrando resultados similares para suelos claros y oscuros ($R^2 = 0,96$), aunque la RMSE era bastante mejor en los suelos claros. En cambio, la densidad de vegetación en el suelo sí afectó de manera directa mostrando los mejores resultados en zonas con valores extremos de densidad de cobertura vegetal de suelo, es decir, ya sea en zonas de vegetación densa o en suelo desnudo ($R^2 = 0,99$), y una muy baja RMSE de 2,21 y 3,77 respectivamente. Por el contrario, tenía cierta imprecisión en la estimación de las direcciones de labranza en zonas con una densidad de vegetación media ($R^2 = 0,96$, RMSE = 6,80) y dispersa ($R^2 = 0,81$, RMSE = 8,20), debido a que las marcas de labranza eran más difíciles de identificar en estos últimos escenarios por el impacto de los parches irregulares de vegetación en la estructura del suelo. Investigaciones resultantes de la etapa anterior (Lima et al., 2019), mostraron escenarios en los que las imágenes multiespectrales de UAV lograron mejores estimaciones de la densidad de cubierta vegetal en zonas con valores altos (>80%) y bajos (<30%) de cubierta vegetal. Reafirmando así, el peso relativo de la vegetación y el suelo en el resultado del análisis remoto (Iaquinta y Fouilloux, 1998).

En la segunda parte del proceso, se combinó el mapa de dirección de labranza con el mapa de dirección de la pendiente en rangos de 0°-180°. Del cruce de información se obtuvieron las áreas con labranza de contorno y no contorno, pudiendo estimar así la aptitud del laboreo en relación con la pendiente del terreno a efectos de estudio de los

riesgos de erosión. Los resultados mostraron que la práctica de laboreo de contorno, no estaba muy extendida en la mayoría de las parcelas analizadas, mientras que en otras llegaba a ocupar más del 90% de su superficie.

En general, el procedimiento *OBIA4tillage* representa una mejora metodológica para el estudio de las tierras labradas en comparación con las investigaciones anteriores de Drzewiecki (2008), Drzewiecki et al. (2013), Božek et al. (2016), Panagos et al. (2015, 2020), y se demuestra que es una herramienta eficaz para contribuir a: 1) apoyar los estudios sobre la evaluación del riesgo de erosión de la labranza, como señalan Rawat et al. (2016), ya que los mapas de dirección de la labranza generados mediante este método servirían para mejorar la estimaciones del coeficiente de transporte de la labranza y del factor de práctica de conservación (P) de los modelos erosivos, y así contribuir a la consecución de un modelo ideal para estimar la pérdida de suelo de la tierra cultivable, como argumenta Panagos et al. (2020); 2) Permitir un control efectivo y oportuno de los efectos de erosión de la labranza a través de la adopción de un sistema de teledetección que informa sobre la incidencia de la labranza en diversas escalas temporales (Xu et al. 2019) y 3) proporcionar a los organismos públicos responsables de las políticas agrarias instrumentos eficaces para vigilar el cumplimiento de las estrategias de labranza de contorno en las zonas cultivadas, verificando así la aplicación de las medidas de condicionalidad relacionadas con la gestión del suelo y la reserva de carbono como estipulan los actuales reglamentos agrícolas de la PAC (EC, 2020).

Capítulo 6: Conclusiones finales y líneas futuras de investigación.

En base a los objetivos establecidos se sintetizan las siguientes conclusiones:

1.-Respecto a la posibilidad de establecer BCAM adaptadas a los cultivos de olivar en áreas de montaña del sur de España (OP1), se ha identificado que el sistema de cultivo ecológico sin labor es el mejor para controlar la erosión (OE1). El efecto combinado de conservación de la estructura del suelo y de la cubierta vegetal superficial explicó las diferencias (OE2). Así determina que el manejo del suelo (laboreo/no laboreo) y la cobertura vegetal pueden configurarse como medidas para definir las BCAM adaptadas a las características específicas de cada región (OE3). Y concluye que el método de análisis de la erosión hídrica del suelo empleado ha sido apropiado (OE4).

2.-En la determinación del proceso de cambio experimentado por el cultivo del olivar entre 1956 y 2007 en el ámbito espacial de la montaña mediterránea andaluza (OP2), se ha mostrado que la combinación de la información oral y cartográfica permite matizar la cronología aportada por la revisión bibliográfica. Se validó la hipótesis de que se trata de una evolución desde un contexto socioeconómico correspondiente a la economía orgánica (Wrigley, 1988) a uno vinculado a la economía industrial introduciendo, además, como novedad, un breve período (primeros años de la década de los cincuenta), de introducción de maquinaria y abono químico por los mayores propietarios (OE5). Los resultados también mostraron la dificultad de considerar los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica como propuestas de gestión actual del olivar adaptadas al sistema de condicionalidad (OE6), debido a la contradicción entre los valores en los que basaban (identificados por sus valoraciones verbales) las prácticas agrarias. La contundencia de las respuestas sobre la práctica del deshierbe lleva a incluirla entre las relacionadas con la economía orgánica y a desligarla, por tanto, de la difusión de los herbicidas químicos que no vendrían sino a facilitar una tarea considerada por las prácticas tradicionales como indispensable. En este sentido, la dimensión negativa aportada por la economía industrial sería la de la toxicidad aportada al suelo por los herbicidas químicos, pero no incidiría en un incremento de la erosión por desprotección del suelo ya que las labores del olivo en primavera estaban destinadas al deshierbe, bien con arado, bien a mano. Por el contrario, las contradicciones implícitas en las valoraciones del recurso al ganado abren la posibilidad de recuperar la asociación con el ganado menor para deshierbe y estercolado, pero con pastoreo controlado para no dañar el olivar y con complemento de alimentación en verano para suplir la falta de pasto.

Respecto a las modificaciones experimentadas por la evolución del ajuste entre la localización del olivar, la capacidad agrológica (CA) y los factores socioeconómicos a lo largo del período comprendido entre 1956 y 2007 (OP2), la metodología empleada ha permitido cartografiar la reducida CA del área de estudio (88,74% de las tierras catalogadas como de moderada capacidad de uso y marginales), cuantificar la superficie de olivar, sus cambios, y demostrar la continuidad de su primacía (siempre más del 20% del total de las tierras labradas). La combinación de lo anterior con la información oral y bibliográfica ha tenido como resultado la identificación de dos patrones ligados a los contextos socioeconómicos y a las políticas públicas: 1) la Fase de tecnificación del olivar, estudiada mediante la comparación de la cartografía de 1956 y 1977, se caracteriza

por una expansión del olivar muy reducida (13,97 ha año⁻¹) que afecta principalmente a las tierras S3 (116,14 ha) y S2 (96,32 ha) y que ligamos a la baja rentabilidad del herbáceo de secano. Esta expansión fue acompañada de un reforzamiento del minifundismo por la adquisición de tierras por los emigrantes, en el contexto de éxodo rural, y 2) la Fase de Olivar Subvencionado por la PAC, analizada mediante la comparación de la cartografía de 1977 y 2007, se caracteriza por un incremento del ritmo de expansión del olivar (47,25 ha año⁻¹) y su extensión hacia tierras de menor aptitud N (727,83 Ha) y S3 (458,89 Ha) pero también a superficies en regadío S2 (162,57 Ha). Este cambio fue acompañado de una pérdida de explotaciones minifundistas en beneficio de las explotaciones medianas. Por tanto, los factores que influyen en la toma de decisiones de los campesinos respecto al olivar han pasado de un objetivo que antepone el estatus a la rentabilidad (en un contexto de política agraria poco favorable para el olivar de montaña) a otro basado en la rentabilidad derivada de la subvención. Respecto el balance positivo o negativo en términos de estabilidad medioambiental, los resultados muestran una evolución positiva hasta 1977 y claramente negativa en adelante, corroborando así la idoneidad del cambio de orientación de la PAC hacia el desacoplamiento.

3.-En cuanto a las capacidades de los índices de vegetación junto con la tecnología UAV para cuantificar la densidad de cubierta vegetal de suelo en olivar, se ha demostrado que dicha tecnología permite cuantificar con exactitud la densidad de cubierta vegetal de suelo que crece espontáneamente en cultivos de olivar (OP3). De los 11 índices empleados, IRVI fue el más sensible para cuantificar la densidad de VGC en intervalos entre el 10 y el 25%. Sólo cuando el rango de intervalo de cubierta subió al 30%, IRVI, NRVI, NDVI, GNDVI y SAVI permitieron diferenciar la serie completa de densidades. Estos resultados han permitido: a) avanzar en el análisis del comportamiento de los índices de vegetación frente a distintas densidades de cubierta de suelo (OE7); b) cuantificar y mapear de manera remota la VGC en cultivos de olivar con cubierta heterogénea (OE8 y OE9); c) contribuir a cubrir las necesidades de herramientas de control y seguimiento que permitiría a la PAC el cumplimiento de la condicionalidad en materia de cobertura mínima del suelo (OE10) y d) mejorar el conocimiento de la temporalidad de las operaciones de labranza (OE11), lo que ha permitido constatar el carácter dinámico y heterogéneo que presenta la cobertura vegetal de suelo en olivar, para adecuarla a las condiciones de la precipitación como medida de control de la erosión.

4.-Finalmente, el desarrollo de un procedimiento automático y remoto para evaluar las características críticas de la labranza en parcelas cultivadas con muy alta precisión y bajo costo de computación (OP4) ha sido alcanzado mediante un innovador procedimiento automático y remoto (*OBIA4tillage*) que ha permitido evaluar y mapear, con gran nivel de detalle, las características de la labranza en olivares (OE12). Con ello, se contribuye a la provisión de herramientas de control y seguimiento que permitan a los beneficiarios de la PAC cumplir los requisitos de la condicionalidad (OE15). El procedimiento detectó con éxito las marcas de labranza y calculó la dirección del laboreo en escenarios agrícolas complejos permitiendo cartografiar la labranza de contorno (EO14) en múltiples parcelas aradas en diferentes fechas y con una amplia gama de matices de suelo, densidad de vegetación y topografía (OE13). Se evaluó la calidad del mismo con diferentes sensores (RGB y Multiespectral), mostrando buenos resultados en ambos casos. Aunque el sensor RGB fue superior al multiespectral ($R^2 = 0,99$ y $0,93$, respectivamente). También se mostró la no afección de la tonalidad suelo (clara/oscura) en la calidad de los datos de

OBIA4tillage, y su leve reducción de precisión en escenarios de densidad de cubierta vegetal de suelo media ($R^2 = 0,96$, RMSE = 6,80) y dispersa ($R^2 = 0,81$, RMSE = 8,20) (OE13).

En definitiva, por todo lo anterior, se considera cumplido el OG propuesto de aplicar y desarrollar técnicas remotas como herramientas con las que poder adaptar, gestionar y controlar, a escala de parcela, las BCAM impuestas por la PAC relacionadas con el suelo. Se ha mostrado como la teledetección es una herramienta eficaz en la evaluación de situaciones de riesgo relacionadas con el impacto que las actividades agrícolas generan en la conservación del suelo, permitiendo configurar procedimientos remotos, como los empleados en la presente tesis doctoral, que representan un significativo avance en la protección del medio ambiente frente a la desertificación y el calentamiento global.

Además, la presente tesis doctoral ha asentado en el doctorando las bases de futuras líneas de investigación, algunas de las cuales ya ha comenzado, y que se enumeran a continuación:

1. La merma de rentabilidad unida a la inestabilidad de los mercados puede repercutir en un abandono del olivar y, con él, en una intensificación de los procesos de despoblamiento de las áreas rurales de montaña. La posibilidad de reorientar las ayudas comunitarias, fundamentales para sostener la rentabilidad que impida dicho abandono, hacia el modelo “asignación de dinero público a cambio de bienes públicos” (Gómez-Limón y Arriaza, 2011, p. 126) fundamentada en “la formalización de compromisos por parte de los agricultores por la provisión de bienes públicos de carácter ambiental (biodiversidad, minimización de la erosión) y sociocultural (empleo estable, producción de aceite con calidad diferencial, mantenimiento del patrimonio cultural asociado al cultivo)” (ibidem) es la propuesta más adecuada, en nuestra opinión. Como se desprende del presente estudio, el seguimiento de la evolución de los criterios y efectos de la toma de decisiones por los agricultores revela que éstos saben adaptarse a las políticas más convenientes para sus ingresos.
2. A pesar de la marginalidad ecológica y económica que en la actualidad hostiga al olivar de montaña, la importancia de su conservación, radica en las funciones no productivas que posee. El olivar se configura como un agrosistema que proporciona a la sociedad servicios ecosistémicos no productivos como la vigilancia de los territorios, el mantenimiento del paisaje, lucha contra el cambio climático y el avance de la desertización, preservación de los sistemas locales de producción, entre otros. Por tanto, se prevé estudiar nuevas estrategias de gestión para su mantenimiento y consolidación sostenible en la montaña mediterránea.
3. Debido al carácter tan dinámico y heterogéneo que ha presentado la cubierta vegetal de suelo en olivar, en continuidad con esta línea de trabajo, se prevé aplicar la metodología de cuantificación de la densidad de cubierta vegetal propuesta a imágenes multitemporales obtenidas en las restantes estaciones

climáticas (verano, otoño e invierno), y en regiones donde exista una menor heterogeneidad de densidades de cubierta de suelo.

4. Como se ha mostrado, *OBIA4tillage* se ha consolidado como un primer paso esencial en la supervisión de las prácticas de labranza con una precisión y fiabilidad sin precedentes. No obstante, sería conveniente continuar con investigaciones futuras en las que se evaluara la capacidad de dicho procedimiento empleando otros sistemas de teledetección (por ejemplo, plataformas satelitales) y en otros escenarios agrícolas (diferentes cultivos, herramientas de labranza, paisajes, etc.), así como para adaptar los algoritmos a otros lenguajes de programación o computación.

Chapter 7: Final conclusions and future lines of research.

Based on the established objectives, the following conclusions can be summarized:

1.- Regarding the possibility of establishing GAEC adapted to olive cultivation in mountain areas of southern Spain (PO1), the no-tillage organic farming system was identified as the best for erosion control. The combined effect of soil structure conservation and surface vegetation cover explained the differences. It determines that soil management (tillage/no tillage) and vegetation cover can be configured as measures to define GAEC adapted to the specific characteristics of each region. And it concludes that the soil water erosion analysis method used has been appropriate.

2.- In determining the process of change experienced by olive growing between 1939 and 2007 in the spatial area of the Andalusian Mediterranean mountains (PO2), it has been shown that the combination of oral and cartographic information makes it possible to qualify the chronology provided by the bibliographic review. The hypothesis that this is an evolution from a socio-economic context corresponding to the organic economy (Wrigley, 1988) to one linked to the industrial economy was validated, also introducing, as a novelty, a brief period (early 1950s) of introduction of machinery and chemical fertilizer by the largest landowners. The results also showed the difficulty of considering the cultivation procedures applied in the organic phase as current olive grove management proposals adapted to the cross-compliance system. Due to the contradiction between the values on which they based (identified by their verbal assessments) the farming practices. The forcefulness of the responses on the practice of weeding leads us to include it among those related to the organic economy and thus to dissociate it from the spread of chemical herbicides, which would only facilitate a task considered by traditional practices as indispensable. In this sense, the negative dimension contributed by the industrial economy would be that of the toxicity brought to the soil by chemical herbicides, but it would not lead to an increase in erosion due to the lack of protection of the soil, since the olive trees were weeded in the spring, either by ploughing or by hand. On the other hand, the contradictions implicit in the valuations of the use of livestock open up the possibility of recovering the association with small livestock for weeding and weeding, but with controlled grazing so as not to damage the olive grove and with supplementary feeding in summer to make up for the lack of pasture.

With regard to the changes experienced by the evolution of the adjustment between olive grove location, agrological capacity (AC) and socio-economic factors over the period from 1956 to 2007 (PO2), the methodology used has made it possible to map the reduced AC of the study area (88.74% of the land classified as of moderate use capacity and marginal), quantify the area of olive groves, their changes, and demonstrate the continuity of their primacy (always more than 20% of the total cultivated land). The combination of the above with oral and bibliographic information has resulted in the identification of two patterns linked to the socio-economic contexts and public policies: 1) the Technification Phase of the olive grove, studied by comparing the cartography of 1956 and 1977, is characterised by a very reduced expansion of the olive grove (13.97 ha year⁻¹) which mainly affects the S3 (116.14 ha) and S2 (96.32 ha) lands and which we

link to the low profitability of rainfed arable farming. This expansion was accompanied by a reinforcement of smallholding due to the acquisition of land by emigrants, in the context of rural exodus, and 2) the CAP-subsidized olive grove phase, analyzed by comparing the 1977 and 2007 mapping, is characterized by an increase in the rate of expansion of the olive grove ($47.25 \text{ ha year}^{-1}$) and its extension towards lands of lower aptitude N (727.83 ha) and S3 (458.89 ha) but also to irrigated S2 (162.57 ha). This change was accompanied by a loss of smallholdings to medium-sized farms. The factors influencing farmers' decision-making with regard to olive growing have therefore shifted from an objective that puts status before profitability (in a context of agricultural policy that is not very favorable to mountain olive groves) to one based on profitability derived from subsidies. As regards the positive or negative balance in terms of environmental stability, the results show a positive trend up to 1977 and a clear negative trend thereafter, thus corroborating the appropriateness of the CAP's shift towards decoupling.

3.-Regarding the capabilities of vegetation indices together with UAV technology to quantify ground vegetation cover density in olive orchards, it has been demonstrated that UAV technology allows to accurately quantify the density of spontaneously growing ground vegetation cover in olive orchards (PO3). Of the 11 indices used, IRVI was the most sensitive for quantifying VGC density at intervals between 10 and 25%. Only when the canopy interval range went up to 30%, IRVI, NRVI, NDVI, GNDVI and SAVI were able to differentiate the complete series of densities. These results have made it possible to: (a) advance in the analysis of the behaviour of vegetation indices against different ground cover densities; (b) remotely quantify and map GVG in olive crops with heterogeneous cover; c) contribute to cover the needs for control and monitoring tools that would allow the CAP to comply with minimum soil cover cross-compliance and d) improve knowledge of the seasonality of tillage operations, which has made it possible to ascertain the dynamic and heterogeneous nature of vegetation cover in olive groves, in order to adapt it to rainfall conditions as an erosion control measure.

4.-Finally, the development of an automatic and remote procedure to assess critical tillage characteristics in cultivated plots with very high precision and low computational cost (PO4) has been achieved through an innovative automatic and remote procedure (*OBIA4tillage*) that has allowed to assess and map, with a high level of detail, the characteristics of tillage in olive groves. In doing so, it contributes to the provision of control and monitoring tools to enable CAP beneficiaries to comply with cross-compliance requirements. The procedure successfully detected tillage marks and calculated tillage direction in complex agricultural scenarios allowing mapping of contour ploughing on multiple plots ploughed on different dates and with a wide range of soil nuances, vegetation density and topography. Contour quality was assessed with different sensors (RGB and multispectral), showing good results in both cases. Although the RGB sensor was superior to the multispectral sensor ($R^2 = 0.99$ and 0.93 , respectively). It also showed no effect of soil tonality (light/dark) on the quality of *OBIA4tillage* data, and a slight reduction in accuracy in scenarios of medium ($R^2 = 0.96$, $RMSE = 6.80$) and sparse ($R^2 = 0.81$, $RMSE = 8.20$) ground cover density.

In short, for all the above, the proposed general objective of applying and developing remote techniques as tools with which to adapt, manage and control, at plot scale, the GAEC imposed by the CAP related to soil is considered to be fulfilled. It has been shown how remote sensing is an effective tool in the assessment of risk situations related to the impact that agricultural activities generate on soil conservation, allowing the configuration of remote procedures, such as those used in this doctoral thesis, which represent a significant advance in the protection of the environment against desertification and global warming.

In addition, this doctoral thesis has laid the foundations for future lines of research, some of which have already begun, and which are listed below:

1. The decline in profitability combined with market instability may lead to the abandonment of olive growing and, with it, to an intensification of the depopulation process in rural mountain areas. In our opinion, the possibility of redirecting EU aid, which is essential to sustain the profitability that prevents such abandonment, towards the model of "allocation of public money in exchange for public goods" (Gómez-Limón and Arriaza, 2011, p. 126) based on "the formalisation of commitments by farmers for the provision of public goods of an environmental (biodiversity, minimisation of erosion) and socio-cultural nature (stable employment, production of oil with differential quality, maintenance of the cultural heritage associated with the crop)" (ibidem) is the most appropriate proposal. As we conclude from this study, the monitoring of the evolution of the criteria and effects of farmers' decision-making reveals that farmers know how to adapt to the policies that are most convenient for their incomes.

2. Despite the current ecological and economic marginality of the mountain olive grove, the importance of its conservation lies in its non-productive functions. The olive grove is configured as an agrosystem that provides society with non-productive ecosystem services such as land surveillance, landscape maintenance, combating climate change and the advance of desertification, preservation of local production systems, among others. It is therefore envisaged to study new management strategies for its maintenance and sustainable consolidation.

3. Due to the dynamic and heterogeneous nature of ground vegetation cover in olive groves, in continuity with this line of work, it is planned to apply the proposed methodology for quantifying the density of ground vegetation cover to multi-temporal images obtained in the remaining climatic seasons (summer, autumn and winter), and in regions where there is less heterogeneity of ground cover densities.

4. As shown, *OBIA4tillage* has established itself as an essential first step in monitoring tillage practices with unprecedented accuracy and reliability. However, it would be desirable to continue future research to evaluate the capability of such a procedure using other remote sensing systems (e.g. satellite platforms) and in other agricultural scenarios (different crops, tillage tools, landscapes, etc.), as well as to adapt the algorithms to other programming or computational languages.

BIBLIOGRAFÍA BLOQUE II:

- Aguirre, S., 1995. "Entrevistas y cuestionarios". In Etnografía. Metodología cualitativa en la investigación sociocultural, ed. A. Aguirre, 171-180. Barcelona: Boixareu Universitaria.
- Aksoy, S., Akcay, H.Gö., Wassenaar, T., 2010. Automatic Mapping of Linear Woody Vegetation Features in Agricultural Landscapes Using Very High-Resolution Imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48, 511–522. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2027702>
- Arshad, M.A., Franzluebbers, A.J., Azooz, R.H., 1999. Components of Surface soil structure under conventional and no-tillage in north western Canada. *Soil Tillage Res.* 53, 41–47. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00075-6)
- Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 14, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.06.001>
- Baret, F., Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.* 35, 161–173. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90009-U)
- Blanco, R., Aguilar, A., 2015. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agric. Ecosyst. Environ.* 210, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.032>
- Blanco, R., Aguilar, A., 2016. The erosion threshold for a sustainable agriculture in cultures of vean (*Phaseolus vulgaris* L.) under conventional tillage and no-tillage in Northern Nicaragua. *Soil Use Manag.* 32. <https://doi.org/10.1111/sum.12271>
- Blanco, R., 2018. An erosion control and soil conservation method for agrarian uses based on determining the erosion threshold. *MethodsX* 5, 761–772. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.07.007>
- Blanco, R., Aguilar, A., y Lima, F., 2021a. Impact of weed control by hand tools on soil erosion under a no-tillage system cultivation. *Agronomy*, 2021, 11, 974. DOI: 10.3390/agronomy11050974.
- Blanco, R., Enríquez, F., Lima, F., 2021b. Effectiveness of conservation agriculture (tillage vs. vegetal soil cover) to reduce water erosion in maize cultivation (*Zea mays* L.): An experimental study in the sub-humid uplands of Guatemala. *Geoderma*, 404, 115336, 1-11. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115336.
- Bożek, P., Janus, J., Tazsakowski, J., Głowacka, A., 2016. Determining Consistency of Tillage Direction with Soil Erosion Protection Requirements as The Element of Decision-Making Process in Planning and Applying Land Consolidation. *IOP*

Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 44, 042024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/4/042024>.

- CA, 1962. Censo agrario 1962. Instituto Nacional de Estadística. Accesible en: <https://www.ine.es/inebaseweb/libros.do?tntp=194256>. Último acceso: 19/08/2021.
- CA, 1972. Censo agrario de 1972. Instituto Nacional de Estadística. Datos provinciales, provincia de Málaga. Madrid: INE.
- CA, 1989. Censo agrario de 1989. Instituto Nacional de Estadística. Accesible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736194955
- CA, 1999. Censo agrario de 1999. Instituto Nacional de Estadística. Accesible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736195186
- CA, 2009. Censo agrario 2009. Instituto Nacional de Estadística. Accesible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106. Último acceso: 19/08/2021.
- Calatrava, J., Franco, J.A., González, M.C., 2007. Analysis of the adoption of soil conservation practices in olive groves: the case of mountainous areas in Southern Spain. *Span. J. Agric. Res.* 5, 249–258. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007053-246>
- Carlson, T.N., Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62, 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- De Alba, S., 2003. Simulating long-term soil redistribution generated by different patterns of mouldboard ploughing in landscapes of complex topography [WWW Document]. URL <https://eprints.ucm.es/id/eprint/25716/> (accessed 4.27.21).
- De la Rosa, D. de la, Moreira, J.M., 1987. Evaluación ecológica de recursos naturales de Andalucía. Junta de Andalucía.
- Díaz-Varela, R.A., Zarco-Tejada, P.J., Angileri, V., Loudjani, P., 2014. Automatic identification of agricultural terraces through object-oriented analysis of very high-resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle. *J. Environ. Manage.* 134, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.006>
- Dong, T., Liu, J., Shang, J., Qian, B., Ma, B., Kovacs, J.M., Walters, D., Jiao, X., Geng, X., Shi, Y., 2019. Assessment of red-edge vegetation indices for crop leaf area index estimation. *Remote Sens. Environ.* 222, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.032>
- Drzewiecki, W., 2008. Sustainable land-use planning support by gis-based evaluation of landscape functions and potentials 6.

- Drzewiecki, W., Wężyk, P., Pierzchalski, M., Szafrńska, B., 2013. Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure Appl. Geophys.* 171, 867–895. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0669-7>
- EC, 2020. Specific objectives of the future CAP. Brief No 5. European Commission. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming_fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-5-soil_en.pdf. (Accessed 8.18.20)
- Eitel, J.U.H., Vierling, L.A., Litvak, M.E., Long, D.S., Schulthess, U., Ager, A.A., Krofcheck, D.J., Stoscheck, L., 2011. Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer Wood land. *Remote Sens. Environ.* 115, 3640–3646. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.002>
- Evans, R., 2006. Sustainable practices to limit soil erosion: A review and discussion. *Cab Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 1. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20061030>
- FAO, 1976. Esquema para la evaluación de tierras. Boletín de suelos de la FAO, N° 32. Roma.
- FAO, 2014. World reference base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome.
- Franzluebbers, A.J., 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Tillage Res., Conservation Tillage and Stratification of Soil Properties* 66, 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2)
- García, M.D., 2006. El olivar en Andalucía y el sistema de protección de la Unión Europea [WWW Document]. URL http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362006000200008 (accessed 3.1.21).
- Gómez, J.A., 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current know ledge. *Hung. Geogr. Bull.* 66, 13–28. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.2>
- Gómez, M.L. 2009. “La función de la montaña en los territorios ibéricos: validez de la perspectiva unificada de la geografía”. In *La perspectiva geográfica ante los retos de la sociedad y el medio ambiente en el contexto ibérico*. eds. J. Bosque and V. M. Rodríguez, 149-179. Madrid: Universidad de Alcalá.
- Gómez, M.L., Lima, F. y Blanco, R. (2017): “Conectividad ecológica en parques naturales de montaña mediterránea. Revisión normativa y propuesta metodológica. Caso de estudio, Reserva de la Biosfera y parque natural Sierra de las Nieves, Andalucía, España”, *Naturaleza, territorio y ciudad*. Actas del XXV Congreso de Geógrafos Españoles. Madrid, ed. AGE, Dpto. de Geografía de la UAM. UAM Ediciones. Pp. 472-481

<https://doi.org/10.15366/ntc.2017><https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/13782/Conectividad%20Sierra%20de%20las%20Nieves.pdf?sequence=1>
Gómez-Limón, J.A. y Arriaza, M. (2011): Evaluación de la sostenibilidad de las explotaciones de olivar en Andalucía. Ed. Fundación Unicaja MA-1.091-2011

Gómez-Limón Rodríguez, J.A. y Arriaza Balmón, M. (2011): *Evaluación de la sostenibilidad de las explotaciones de olivar en Andalucía*. Ed. Fundación Unicaja MA-1.091-2011

Gómez-Moreno, M.L., 1987. Apuntes de geografía física de Andalucía. Universidad de Málaga (UMA).

Gómez-Moreno, M.L., 1989. La montaña malagueña, estudio ambiental y evolución de su paisaje. Diputación Provincial de Málaga.

Hassan, M.A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., He, Z., 2019. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Sci., The 4th International Plant Phenotyping Symposium* 282, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.022>

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ., The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring* 83, 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25, 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

Huete, A.R., Jackson, R.D., Post, D.F., 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil back grounds. *Remote Sens. Environ.* 17, 37–53. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90111-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90111-7)

Iaquinta, J., Fouilloux, A., 1998. Influence of the heterogeneity and topography of vegetated land surfaces for remote sensing applications. *Int. J. Remote Sens.* 19, 1711–1723. <https://doi.org/10.1080/014311698215207>

INE, 2021. Padrón. Población por municipios. Accesible en: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=33848&L=0>. Último acceso: 18/08/2021

Infante-Amate, J., 2012a. “Cuántos siglos de aceituna”. El carácter de la expansión olivarera en el sur de España (1750-1900). *Hist. Agrar. Rev. Agric. E Hist. Rural* 39–72.

Infante-Amate, J., 2013. ¿Quién levantó los olivos?: la expansión olivarera decimonónica como estrategia de producción campesina (1750-1930). *Hist. Soc.* 25–44.

Infante-Amate, J., Molina, M., 2013. The Socio-Ecological Transition on a Crop Scale: The Case of Olive Orchards in Southern Spain (1750–2000). *Hum. Ecol.* 41, 961–969. <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9618-4>

- ITGE, 1990. Mapas Geológicos E. 1:50.000 N° 1037, 1038, 1051, 1052, 1065 y 1066. Instituto Geológico y Minero de España. Accesible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>. Último acceso: 20/03/2020.
- Karydas, C.G., Sekuloska, T., Silleos, G.N., 2009. Quantification and site-specification of the support practice factor when mapping soil erosion risk associated with olive plantations in the Mediterranean island of Crete. *Environ. Monit. Assess.* 149, 19–28. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0179-8>
- Khajeddin, S.J., 1995. A survey of the plant communities of the Jazmorian, Iran, using Landsat MSS data. (Ph.D.). University of Reading.
- Köppen, W., 1900. Versucheiner Klassifikationder Klimate, vorzugsweisenachihren Beziehungenzur Pflanzenwelt [WWW Document]. URL https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Versuch%20einer%20Klassifikation%20der%20Klimate%2C%20vorzugsweise%20nach%20ihren%20Beziehungen%20zur%20Pflanzenwelt&publication_year=1900&author=W.%20K%C3%B6ppen (accessed 2.24.21).
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Berckmoes, E., Takken, I., 2010. Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover. *J. Hydrol.* 390, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.034>
- López de Coca, J.E.L. de C., 1977. La tierra de Málaga a fines del siglo XV.
- López-Vicente, M., García-Ruiz, R., Guzmán, G., Vicente-Vicente, J.L., Van Wesemael, B., Gómez, J.A., 2016. Temporal stability and patterns of runoff and run on with different cover crops in an olive orchard (SW Andalusia, Spain). *CATENA* 147, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.002>
- LUCDEME (2006). Proyecto de lucha contra la desertificación en el Mediterráneo. Hojas: 1037 (Teba), 1038 (Ardales), 1051 (Ronda), 1052 (Álora), 1065 (Marbella) y 1066 (Coín). Universidad de Granada.
- Maes, W.H., Steppe, K., 2019. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends Plant Sci.* 24, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007>
- Marx, A. The Impact of the RapidEye Red Edge Band in Mapping Defoliation Symptoms; ESA Living Planet Symposium: Edinburgh, UK, 2013; Available online: <http://seom.esa.int/LPS13/5405ddfb/> (accessed on 1 July 2017).
- Mutanga, O., Skidmore, A.K., 2004. Narrow band vegetation índices overcome the saturation problem in biomass estimation. *Int. J. Remote Sens.* 25, 3999–4014. <https://doi.org/10.1080/01431160310001654923>
- Nanko, K., Mizugaki, S., Onda, Y., 2008. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. *CATENA* 72, 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.002>

- Naredo, J.M., 1983. La crisis del olivar como cultivo “biológico” tradicional. *Agric. Soc.* 167–288.
- Ng, M.K.-P., Yuan, Q., Yan, L., Sun, J., 2017. An Adaptive Weighted Tensor Completion Method for the Recovery of Remote Sensing Images With Missing Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 55, 3367–3381. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2670021>
- Ocaña, C. y Gómez, M. L. 2008. “Cambios en la organización del territorio: estudio de caso: dinámicas territoriales en Málaga: la Axarquía”. En *España y el Mediterráneo. Una reflexión desde la geografía española. Aportación Española al XXXI Congreso de la Unión Geográfica Internacional*, ed. M. Alario, 67-71. Madrid: Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.
- Palese, A.M., Vignozzi, N., Celano, G., Agnelli, A.E., Pagliai, M., Xiloyannis, C., 2014. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. *Soil Tillage Res.* 144, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.010>
- Panagos, P., Ballabio, C., Poesen, J., Lugato, E., Scarpa, S., Montanarella, L., Borrelli, P., 2020. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. *Remote Sens.* 12, 1365. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van derZanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C., 2015. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environ. Sci. Policy* 51, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.012>
- Rawat, K., Mishra, A.K., Bhattacharyya, R., 2016. Soil erosion risk assessment and spatial mapping using LANDSAT-7 ETM+, RUSLE, and GIS—a case study. *Arab. J. Geosci.* <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2157-0>
- Remmers, G., 1993. Agricultura tradicional y agricultura ecológica: vecinos distantes. *Agric. Soc.* 201–220.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Third Earth Resources Technology Satellite–I Symposium*; Freden, S.C., Mercanti, E.P., Becker, M., Eds.; Technical Presentations, NASA SP-351; NASA: Washington, DC, USA, 1973; Volume 1, pp. 309–317.
- Ruiz, F., 1984. Economía y sociedad en el siglo XVI: moriscos y cristianos en el partido de Marbella.
- Sánchez, J.D., Gallego, V., Araque, E., 2008. El monocultivo olivarero jiennense: ¿del productivismo a la sostenibilidad? | *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* [WWW Document]. URL <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2038> (accessed 3.2.21).
- Sheeren, D., Bastin, N., Ouin, A., Ladet, S., Balent, G., Lacombe, J.-P., 2009. Discriminating small wooded elements in rural landscape from aerial

- photography: a hybrid pixel/object-based analysis approach. *Int. J. Remote Sens.* 30, 4979–4990. <https://doi.org/10.1080/01431160903022928>
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., Peña, J.M., 2015. High-Throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology. *PLOS ONE* 10, e0130479. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>.
- Tucker, C.J., 1980. A spectral method for determining the percentage of green herbage material in clipped samples. *Remote Sens. Environ.* 9, 175–181. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(80\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(80)90007-3)
- USDA (1961). Land capability classification. S. C. S. Hb. 2010.
- Vanwallegem, T., Jiménez-Hornero, F.J., Giráldez, J.V., Laguna, A., 2010. Simulation of long-term soil redistribution by tillage using a cellular automata model. *Earth Surf. Process. Landf.* 35, 761–770. <https://doi.org/10.1002/esp.1923>
- Verbesselt, J., Somers, B., van Aardt, J., Jonckheere, I., Coppin, P., 2006. Monitoring herbaceous biomass and water content with SPOT VEGETATION time-series to improve fire risk assessment in savanna ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 101, 399–414. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.005>
- Wrigley, E. A. 1988. Continuity, chance and change. The character of the industrial revolution in England. Cambridge: Cambridge University Press.
- Xu, H.C., Jia, L.Z., Zhang, J.H., Zhang, Z.H., Wei, Y.H., 2019. Combined effects of tillage direction and slope gradient on soil translocation by hoeing. *CATENA* 175, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.039>
- Yan, Y., Zhen, H., Zhai, X., Li, J., Hu, W., Ding, C., Qi, Z., Qiao, B., Li, H., Liu, X., Zhang, X., 2021. The role of vegetation on earth bunds in mitigating soil erosion in Mollisols region of Northeast China. *CATENA* 196, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104927>
- Zhang, G., Chan, K.Y., Oates, A., Heenan, D.P., Huang, G.B., 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil Tillage Res.* 92, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.006>

BLOQUE III: PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 8: Contexto y publicaciones.

Esta tesis doctoral se ha llevado a cabo en el Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Málaga (UMA). Desarrollada a tiempo parcial en sus inicios (por falta de financiación), en 2017 el doctorado obtuvo un contrato predoctoral (A.2) del I Plan Propio de Investigación y Transferencia de la UMA, momento a partir del cual cambió, a tiempo completo, su dedicación a la investigación hasta el día de hoy.

Del periodo predoctoral del doctorando, se han derivado los siguientes resultados científicos:

- **Artículos incluidos en Science Citation Index:**

1. **LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R.** (2017). El olivar de montaña y la conservación del suelo en la transición de la economía orgánica a la industrial: el caso de Sierra de las Nieves (Málaga), 1940-1975. *AGER. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*. DOI: 10.4422/ager.2017.05
2. **LIMA CUETO, F. J. BLANCO SEPÚLVEDA, R. GÓMEZ MORENO, M. L.** (2018). Soil erosion and environmental regulations in the european agrarian policy for olive groves (*Olea europea L.*) of southern Spain; *Agrociencia*, 52: 293-308. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1670/1670>
3. **LIMA-CUETO, F. J. BLANCO-SEPÚLVEDA, R. GÓMEZ-MORENO, M. L., GALACHO-JIMÉNEZ, F. B.** (2019). Using Vegetation Indices and a UAV Imaging Platform to Quantify the Density of Vegetation Ground Cover in Olive Groves (*Olea Europaea L.*) in Southern Spain. *Remote Sens.* 11, 2564. DOI: 10.3390/rs11212564.
4. **PANIAGUA, S., REYES, S., LIMA, F., NADEZHDA PILIPENKO, LUIS F CALVO** (2021). Combustion of avocado crop residues: effect of crop variety and nature of nutrients; *Fuel*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119660>.

5. **LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R.** (2021). Evolución del ajuste entre patrón de localización del olivar y capacidad agronómica en la montaña mediterránea andaluza (1956-2007): respuestas locales a factores globales.
6. **LIMA, F., BLANCO-SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ-MORENO, M. L., DORADO, J., PEÑA, J. M.** (2021). Mapping tillage direction and contour tillage areas by object-based analysis of UAV images. *Computers and electronics in Agriculture*, 187, 2021, 106281. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106281>
7. **BLANCO-SEPÚLVEDA, R., AGUILAR-CARRILLO, A., y LIMA, F.,** (2021). Impact of weed control by hand tools on soil erosion under a no-tillage system cultivation. *Agronomy*, 2021, 11, 974. DOI: 10.3390/agronomy11050974.
8. **BLANCO-SEPÚLVEDA, R., ENRÍQUEZ NARVÁEZ, F., y LIMA, F. J.** (2021). Effectiveness of conservation agriculture (tillage vs. vegetal soil cover) to reduce water erosion in maize cultivation (*Zea mays* L.): An experimental study in the sub-humid uplands of Guatemala. *Geoderma*, 404, 115336. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115336.

- **Capítulos de libros:**

1. **LEÓN REINA, J., LIMA CUETO, F.J, RODRIGO COMINO, J., SENCIALES GONZÁLEZ, J. M^a** (2011): “El jardín botánico como recurso didáctico en Geografía”. En Delgado Peña, J.J., Lázaro y Torres, M^a L., Marrón Gaite, M^a J. (Eds.): *Aportaciones de la Geografía en el aprendizaje a lo largo de la vida*. Actas del V Congreso Ibérico de Didáctica de la Geografía. Pp. 510-521. CLAVE CL. I.S.B.N.: 978-84-938551-6-1. (DL. SE 8497-2011).
2. **LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L.** (2014). “Metodología de análisis de la erosión del suelo como herramienta para definir las normas de condicionalidad de la PAC. Aplicación en explotaciones de olivar de Montaña de la provincia de Málaga”. En *Revalorizando el espacio rural: leer el pasado para ganar el futuro* / coord. por. David Pavón Gamero, Anna Ribas Palom, Sandra Ricart Casadevall y Anna Roca Torrent, págs. 219-233. ISBN: 978-84-9984-253-0.
3. **LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L.** (2016). “Análisis erosivo mediante indicadores visuales como herramienta de adaptación y seguimiento de las normas de condicionalidad de la PAC en cultivos de olivar”. En *Treinta años de Política Agraria*

Común en España: Agricultura y multifuncionalidad en el contexto de la nueva ruralidad / coord. por Ángel Raúl Ruiz Pulpón, Manuel Antonio Serrano de la Cruz Santos-Olmo, Julio Plaza Tabasco, págs. 69-82. ISBN: 978-84-87087-03-5.

4. **LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R.** (2018). “Cultura campesina vs condicionalidad de la PAC. Estudio aplicado al olivar de montaña media (Sierra de las Nieves, Málaga)”. En *Nuevas realidades rurales en tiempos de crisis: Territorios, actores, procesos y políticas* / coord. por Eugenio Cejudo García, Francisco A. Navarro Valverde y José Antonio Camacho Ballesta. Editorial Universidad de Granada. 1, págs. 993-1004. ISBN: 978-84-338-6338-6.
5. **LIMA CUETO, F. J., GALACHO JIMÉNEZ, F. B., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO** (2018). “Utilización de imágenes procedentes de vehículos aéreos no tripulados para la identificación de cubiertas vegetales arvenses en zonas de cultivos de olivar. estudio de caso: la Sierra de las Nieves (Málaga)”. En *Tecnologías de Información Geográfica. Perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento/ coord. por. M. J. López García, P Carmona, J. Salom y J. M. Albertos.* Departament de Geografia. Universitat de València. ISBN: 978-84-9133-146-9.
6. **LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L., GALACHO JIMÉNEZ, F. B.** (2019). “Utilidad de los vehículos aéreos no tripulados para el estudio y mejora de la gestión agrícola en cultivos de olivar en zonas vulnerables a la degradación”. En *Las humanidades en el mundo digital/ el mundo digital en las humanidades.* / coord. por Rosa Romojaro Montero. Tirant Lo Blanch. I.S.B.N.: 978-84-17706-37-1.

- **Contribuciones a congresos internacionales:**

1. **LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L.** (2016). Análisis erosivo mediante indicadores visuales como herramienta de adaptación y seguimiento de las normas de condicionalidad de la PAC en cultivos de olivar. En XVIII Coloquio de Geografía Rural. I Coloquio Internacional de Geografía Rural, 7-9 septiembre, 2016, Ciudad Real, España.
2. **LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R.** (2018). Cultura campesina vs condicionalidad de la PAC. Estudio aplicado al olivar de montaña media (Sierra de las Nieves, Málaga). En 2 th International Conference of Rural Geography, 24-26 octubre, 2018, Granada, España.
3. **LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R.** (2019). Réapprendre du passé pour penser le futur.

Enseignement d'une reconstitution historique pour engager la transition des territoires ruraux dans le cadre de la Conditionnalité de la PAC. En Troisième Journées franco-espagnoles de Géographie, 22 y 23 Marzo, 2019, Sevilla, España.

4. GÓMEZ MORENO M. L., **LIMA CUETO, F. J.**, BLANCO SEPÚLVEDA, R. (2019). Conectividad ecológica en Parques Naturales de montaña Mediterránea. Revisión normativa y propuesta metodológica. Caso de estudio, Reserva de la Biosfera y Parque Natural Sierra de las Nieves, Andalucía. España. En V Congreso Internacional de Desarrollo Local. Sistemas socioeconómicos con anclajes territoriales, 29, 30, 31 octubre y 1 noviembre, 2019, Cartagena de Indias, Colombia.
5. REYES CORREDERA, S., **LIMA CUETO, F. J.**, BLANCO SEPÚLVEDA, R. (2020). Análisis del nivel de formación en materia de patrimonio de los estudiantes universitarios andaluces en los ámbitos de conocimiento de ciencias y ciencias sociales-humanidades: contrastes y similitudes. En III Congreso internacional humanidades digitales y ciencias sociales 2.0. El patrimonio como vehículo para la construcción de identidades, 23 y 24 marzo, 2020, Málaga, España.
6. REYES CORREDERA, S., **LIMA CUETO, F. J.**, BLANCO SEPÚLVEDA, R. (2021). Análisis del nivel de formación en materia de patrimonio de los estudiantes universitarios andaluces en los ámbitos de conocimiento de ciencias y ciencias sociales-humanidades: contrastes y similitudes. En IV Congreso internacional humanidades digitales y ciencias sociales 2.0. El patrimonio como vehículo para la construcción de identidades, 26 y 27 abril, 2021, Málaga, España.

• **Contribuciones a congresos Nacionales:**

1. LEÓN REINA, J., **LIMA CUETO, F.J.**, RODRIGO COMINO, J., SENCIALES GONZÁLEZ, J. M^a (2011): El jardín botánico como recurso didáctico en Geografía. C. En Delgado Peña, J.J., Lázaro y Torres, M^a L., Marrón Gaite, M^a J. (Eds.): Aportaciones de la Geografía en el aprendizaje a lo largo de la vida. Actas del V Congreso Ibérico de Didáctica de la Geografía. Pp. 510-521. CLAVE CL. I.S.B.N.: 978-84-938551-6-1. (DL. SE 8497-2011).
2. **LIMA CUETO, F. J.**, BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L. (2014). Metodología de análisis de la erosión del suelo como herramienta para definir las normas de condicionalidad de la PAC.

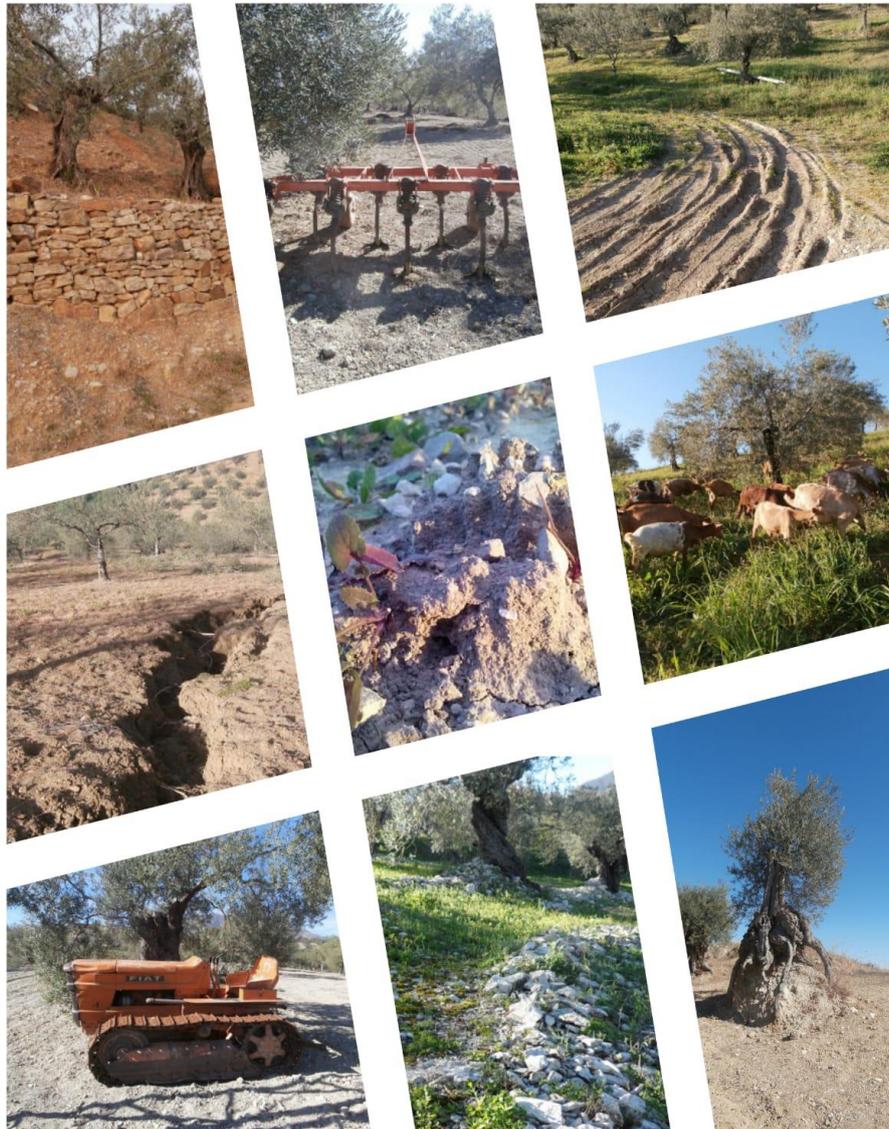
Aplicación en explotaciones de olivar de montaña de la provincia de Málaga. XVII Coloquio de Geografía Rural, 3-6 septiembre, 2014. Gerona, España.

3. GÓMEZ MORENO M. L., LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R. (2017). Conectividad ecológica en parques naturales de montaña mediterránea. Revisión normativa y propuesta metodológica. XXV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles. Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global, 25-27 octubre, 2017, Madrid, España.
4. LIMA CUETO F. J., GALACHO JIMÉNEZ, F. B., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L. (2018). Utilización de imágenes procedentes de vehículos aéreos no tripulados para la identificación de cubiertas vegetales arvenses en zonas de cultivos de olivar. Estudio de caso: La Sierra de las Nieves (Málaga). XVIII Congreso Nacional TIG, 20-22 junio, 2018, Valencia, España.
5. PEÑA, J.M., FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C., LIMA-CUETO, F. J. y DORADO, J. (2019). Estimación de la fecha óptima para cartografiar *Avena sterilis* L. en cultivos de trigo y cebada. XVII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 08-10 octubre, 2019, Vigo, España.

Capítulo 9: Artículos científicos publicados que conforman el compendio de investigación.

9.1 SOIL EROSION AND ENVIRONMENTAL REGULATIONS IN THE EUROPEAN AGRARIAN POLICY FOR OLIVE GROVES (*OLEA EUROPEA L.*) OF SOUTHERN SPAIN

9.1 LA EROSIÓN DEL SUELO Y LA NORMATIVA AMBIENTAL DE LA POLÍTICA AGRARIA EUROPEA EN CULTIVOS DE OLIVAR (*OLEA EUROPAEA L.*) DEL SUR DE ESPAÑA



LIMA CUETO, F. J., BLANCO SEPÚLVEDA, R., GÓMEZ MORENO, M. L. (2018). Soil erosion and environmental regulations in the european agrarian policy for olive groves (*Olea europea L.*) of southern Spain; *Agrociencia*, 52: 293-308. URL: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1670/1670>. Q3 JCR index.

Enlace: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952018000300293&script=sci_abstract&tlng=en

1. RESUMEN

La erosión hídrica del suelo es uno de los principales problemas ambientales de la agricultura de montaña mediterránea. La política agraria común de la UE pretende favorecer la conservación del suelo a través de las normas de condicionalidad, que deben establecer las buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra (BCAM) adaptadas al medio en el que se aplican. El objetivo de este estudio fue valorar la capacidad potencial de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea L.*) en áreas de montaña, en el sur de España, mediante un método de análisis de la erosión del suelo que utiliza indicadores visuales. La hipótesis fue que el método de análisis se adaptaba a las condiciones de la zona de estudio y a los propósitos de establecer BCAM. El estudio se realizó en 36 parcelas de 15 fincas de olivar con las mismas características edáficas y en sistemas de cultivo ecológico y convencional y laboreo y no laboreo del suelo. El sistema de cultivo ecológico sin labor fue el más efectivo para reducir la erosión, con 23,19 % de superficie afectada y contrastó con los sistemas productivos convencional y ecológico con labor, con tasas superiores a 80%. El laboreo o su ausencia y la cubierta vegetal fueron los factores de erodabilidad estadísticamente más significativos, con bondad de ajuste de 0,90 en la ecuación de regresión, a partir de los cuales se establecieron BCAM adaptadas al área de estudio.

Palabras clave: condicionalidad, erosión hídrica, olivar, laboreo, cobertura vegetal.

2. ABSTRACT

Soil erosion by water is one of the main environmental problems of mountainous Mediterranean agriculture. The Common Agricultural Policy in the EU attempts to favor soil conservation through regulations of cross-compliance, which should establish good agrarian and environmental conditions of land (GAEC) adapted to the environment where they are applied. The objective of this study was to assess the potential capacity to establish GAEC adapted to olive groves (*Olea europaea L.*) in mountainous areas, in southern Spain, through a method of soil erosion analysis that uses visual indicators. The hypothesis was that the analysis method did adapt to the conditions of the study zone and to the objectives of establishing GAEC. The study was carried out in 36 plots of 15 olive plantations with the same soil characteristics and in systems of ecological and conventional cultivation, with conventional tillage (CT) and no-tillage (NT). The ecological cultivation system with no-tillage was the most effective to reduce erosion, with 23,19 % of the surface affected compared to the conventional and ecological productive systems with tillage, with rates higher than 80%. Tillage or its absence and the plant coverage were the most statistically significant erodibility factors, with goodness of fit of 0,90 in the regression equation, from which the GAEC adapted to the study area were established.

Key words: cross-compliance, water erosion, olive grove, tillage, plant coverage.

9.2 EL OLIVAR DE MONTAÑA Y LA CONSERVACIÓN DEL SUELO EN LA TRANSICIÓN DE LA ECONOMÍA ORGÁNICA A LA INDUSTRIAL: EL CASO DE SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA), 1940-1975

9.2 MOUNTAIN OLIVE GROVES AND SOIL PRESERVATION IN THE TRANSITION FROM AN ORGANIC TO AN INDUSTRIAL ECONOMY: THE CASE OF SIERRA DE LAS NIEVES (MALAGA, SPAIN), 1940-1975



LIMA CUETO, F. J., GÓMEZ MORENO, M. L., BLANCO SEPÚLVEDA, R. (2017). El olivar de montaña y la conservación del suelo en la transición de la economía orgánica a la industrial: el caso de Sierra de las Nieves (Málaga), 1940-1975. *AGER. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*. DOI: 10.4422/ager.2017.05. Q3 SJR index.

Enlace: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6167024>

RESUMEN

El olivar de montaña media mediterránea es objeto de controversia por su delicada adaptación a los criterios de condicionalidad fijados por la Política Agraria Común. Sin embargo, es un cultivo de prolongada presencia en zonas como el piedemonte de la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga, Andalucía, España). Partiendo de la pervivencia de la economía orgánica hasta la década de los cincuenta del siglo XX, se planteó la posibilidad de investigar si los procedimientos de cultivo aplicados en la fase orgánica podían ser válidos para la gestión del olivar de montaña adaptada al sistema de condicionalidad. Para ello se planificó una entrevista estructurada y estratificada entre campesinos de más de 75 años del área de estudio y se procedió a la cartografía y cuantificación de la superficie de olivar a partir de la fotografía aérea de 1956. Las conclusiones obtenidas revelan la continuidad de las prácticas correspondientes a la economía orgánica hasta principios de los años sesenta, cuando se incorporan procedimientos propios de la economía industrial, y la baja adaptación de las mismas a las medidas de condicionalidad.

Palabras clave: olivar de montaña media, economía orgánica, conservación de suelos, condicionalidad.

ABSTRACT

Olive groves in Mediterranean, mid-altitude mountains are subject to controversy because of their troublesome adaptation to the conditionality criteria set by the Common Agricultural Policy. However, these groves have persisted for a long period of time in places like the foothills of Sierra de las Nieves (Málaga, Andalusia, Spain). Considering that an organic economy persisted until the 1950s, we investigate whether traditional, organic cultivation methods are well suited to managing mountain olive groves in ways that are compatible with eco-conditionality. We conducted structured, stratified interviews with farmers older than 75 in the study area. On the basis of a photograph taken from the sky in 1956, we also produced a cartography and a quantification of olive areas. The conclusions reveal the persistence of organic methods up to the early 1960s, when industrial methods are incorporated, and argue that such organic methods would be poorly suited to conditionality criteria.

Keywords: Mountain olive groves, organic economy, soil preservation, conditionality.

9.3 EVOLUCIÓN DEL AJUSTE ENTRE PATRÓN DE LOCALIZACIÓN DEL OLIVAR Y CAPACIDAD AGROLÓGICA EN LA MONTAÑA MEDITERRÁNEA ANDALUZA (1956-2007). EL CASO DE SIERRA DE LAS NIEVES: RESPUESTAS LOCALES A FACTORES GLOBALES.

9.3 EVOLUTION OF THE ADJUSTMENT BETWEEN OLIVE GROVE LOCATION PATTERN AND AGROLOGICAL CAPACITY IN THE ANDALUSIAN MEDITERRANEAN MOUNTAINS (1956-2007). THE CASE OF SIERRA DE LAS NIEVES: LOCAL RESPONSES TO GLOBAL FACTORS.



LIMA-CUETO, F. J.; GÓMEZ-MORENO, M. L. y BLANCO-SEPÚLVEDA, R. (2021). Evolución del ajuste entre patrón de localización del olivar y capacidad agrológica en la montaña mediterránea andaluza (1956-2007). El caso de Sierra de las Nieves: respuestas locales a factores globales. Cuadernos Geográficos, En prensa. Q3 SJR Index.

Enlace: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/18095>

1. RESUMEN

El objetivo de este trabajo es relacionar la evolución del patrón de localización del olivar en una zona de montaña mediterránea en el medio plazo (1956-2007) con la respuesta de las sociedades campesinas a los cambios de factores como las políticas agrarias, las condiciones demográficas y el sistema de valores. Para ello, 1) se determina la capacidad agrológica (CA) del área de estudio (Sierra de las Nieves, Sistemas Béticos), 2) Se precisa mediante bibliografía la cronología y los elementos determinantes de estos cambios, 3) Se recurre a la información oral (entrevistas semi-estructuradas) para el conocimiento de las decisiones de los campesinos, 4) Se aplican los SIG a la evolución de los usos del suelo de 1956, 1977 y 2007 para precisar la evolución del ajuste del patrón de localización a la CA. Los resultados muestran dos patrones de ajuste. Entre 1956 y 1977, la ampliación del olivar es limitada (13,97 ha/año) y acorde con la CA, extendiéndose en tierras antes ocupadas por cultivos herbáceos. Entre 1977 y 2007, la expansión del olivar es intensa (47,25 ha/año) y afecta a tierras de menor aptitud. Como conclusión, el análisis de las causas revela la adaptación del campesinado a distintos contextos, pasando de anteponer el estatus a la rentabilidad a primar la rentabilidad derivada de la subvención, no siendo la CA un factor determinante.

Palabras clave: Capacidad agrológica (CA); Olivar de montaña; Sostenibilidad agraria; Evolución de cultivos; Políticas agrarias.

2. ABSTRACT

The aim of this paper is to relate the evolution of the location pattern of olive groves in a Mediterranean mountain area in the medium term (1956-2007) with the response of peasant societies to changes in factors such as agricultural policies, demographic conditions and the value system. To this end, 1) the agrological capacity (AC) of the study area (Sierra de las Nieves, Betic Systems) is determined, 2) the chronology and determining elements of these changes are specified through bibliography, 3) oral information (semi-structured interviews) is used to understand the farmers' decisions, 4) GIS is applied to the evolution of land use in 1956, 1977 and 2007 to determine the evolution of the adjustment of the location pattern to the AC. The results show two patterns of adjustment. Between 1956 and 1977, the expansion of olive groves is limited (13,97 ha/year) and in line with the AC, extending on land previously occupied by arable crops. Between 1977 and 2007, olive grove expansion is intense (47,25 ha/year) and affects less suitable land. In conclusion, the analysis of the causes reveals the adaptation of the peasantry to different contexts, from putting status before profitability to giving priority to profitability derived from the subsidy, with CA not being a determining factor.

Keywords: Agrological capacity (AC); Mountain olive groves; Agricultural sustainability; Crop evolution; Agricultural policies.

9.4 USING VEGETATION INDICES AND A UAV IMAGING PLATFORM TO QUANTIFY THE DENSITY OF VEGETATION GROUND COVER IN OLIVE GROVES (*Olea europaea L.*) IN SOUTHERN SPAIN

9.4 USO DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y LAS PLATAFORMAS DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES UAV PARA CUANTIFICAR LA DENSIDAD DE LA CUBIERTA VEGETAL EN CULTIVOS DE OLIVAR (*Olea europaea L.*) EN EL SUR DE ESPAÑA



LIMA-CUETO, F. J.; BLANCO-SEPÚLVEDA, R.; GÓMEZ-MORENO, M. L. AND GALACHO-JIMÉNEZ, F. B. (2019). Using Vegetation Indices and a UAV Imaging Platform to Quantify the Density of Vegetation Ground Cover in Olive Groves (*Olea Europaea L.*) in Southern Spain. *Remote Sens.* 11, 2564; <https://doi.org/10.3390/rs11212564>. Q1 JCR Index.

Enlace: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/21/2564>

1. ABSTRACT

In olive groves, vegetation ground cover (VGC) plays an important ecological role. The EU Common Agricultural Policy, through cross-compliance, acknowledges the importance of this factor, but, to determine the real impact of VGC, it must first be quantified. Accordingly, in the present study, eleven vegetation indices (VIs) were applied to quantify the density of VGC in olive groves (*Olea europaea L.*), according to high spatial resolution (10–12 cm) multispectral images obtained by an unmanned aerial vehicle (UAV). The fieldwork was conducted in early spring, in a Mediterranean mountain olive grove in southern Spain presenting various VGC densities. A five-step method was applied: (1) generate image mosaics using UAV technology; (2) apply the VIs; (3) quantify VGC density by means of sampling plots (ground-truth); (4) calculate the mean reflectance of the spectral bands and of the VIs in each sampling plot; and (5) quantify VGC density according to the VIs. The most sensitive index was IRVI, which accounted for 82% ($p<0.001$) of the variability of VGC density. The capability of the VIs to differentiate VGC densities increased in line with the cover interval range. RVI most accurately distinguished VGC densities $>80\%$ in a cover interval range of 10% ($p<0.001$), while IRVI was most accurate for VGC densities $<30\%$ in a cover interval range of 15% ($p<0.01$). IRVI, NRVI, NDVI, GNDVI and SAVI differentiated the complete series of VGC densities when the cover interval range was 30% ($p<0.001$ and $p<0.05$).

Keywords: UAV; vegetation ground cover; multispectral; vegetation indices; agro-environmental measures; olive groves; southern Spain.

2. RESUMEN

En los olivares, la cubierta vegetal del suelo (VGC) juega un importante papel ecológico. La Política Agrícola Común de la UE, mediante la condicionalidad, reconoce la importancia de este factor, pero, para determinar el impacto real de la VGC, primero debe cuantificarse. En consecuencia, en el presente estudio se aplicaron once índices de vegetación (VI) para cuantificar la densidad del VGC en los olivares (*Olea europaea L.*), de acuerdo con imágenes multiespectrales de alta resolución espacial (10-12 cm) obtenidas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). El trabajo de campo se llevó a cabo a principios de la primavera, en un olivar de montaña mediterráneo del sur de España que presentaba varias densidades de VGC. Se aplicó un método de cinco pasos: 1) generar mosaicos de imágenes mediante la tecnología de los vehículos aéreos no tripulados; 2) aplicar los VI; 3) cuantificar la densidad del VGC por medio de parcelas de muestreo (verdad-terreno); 4) calcular la reflectancia media de las bandas espectrales y de las VI en cada parcela de muestreo; y 5) cuantificar la densidad del VGC según las VI. El índice más sensible fue RVI, que representó el 82% ($p<0.001$) de la variabilidad de la densidad de VGC. La capacidad de los VI para diferenciar las densidades del VGC aumentó en consonancia con el intervalo de cobertura. RVI distinguió con mayor precisión las densidades de VGC $>80\%$ en un rango de intervalo de cobertura del 10% ($p<0.001$), mientras que IRVI fue más preciso para las densidades de VGC $<30\%$ en un rango de intervalo de cobertura del 15% ($p<0.01$). IRVI, NRVI, NDVI, GNDVI y SAVI diferenciaron la serie completa de densidades de VGC cuando el rango del intervalo de cobertura era del 30% ($p<0.001$ y $p<0.05$).

Palabras clave: Vehículos aéreos no tripulados, cubierta vegetal de suelo, índices de vegetación, medidas agroambientales, olivar, sur de España.

9.5 MAPPING TILLAGE DIRECTION AND CONTOUR FARMING BY OBJECT-BASED ANALYSIS OF UAV IMAGES

9.5 MAPEO DE LA DIRECCIÓN DE LA LABRANZA Y DE LAS ÁREAS DE LABRANZA DEL CONTORNO MEDIANTE EL ANÁLISIS BASADO EN OBJETOS DE IMÁGENES DE UAV



LIMA, F.; BLANCO-SEPÚLVEDA, R.; GÓMEZ-MORENO, M. L. DORADO, J. PEÑA, J. M. (2019). Mapping tillage direction and contour farming by object-based analysis of uav images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106281; <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106281>. Q1 JCR Index.

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921002982>

1. ABSTRACT

Tillage is a primary agricultural task that causes progressive soil movement and, consequently, severe erosion in sloping farmland, with a high impact on crop productivity, soil quality and landscape features. Governments and public administrations acknowledge the need to control tillage operations for a better soil conservation in vulnerable areas, recommending the practice of contour farming. Despite this importance, there is currently no mechanism for the effective and large-scale monitoring of tillage patterns at the field or regional scale. Accordingly, this research combined aerial images taken with unmanned aerial vehicles and object-based image analysis (OBIA) to develop an innovative *OBIA4tillage* procedure with three main objectives: (i) analysing plowed agricultural fields, identifying and mapping the tillage marks, and automatically computing the main direction of the tillage furrows, (ii) validating the procedure quality in different scenarios by evaluating the accuracy of the results as affected by the sensor used (visible-light vs. multispectral), background soil hue, and ground vegetation density; and (iii) mapping contour farming and non-contour farming areas as indicators of potential low and high soil erosion risk, respectively. Twenty olive parcels from two different locations with a wide range of tree sizes, soil hue, parcel shapes and land slopes were selected as model systems to develop and validate the procedure. The *OBIA4tillage* procedure produced tillage maps with very high accuracy for both RGB and multispectral images (R^2 of 0.99 and 0.93, respectively), as obtained from the linear equation between estimated and ground-truth values. The results were similar in clear and dark soils (R^2 of 0.96 in both cases), although there were notable differences between areas of dense ground vegetation or bare soil (R^2 of 0.99 in both cases) and areas of medium vegetation cover (R^2 of 0.81). The application of contour farming in the study region was moderate at location 1 (42.35% of the study area) but more widespread at location 2 (72.60% of the study area), which revealed the uneven involvement of the local farmers in the challenge of controlling soil erosion risks. The valuable information in the *OBIA4tillage* outputs can also be used to study tillage events at various spatial and temporal scales, feed soil erosion models and promote good agricultural and environmental conditions measures implemented at the parcel scale.

Keywords: *OBIA4tillage*, soil erosion risk, good agricultural and environmental conditions, unmanned aerial vehicle (UAV), object-based image analysis (OBIA), olive orchards.

2. RESUMEN

El laboreo es una de las principales tareas agrícolas que provoca un progresivo movimiento del suelo y, en consecuencia, una grave erosión en las tierras de cultivo en pendiente, con un gran impacto en la productividad de los cultivos, la calidad del suelo y las características del paisaje. Los gobiernos y las administraciones públicas reconocen la necesidad de controlar las operaciones de labranza para una mejor conservación del suelo en las zonas vulnerables, recomendando la práctica de la agricultura en contorno. A pesar de esta importancia, en la actualidad no existe ningún mecanismo para el seguimiento eficaz y a gran escala de los patrones de labranza a escala de campo o regional. En consecuencia, esta investigación combinó imágenes aéreas tomadas con vehículos aéreos no tripulados y el análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) para desarrollar un

innovador procedimiento de *OBIA4tillage* con tres objetivos principales (i) analizar campos agrícolas arados, identificar y cartografiar las marcas de labranza y calcular automáticamente la dirección principal de los surcos de labranza, (ii) validar la calidad del procedimiento en diferentes escenarios evaluando la precisión de los resultados según se vea afectada por el sensor utilizado (luz visible frente a multiespectral), el tono del suelo de fondo y la densidad del sotobosque; y (iii) cartografiar zonas de cultivo en contorno y zonas de cultivo sin contorno como indicadores de riesgo potencial de erosión del suelo bajo y alto, respectivamente. Se seleccionaron veinte parcelas de olivos de dos lugares diferentes con una amplia gama de tamaños de árboles, tonalidad del suelo, formas de parcela y pendientes del terreno como sistemas modelo para desarrollar y validar el procedimiento. El procedimiento *OBIA4tillage* produjo mapas de labranza con una precisión muy alta tanto para las imágenes RGB como para las multiespectrales (R^2 de 0,99 y 0,93, respectivamente), tal y como se obtuvo de la ecuación lineal entre los valores estimados y los reales. Los resultados fueron similares en suelos claros y oscuros (R^2 de 0,96 en ambos casos), aunque hubo notables diferencias entre las zonas de vegetación densa o suelo desnudo (R^2 de 0,99 en ambos casos) y las zonas de cobertura vegetal media (R^2 de 0,81). La aplicación de la agricultura en contorno en la región de estudio fue moderada en la localización 1 (42,35% del área de estudio), pero más extendida en la localización 2 (72,60% del área de estudio), lo que reveló la desigual implicación de los agricultores locales en el reto de controlar los riesgos de erosión del suelo. La valiosa información contenida en los resultados de *OBIA4tillage* también puede utilizarse para estudiar los eventos de labranza a diversas escalas espaciales y temporales, alimentar los modelos de erosión del suelo y promover medidas de buenas condiciones agrícolas y medioambientales aplicadas a escala de parcela.

Palabras clave: *OBIA4tillage*, riesgo de erosión de suelo, buenas condiciones agrarias y medioambientales, vehículo aéreo no tripulado, análisis de imagen basado en objetos, cultivos de olivar.

ANEXO GENERAL

A) “NORMAS DE CONDICIONALIDAD CON ARREGLO AL ART. 93”

NORMAS DE CONDICIONALIDAD CON ARREGLO AL ARTÍCULO 93

RLG: Requisito legal de gestión

BCAM: Buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra

Área	Aspecto principal	Requisitos y normas		
Medio ambiente, cambio climático, buena condición agrícola de la tierra	Agua	RLG 1	Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias (DO L 375 de 31.12.1991, p. 1)	Artículos 4 y 5
		BCAM 1	Creación de franjas de protección en las márgenes de los ríos (1)	
		BCAM 2	Cuando el uso de agua para el riego precise autorización, cumplimiento de los procedimientos de autorización	
		BCAM 3	Protección de las aguas subterráneas contra la contaminación: prohibición de vertidos directos en las aguas subterráneas y medidas para prevenir la contaminación indirecta de las aguas subterráneas mediante el vertido sobre el terreno y la filtración a través del suelo de sustancias peligrosas, tal como se enumeran en el anexo de la Directiva 80/68/CEE en su versión en vigor en su último día de vigencia, en la medida en que tenga relación con la actividad agrícola	
	Suelo y reserva de carbono	BCAM 4	Cobertura mínima del suelo	
		BCAM 5	Gestión mínima de las tierras que refleje las condiciones específicas locales para limitar la erosión	
		BCAM 6	Mantenimiento del nivel de materia orgánica en el suelo mediante prácticas adecuadas, incluida la prohibición de quemar los rastrojos, excepto por razones fitosanitarias (2)	
	Biodiversidad	RLG 2	Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres (DO L 20 de 26.1.2010, p. 7)	Artículo 3, apartado 1, artículo 3, apartado 2, letra b), y artículo 4, apartados 1, 2 y 4.
		RLG 3	Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, p. 7)	Apartados 1 y 2 del artículo 6
	Paisaje, nivel mínimo de mantenimiento	BCAM 7	Mantenimiento de las particularidades topográficas, incluidos, cuando proceda, setos, estanques, zanjas y árboles en hilera, en grupo o aislados, lindes y terrazas, incluida la prohibición de cortar setos y árboles durante la temporada de cría y reproducción de las aves y, de manera opcional, medidas para evitar las especies de plantas invasoras	
Salud pública, sanidad animal y fitosanidad	Seguridad alimentaria	RLG 4	Reglamento (CE) nº 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (DO L 31 de 1.2.2002, p. 1)	Artículos 14 y 15, artículo 17, apartado 1 (3), y artículos 18, 19 y 20

Área	Aspecto principal	Requisitos y normas		
		RLG 5	Directiva 96/22/CE del Consejo, de 29 de abril de 1996, por la que se prohíbe utilizar determinadas sustancias de efecto hormonal y tireostático y sustancias β -agonistas en la cría de ganado y se derogan las Directivas 81/602/CEE, 88/146/CEE y 88/299/CEE (DO L 125 de 23.5.1996, p. 3)	Artículo 3, letras a), b), d) y e) y artículos 4, 5 y 7
	Identificación y registro de animales	RLG 6	Directiva 2008/71/CE del Consejo, de 15 de julio de 2008, relativa a la identificación y al registro de cerdos (DO L 213 de 8.8.2005, p. 31)	Artículos 3, 4 y 5
RLG 7		Reglamento (CE) nº 1760/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de julio de 2000, que establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina y relativo al etiquetado de la carne de vacuno y de los productos a base de carne de vacuno y se deroga el Reglamento (CE) nº 820/97 del Consejo (DO L 204 de 11.8.2000, p. 1)	Artículos 4 y 7	
RLG 8		Reglamento (CE) nº 21/2004 del Consejo, de 17 de diciembre de 2003, por el que se establece un sistema de identificación y registro de los animales de las especies ovina y caprina y se modifican el Reglamento (CE) nº 1782/2003 y las Directivas 92/102/CEE and 64/432/CEE, reglametno horizontal (DO L 5 de 9.1.2004, p. 8)	Artículos 3, 4 y 5	
	Enfermedades animales	RLG 9	Reglamento (CE) nº 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de mayo de 2001, por el que se establecen disposiciones para la prevención, el control y la erradicación de determinadas encefalopatías espongiformes transmisibles (DO L 147 de 31.5.2001, p. 1)	Artículos 7, 11, 12, 13 y 15
	Productos fitosanitarios	RLG 10	Reglamento (CE) nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo (DO L 309 de 24.11.2009, p. 1)	Artículo 55, frases primera y segunda
Bienestar de los animales	Bienestar de los animales	RLG 11	Directiva 2008/119/CE del Consejo, de 18 de diciembre de 2008, relativa a las normas mínimas para la protección de terneros (DO L 10 de 15.1.2009, p. 7)	Artículos 3 y 4
		RLG 12	Directiva 2008/120/CE del Consejo, de 18 de diciembre de 2008, relativa a las normas mínimas para la protección de cerdos (DO L 47 de 18.2.2009, p. 5)	Artículos 3 y 4
		RLG 13	Directiva 98/58/CE del Consejo, de 20 de julio de 1998, relativa a la protección de los animales en las explotaciones ganaderas (DO L 221 de 8.8.1998, p. 23)	Artículo 4

(¹) Las franjas de protección para garantizar las buenas condiciones agrícolas y medioambientales deben al menos respetar, tanto dentro como fuera de las zonas vulnerables designadas conforme al artículo 3, apartado 2, de la Directiva 91/676/CEE, los requisitos relativos a las condiciones de aplicación de fertilizantes a tierras cercanas a cursos de agua a que se refiere el punto A.4 del anexo II de la Directiva 91/676/CEE, que se aplicará de acuerdo con los programas de acción de los Estados miembros establecidos con arreglo al artículo 5, apartado 4, de la Directiva 91/676/CEE.

(²) El requisito puede limitarse a una prohibición general de la quema de rastrojos, pero los Estados miembros pueden prescribir requisitos adicionales.

(³) En su aplicación, en particular, en virtud de:

- Artículo 14 del Reglamento (CE) nº 470/2009 y Anexo del Reglamento (CE) nº 37/2010,
- Reglamento (CE) nº 852/2004: artículo 4, apartado 1, y anexo I, parte A [II.4 letras g), h), j); 5, letras f) y h); III.8, letras a), b), d) y e); 9, letras a) y c)]
- Reglamento (CE) nº 853/2004: artículo 3, apartado 1, y anexo III, sección IX, capítulo 1 [I.1, letras b), c), d) y e); I.2, letra a), incisos i), ii), iii), letra b), incisos i) y ii), y letra c); I-3; I-4; I-5; II.A, números 1, 2, 3, 4; II.B, 1, letras a) y d); 2, 4, letras a) y b)], anexo III, sección X, capítulo 1.1.
- Reglamento (CE) nº 183/2005: artículo 5, apartado 1, y anexo I, parte A [I.4, letras e) y g); II.2, letras a), b) y e)]; artículo 5, apartado 5, y anexo III, números 1 y 2; artículo 5, apartado 6.
- Reglamento (CE) nº 396/2005: el artículo 18.

B) “CUADRO DE RELACIÓN LABORES-MEDIDAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA CONDICIONALIDAD”. Extraídos del Manual para el cumplimiento de la condicionalidad para el olivar. Fondo Español de Garantía Agraria.

Labores	Medida	Condicionalidad
Ubicación de la explotación	Infórmese sobre los respectivos programas de gestión o actuación, sobre los requisitos de los mismos y adopte las medidas necesarias para cumplirlos si su explotación se encuentra ubicada en alguna zona con especial protección.	BCAM: Evitar la erosión Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación por nitratos
Cuaderno de explotación	Llevar un registro en soporte informático o papel si se realizan tratamientos fitosanitarios. Conservar las facturas de los productos utilizados y los albaranes de entrega de los envases vacíos al gestor de residuos correspondiente. Actualizar mensualmente el cuaderno de explotación y tenerlo siempre disponible para su inspección.	Afecta a todos los ámbitos y cuestiones de Condicionalidad.
Elementos estructurales	Mantener en buen estado los elementos estructurales y no alterarlos, excepto con autorización, y, en el caso de las terrazas de retención, evitar los aterramientos, derrumbamientos y la aparición de cárcavas. Mantener en buenas condiciones las manchas de vegetación, controlando la maleza de los pies de los árboles y la capa arbustiva y realizar podas y limpiezas de ramas secas y enfermas. Eliminar los restos de poda de forma autorizada. Mantener árboles viejos y trasmochos. Evitar la creación de caminos o accesos específicos para el laboreo salvo autorización. Mantener el entorno de cauces fluviales permanentes o estacionales que atraviesen o limiten la parcela. Mantener los bancales, terrazas, muros de piedra, cierres y construcciones tradicionales, realizando el repaso de los muros, limpiando los drenajes y conservando los taludes de tierra.	BCAM: Evitar la erosión Conservación de la materia orgánica Evitar la compactación Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por nitratos
Análisis previo a la plantación	Realizar un análisis de todos los factores que determinarán el éxito o fracaso de la plantación. Elegir variedades adaptadas al lugar de plantación. Elegir material certificado que cumpla las garantías sanitarias legales.	BCAM: Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves

(Prácticas de obligado cumplimiento. Prácticas recomendadas.)

Labores	Medida	Condicionalidad
Diseño de la plantación	Disponer las filas de plantones de forma que se minimice la erosión del terreno, de manera que las labores puedan realizarse siguiendo las curvas de nivel. Planificar las construcciones auxiliares de manera que se reduzca el acceso de vehículos. Ajustar el diseño de la plantación a la pendiente del terreno en recintos con pendientes pronunciadas.	BCAM: Evitar la erosión Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves
Labores preparatorias	En el caso de que el terreno se encuentre encharcado o con nieve, no deben llevarse a cabo labores preparatorias. En ZERE, respetar las restricciones que establezca la administración competente para evitar la degradación y la pérdida de suelo. En recintos con pendientes superiores al 15% no se permite realizar labores con volteo en la dirección de la máxima pendiente, salvo que se disponga de autorización. Reducir al mínimo el laboreo realizando labores poco profundas y limitando el número de pasadas, que siempre que sea posible serán cruzadas. Evitar la utilización de aperos de vertedera y gradas de disco que volteen el suelo. Dar preferencia a los aperos de dientes sobre los de discos. Evitar la realización de labores con el suelo húmedo, con lluvia o con alta probabilidad de precipitación. En recintos con pendientes pronunciadas: evitar las labores de volteo del suelo siguiendo las curvas de nivel en laderas con pendientes que superen el 15% y en terrenos de secano con orografía ondulada y seguir en lo posible las curvas de nivel a la hora de realizar las labores. Evitar el uso de maquinaria pesada que pueda compactar excesivamente el terreno.	BCAM: Evitar la erosión Conservación de la materia orgánica Evitar la compactación Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación por nitratos
Abonado de plantación	Realizar un análisis del suelo previamente a la aplicación de fertilizantes fosfóricos y potásicos en el hoyo de plantación. Aplicar materia orgánica, adecuadamente fermentada, en los hoyos o zanjas de plantación unos días antes de establecerse la misma.	BCAM: Conservación de la materia orgánica MEDIO AMBIENTE: Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por nitratos
Ejecución de la plantación	Una vez abiertos los hoyos o las zanjas, la implantación se hará en el menor tiempo posible para evitar posibles daños en el suelo por erosión o pérdida de humedad.	BCAM: Evitar la erosión Evitar la compactación

Labores	Medida	Condicionabilidad
Cuidados iniciales de la plantación	Colocar tutores, o elementos de sujeción robustos y duraderos de una altura mínima de 1 m. Instalar protectores con una altura mínima de 45 cm, de materiales biodegradables, permeables y que faciliten las labores cotidianas que se realizan en las plantaciones jóvenes, tales como tratamientos y podas.	BCAM: Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves
Cuidados previos a la entrada en producción	Retirar los protectores una vez cumplida su función, evitando su diseminación en el medio. Gestionarlos oportunamente. Para consultar más información siga este vínculo .	BCAM: Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves
Medidas generales	Evitar el arranque de pies de olivo en zonas con elevado riesgo de abandono de la producción agraria, de despoblamiento y otras razones que así lo aconsejen, salvo que se disponga de autorización. Evitar el arranque de pies de olivo en recintos con pendiente igual o superior al 15%, salvo que se disponga de autorización. Respetar la flora y actuar de forma que no se perjudique a la fauna.	BCAM: Evitar la erosión Conservación de la materia orgánica Evitar la compactación Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por nitratos Protección de suelos y utilización de lodos de depuradora SALUD PÚBLICA, ZOOSANIDAD Y FITOSANIDAD: Fitosanitarios
Labores de mantenimiento	En el caso de que el terreno se encuentre encharcado o con nieve, no deben llevarse a cabo labores preparatorias. En zonas catalogadas como de elevado riesgo de erosión (ZERE), se deberán respetar las restricciones que establezca la administración competente para evitar la degradación y la pérdida de suelo. No se permite realizar labores con volteo en la dirección de la máxima pendiente en recintos con pendientes superiores al 15% salvo que se disponga de autorización. En zonas de elevado riesgo de erosión realizar no laboreo, mínimo laboreo o cultivo con cubiertas. Para el resto de zonas valorar la posibilidad de llevar a cabo alguno de estos sistemas de cultivo, teniendo en cuenta las condiciones en las que se encuentra el terreno empleando al menos cubiertas en el centro de las calles.	BCAM: Evitar la erosión Conservación de la materia orgánica Evitar la compactación Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación por nitratos

Labores	Medida	Condicionabilidad
Mantenimiento de una cubierta vegetal	Mantener una cubierta vegetal de anchura mínima de 1 m en las calles transversales a la línea de máxima pendiente en olivares con pendientes superiores al 10% en los que se mantenga el suelo desnudo en los ruedos. Mantener una cubierta vegetal durante los meses de otoño-invierno, o en periodos de alta probabilidad de precipitación, procediendo a su eliminación a principios de primavera. Sembrar un porcentaje de la superficie de la parcela con leguminosas (en suelos con déficit de N), cereales, mezclas de cereales con leguminosas, crucíferas o las especies convenientes según zonas.	BCAM: Evitar la erosión Conservación de la materia orgánica Conservación del hábitat MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por nitratos
Abonado de mantenimiento	Si la parcela se encuentra en una zona vulnerable a la contaminación por nitratos, respetar las medidas establecidas por las autoridades competentes. Por ello, se deberá recabar la información necesaria para el cumplimiento de lo establecido en los programas de actuación y códigos de buenas prácticas agrarias (dosis máximas de fertilizantes, periodos de fertilización...) que establezca la autoridad en cuestión. Si se reciben ayudas agroambientales, cumplir los requisitos mínimos relativos a la utilización de abonos establecidos por las CC.AA. No fertilizar si el terreno está encharcado o con nieve ni sobre aguas corrientes o estancadas. Si se aplican lodos tratados procedentes de depuradoras de aguas residuales de origen urbano, conservar la correspondiente documentación expedida por la depuradora, y el correspondiente análisis donde se verifique la concentración inicial de metales pesados. Siga este vínculo para consultar la legislación vigente en materia de lodos. No está permitido aplicar fertilizantes en una franja cuya anchura será, al menos, la establecida por cada C.A. en el Código de Buenas Prácticas Agrarias. Dichas franjas estarán ocupadas por vegetación espontánea.	BCAM: Conservación de la materia orgánica Conservación del hábitat Protección y gestión del agua MEDIO AMBIENTE: Conservación del hábitat y aves Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por nitratos Protección de suelos y utilización de lodos de depuradora

Labores	Medida	Condicionabilidad
Abonado de mantenimiento	<p>Realizar un estudio previo que englobe el análisis exhaustivo de todas las variables que rodean al cultivo y periódicamente análisis químicos del suelo y foliares cada 1 ó 2 años.</p> <p>Realizar la fertilización preferentemente mediante aplicaciones al suelo, atendiendo a las necesidades del olivar y en ausencia de viento y lluvia.</p> <p>Evitar la aplicación de abonos nitrogenados en periodos de inactividad del sistema de raíces (diciembre y enero).</p> <p>Fraccionar al máximo la fertilización nitrogenada y aportar la fosfopotásica en el periodo otoñal.</p> <p>Conocer la capacidad fertilizante y las características de liberación y asimilabilidad de los productos a aplicar.</p> <p>Aportar materia orgánica a través de abonos orgánicos naturales compostados.</p> <p>Evitar el uso de abonos nitrogenados de rápida liberación utilizando preferentemente aquellos que tengan mecanismos inhibidores de la nitrificación.</p> <p>Ajustar los productos al pH del terreno.</p> <p>Utilizar el alperujo adecuadamente compostado como fuente de materia orgánica.</p> <p>Evitar la utilización de productos de alta solubilidad.</p> <p>Evaluar bien los objetivos del rendimiento por superficie, teniendo en cuenta las características del suelo y el historial de cada parcela y realizar el cálculo exacto de la cantidad de producto que se necesita aplicar al olivar. Ver tablas 4.1, 4.2, y 4.3.</p> <p>Estimar la provisión de N en el suelo, teniendo en cuenta la capacidad de utilización de la misma por parte del olivo.</p> <p>Tener en cuenta el antagonismo entre K y Mg a la hora de calcular la cantidad de potasa a aportar.</p> <p>Revisar a la baja las dosis si el objetivo de producción marcado no puede alcanzarse.</p> <p>Evitar irregularidades en la aplicación, en especial los solapamientos y aplicaciones duplicadas.</p> <p>Mantener los equipos de aplicación en perfecto estado de limpieza y funcionamiento.</p> <p>En terrenos próximos a cursos de agua, evitar la utilización de productos de granulometría fina.</p> <p>En recintos con pendientes pronunciadas, utilizar abonos sólidos con la realización de labores de enterramiento y teniendo en cuenta las operaciones locales.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Conservación de la materia orgánica</p> <p>Conservación del hábitat</p> <p>Protección y gestión del agua</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas</p> <p>Contaminación por nitratos</p> <p>Protección de suelos y utilización de lodos de depuradora</p>

Labores	Medida	Condicionabilidad
Riego	<p>Disponer de sistemas de control de agua de riego que garanticen una información precisa sobre los caudales de agua efectivamente utilizados.</p> <p>Acreditar el derecho de uso del agua de riego concedido por la administración competente</p> <p>Valorar todos los condicionantes que permitirán establecer la conveniencia o no de regar, fijar estrategias razonables y realizar un manejo adecuado del riego.</p> <p>Ahorrar agua de riego, realizando el riego mediante un sistema de goteo, ajustando la dosis de riego en función de las necesidades del cultivo y estableciendo un plan de riego en función de la edad del árbol y del estado fenológico en el que se encuentre. Para ello se recomienda el contacto con el Servicio de Asesoramiento de Riegos para su zona.</p> <p>En casos de limitación de la disponibilidad de agua, seguir las indicaciones del Organismo de Cuenca correspondiente.</p> <p>Realizar periódicamente lecturas de consumo y anotaciones en el libro de explotación.</p> <p>Mejorar la calidad de las aguas a través de la racionalización en el uso de productos químicos, abonos...</p> <p>Elegir un sistema de riego apropiado y considerar el adecuado ajuste de las dosis, empleando operaciones de riego que eviten la percolación y la escorrentía superficial, y consigan homogeneidad en la distribución del agua.</p> <p>Limitar los riegos en los periodos próximos a la recolección de la aceituna.</p> <p>Si desea consultar más información acerca de las recomendaciones para un riego eficaz, sigas este vínculo.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Conservación de la materia orgánica</p> <p>Protección y gestión del agua</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas</p> <p>Contaminación por nitratos</p> <p>SALUD PÚBLICA, ZOOSANIDAD Y FITOSANIDAD:</p> <p>Fitosanitarios</p>

Labores	Medida	Condicionabilidad
Control de malas hierbas, plagas y enfermedades. Tratamientos fitosanitarios	<p>Utilizar productos autorizados. Para consultar estos productos sigas este vínculo.</p> <p>No verter productos fitosanitarios a las aguas subterráneas o llevar a cabo tratamientos fitosanitarios sobre suelos encharcados o con nieve o sobre aguas corrientes o estancadas, así como aplicar estos productos en una franja cuya anchura será, al menos, la establecida por cada C.A. en el Código de Buenas Prácticas Agrarias. Dichas franjas estarán ocupadas por vegetación espontánea.</p> <p>Cumplir los requisitos de capacitación establecidos por la normativa vigente en función de las categorías o clases de peligrosidad de los productos. Se debe igualmente mantener los equipos de aplicación en perfecto estado de limpieza y funcionamiento. Sigas este vínculo para obtener más información al respecto.</p> <p>Para beneficiarios de ayudas agroambientales, es obligatorio cumplir los requisitos mínimos relativos a la utilización de productos fitosanitarios establecidos por las CC.AA.</p> <p>Diagnosticar la causa del problema presente en la plantación.</p> <p>Utilizar las técnicas disponibles para prevenir controlar, y tratando en última instancia con productos fitosanitarios.</p> <p>Elegir el producto adecuado teniendo en cuenta que se debe: aplicar las dosis indicadas en las etiquetas y fomentar la alternancia de materias activas, no aplicar tratamientos de manera preventiva ni con el riego, ni durante las horas más calurosas y bajo condiciones adversas, tomando las precauciones necesarias para proteger a las abejas, utilizar boquillas de abanico plano y ajustar la pulverización y evitar los productos de amplio espectro.</p> <p>Minimizar el uso de fitosanitarios de acuerdo con las necesidades del cultivo.</p> <p>Tener en cuenta la solubilidad, tensión de vapor, volatilidad, eficacia y selectividad del producto para disminuir los riesgos de contaminación ambiental.</p> <p>Adoptar las medidas precisas para evitar que la deriva de las aplicaciones realizadas alcance a parcelas distintas de las que se pretende tratar.</p> <p>Leer las recomendaciones incluidas en la etiqueta de los productos.</p> <p>Evitar los tratamientos con productos químicos 15 días antes de la recolección o respetar el plazo de seguridad de la etiqueta de los productos en caso de que éste fuera superior.</p> <p>No superar los límites máximos de residuos permitidos y realizar análisis de residuos sobre la producción final. Para consultar las obligaciones y recomendaciones referentes a los límites máximos de residuos en alimentos sigas este vínculo.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Evitar la erosión</p> <p>Conservación del hábitat</p> <p>Protección y gestión del agua</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas</p> <p>SALUD PÚBLICA, ZOOSANIDAD Y FITOSANIDAD:</p> <p>Fitosanitarios</p>

Labores	Medida	Condicionabilidad
Control de malas hierbas, plagas y enfermedades. Tratamientos contra plagas y enfermedades	<p>Comunicar a los servicios de sanidad vegetal de las CC.AA. la aparición de nuevas enfermedades o plagas en las plantaciones.</p> <p>Realizar el seguimiento y control de plagas mediante tratamientos dirigidos y localizados.</p> <p>Usar cebos o trampas feromonales o nutricionales para mosca del olivo, euzophora...</p> <p>Emplear material vegetal sano, procedente de viveros autorizados o variedades resistentes y bien adaptadas a las condiciones bioclimáticas de la zona de plantación.</p> <p>Elegir adecuadamente los cultivares y los patrones para prevenir la verticilosis (<i>Verticillium dahliae</i>).</p> <p>Aplicar preferentemente métodos de lucha natural y operaciones culturales adecuadas.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Evitar la erosión</p> <p>Conservación del hábitat</p> <p>Protección y gestión del agua</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas</p> <p>SALUD PÚBLICA, ZOOSANIDAD Y FITOSANIDAD:</p> <p>Fitosanitarios</p>
Control de malas hierbas, plagas y enfermedades. Tratamientos contra malas hierbas	<p>Controlar las especies de vegetación espontánea no deseada (malas hierbas) definidas en cada C.A. Salvo que la autoridad competente determine que no ha sido imposible su eliminación por condiciones meteorológicas adversas.</p> <p>Comunicar a los servicios de sanidad vegetal de las CC.AA. la aparición de nuevas especies de malas hierbas en las plantaciones.</p> <p>Utilizar los tratamientos herbicidas para el manejo adecuado de la cubierta vegetal, especialmente cuando la plantación es joven.</p> <p>Aplicar herbicidas en el momento de máxima sensibilidad de las malas hierbas.</p> <p>Buscar un control completo de las malas hierbas bajo las copas de los árboles.</p> <p>Anteponer el control de las malas hierbas con medios mecánicos frente al uso de herbicidas.</p> <p>Controlar las especies no deseadas sin pretender su erradicación.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Evitar la erosión</p> <p>Conservación del hábitat</p> <p>Protección y gestión del agua</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas</p> <p>SALUD PÚBLICA, ZOOSANIDAD Y FITOSANIDAD:</p> <p>Fitosanitarios</p>
Poda y gestión de restos de poda	<p>Realizar las podas con la frecuencia tradicional en cada zona para mantener los olivos en buen estado vegetativo, así como respetar la normativa específica de cada C.A. para la eliminación de los restos de poda.</p> <p>Realizar podas equilibradas buscando la máxima aireación del olivo.</p> <p>Evitar la quema de restos de poda, linderos, orlas de vegetación lagunar.</p> <p>En los casos en que los restos de poda estén afectados de hongos de madera u otros patógenos y plagas peligrosas para el cultivo, solicitar una autorización para llevar a cabo la quema, y seguir las instrucciones que figuren en tal autorización respecto a las medidas de seguridad.</p> <p>Incorporar restos de poda a los suelos, previa trituración y tras comprobar que no estén afectados por enfermedades fúngicas de la madera.</p>	<p>BCAM:</p> <p>Conservación de la materia orgánica</p> <p>Conservación del hábitat</p> <p>MEDIO AMBIENTE:</p> <p>Conservación del hábitat y aves</p>

C) “CRITERIOS DE AGRUPACIÓN MAPAS DE USOS Y COBERTURAS VEGETALES DEL SUELO DE ANDALUCÍA A ESCALA 1:25.000 DEL AÑO 1956. NIVEL DE DETALLE”

Usos y coberturas vegetales	Código	Agrupación
Áreas con fuertes procesos erosivos	1	7
Cultivo herbáceo arbolado: Quercíneas. Disperso	2	6
Cultivos herbáceos en secano	3	2
Cultivos herbáceos y vegetación natural leñosa	4	6
Cultivos herbáceos y leñosos en secano	5	3
Cultivos herbáceos y leñosos regados	6	3
Cultivos leñosos en secano: Olivar	7	1
Cultivos leñosos regados: Cítricos	8	3
Cultivos leñosos regados: Olivos	9	1
Cultivos leñosos y pastizales	10	5
Cultivos leñosos y vegetación natural leñosa	11	5
Formación arbolada densa: Coníferas	12	6
Formación arbolada densa: Eucalipto	13	6
Formación arbolada densa: Otras Frondosas	14	6
Formación arbolada densa: Otras Mezclas	15	6
Formación arbolada densa: Quercíneas	16	6
Formación arbolada densa: Quercíneas + Coníferas	17	6
Matorral denso	18	7
Matorral denso Arbolado: Coníferas densas	19	7
Matorral denso Arbolado: Coníferas dispersas	20	7
Matorral denso Arbolado: Otras frondosas	21	7
Matorral denso Arbolado: Otras mezclas	22	7
Matorral denso Arbolado: Quercíneas densas	23	7
Matorral denso Arbolado: Quercíneas dispersas	24	7
Matorral denso arbolado: Quercíneas + Coníferas	25	7
Matorral disperso arbolado: Coníferas denso	26	7
Matorral disperso arbolado: Coníferas disperso	27	7
Matorral disperso arbolado: Otras frondosas	28	7
Matorral disperso arbolado: Quercíneas disperso	31	7
Matorral disperso arbolado: Quercíneas + Coníferas	32	7
Matorral disperso con pastizal	33	7
Matorral disperso con pasto y roca o suelo	34	7
Mosaico de leñosos en regadío	35	3
Mosaico de secano y regadío con cultivos herbáceos y leñosos	36	3
Mosaico de secano y regadío con cultivos leñosos	37	3
Olivar abandonado	38	1
Otras asociaciones y mosaicos de cultivos leñosos en secano	39	4
Otros cultivos herbáceos regados	40	4
Otros cultivos herbáceos en secano	41	4

<i>Cont.</i>		
Otros cultivos herbáceos regados	42	3
Otros mosaicos cultivos y vegetación natural	43	5
Pastizal arbolado: Coníferas disperso	44	7
Pastizal arbolado: Otras frondosas	45	7
Pastizal arbolado: Otras mezclas	46	7
Pastizal arbolado: Quercíneas denso	47	7
Pastizal arbolado: Quercíneas disperso	48	7
Pastizal arbolado: Quercíneas + Coníferas	49	7
Pastizal con claros (Roca y suelo)	50	7
Pastizal continuo	51	7
Ríos y cauces naturales: Bosque galería	52	6
Ríos y cauces naturales: Otras formaciones ripiarias	53	6
Roquedo y suelo desnudo	54	7
Tejido urbano	55	8
Urbanizaciones agrícolas/residenciales	56	8
Urbanizaciones residenciales	57	8
Zonas mineras	58	8
Zonas verdes urbanas	59	8

Leyenda final agrupación de usos:

1. Olivar
2. Cultivos herbáceos en secano
3. Cítricos
4. Asociación y mosaico de cultivos herbáceos y leñosos en secano y regadío
5. Asociación y mosaico de cultivos leñosos y herbáceos con vegetación natural
6. Formación arbolada densa
7. Matorral y pastizal
8. Tejido urbano