



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

**Análisis de la evolución anual de las
coberturas del suelo y la vegetación
mediante técnicas de Teledetección en una
zona de olivar del municipio de Estepa
(Sevilla)**

Alumno: Cristian Rodríguez Romero

Noviembre, 2021



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

**Análisis de la evolución anual de las coberturas del
suelo y la vegetación mediante técnicas de
Teledetección en una zona de olivar del municipio
de Estepa (Sevilla)**

CRISTIAN RODRÍGUEZ ROMERO

Jaén, Noviembre de 2021

ÍNDICE

• Resumen/Abstract	4
1. Introducción	
1.1. Objetivos	5
1.2. Justificación y motivación	5
1.3. Antecedentes	6
1.3.1. SIG y Teledetección en medioambiente y agricultura.....	6
1.3.2. Programas espaciales: Programa Copernicus (UE).....	7
1.3.3. Técnicas multiespectrales: índices y clasificaciones.	9
2. Metodología	
2.1. Zona de estudio	12
2.1.1. Localización geográfica	12
2.1.2. Orografía y geología	14
2.1.3. Hidrografía e hidrogeología	16
2.1.4. Usos del suelo y cultivos	17
2.2. Materiales.....	18
2.2.1. Imágenes.....	18
2.2.2. Localización de las parcelas	19
2.2.3. Software	20
2.3. Adquisición y procesamiento de datos	20
3. Resultados	
3.1. Imágenes	22
3.1.1. Zona general	22
3.1.2. Parcelas	23
3.2. Evolución de los índices de vegetación	25
3.2.1. Evolución general	25
3.2.2. Parcelas	25
3.2.3. Otros usos del suelo	29
3.3. Evolución del índice de humedad: MNDWI	31
3.4. Clasificación de las coberturas del suelo.....	34
4. Discusión	
4.1. Evolución de los usos del suelo e índices a lo largo del año	35
4.2. Evolución de los índices de vegetación a lo largo del año en las parcelas	36
4.3. Evolución de los índices de vegetación a lo largo del año en los otros usos	38
4.4. Clasificación de las coberturas del suelo.....	39
5. Conclusiones	40
• Anexo.....	42
• Bibliografía	49

RESUMEN

Se han analizado las coberturas del suelo en una zona de unas 23400 ha en el municipio de Estepa (Sevilla), con especial interés en parcelas de olivar, tanto convencional como ecológico, durante el año natural 2020. Para ello se han calculado distintos índices de vegetación (NDVI, SAVI) y humedad (MNDWI) en imágenes mensuales, y se ha realizado una clasificación en dos de ellas (invierno y verano).

Los resultados muestran una evolución de los índices y, por lo tanto, de la cobertura, vigor y humedad de la vegetación con máximos en invierno-primavera y otoño, y mínimos en el verano, acorde con el régimen de lluvias. La clasificación muestra un predominio del cultivo del olivar (74%) sobre otras coberturas (cultivos, zonas urbanas, suelo y vegetación natural). Con ambos métodos se ha podido diferenciar entre ambos tipos de olivar, convencional y ecológico, aunque se requerirán estudios más avanzados para mejorar esta diferenciación.

ABSTRACT

Soil cover has been analyzed in an area of about 23400 ha, in the municipality of Estepa (Seville), with special focus in olive grove plots, both conventional and sustainable, during the 2020 year. For this, different vegetation indices (NDVI, SAVI) and wetness (MNDWI) have been calculated in monthly images, and classification has been made in two of them (winter and summer).

The results show an evolution of the indices and, therefore, of the cover, health and wetness of the vegetation cover with maximums in the winter-spring and autumn, and minimums in the summer, in accordance with the rainfall regime. In the classifications, there is a predominance of the olive grove (74%), over other covers (crops, urban areas, soil and natural vegetation). With both methods it has been possible to separate between both types of olive grove, conventional and organic, although more advanced studied will be required to improve this separation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es analizar la evolución de la vegetación y de los usos del suelo, especialmente del olivar, en una región a lo largo de un año.

Para lograr alcanzar el objetivo principal se ha propuesto unos objetivos secundarios:

- Analizar y comparar la evolución de los índices de vegetación en olivar, tanto de tipo convencional como ecológico, así como en otros cultivos y usos a lo largo de los meses del año.
- Realizar clasificaciones de usos del suelo en dos épocas del año.
- Interpretar la evolución y los cambios en los índices y usos a lo largo del año en función de aspectos climáticos y agronómicos.

1.2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

La elección de este tema para el trabajo está fundamentada básicamente en dos razones:

1. Aplicar herramientas de SIG y Teledetección en el ámbito de las ciencias ambientales, cada vez más necesarias para el análisis de regiones más o menos amplias. Introduciendo, además, la componente temporal. La inversión de la Unión Europea u otros países en programas espaciales como Copernicus (UE) y los satélites Sentinel así lo avalan, proporcionando no solo datos (imágenes capturadas con satélite y otros datos), sino herramientas y servicios para el análisis de la información. En este sentido, la demanda de profesionales que sean capaces de manejar estos medios de forma correcta y fluida, va a ir en aumento en los próximos años.
2. Aunar los conocimientos que aporta un grado multidisciplinar como son las Ciencias Ambientales. Estos conocimientos me han permitido manejar dentro del trabajo informaciones de ciencias diferentes tales como la geología, edafología, ecología, hidrología, así como materias instrumentales como la estadística o las técnicas geométricas...

La selección de la zona de estudio se debe a que en un área relativamente pequeña de estudio coexisten parcelas de cultivos de olivar con diferentes manejos (convencional y ecológico), además de otros cultivos y diferentes usos del suelo, lo que permite una interesante comparación entre ellas.

Para el tratamiento de la información se eligió SNAP como el software libre, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) para el tratamiento de imágenes de los satélites Sentinel (aunque no exclusivamente) y que, por lo tanto, concentra todas las funciones necesarias para el desarrollo del trabajo sin coste ni limitaciones. Además, es un programa de fácil uso, que me ha permitido desarrollar desde cero el aprendizaje de un software de análisis de imágenes, con funcionalidades SIG.

1.3. ANTECEDENTES

1.3.1. SIG y teledetección en medio ambiente y agricultura

La teledetección es una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores remotos generalmente situados en plataformas espaciales, aunque desde una perspectiva más amplia se consideran también plataformas aerotransportadas a bordo de aviones y otros dispositivos como drones (Pinilla, 1999; 2020).

Esta técnica se basa en la adquisición de información a distancia y en la observación remota de la superficie terrestre. La teledetección se ocupa de la obtención de imágenes desde el aire o el espacio, así como de su tratamiento digital y de la interpretación en el marco de una determinada aplicación.

Generalmente, la adquisición de información se lleva a cabo mediante radiación electromagnética (Chuvieco, 2000) recibida por los sensores (desde cámaras fotográficas a sensores óptico-electrónicos o incluso antenas de radar).

Por su parte, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta para trabajar con información georreferenciada. Según la NCGIA (1990) es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Permiten la lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales; el análisis simple o complejo de dichos datos; y la generación de resultados.

En el ámbito medioambiental la teledetección tiene gran variedad de aplicaciones. Entre las principales utilidades destaca el seguimiento de recursos naturales en el medio terrestre (vegetación natural y agricultura, minerales, suelos, agua...) y marino,

la atmósfera y el de desastres naturales y aspectos relacionados con la seguridad (Chuvieco, 2010; Jensen, 2014; Copernicus, 2021).

De forma más específica en el ámbito medioambiental y su gestión, son una herramienta de gran utilidad a través de la elaboración de indicadores ambientales, el apoyo en el manejo de espacios naturales, la elaboración de estudios de impacto ambiental o el análisis de riesgos naturales (Chuvieco, 2019).

La teledetección en agricultura tiene la enorme ventaja de permitir observar cultivos a gran escala de manera sinóptica, remota y no destructiva (Andreu, et al., 2021).

Así, las imágenes de satélite aportan información valiosa para: detectar el contenido de humedad del suelo (lo que permite programar el riego, evaluar áreas vulnerables o hacer seguimientos de la sequía); realizar un seguimiento del estrés hídrico (monitoreo del vigor de la vegetación y del estrés hídrico); mejorar el fenotipado (lo que supone una mejora de la producción); monitorear el uso de la tierra agrícola y así mapear alteraciones, cambios en el uso y cultivo del suelo; realizar un seguimiento del ciclo fenológico del cultivo, de la cobertura vegetal y del estado del cultivo; conocer la producción de biomasa (predicción-estimación de cosecha) y el rendimiento de los cultivos; llevar un seguimiento de cultivos para optimizar el rendimiento; evaluar las deficiencias de nutrientes del cultivo, el estado y la calidad; tener un seguimiento de la enfermedad de cultivos, infestación de malezas e insectos; etc. (Martínez Vega, J. et al., 2010)

La aplicación de la teledetección en el ámbito agrícola cada vez cobra más importancia debido a los diversos beneficios que puede aportar: mejora del diagnóstico de la vegetación, mejora de la gestión del riego, agilización y optimización de toma de decisiones, reducción de impactos ambientales, mejora en la conservación de los recursos naturales... (Casterad, M.A., 2013).

Las coberturas vegetales y los usos del suelo están estrechamente ligados a factores socioeconómicos y decisiones políticas (Morláns, 2005). La teledetección nos permite conocer cambios en la distribución y superficie a través de la facilitación del seguimiento, cartografía y detección de cambios.

1.3.2. Programas espaciales: Programa Copernicus (UE)

Dejando de lado los programas de observación meteorológica y atmosférica, que fueron los primeros que se desarrollaron desde los años 1960 (TIROS-NOAA, Meteosat, etc.) nos centraremos en los programas de observación terrestre, que se

caracterizaron por un aumento significativo de la resolución espacial, que permitió el estudio de fenómenos y procesos relacionados con la vegetación y los procesos terrestres. Dentro de ellos, el programa norteamericano Landsat y el programa europeo Copernicus.

Landsat es un programa conjunto entre la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que ofrece un amplio catálogo de observaciones de la Tierra a nivel global. Actualmente está activo Landsat 8, que adquiere imágenes cada 16 días, con 11 bandas espectrales procedentes de dos sensores (OLI con 9 bandas en el espectro visible, infrarrojo próximo y medio, y 30 m de resolución espacial) y TIRS (dos bandas en infrarrojo térmico con 100 m de resolución). Está centrado en zonas terrestres y costeras, estando previsto en breve el lanzamiento de Landsat 9, con idénticas características que su predecesor (Landsat; IGN, 2021a).

Por su parte, Copernicus es un programa conjunto de la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea cuyo objetivo es construir un sistema autónomo de observación de la Tierra (Copernicus, 2021a).

El objetivo de Copernicus es crear una capacidad europea autónoma y sostenible para producir y proporcionar información geográfica para poder implementar políticas europeas en medio ambiente y seguridad civil.

Está diseñado para proporcionar información precisa, actualizada y de fácil acceso para mejorar la gestión del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad ciudadana.

Los satélites Sentinel del programa Copernicus que proporcionan las imágenes satelitales son (Copernicus, 2021b):

- Sentinel-1: Imágenes radar terrestres y oceánicas, actualmente en funcionamiento con dos satélites gemelos en órbita.
- Sentinel-2: Proporciona imágenes ópticas terrestres, disponibles corregidas radiométrica y geométricamente (1C) y corregidas atmosféricamente (2A). Son los satélites (2 gemelos hasta la fecha) de los que se obtendrán las imágenes para este trabajo.

Este satélite cuenta con una cámara multispectral de alta resolución, con 13 bandas espectrales (tabla 1.1).

La misión de Sentinel 2 está compuesta por una constelación de satélites idénticos en la misma órbita, separados por 180 grados. Estas condiciones permiten a los satélites cubrir todas las superficies terrestres, grandes islas y aguas costeras cada 5 días, con una resolución espacial de 10, 20 o 60 metros, dependiendo del canal.

Este satélite proporciona información idónea para prácticas agrícolas y forestales. Es muy útil para determinar índices vegetales, pudiendo así predecir producciones de cosechas, controlar el crecimiento de las plantas, observar cambios en la superficie terrestre... También permite obtener información de cara a desastres naturales tales como inundaciones, erupciones volcánicas o deslizamientos.

- Sentinel-3: Vigilancia terrestre y oceánica, con 46 bandas espectrales, pero resolución media (250-500m). Ya está en funcionamiento.
- Sentinel-4: Vigilancia y monitorización atmosférica.
- Sentinel-5: Vigilancia de la composición atmosférica. En la actualidad está ya en funcionamiento el Sentinel 5 precursor.
- Sentinel-6: Datos altimétricos de alta precisión.

Tabla 1.1. Bandas espectrales y resolución de los satélites Sentinel-2

Banda	Espectro	Resolución espacial
B1	443 nm (Costa)	60 m
B2	490 nm (Azul)	10 m
B3	560 nm (Verde)	10 m
B4	665 nm (Rojo)	10 m
B5	705 nm (Borde Rojo)	20 m
B6	740 nm (Borde rojo)	20 m
B7	783 nm (Borde Rojo)	20 m
B8	842 nm (NIR)	10 m
B8A	865 nm (NIR)	20 m
B9	945 nm (Vapor de agua)	60 m
B10	1380 nm (Cirros)	60 m
B11	1610 nm (IRm)	20 m
B12	2190 nm (IRm)	20 m

1.3.3. Técnicas multispectrales: índices y clasificaciones

Las imágenes multispectrales son representaciones visuales de la información que es capturada por un sensor óptico-electrónico en una determinada banda del espectro electromagnético (Pinilla, 1995; 2021), es decir, dentro de rangos de longitud de onda específicos (*tabla 1.1*).

Los sensores permiten captar la señal, descomponerla ópticamente en varias bandas y enviarlas a los detectores que registran un nivel digital (dependiente de la señal) para acabar formando la imagen. La señal electromagnética se mide en términos de radiancia (flujo de energía que llega de una superficie por unidad de ángulo sólido, es decir, vatios por m^2 y estereorradián). A partir de los niveles digitales registrados en cada banda por cada uno de los detectores y unos parámetros de calibración conocidos se puede estimar la radiancia; y a partir de ésta y una serie de parámetros como el ángulo de incidencia, la radiación solar extraterrestre, la transmisividad de la atmósfera, etc. se puede estimar la reflectancia o proporción del flujo reflejado respecto al incidente, que informa sobre el tipo de superficie y su composición (Chuvieco, 2006; Pinilla, 1995).

Los satélites de teledetección multiespectrales miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas en cada píxel de la imagen. A partir de los valores que conforman estas imágenes multiespectrales, se pueden realizar operaciones que convencionalmente se consideran de dos tipos: las transformaciones globales y las clasificaciones. Las transformaciones globales son operaciones, generalmente algebraicas, que combinan los valores de reflectancia de las distintas bandas en cada píxel, obteniendo unas nuevas bandas; entre ellas destacan los índices, que permiten conocer determinados parámetros o propiedades de la superficie terrestre como el estado y cobertura de la vegetación, los suelos, la humedad, etc. Por su parte, las clasificaciones permiten zonificar el terreno, asignando a cada píxel una clase cualitativa (de usos del suelo, vegetación, geología, etc.) en función de la reflectancia en las distintas bandas, mediante técnicas de estadística multivariante, o más recientemente técnicas de aprendizaje automático (machine learning) y aprendizaje profundo (deep learning o redes neuronales) (Pinilla, 2021).

Entre los índices espectrales se pueden citar algunos muy conocidos, como los que se van a emplear en este trabajo:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): Definido originalmente por Rouse et al. (1973). Utiliza las bandas espectrales roja (B4 en Sentinel-2) e infrarroja cercana (B8). Este índice se asocia con el contenido de la vegetación. Altos valores del NDVI corresponden con áreas que reflejan más en el infrarrojo cercano y una mayor

reflectancia en el infrarrojo cercano significa que la vegetación es más densa y saludable (GU, 2019).

Un índice NDVI entre 0.2 y 0.4 se corresponde con zonas de vegetación escasa, entre 0.4 y 0.6 la vegetación es moderada y a partir de 0.6 la vegetación es ya muy densa.

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$$

- NDI 45: es una variante del NDVI (Delegido, 2011) en el que se modifica la banda del infrarrojo cercano. En este caso, para Sentinel-2, en vez de usar la banda 8 en el NIR (infrarrojo cercano) se utilizará la 5 (dentro de la región conocida como Red Edge, ya que está en el límite del rojo visible y el infrarrojo). También se pueden citar algunas variantes como el NDI 46 (igual que anterior, introduciendo en el NIR la banda 6 también en la región Red Edge) o el NDI 47 (empleando la banda 7 igualmente del Red Edge).
- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index): Es un índice utilizado para corregir el NDVI debido a la influencia del brillo del suelo en zonas donde la cobertura vegetal es baja (Huete, 1988); (USGS, 2019). Es muy práctico para reducir los efectos del ruido del suelo (color y humedad del suelo, variabilidad entre regiones, etc.).

$$SAVI = 1.5 * (B8 - B4) / (B8 + B4 + 0.5)$$

- MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index): Es un índice de humedad definido por Xu (2006), que surge a causa de los problemas de otro índice de humedad, el NDWI (GAO, 1996), para detectar ciertas características de algunas masas de agua. Se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. La relación entre bandas permite maximizar la reflectancia del agua al trabajar con longitudes de ondas en el verde, maximiza la reflectancia de la vegetación y minimiza la reflectancia de masas de agua gracias a la banda del infrarrojo cercano (IRC) y del infrarrojo medio (IRM). De esta manera, la presencia de agua se identifica en la imagen que se obtiene, con valor de cada píxel en un rango de valores entre -1 y 1 debido a su definición matemática. Los valores positivos del MNDWI indican presencia de agua (Maestri et al., 2018, 2019).

$$MNDWI = \frac{(B3 - B12)}{(B3 + B12)}$$

2. METODOLOGÍA

2.1. ZONA DE ESTUDIO

2.1.1. Localización geográfica

La zona seleccionada para el estudio presenta una superficie de 234 km² y se encuentra al sureste de la provincia de Sevilla, en la comarca de la Sierra Sur. Situada sobre las Sierras Subbéticas y llegando a adentrarse casi en la provincia de Córdoba.

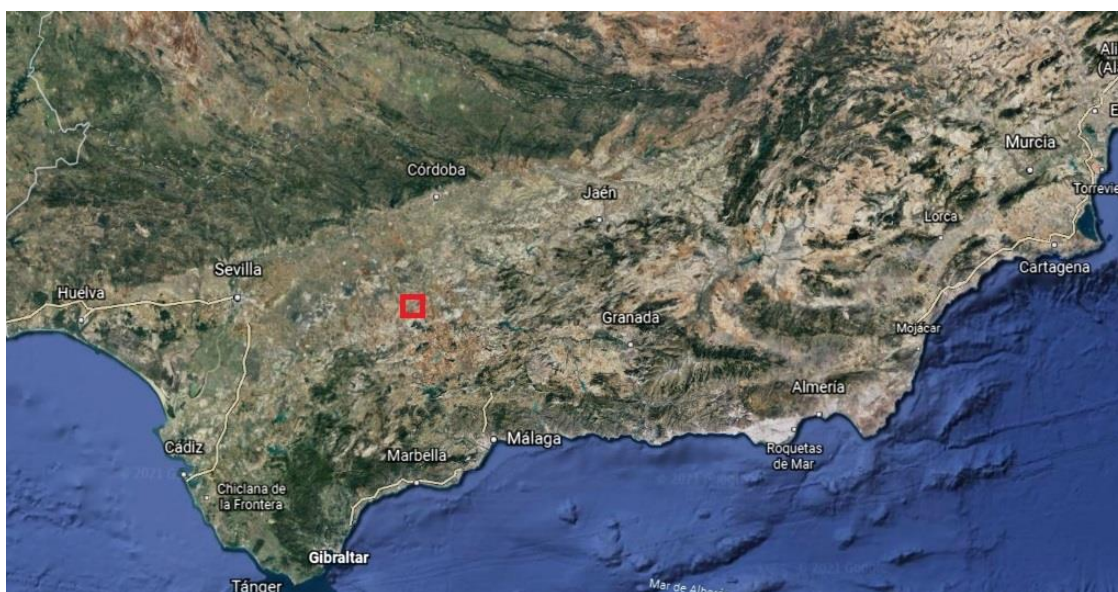
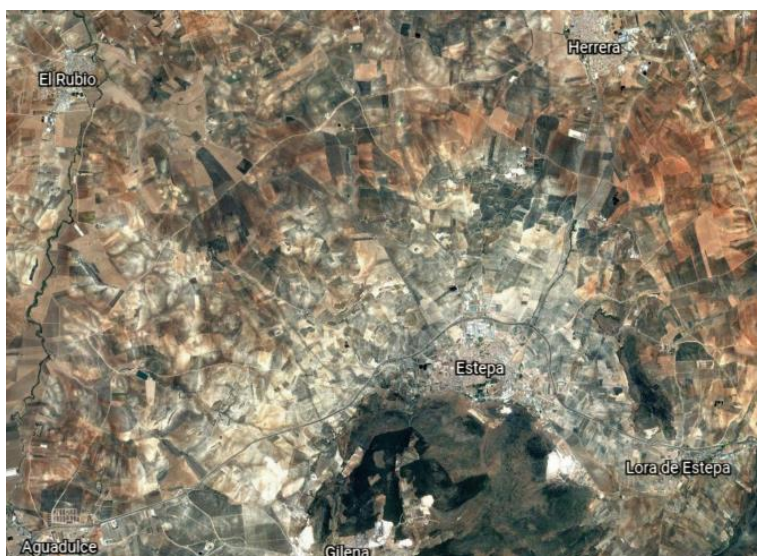


Figura 2.1. Localización (Google earth)

El área de estudio abarca los municipios de El Rubio, Herrera, Lora de Estepa, Aguadulce, una parte de Gilena y Estepa.

	El Rubio	Herrera	Lora de Estepa	Aguadulce	Gilena	Estepa
Área (km ²)	20.8	53.48	18.09	13.69	50.97	189.97
Habitantes	3396	6464	873	2035	3727	12497

Datos del INE



Estepa conforma el municipio más relevante de los 6.

Figura 2.2 Área de estudio (Google Earth)

Esta área es de interés para el estudio ya que coexisten parcelas de manejo tradicional y ecológico en la zona, además de varios tipos diferentes de usos del suelo, lo que facilita la comparación entre sí.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo típico (clasificación de Köppen) y está caracterizado por veranos secos, calurosos y con temperaturas por encima de los 22°C e inviernos húmedos y lluviosos, con temperaturas suaves (Martín Vide y Oclina, 2001)

En la tabla 2.1 se detallan las precipitaciones medias del año 2020, así como las precipitaciones medias de los últimos 15 años y las máximas y mínimas registradas en el mismo período.

Tabla 2.1. Precipitaciones

Pp (mm)	En.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Precip. Media 2020	63.8	0.4	52.2	58.8	50.4	0	1.4	0	3.8	22.6	68	20.2	341.6
Precip. Media anual	44.1	33.4	52.3	55.3	26.4	2.8	0.2	1.6	24.6	57.8	72.2	52	422.7
Precip. Máx. anual	74.6	73.4	163.2	87.4	130.4	20.4	1.4	13.4	129.8	111.8	134.8	202.8	639.8
Precip. Mín. anual	8.4	0.2	0	25	0	0	0	0	0	1.6	1.2	4.8	212.4

La tabla 2.2 muestra las temperaturas medias registradas en 2020. Además, se recogen las temperaturas medias, así como máximas y mínimas medias de los diferentes meses de los últimos 15 años.

Tabla 2.2. Temperaturas

T ^a (°C)	En.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
T ^a Media 2020	11.6	16	15.9	17.4	23.2	24.6	30.1	28.3	25.6	19.8	16.9	12.6	20.2
T ^a Media anual	11.5	13	15.3	18.1	22.2	25.4	28	28.6	25.2	21.1	15.4	12.6	20
T ^a Máx. anual	16.2	18.	20.7	23.5	28.4	31.7	35	35.7	31.4	26.7	19.9	17.2	25.6
T ^a Mín. anual	7.8	8.7	10.8	13.7	16.8	20	22.3	22.9	20.4	16.6	11.8	8.9	15.3

La mayoría de las precipitaciones de la región se concentran en la estación otoñal. Desde junio hasta septiembre las lluvias son muy escasas (Figura 2.3). En 2020, las precipitaciones siguieron esa misma pauta, con la particularidad de que en febrero fueron prácticamente nulas y en marzo presentan un pico relativo

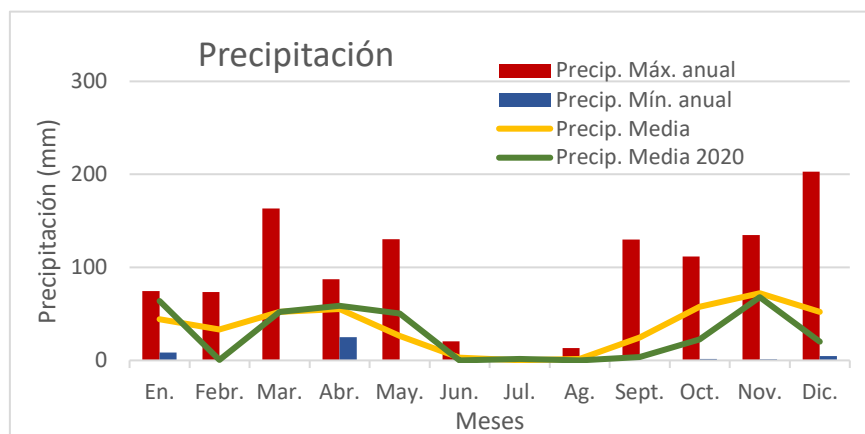


Figura 2.3 Gráfico de precipitaciones (Elaboración propia, con datos de Aemet)

La zona de interés está caracterizada por unas altas temperaturas medias anuales (20°C), con amplitud térmica media entre los distintos meses (en torno a los 15°C).

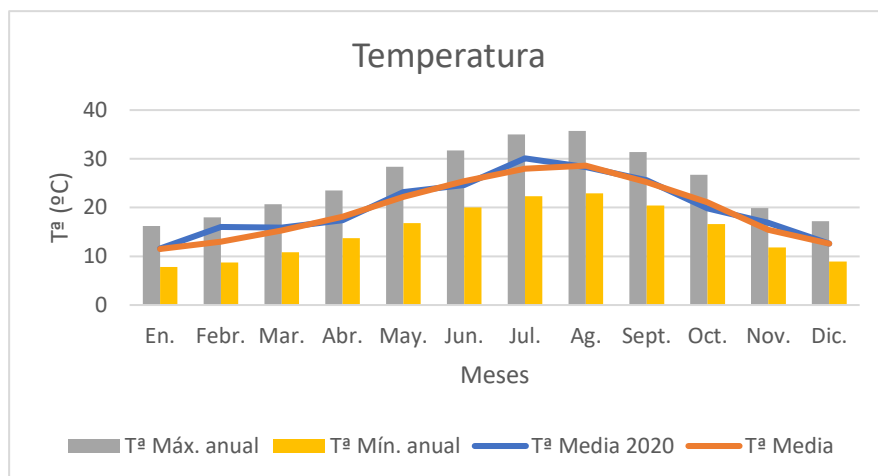


Figura 2.4 Gráfico de temperaturas (Elaboración propia, con datos de Aemet)

2.1.2. Orografía y geología

En la zona, se puede observar una clara división entre zonas de campiña, con mayor potencial productivo y las zonas de sierra, con menor potencial, debido a que presentan un terreno muy accidentado y con una gran erosión, provocada por el tipo de vegetación natural, predominio del olivar y los escasos pastos de montaña (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2014).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se sitúa en la Cordillera Bética, en la zona de transición entre el domino Subbético y la depresión neógena del Guadalquivir (García-Rosell, 1973; Pérez Valera et al., 2017), donde aparecen las

denominadas Unidades del Guadalquivir, un conjunto de materiales de naturaleza discutida y una mayor deformación que los materiales autóctonos del norte de la depresión. (Figura 2.5).

Las unidades Subbéticas, concretamente del Subbético Medio, que aparecen al sur de la zona, corresponden a materiales sedimentarios depositados en umbrales o altos pelágicos alejados de la costa, con muy poca subsidencia, dentro de la plataforma carbonata que existía en el Mesozoico en el borde del Macizo Ibérico o Varisco (Figura 2.5). Las rocas predominantes durante el Jurásico son las dolomías, brechas dolomíticas, calizas y calizas nodulosas (Cruz-San Julián y Divar, 1981). Estas rocas son de gran importancia debido a su permeabilidad secundaria que hace que constituyan acuíferos de tipo carbonatado. A partir del Cretácico Inferior, la morfología de la cuenca y el tipo de sedimentación se vuelven más uniformes, siendo frecuentes las margas y calizas margosas.

Se constituyen mantos cabalgantes, superpuestos entre sí y cabalgando sobre los dominios Prebético o incluso sobre los propios materiales neógenos de la antefosa del Guadalquivir, concretamente sobre los materiales más deformados, comentados anteriormente y que se describen a continuación.



Figura 2.5. Síntesis geológica de la provincia de Sevilla (tomada de Romero et al., 2012).

Los materiales de la depresión están constituidos por conglomerados, arcillas, margas y areniscas de edad Mioceno, que incorporan en su seno a cuerpos (olistolitos, de distinta edad y litología, de la tradicionalmente denominada Unidad Olistostrómica) de edad triásica o cretácica (Cruz-San Julián y Divar, 1981). Presentan una deformación

mucho mayor que los materiales miocenos del norte de la depresión, lo que se ha interpretado de distintas maneras hasta la fecha.

La morfología es muy variable, presenta desde lomas en los materiales más blandos hasta pequeñas sierras en los macizos carbonatados que a veces dan lugar a relieves más acusados y pasando por llanuras aluviales en el entorno de los cauces de los ríos y arroyos (Durán Valsero, et al., 2003).

La zona de estudio presenta grandes variaciones en el relieve, existiendo zonas con altitud de algo menos de 200 metros hasta otras que se elevan por encima de los 800 metros sobre el nivel del mar.

2.1.3. Hidrografía e hidrogeología

Los acuíferos de la Sierra y Mioceno de Estepa están caracterizados por una morfología abrupta, que se levanta sobre las suaves zonas aledañas, que llegan hasta el río Genil (IGME, 2004) (Figura 2.6).

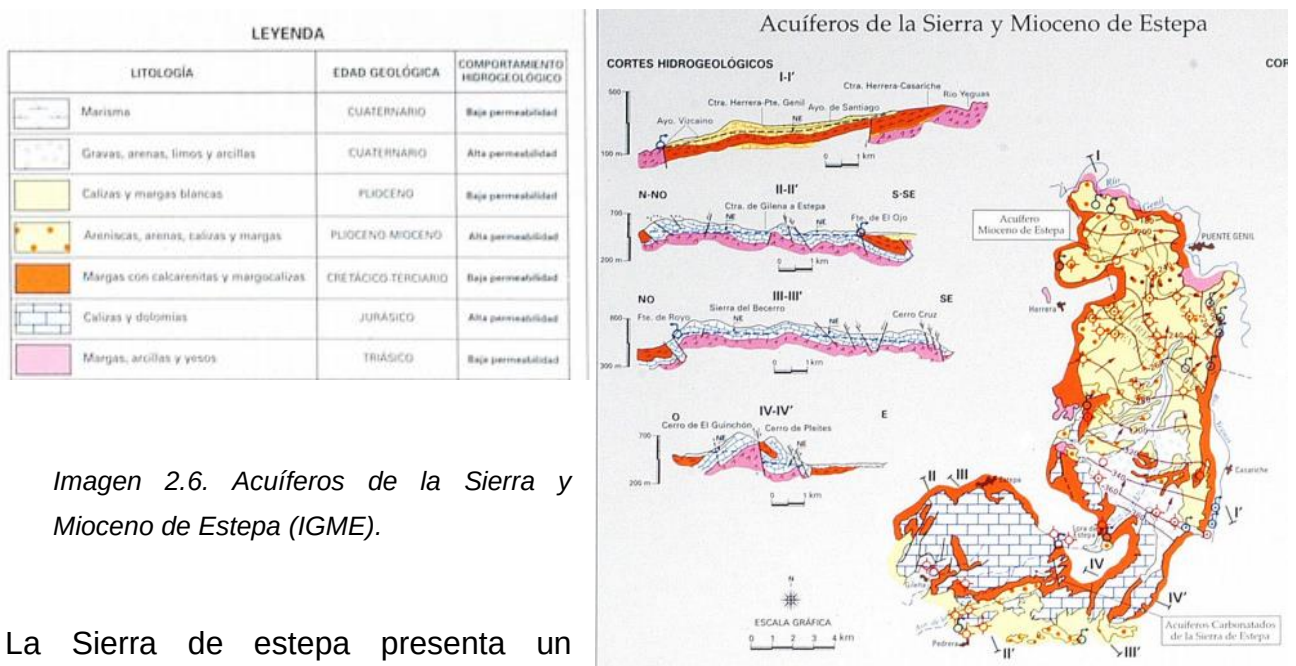


Imagen 2.6. Acuíferos de la Sierra y Mioceno de Estepa (IGME).

La Sierra de estepa presenta un acuífero de calizas y dolomías jurásicas. Es un acuífero de elevada permeabilidad debido a la fracturación y karstificación. Debido a esta alta permeabilidad la recarga del acuífero se realiza por infiltración a través del agua de lluvia, llegando a superar el 50% de la precipitación en años húmedos.

Los niveles piezométricos son enormemente sensibles a la pluviometría, llegando a sufrir variaciones de 3 a 4 metros en cortos períodos de tiempo.

El Mioceno de Estepa engloba dos acuíferos superpuestos que están constituidos por areniscas, arenas, calizas y margas y separados entre sí por margas azules.

La recarga de estos dos acuíferos se realiza a través de la infiltración del agua de lluvia y también por retorno del agua de riego (Durán Valsero, et al., 2003).

La zona de estudio se encuentra atravesada de sur a norte por el Río Blanco (Figura 2.7), un afluente del Genil, que discurre cerca del municipio de Aguadulce y entre EL Rubio y Marinaleda (Figura 2.8).

Este río cuenta con una longitud de 62 km y una cuenca hidrográfica de 572.8 km² (Del Moral Ituarte, 1991).



Imagen 2.7.



Imagen 2.8 (Tomada del IGN)

2.1.4. Usos del suelo y cultivos

La vegetación original de la zona era de encinares con zarzaparrilla o de encinares béticos con peonías, dependiendo del piso bioclimático, pero el territorio ocupado por estas especies ha ido disminuyendo y dejando su sitio a cultivos agrícolas.

Por otro lado, se desarrollaban acebuchales sobre suelos vérticos. Actualmente, esos suelos son usados para el cultivo del cereal

A pesar de que la vegetación natural de la provincia de Sevilla en general ha sufrido una drástica disminución aún quedan algunos vestigios de ella en la Sierra Norte y, en menor medida, en la Sierra Sur. Centrándonos en la última, las zonas no deforestadas se componen de formaciones boscosas de quercíneas y matorral mediterráneo (Ortega, Molero y García, 1987).

En la imagen 2.9 se muestran los usos del suelo de la provincia de Sevilla y, a la derecha, están reflejados los usos de la zona de estudio.

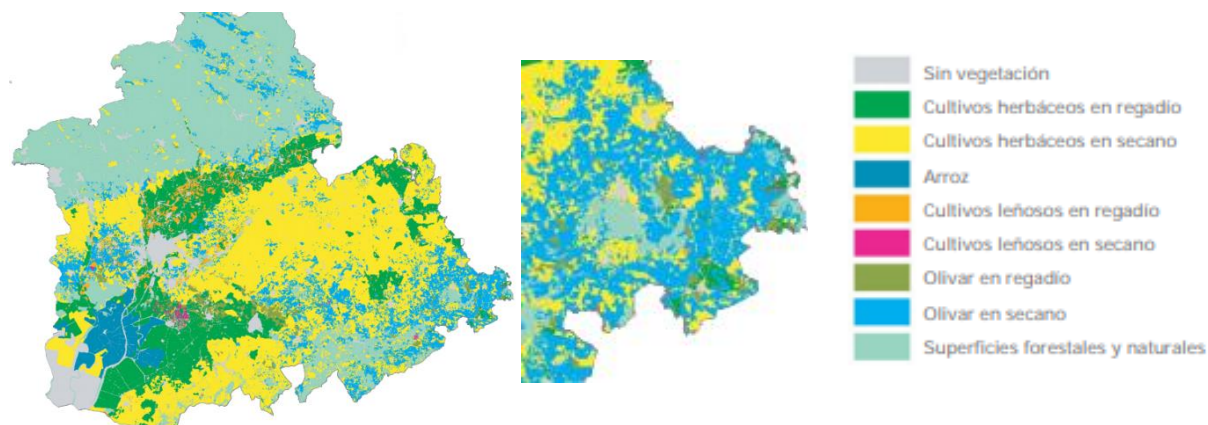


Imagen 2.9. Usos del suelo de la provincia de Sevilla

2.2. MATERIALES

2.2.1. Imágenes

Para la obtención de datos el primer paso es la descarga de las imágenes de la zona de interés. Estas descargas han sido realizadas desde la página web de Copernicus (COPERNICUS, 2021 c).

Se ha procedido a descargar una imagen por mes, obteniendo así 12 imágenes en total, del año 2020 y prestando especial interés a que las imágenes a descargar tengan un bajo porcentaje de nubosidad para evitar los problemas de reflexión (ocultación) y sombreado (Tabla 2.3)

Tabla 2.3. Nombre y fecha de las imágenes de Sentinel

Nombre	Fecha
S2B_MSIL2A_20200109T110329_N0213_R094_T30SUG_20200109T121919	09/01/2020
S2A_MSIL2A_20200203T110241_N0213_R094_T30SUG_20200203T122146	03/02/2020
S2B_MSIL2A_20200312T110739_N0214_R137_T30SUG_20200312T140649	12/03/2020
S2A_MSIL2A_20200403T105621_N0214_R094_T30SUG_20200403T135503	03/04/2020
S2B_MSIL2A_20200508T105619_N0214_R094_T30SUG_20200508T134947	08/05/2020
S2B_MSIL2A_20200617T105619_N0214_R094_T30SUG_20200617T145147	17/06/2020
S2B_MSIL2A_20200707T105619_N0214_R094_T30SUG_20200707T135135	07/07/2020
S2A_MSIL2A_20200831T105621_N0214_R094_T30SUG_20200831T135455	31/08/2020
S2A_MSIL2A_20200910T105631_N0214_R094_T30SUG_20200910T135152	10/09/2020
S2A_MSIL2A_20201030T110211_N0214_R094_T30SUG_20201030T135011	30/10/2020
S2A_MSIL2A_20201119T110341_N0214_R094_T30SUG_20201119T135023	19/11/2020
S2B_MSIL2A_20201227T111359_N0214_R137_T30SUG_20201227T131730	27/12/2020

2.2.2. Localización de las parcelas

Las parcelas a estudiar son proporcionadas por el tutor del TFG en formato vectorial (shapefile). Corresponder al objeto de estudio del proyecto SUSTAINOLIVE (proyecto PRIMA de la Unión Europea). En la figura 2.10 se muestra la localización de dichas parcelas. En el anexo se indican algunas características de las mismas.

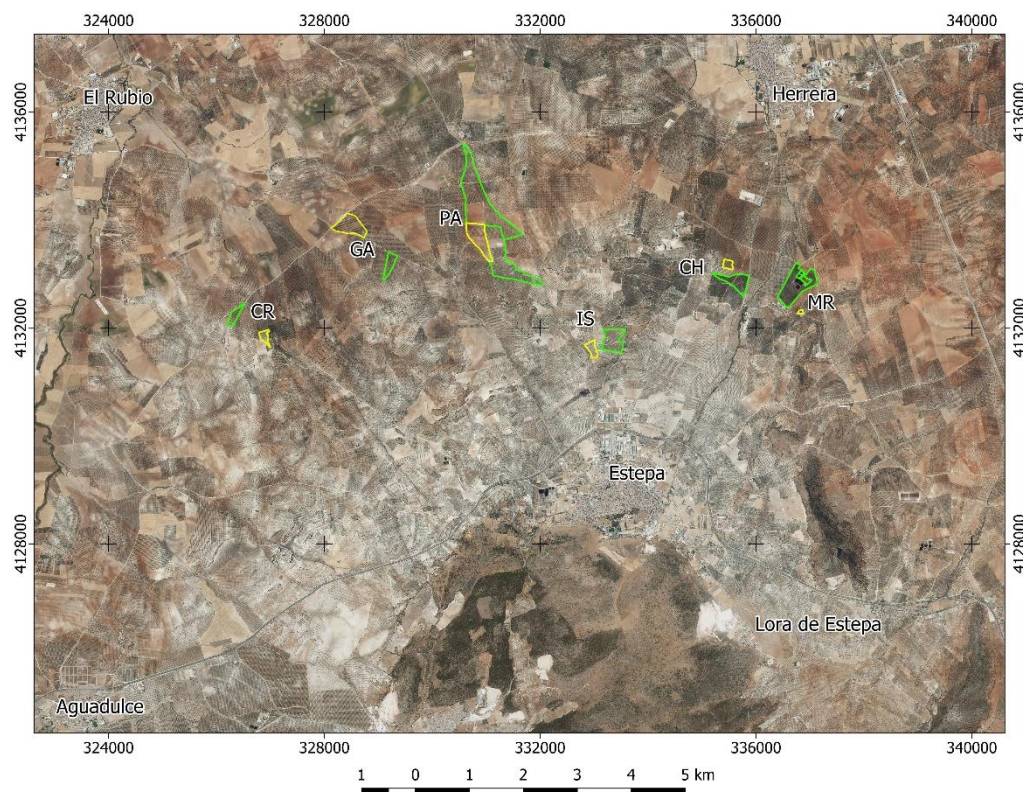


Figura 2.10. Localización de las parcelas. CH: Chaparral; CR: Camino Real; GA: Gallo, IS: La Isabelita; MR: Mata Reguera; PA: Palma

En la tabla 2.4 se muestran los nombres de las parcelas de estudio, así como su uso.

Tabla 2.4 Nombre y tipo de parcelas

Nombre	Tipo de olivar
Chaparral (CH)	Convencional
	Ecológico
Camino Real (CR)	Convencional
	Ecológico
Gallo (GA)	Convencional
	Ecológico
La Isabelita (IS)	Convencional
	Ecológico
Mata Reguera (MR)	Convencional
	Ecológico
Palma (PA)	Convencional
	Ecológico
	Ecológico

2.2.3. Software

- SNAP (Copernicus 2021d): Software libre, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) para el tratamiento de imágenes de los satélites Sentinel (aunque no exclusivamente).
- QGIS (2021): Sistema de información geográfica de software libre, liberado bajo la licencia GPL, que destaca por ser uno de los primeros proyectos de la fundación OSGeo (*Open source Geospatial Foundation*).
- Ofimática (hojas de cálculo y procesador de texto): la hoja de cálculo utilizada ha sido Excel, que es un programa informático desarrollado por Microsoft. Es un software que permite realizar tareas de cálculo y manejo de datos a través de gráficas, tablas calculares y un lenguaje de programación (Visual Basic). Por otra parte, el procesador de texto utilizado ha sido Microsoft Word, que es un software que permite al usuario la creación y edición de documentos de texto en un ordenador.

2.3. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez descargadas, las imágenes, éstas son recortadas para trabajar con mayor comodidad y rapidez. Este procedimiento se lleva a cabo a través de la opción “Subset” e introduciendo las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de la zona de estudio (latitud: 37.25° N y 37.37° N; longitud: 5.00° W y 4.80° W). El área de la zona estudiada son 234 km² (23400 ha).

A continuación, las imágenes recortadas se remuestran tomando como referencia la banda 2 (10 m) por tener una mejor resolución. Con este remuestreo se pretende evitar problemas futuros por trabajar con bandas de diferentes resoluciones.

Dentro del área de estudio se han analizado 13 parcelas, diferenciadas en cultivos convencionales y ecológicos. Estas parcelas son vectores proporcionados por el tutor del TFG y cargadas en nuestro programa en forma de shapefile.

Las imágenes, en primer lugar, se han visualizado en composiciones RGB (rojo, verde, azul) en color real (bandas 4, 3, 2 en ese orden RGB), así como en falso color infrarrojo (bandas 8,4,3). A continuación, para la imagen de cada mes, y para sus correspondientes vectores cargados, se ha procedido a calcular los índices NDVI, SAVI, NDI 45, NDI 46, NDI 47 y MNDWI y posteriormente a analizar las imágenes obtenidas para obtener sus estadísticos. Los estadísticos se han obtenido para toda la imagen y para las parcelas estudiadas, considerando en cada caso una máscara con la propia parcela analizada.

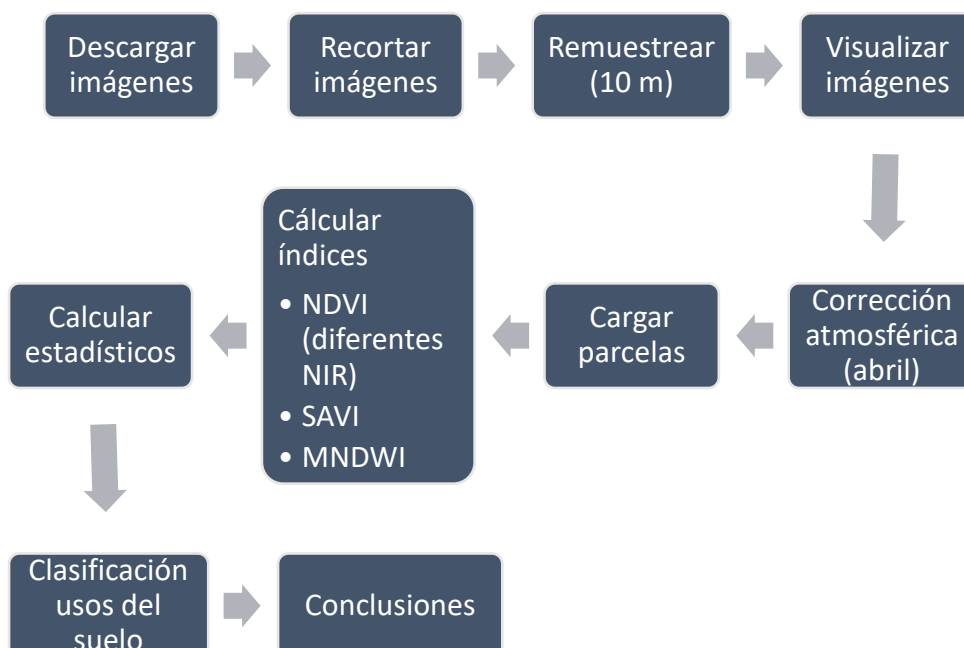
A la imagen satelital del mes de abril ha sido necesario aplicarle un tratamiento especial debido a que presentaba algo de nubosidad que podría distorsionar los resultados. Por ello ha sido necesario aplicar una máscara de nubes. Para este caso se ha utilizado la máscara “scl_cloud_high_proba”.

Es necesario crear una expresión que acabará generando una banda donde el valor 1 representará ausencia de nubes y el valor 0 presencia de las mismas. Este proceso hay que hacerlo para todos los índices calculados en el mes de abril. Una vez realizada la operación anterior activamos sobre el índice la máscara creada. A partir de este momento el análisis de los índices se hará eliminando los píxeles de nubes. Por último, se ha realizado una clasificación de las coberturas o usos del suelo para las imágenes de dos meses diferentes (febrero y agosto). Esta clasificación ha supuesto la generación de un mapa con ocho categorías diferentes de coberturas del suelo de la zona de estudio.

Para la clasificación ha sido necesario distinguir patrones a través de imágenes tanto en color real como falso color y crear algunos polígonos en torno a ellos para asociar los grupos de píxeles con los determinados usos del suelo.

Una vez establecidos los polígonos de las diferentes clases, los valores de reflectancia de cada banda se han multiplicado por 1000, con el fin de que la clasificación funcione más correctamente al evitar los números decimales.

Finalmente, con la herramienta “Supervised classification” se generará el mapa de usos del suelo. Se ha empleado el algoritmo Random Forest o “bosques aleatorios” (Breiman, 2001), basado a su vez en los árboles de decisión para clasificación.



3. RESULTADOS

Los resultados de este trabajo son tanto las imágenes obtenidas (composiciones en color, índices y clasificaciones), como los estadísticos correspondientes que se recogen en tablas y gráficos.

3.1. IMÁGENES

3.1.1. Zona general

En la secuencia seleccionada de imágenes en color real del área de estudio (Figura 3.1) se observan un predominio de las tonalidades ocre y/o blanquecinas correspondientes a los suelos y olivar (estas diferencias de color expresan diferencias litológicas y/o edafológicas), junto a tonos más verdosos que generalmente se asocian a sectores con mayor cubierta vegetal (olivar ecológico, monte bajo y monte alto, esta última cubierta en tonos más oscuros). También se aprecian las zonas urbanas, generalmente en colores blancos más brillantes y pequeñas superficies de agua entre azul y negro. Hay ciertas diferencias entre las imágenes, de tal forma que los tonos verdosos son más evidentes en la primera (febrero) y última imagen (noviembre).

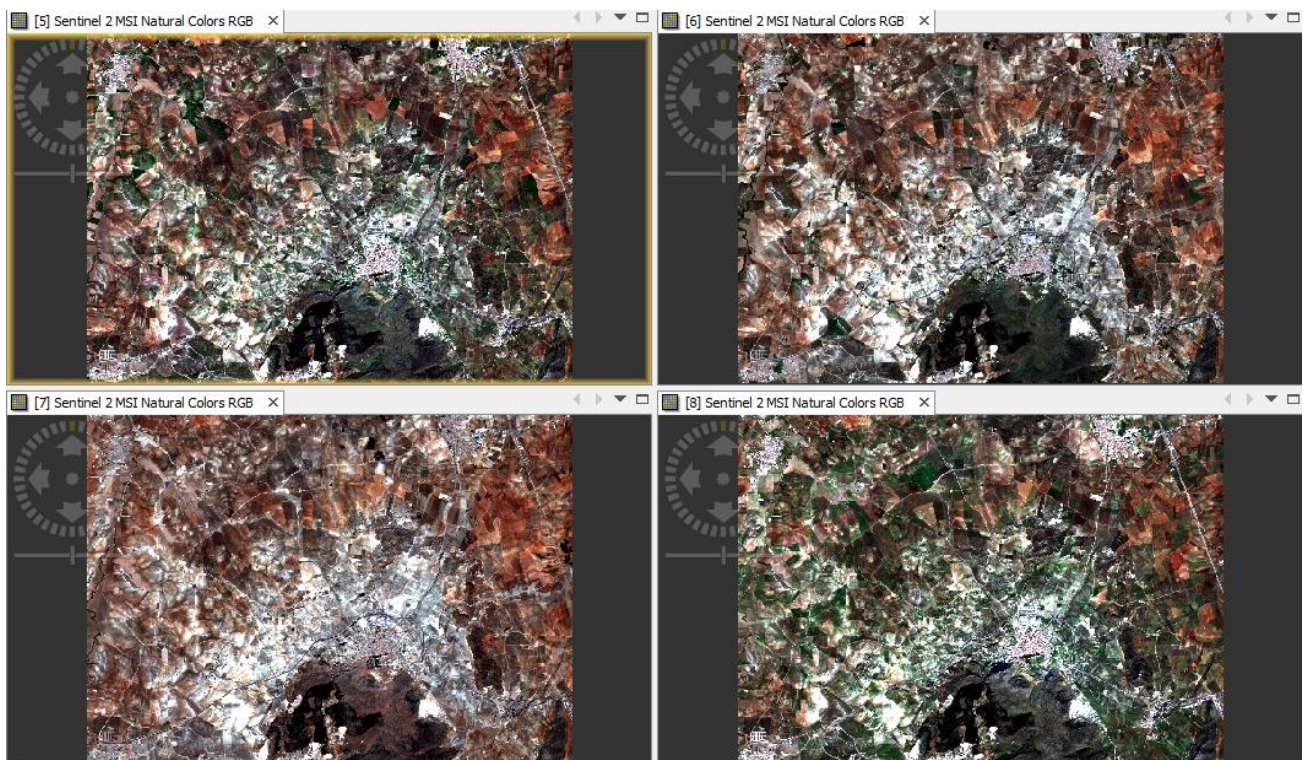


Figura 3.1 De izquierda a derecha y arriba abajo: 3 de febrero; 8 de mayo; 31 de agosto; y 27 de diciembre

Por su parte, en la imagen en falso color infrarrojo, el olivar y suelos aparece en tonos más verdosos y blanquecinos, mientras que las zonas con una mayor cubierta vegetal adquieren tonos rojizos, tanto más cuanto más tupida y vigorosa sean esta vegetación.

En cuanto a las zonas urbanas, aparecen en tonos azulados y las pequeñas superficies de agua en negro. En este caso, las imágenes de febrero y noviembre presentan tonos más rojizos.

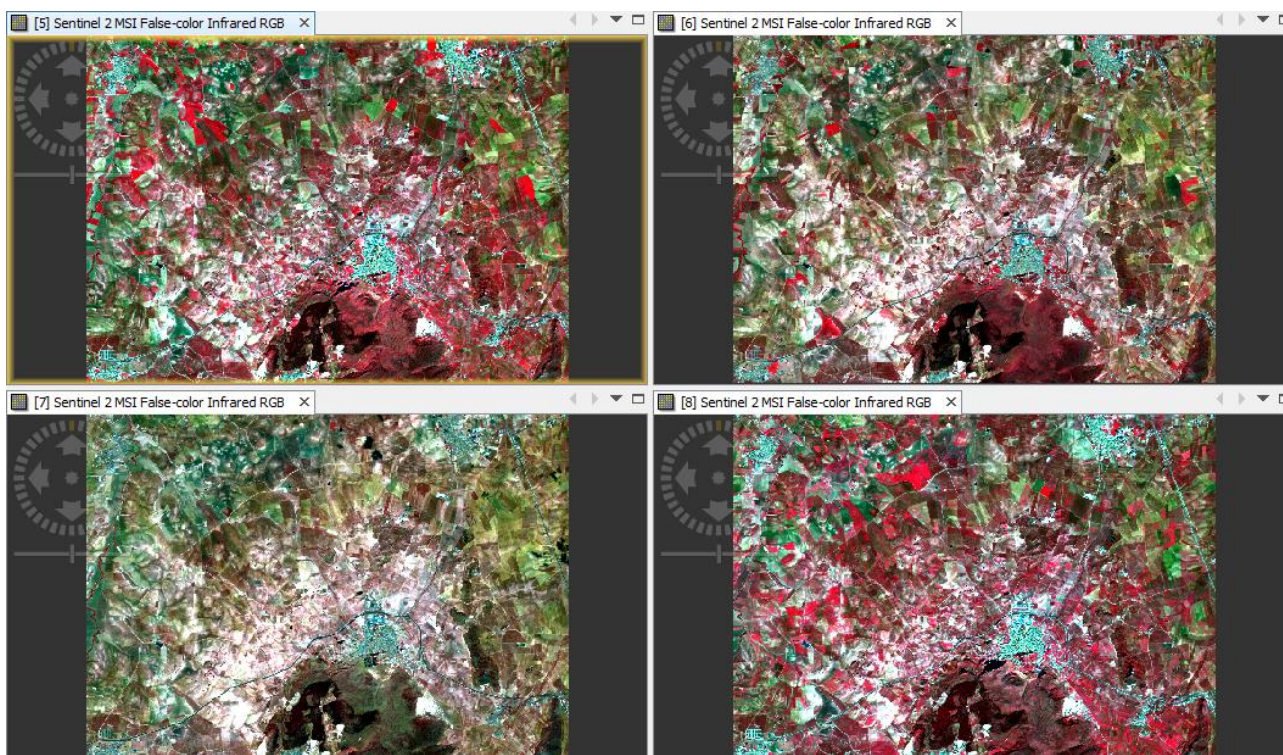


Figura 3.2. Misma secuencia que anterior, pero en falso color

3.1.2. Parcelas

En la siguiente imagen aparecen representadas las fincas Chaparral (polígonos de la parte derecha de las Figuras 3.3. y 3.4) y La Isabelita (polígonos de la parte izquierda de la imagen 3.3 y 3.4).

Los polígonos amarillos se corresponden con el olivar convencional, mientras que los verdes representan el ecológico.

En la imagen en falso color infrarrojo, las parcelas de olivar ecológico presentan tonos más rojizos, mientras que las de olivar convencional son de tonos más ocres o grises. En las imágenes de mayo y agosto, el olivar ecológico pierde algo estos tonos, para el olivar convencional lo hace aún más.

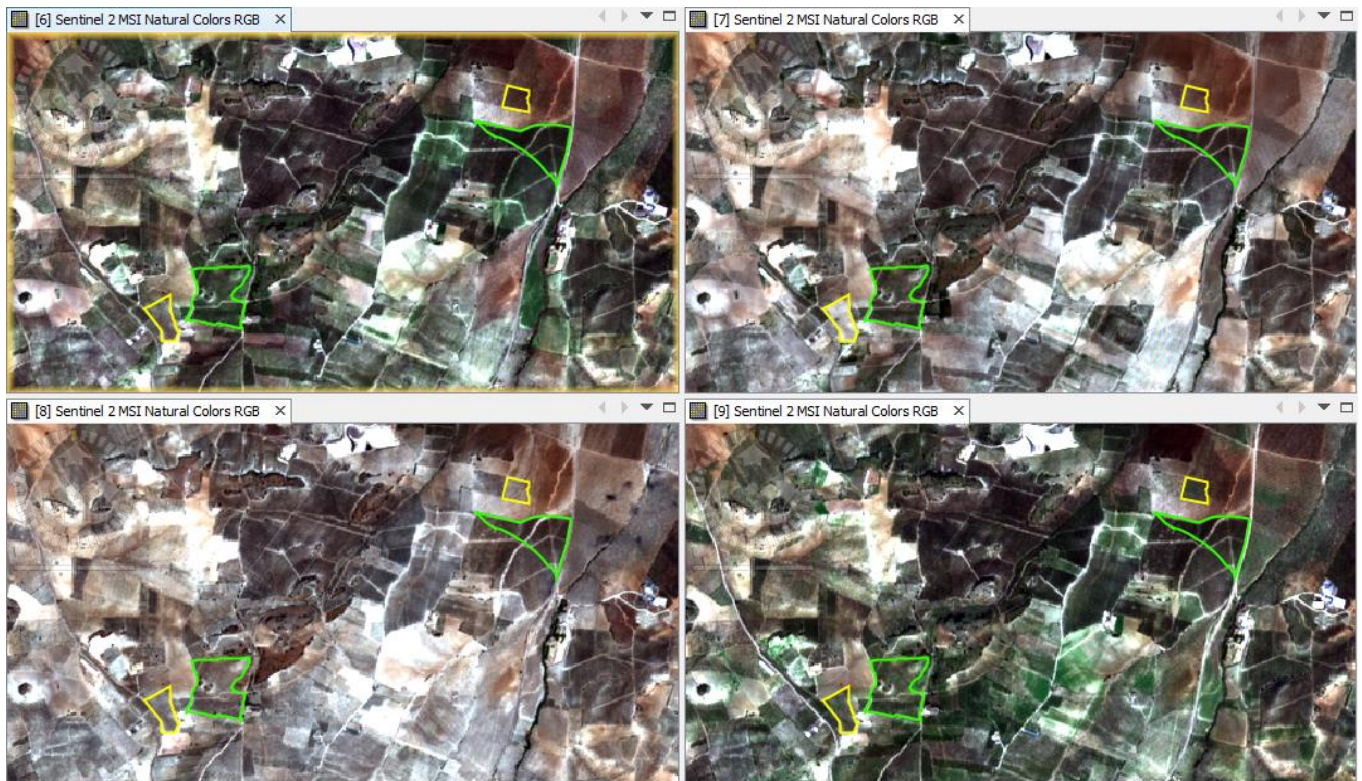


Figura 3.3. Imágenes de parcelas en color real. Izquierda: La Isabelita. Derecha: Chaparral

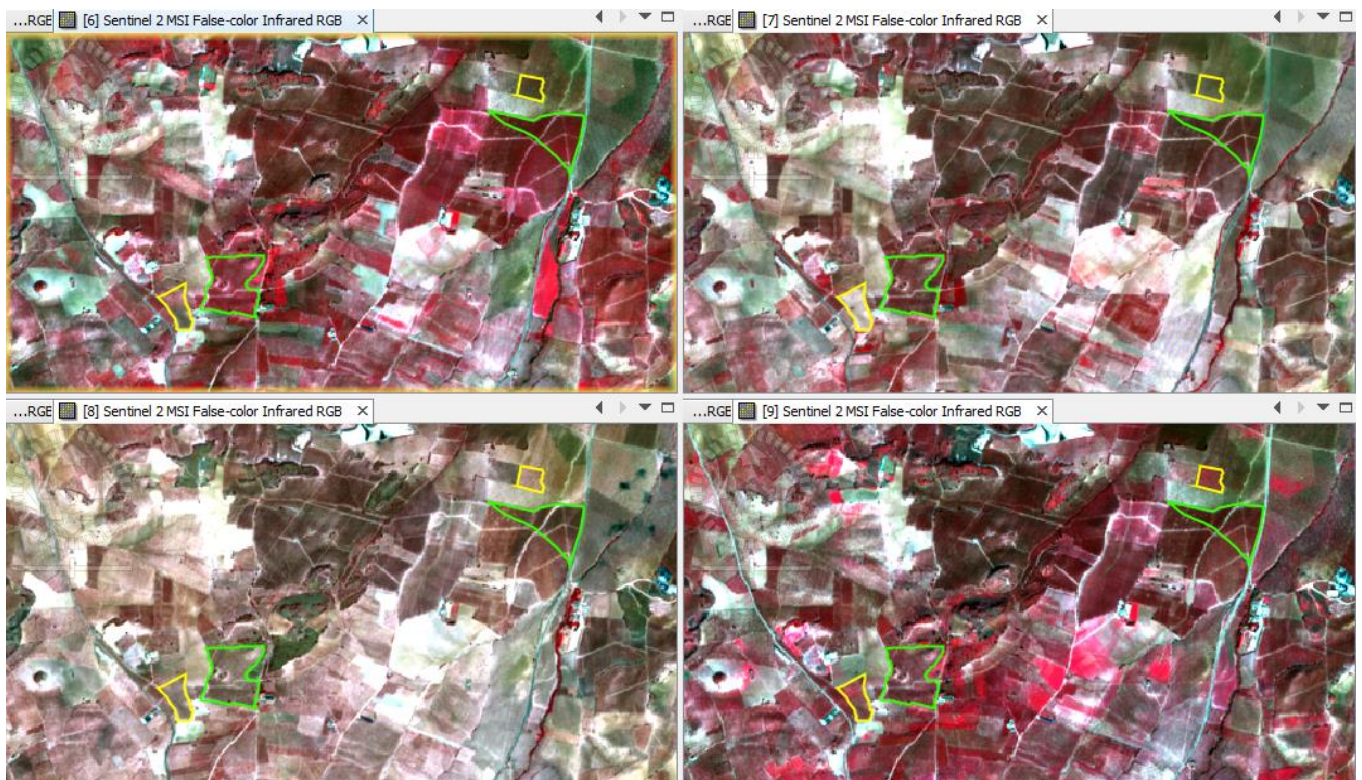


Figura 3.4. Imágenes de parcelas en falso color. Izquierda: La Isabelita. Derecha: Chaparral

3.2. EVOLUCIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN

3.2.1. Evolución general

En el gráfico de la Figura 3.5 se muestra la evolución de los valores medios de los distintos índices calculados a partir de las imágenes de la zona completa en los distintos meses. Los estadísticos completos se ofrecen en las tablas del Anexo. En primer lugar, se aprecia como los valores más elevados se alcanzan en el índice NDVI clásico (valor medio de 0.336) y los menores en el NDI45 (0.135), presentando el SAVI (0.234) y el resto de índices valores intermedios. Temporalmente, todos ellos presentan una evolución similar, comenzando en valores elevados (por encima de 0.40 en el NDVI de enero) que van descendiendo progresivamente hasta llegar a valores mínimos en el verano (cerca de 0.20 en el NDVI de julio y agosto) y una recuperación en el otoño, donde se alcanzan los valores más elevados (por encima de 0.50 para el NDVI en diciembre). Dentro de esta evolución se produce un mínimo relativo en el mes de marzo. La variabilidad media a lo largo del año es moderada (la desviación típica de los valores medios mensuales en el NDVI es de 0.093, mientras que en el SAVI y NDI45 es de 0.045).

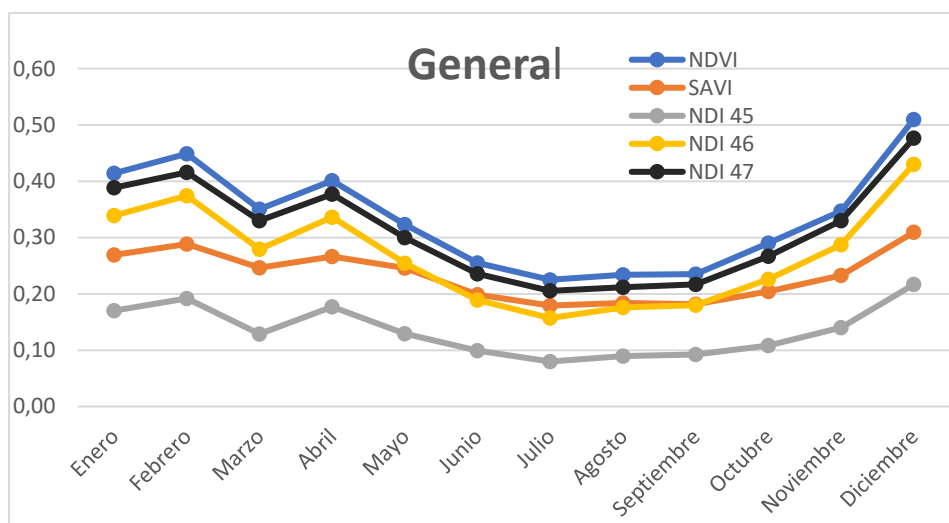


Figura 3.5. Evolución general de la zona

3.2.2. Parcelas

En las figuras siguientes (3.6 a 3.11) se muestra la evolución de los valores medios de los índices en las distintas parcelas de estudio, que resumen los estadísticos completos del Anexo. En los gráficos se observa en líneas generales el mismo comportamiento que en la zona completa. Así, los valores más elevados corresponden al índice NDVI (valor medio de 0.398 en el total de las parcelas) y los más bajos a

los índices SAVI (0.268) y NDI45 (0.152). Por su parte, la evolución de todos ellos comienza con valores más elevados en los primeros meses invernales (NDVI de enero entre 0.40 y 0.60), descienden en el período estival (NDVI de agosto entre 0.20 y 0.35) y finalmente se incrementan a final del otoño (NDVI de diciembre entre 0.50 y 0.70). El pico relativo del mes de marzo también se observa prácticamente en todos los casos. La desviación típica de los valores medios mensuales en el NDVI es de 0.108, mientras en el SAVI y NDI45 está en torno a 0.050.

Además, se observan diferencias entre las distintas parcelas, sobre todo entre las parcelas de olivar convencional y las de olivar ecológico. Así, los valores medios de las parcelas convencionales son inferiores (NDVI medio anual de 0.367, variando desde 0.265 en agosto a 0.563 en diciembre, con desviación típica de 0.097) que los de las parcelas ecológicas (NDVI medio anual de 0.424 entre 0.299 en agosto y 0.627 en diciembre, con desviación típica de 0.116). Los otros índices presentan índices medios más bajos en ambos casos (SAVI medio de 0.253 para convencionales y 0.280 en ecológicos; y NDI45 medio de 0.134 y 0.280 respectivamente). La evolución es similar a la habitual siendo la variabilidad menos que en el NDVI (desviación típica de 0.45-0.65 en el SAVI y NDI45).

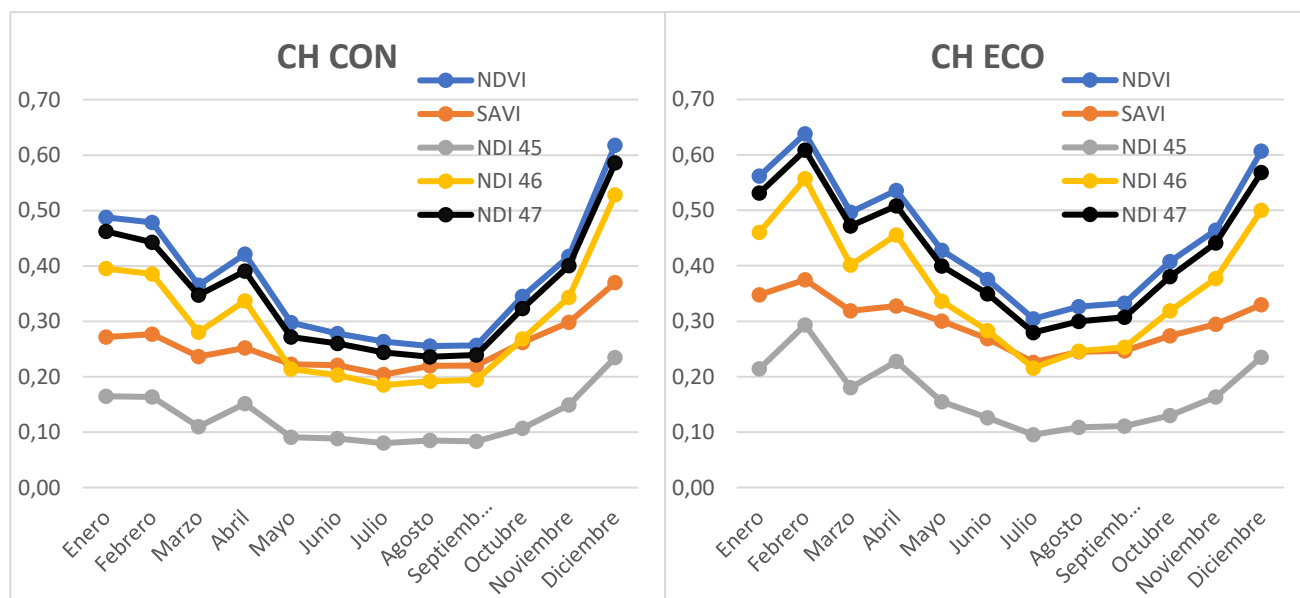


Figura 3.6. Evolución de las parcelas del Chaparral

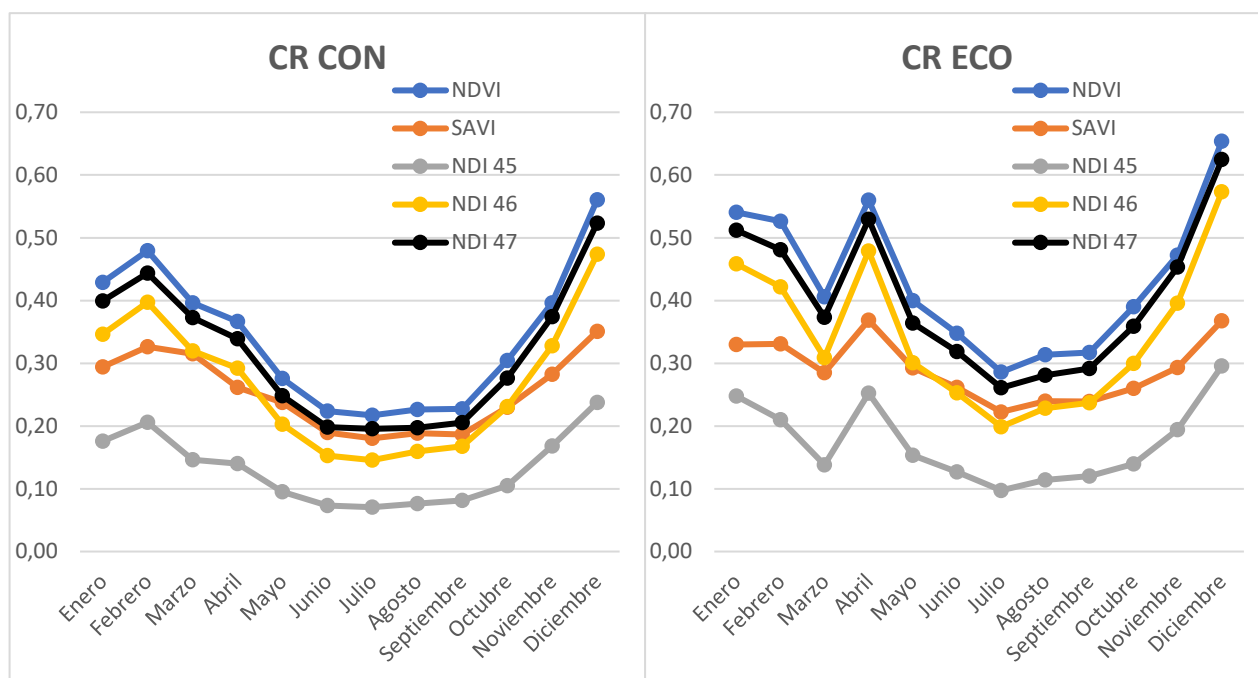


Figura 3.7. Evolución de las parcelas de Camino Real

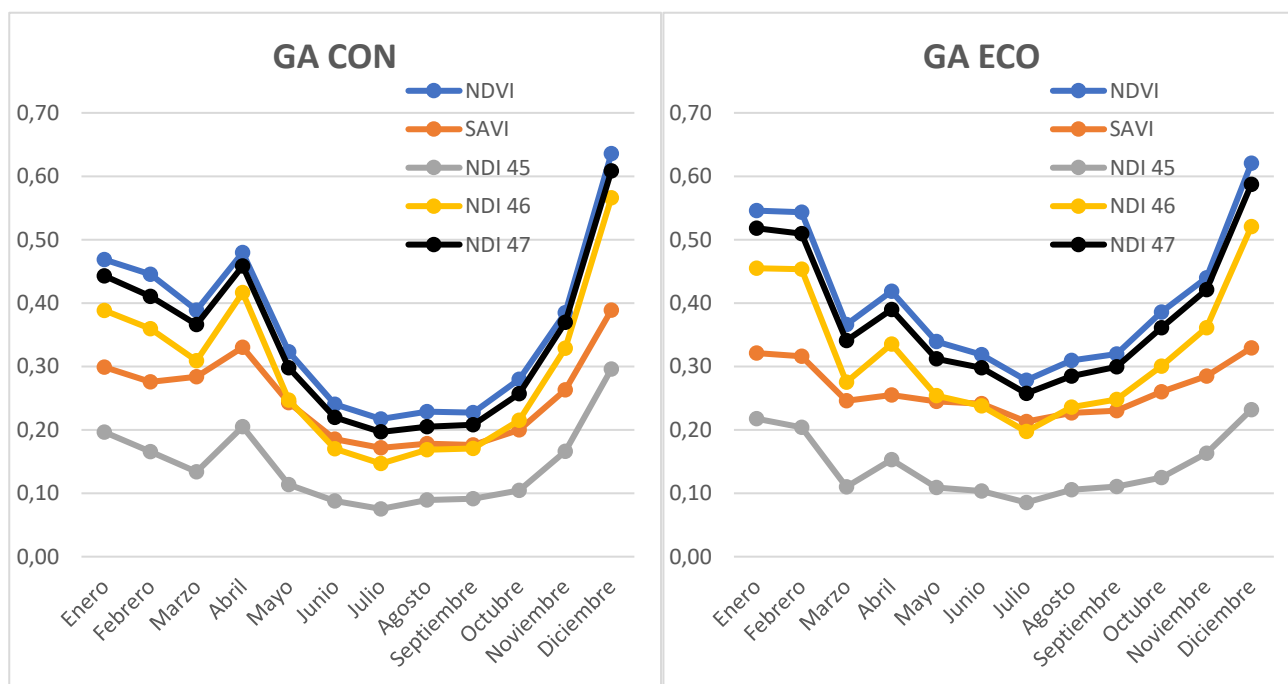


Figura 3.8. Evolución de las parcelas de Gallo

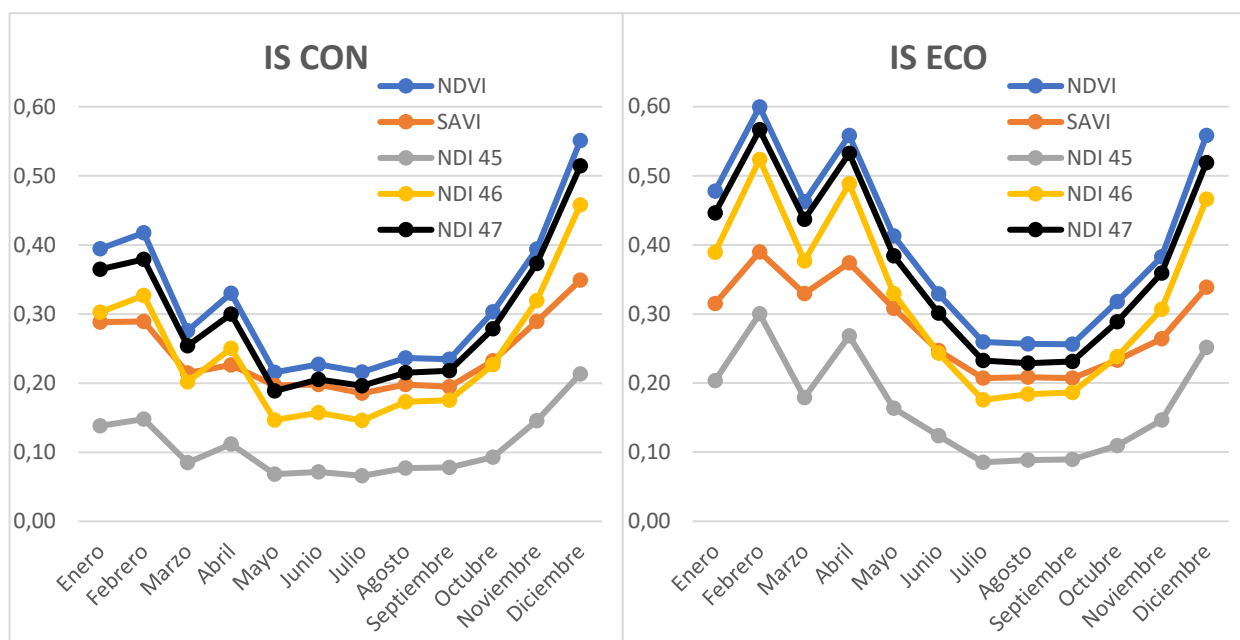


Figura 3.9. Evolución de las parcelas de La Isabelita

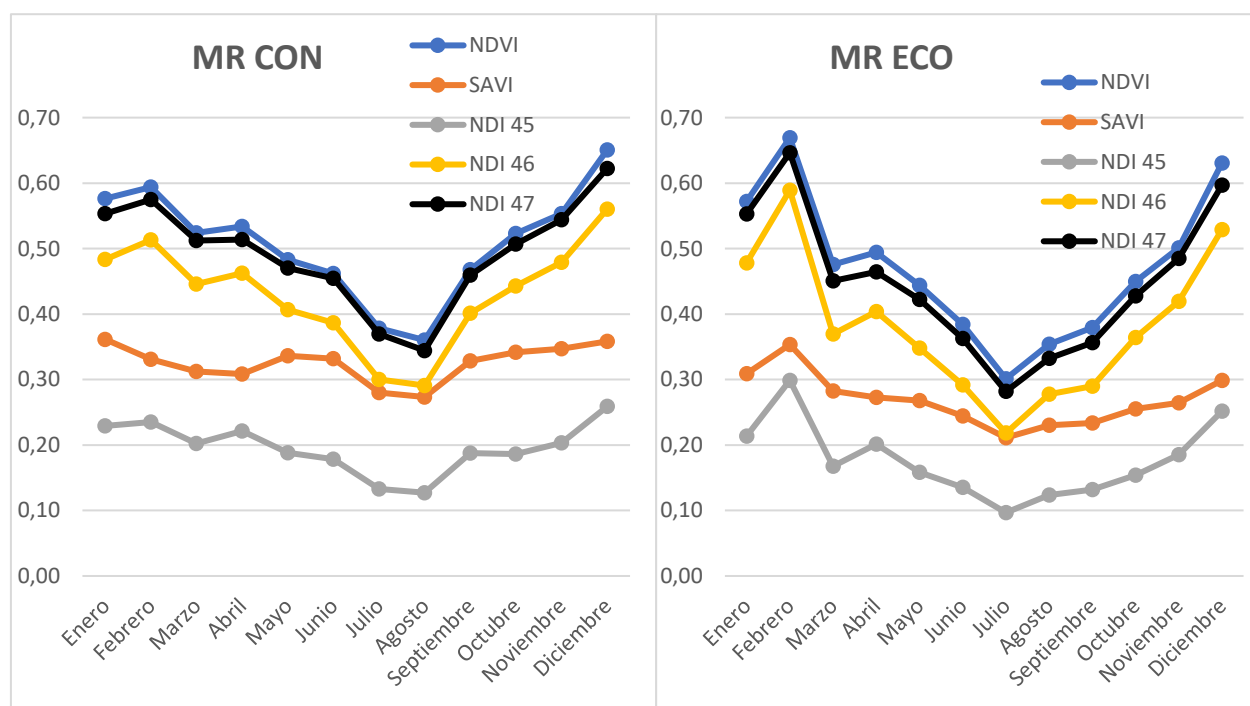


Figura 3.10. Evolución de las parcelas de Mata Reguera

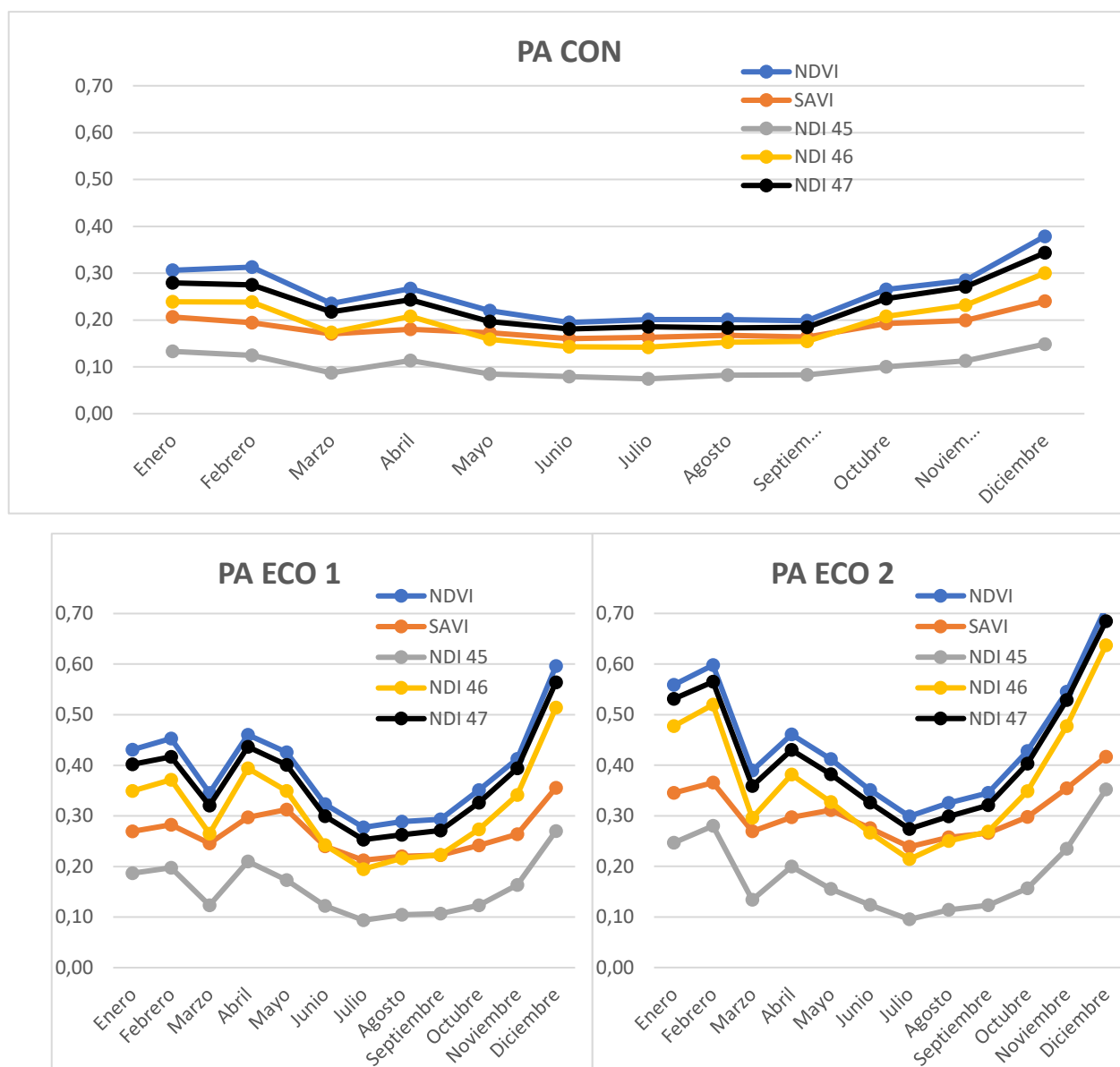


Figura 3.11. Evolución de las parcelas de La Palma

3.2.3. Otros usos del suelo

Se ha procedido a analizar los índices NDVI, SAVI y NDI 45 para parcelas de distintos usos del suelo al del olivar como son cultivos, monte alto y monte bajo.

En primer lugar, se han seleccionado tres parcelas distintas de cultivos, identificados por presentar valores máximos y mínimos de los índices en distintas épocas del año, corroborados posteriormente con la ortofotografía. La primera de ellas (Figura 3.12) presenta un NDVI medio de 0.382 y una elevada desviación típica (0.306), alcanzando un valor máximo de 0.870 en abril y un mínimo de 0.087 en septiembre. El SAVI presenta un valor medio de 0.242. NDI45 de 0.193.

La segunda parcela de cultivo (Figura 3.13) tiene un NDVI medio menor a la anterior (0.232). Alcanza su máximo NDVI (0.934) en diciembre y su mínimo (0.106) en agosto, siendo su desviación típica de 0.235. El SAVI presenta un valor medio de 0.164 y el NDI 45 de 0.120.

La tercera, y última de las parcelas de cultivo (Figura 3.14), presenta un NDVI medio similar a la primera (0.345), con máximos en agosto y septiembre (0.720) y un mínimo en mayo (0.167). El SAVI medio es de 0.240. NDI 45 de 0.141.

El monte bajo (Figura 3.15) presenta un NDVI medio de 0.333, con máximo en enero (0.543) y mínimo en agosto (0.163), siendo su desviación típica de 0.100. El SAVI medio alcanza un valor de 0.254 y el NDI de 0.143.

El monte alto (Figura 3.16) presenta elevado NDVI medio (0.551). El mínimo está en julio (0.339) y el máximo en diciembre (0.751), siendo la desviación típica de 0.121. El SAVI adquiere un valor medio de 0.284 y el NDI 45 recoge valores de 0.242.

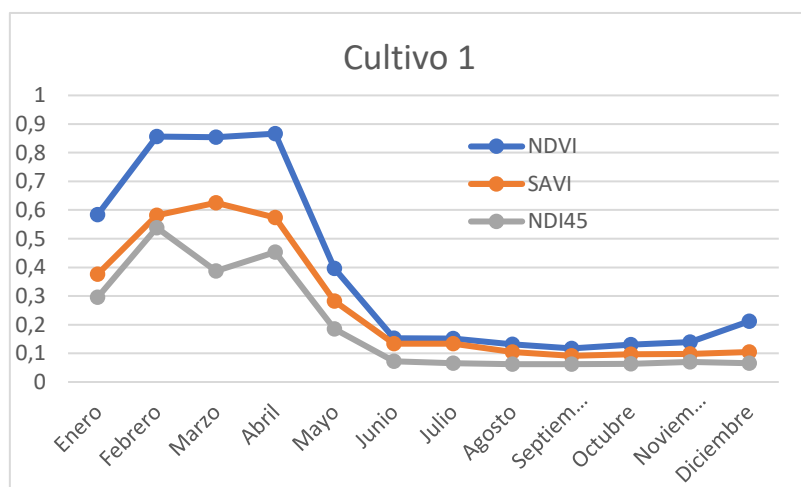


Figura 3.12. Evolución del cultivo 1

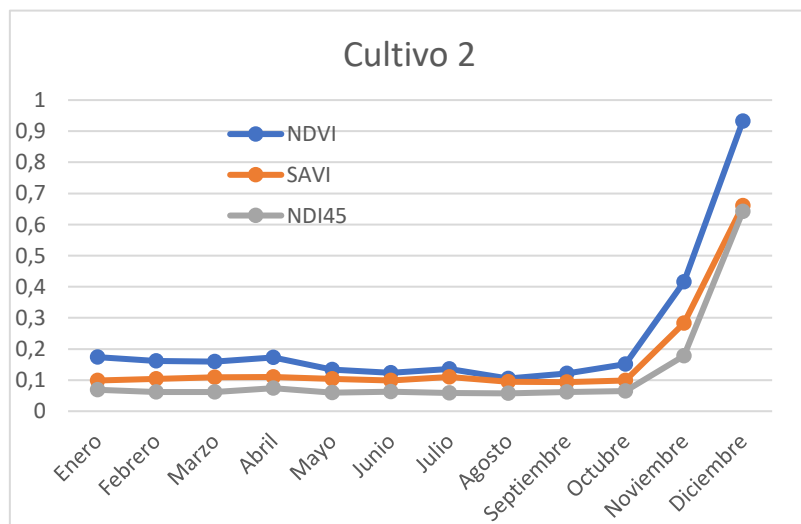


Figura 3.13. Evolución del cultivo 2

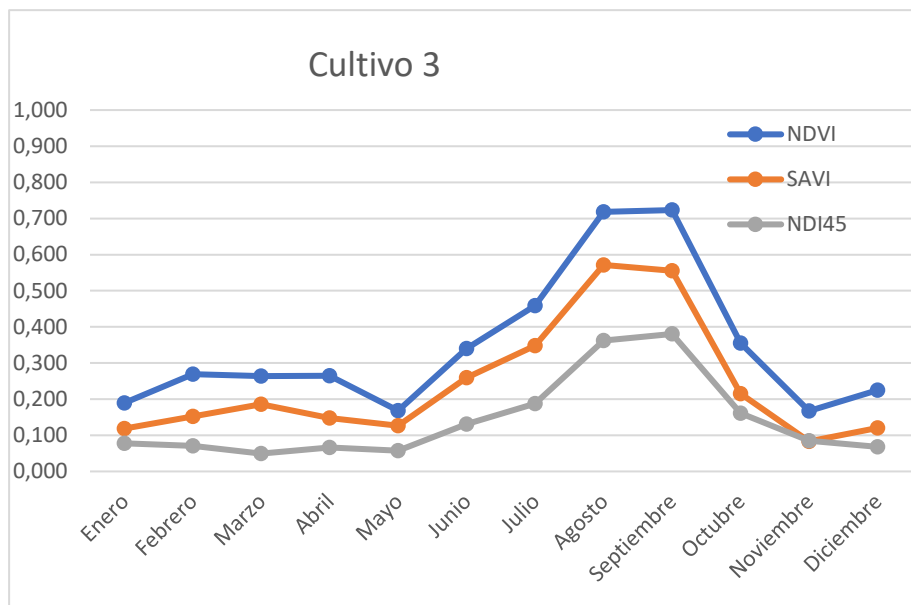


Figura 3.14. Evolución del cultivo 3

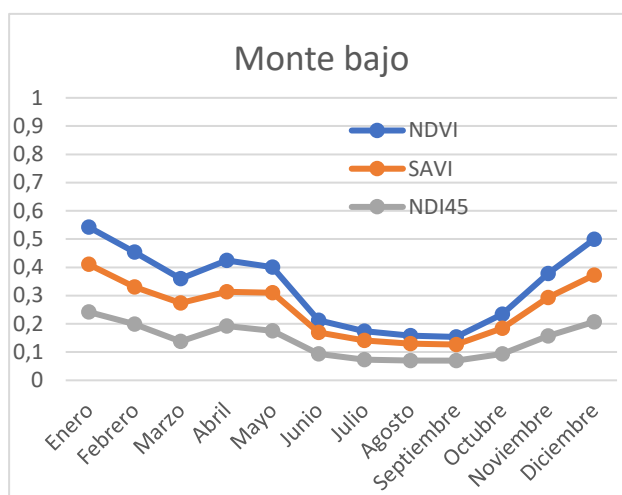


Figura 3.15. Evolución del monte bajo

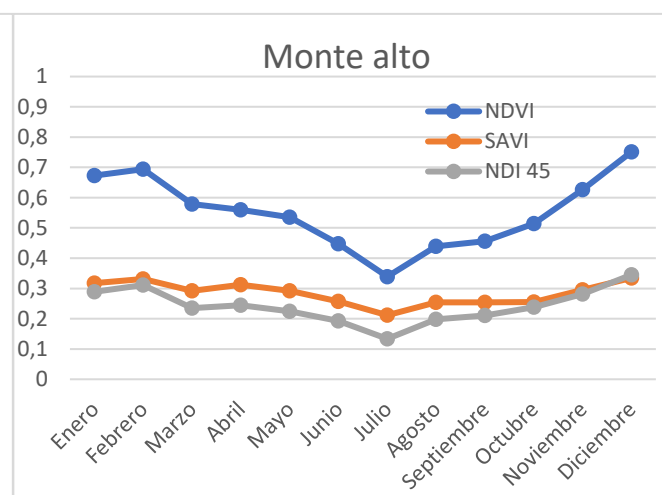


Figura 3.16. Evolución del monte alto

3.3.EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE HUMEDAD: MNDWI

El análisis del índice de humedad MNDWI se muestra en las figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 y las tablas estadísticas en el Anexo A.6.

En la zona general, el índice MNDWI adquiere un valor medio negativo (-0.317) con una escasa variabilidad entre los distintos meses (la desviación típica es de 0.025) presentando un leve máximo en abril.

En las parcelas, el índice presenta incluso un valor medio inferior (-0.357), igualmente con escasa variabilidad a lo largo del año (desviación típica de 0.037), en este caso con un pico en el mes de marzo. Los valores medios son algo superiores en las

parcelas convencionales (-0.340) que en las ecológicas (-0.372), igualmente baste uniformes en los distintos meses.

Por lo que respecta a las otras coberturas, los cultivos presentan valores medios en torno a -0.40, con mínimos inferiores a -0.55 y máximos en torno a -0.25. Tanto los máximos como los mínimos se producen en meses diferentes, aunque todos presentan valores relativamente más elevados en el mes de marzo. Por su parte, el monte alto presenta un valor medio más bajo en el monte alto (-0.235) que el monte bajo (-0.34). Los valores máximos (-0.24 y -0.08) se producen en marzo y abril respectivamente.

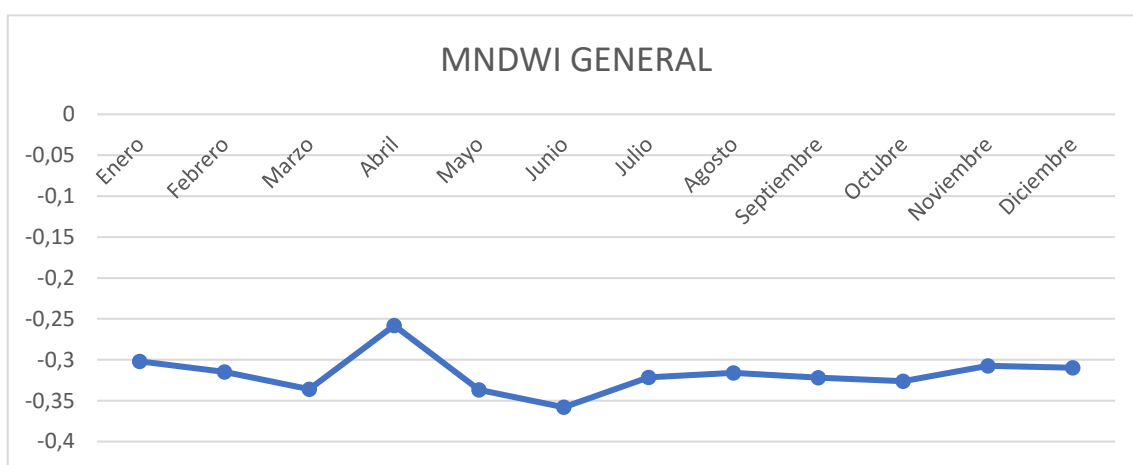


Figura 3.17. Evolución general del índice MNDWI

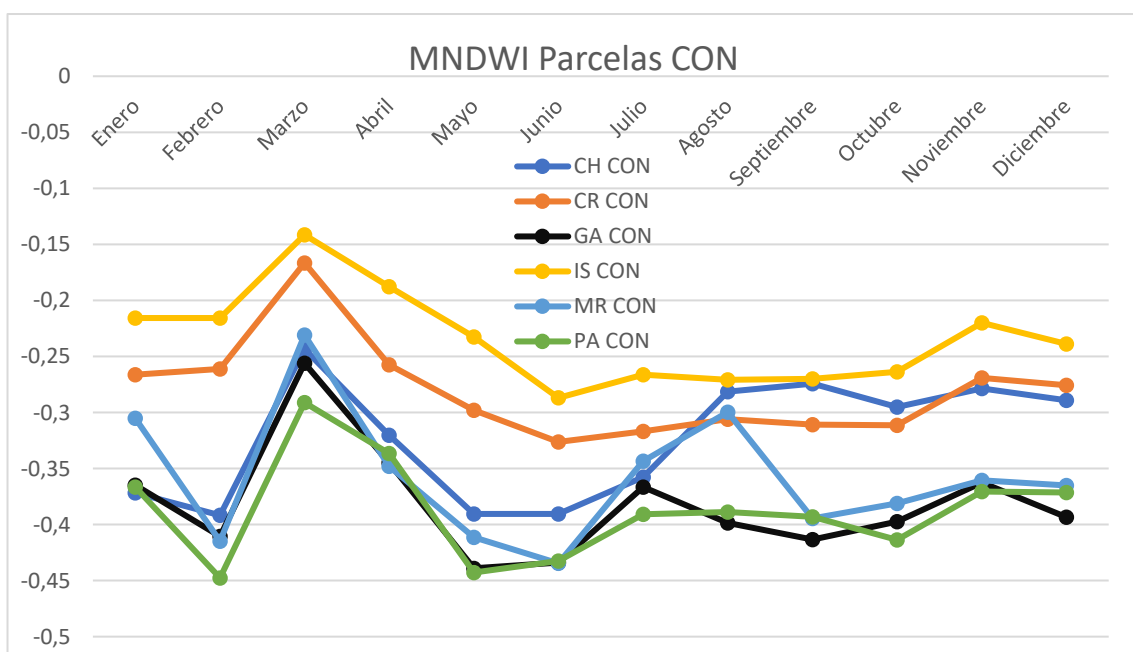


Figura 3.18. Evolución del MNDWI en las parcelas de olivar convencional

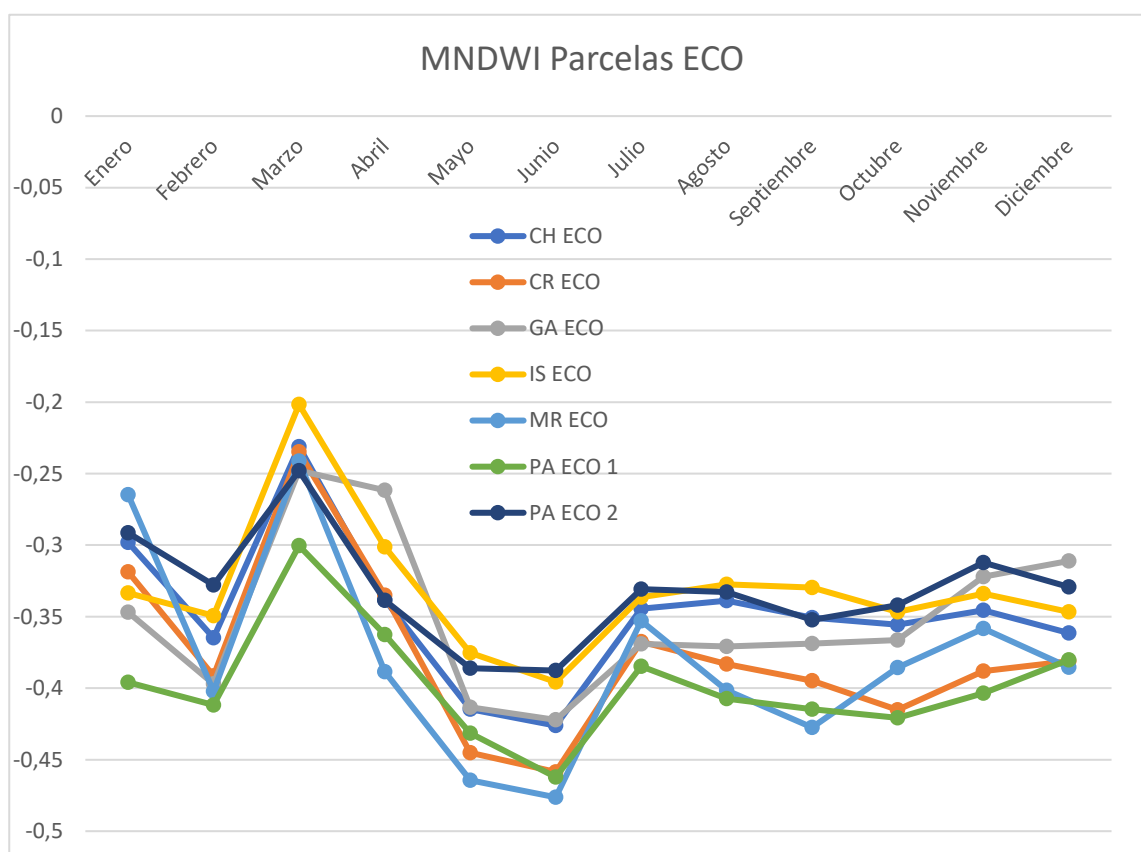


Figura 3.19. Evolución del MNDWI en las parcelas de olivar ecológico

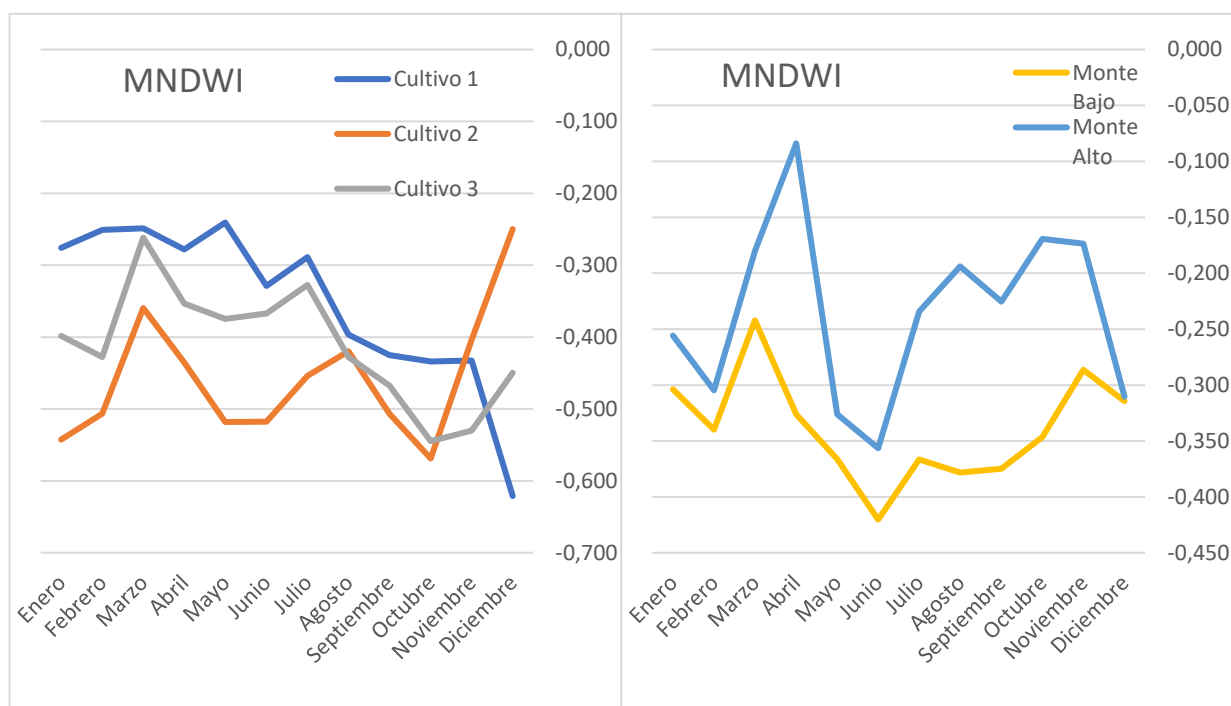


Figura 3.20. Evolución del MNDWI en los otros usos del suelo

3.4. CLASIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS DEL SUELO

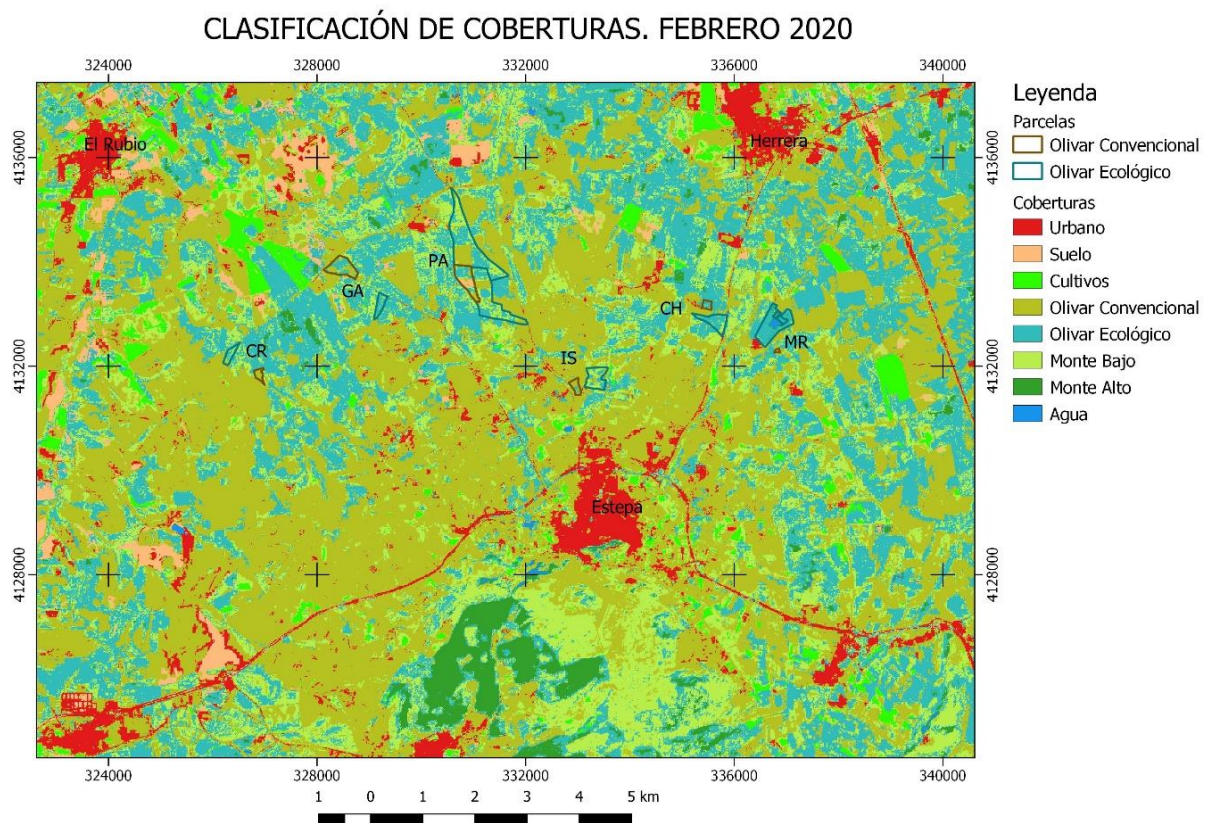


Figura 3.21. Clasificación de los usos del suelo en febrero de 2020

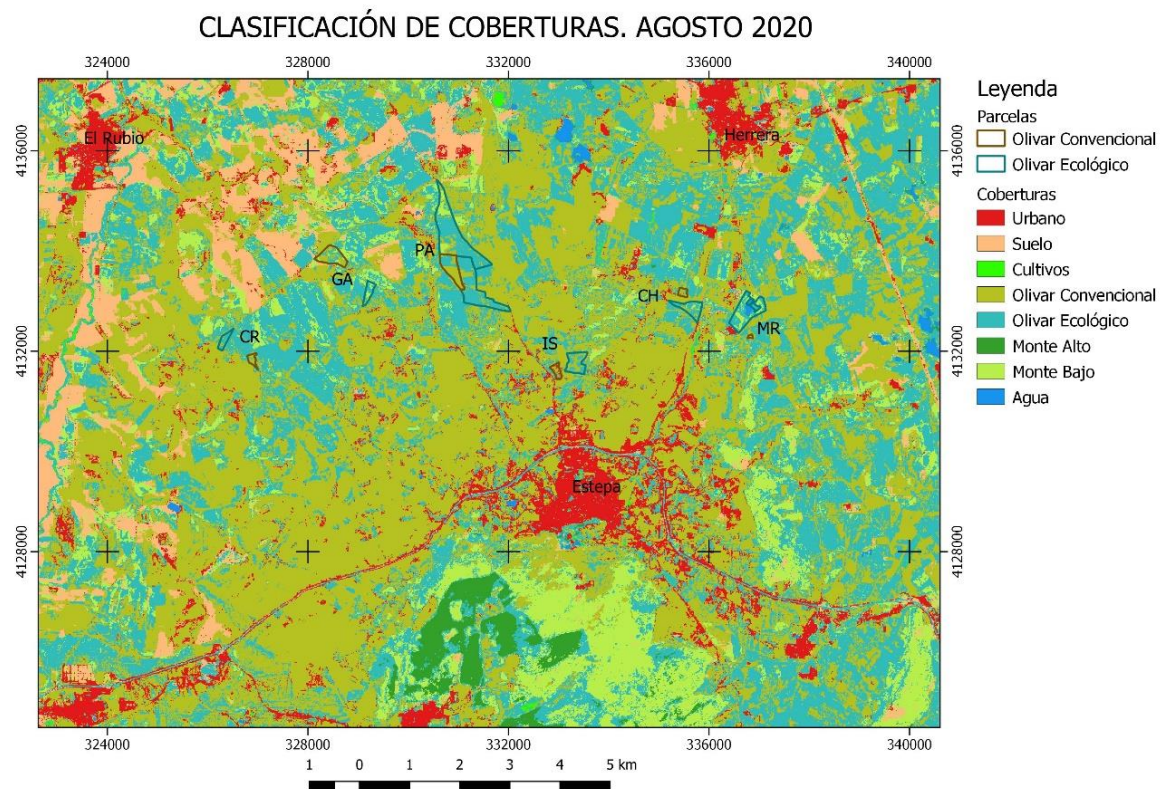


Figura 3.22. Clasificación de los usos del suelo en agosto de 2020

Las imágenes 3.21 y 3.22 muestra la clasificación de los usos del suelo en los meses de febrero y agosto, respectivamente. El análisis areal de ambas clasificaciones se muestra en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Áreas y porcentaje de los tipos de usos del suelo en la zona de estudio.

Cobertura del suelo	Febrero (%)		Agosto (%)		Diferencia	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Urbano	1257	5.40	1649	7.08	-392	1.68
Suelo (desnudo)	506	2.17	1654	7.10	-1149	4.93
Cultivo (en crecimiento)	680	2.92	44	0.19	635	-2.73
Olivar convencional	10025	43.03	10637	45.66	-612	2.43
Olivar ecológico	5952	25.55	6711	28.80	-759	3.25
Monte alto	549	2.35	339	1.46	209	-0.89
Monte bajo	4306	18.48	2199	9.44	2107	-9.04
Agua	23	0.10	63	0.27	-40	0.17

4. DISCUSIÓN

4.1. EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO E ÍNDICES A LO LARGO DEL AÑO

La secuencia de imágenes en color real, y sobre todo las de falso color, muestran una evolución de las coberturas a lo largo del año. Así, en la imagen en falso color del infrarrojo (3.2) los tonos rojo-magenta indicativos de mayor cobertura y vigor vegetal tienen una mayor presencia en las imágenes de febrero y noviembre, frente a la dominancia de los grises y ocre en las imágenes de mayo y sobre todo agosto. Los valores de los distintos índices muestran variaciones significativas entre ellos, alcanzándose los mayores valores medios en el NDVI y los menores en el NDI45, presentando los índices NDI46 y NDI47 valores intermedios (aunque el último muy próximo al NDVI convencional). Esto resulta lógico ya que en el NDVI se opera con bandas espectralmente más separadas, siendo la banda 8 (infrarrojo cercano) donde se alcanza la máxima reflectancia en las zonas con vegetación (Pinilla, 1995; Chuvieco, 2001). Las bandas del “red edge”, es decir, la 7, 6 y especialmente la 5 están mucho más cercanas a la banda 4 (rojo), en el inicio de la rampa de aumento de la reflectancia. En cuanto al SAVI, la propia expresión empleada para calcularlo (Huete, 1988), que refleja la influencia del suelo, hace que su valor sea inferior al NDVI en todos los casos. El índice MNDWI, que se emplea preferentemente para identificar

masas de agua libre (Xu, 2006), presenta valores negativos en ausencia de éstas, aunque es sensible a las variaciones de humedad del suelo y la vegetación.

En cuanto a la evolución de los índices a lo largo del año, se observa que alcanzan sus picos en los períodos más lluviosos desde el otoño al inicio de la primavera, mientras que en los meses estivales los valores se reducen a mínimos por haber una menor presencia de vegetación y una menor humedad. Esta influencia se puede observar incluso en el mínimo relativo que se observa en los índices en el mes de marzo, como consecuencia de la ausencia de precipitaciones en febrero. Sin embargo, hay ciertas diferencias entre el comportamiento del índice MNDWI y el resto (índices de vegetación) que presentan una evolución muy similar. En general, este índice es más sensible a la evolución de las precipitaciones, llegando a alcanzar su máximo en abril y noviembre en ambos casos coincidiendo con el pico de precipitación, que se traduce en un aumento en la saturación del suelo y la humedad de la vegetación. Los índices de vegetación tienen unas tendencias más estables e incluso un cierto retardo en la respuesta a las precipitaciones, como sucede en diciembre cuando una disminución de éstas no rompe la tendencia al alza de los índices.

4.2. EVOLUCIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN A LO LARGO DEL AÑO EN LAS PARCELAS

En la secuencia de imágenes de infrarrojo cercano, centrada en dos parcelas (Chaparral y La Isabelita, Figura 3.4) con sus variantes de olivar convencional como ecológico, se puede observar que mientras las parcelas de olivar ecológico mantienen un tono rojo-magenta más acusado en las distintas estaciones del año (excepto en la imagen de agosto), las de olivar convencional presentan unos tonos más grises y ocres, con la excepción de la imagen de noviembre, que ya presenta tono rojizo.

En cuanto a los valores medios de los índices, en líneas generales, el comportamiento de los índices estadísticos calculados para las parcelas es muy similar a los calculados para la zona en general (*Tablas A.1, A.2, A.3, A.4, A.5 y A.6 y Figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11*). El índice con mayores valores medios en todas las parcelas es el NDVI y los que presentan menores valores son el SAVI y especialmente el NDI45, por las mismas razones expuestas antes.

No obstante, se aprecian ciertas diferencias entre los dos tipos de olivar, y mientras las parcelas de cultivo convencional presentan unos valores en los índices muy parecidos a los globales de la zona, el cultivo ecológico presenta unos valores por encima de los valores medios generales. A pesar de ello, hay mucha dispersión entre los valores medios de los índices en las parcelas de uno y otro tipo de olivar, lo que hace que a pesar de la diferencia de los valores medios entre ambos tipos (0.37 y 0.42, respectivamente), la distinción entre ambos no pueda establecerse de forma significativa. De hecho, en algunas parcelas como Gallo o Mata Reguera, los valores medios son similares en ambos tipos, lo que indica que al menos desde el punto de vista espectral ambos tipos de olivar no se diferencien bien, lo que se aprecia incluso en imágenes de alta resolución (ortofotografías o Google Earth). Una adecuada utilización de los índices, con el SAVI para parcelas convencionales, como se recomienda (Huete, 1988), manteniendo el NDVI para las ecológicas, permitiría un mejor análisis de ambas.

Por lo que respecta a la evolución de los índices, en general la pauta es similar a la descrita en el caso general, es decir, valores más elevados de todos los índices en el período de invierno-inicio de primavera y luego en otoño, y valores más bajos en el verano. No se aprecia diferencias entre los índices, ni entre la evolución de las parcelas de olivar convencional y ecológico, salvo que los valores son más altos en el segundo caso, como ya se ha indicado. Los valores más elevados siguen la evolución de las precipitaciones, incluyendo el mínimo del mes de marzo, tras la ausencia de lluvias en febrero, aunque éste suele ser más acusado en las parcelas convencionales que en las ecológicas. Los valores más elevados probablemente estén más relacionados en el olivar ecológico con un mayor vigor de la cubierta vegetal y los propios olivos en los meses más lluviosos, mientras que en olivar convencional está más relacionado con la aparición de cubierta en estos meses. Por su parte, el índice de humedad MNDWI presenta una evolución similar en la mayor parte de las parcelas, sin diferencias relevantes entre ambos tipos de olivar, pero con picos en marzo y otoño, como respuesta directa a las precipitaciones.

4.3. EVOLUCIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN A LO LARGO DEL AÑO EN OTROS USOS

Las tres parcelas de cultivo se han seleccionado de forma expresa a partir de las composiciones en color, buscando zonas cuya cobertura vegetal cambie a lo largo del año y alcance máximos (representados en tonos rojo-magenta) en distintos meses, siendo posteriormente corroboradas en una ortoimagen de alta resolución. Así, la primera parcela presenta valores máximos de todos los índices (vegetación y humedad) entre febrero y abril, reduciéndose en los siguientes meses hasta estabilizarse en valores bajos y repuntando hacia el final. Tras la consulta al sistema de información de ocupación del suelo en España (SIOSE) disponible on-line (IGN, 2021b) y descargable (IGN, 2021c) y a la propia ortofotografía, la parcela puede corresponder a la ocupación de “tierras de labor en secano”, probablemente a cereal, compatible con dicha evolución. Más concretamente podría tratarse de trigo o triticale, principal cultivo de secano en el municipio de Estepa (IECA, 2021).

La segunda parcela, presenta valores de los índices bajos todo el año hasta los últimos meses (noviembre y especialmente diciembre), donde adquiere valores de NDVI muy elevados (cerca de 0.9). Basándose en el SIOSE y la ortofotografía, se comprueba que se trata de una parcela de “terrenos regados permanentemente”, es decir, a un regadío, en este caso de invierno, sin poder concretar de qué cultivo se trata. La tercera parcela muestra una evolución diferente a las otras dos con un valor máximo de los índices de vegetación y humedad entre julio y septiembre. En este caso debe corresponder a un regadío de verano, bien de huerta o incluso de algodón que es el principal cultivo herbáceo de regadío en el municipio (IECA, 2021).

Una cuestión de interés que ha sido considerada en la posible diferencia de comportamiento del índice NDVI, respecto a sus derivados (en este caso el NDI45). Las bandas conocidas como del “Red Edge” han sido incluidas en el sensor a bordo del satélite Sentinel-2 para analizar la fenología de los cultivos (Delegido et al., 2011; Clevers and Gitelson, 2012; Sun et al., 2020). Sin embargo, en nuestro caso no se observan diferencias en el comportamiento de los distintos índices más allá de sus valores medios (mayores en NDVI que en NDI45), siendo la evolución de ambos índices paralela en el tiempo. Probablemente sean necesarios estudios de mayor

resolución temporal y apoyada en más datos, para observar estas diferencias de comportamiento de los índices.

En cuanto a las zonas de vegetación natural, el monte bajo presenta valores medio-altos de los índices de vegetación, con una disminución de la vegetación durante los meses estivales, es decir, una evolución similar a la general de la zona y de otras coberturas. Por su parte, el monte alto arroja valores elevados del índice de vegetación durante gran parte del año, sufriendo un valle pronunciado en el mes de julio y una recuperación desde el final del verano hasta el otoño debido al descenso de las temperaturas y al aumento de las precipitaciones. Los índices de humedad presentan una evolución compatible con todo ello.

4.4. CLASIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS DEL SUELO

Se han realizado dos clasificaciones de coberturas, más que de usos, del suelo en dos meses del año opuestos (febrero y agosto) con el objeto de analizar por un lado la propia ocupación del suelo y por el otro la estabilidad de las distintas coberturas.

En ambas clasificaciones, la cobertura más importante es el olivar que ocupa un 69% y un 74%, respectivamente y que se extiende por la campiña y en menor medida en las estribaciones de las sierras. Teniendo en cuenta que, según los datos del total de municipio de Estepa (IECA, 2021), la ocupación del olivar es del 73.09%, la clasificación del olivar correspondiente a agosto es más ajustada que la de febrero, donde la superficie aparece ligeramente infraestimada. Dentro del olivar, la proporción de olivar ecológico clasificado respecto al total del olivar (37-39%) es muy elevada respecto a la que se encuentra en el total de la provincia de Sevilla (en torno al 9%) y mucho mayor que en otras provincias como la de Jaén (donde apenas alcanza el 1.5%). En principio, se puede decir que la clasificación parece sobreestimar el tipo de olivar ecológico, por lo que sería deseable afinar en este sentido en futuros trabajos, combinando con muestreos más significativos y teniendo en cuenta la confusión entre signatures espectrales de ambos tipos de olivar.

Otros usos importantes son el monte bajo, básicamente matorral que predomina en las sierras al Sur de la zona, aunque también aparece disperso por otros sectores. Presenta una diferencia importante entre ambas imágenes, de hecho, es la superficie que más cambia, probablemente por problemas de confusión con la signature espectral del olivar, especialmente el ecológico, más que por cambios reales en la

superficie que no se suelen producir en tan poco tiempo. Así, la superficie de monte bajo estaría más cerca del 10% de agosto que del 18% de febrero y, de hecho, este decrecimiento se produce a costa del incremento aparente del olivar en agosto, con una superficie más ajustada a la realidad, como se ha apuntado antes. El monte alto, localizado al Sur en los sectores de la sierra, presenta una superficie en torno al 2% y una leve reducción en verano, probablemente por cierta confusión con el comportamiento espectral con el monte bajo u otras coberturas.

Los cultivos presentan en general un porcentaje muy bajo de la ocupación de esta zona de campiña, aunque más al norte, a medida que nos acercamos a las vegas de los ríos su presencia es mucho más notable (IGN, 2021 a y b). Además, sufren una reducción importante desde febrero a agosto, como parece lógico, lo que es compatible tanto en cultivos de secano (preferentemente cereal) como en regadíos, aunque como se vio anteriormente, existen parcelas de regadío de verano en una bajísima proporción. Parte de este decrecimiento de los cultivos se traduce en un incremento significativo del suelo desnudo en la imagen de agosto, correspondiente a cultivos en barbecho.

Finalmente, aparecen zonas urbanas bastante estables en ambas clasificaciones (en torno al 5-7%), correspondientes a los núcleos urbanos y las comunicaciones. Pueden presentar cierta confusión en la signatura espectral con otras coberturas como el suelo desnudo. Por último, el agua aparece en modo testimonial en ambas clasificaciones y corresponde a las balsas de riesgo. Puede presentar una cierta confusión con una cobertera no considerada como las balsas de alpechín.

5. CONCLUSIONES

Se ha estudiado una zona de la provincia de Sevilla, en el municipio de Estepa, de unas 23400 ha. Se ha analizado la evolución de los índices de vegetación y humedad en general y centrados en distintas parcelas de olivar convencional y ecológico, así como en otras coberturas del suelo, a lo largo del año natural 2020. Además, se ha realizado una clasificación de coberturas de suelo en los meses de febrero y agosto.

Los índices de vegetación presentan valores significativamente diferentes, siendo mayores en el NDVI y menores en el SAVI y especialmente en el NDI45, como cabe esperar. Igualmente, la variabilidad del NDVI es mayor, por lo que resulta más efectivo

a la hora de estudiar el estado y vigor de la vegetación a lo largo del año, tanto a nivel global como en las distintas cubiertas y parcelas.

No obstante, en todos los índices el comportamiento es parecido y se puede correlacionar con las precipitaciones, presentando un mayor valor en los períodos más húmedos (invierno-inicio de primavera y otoño) y un menor valor en verano, lo que es indicativo de un menor o mayor vigor de la vegetación, respectivamente. Incluso, la ausencia de precipitaciones durante el mes de febrero provocó una disminución brusca en los índices de vegetación del mes de marzo. Por su parte, el índice de humedad MNDWI, que se utiliza preferentemente para identificar superficies de agua libre, aquí ha resultado sensible a los cambios de humedad ocasionados por las precipitaciones con una respuesta más rápida en prácticamente todas las cubiertas que los índices de vegetación que presentan una mayor inercia y retardo.

En el análisis específico de las parcelas de olivar se observa que las ecológicas presentan unos valores mayores para los índices de vegetación, lo que demuestra que tienen mayor cobertura y/o vigor vegetal. Por su parte, las parcelas de olivar convencional presentan unos valores similares a la zona general. No obstante, la dispersión de los valores medios entre las parcelas específicas hace que la distinción entre ambos tipos de olivar no esté clara en algunos casos. La evolución es similar en todos los índices en ambos tipos y está relacionada con el régimen de lluvias, aunque las parcelas ecológicas mantienen valores relativamente más altos incluso en el período estival. No se aprecian patrones diferentes entre la evolución de los índices NDVI y sus variantes.

En el resto de coberturas, los cultivos muestran diferentes valores de los índices y sobre todo distinta evolución, estando los máximos en distintas épocas del año, en función de su período de crecimiento y no tanto en relación con las lluvias. Como en el caso del olivar no hay diferencias entre el índice NDVI y el NDI45, probablemente porque para ello se precisaría una mayor resolución temporal y un análisis más detallado. El monte alto presenta índices con valor más elevado que el monte bajo y una evolución similar a la general.

La clasificación realizada mediante entrenamiento sobre la propia imagen y el método de “random forest” muestra un predominio del olivar (en torno al 74%), y dentro de él una proporción del 37% de olivar ecológico, lo que parece estar sobreestimado de

acuerdo a los datos provinciales. En este sentido hay que apuntar una cierta confusión en las signaturas espectrales de ambos tipos de olivar y con otras cubiertas como el monte bajo, lo que conduce a la necesidad de afinar en el entrenamiento de las distintas parcelas. El resto de coberturas presenta una superficie mucho menor, que no supera el 10%. En general, si tenemos en cuenta la confusión entre algunas coberturas, no se produce demasiados cambios entre la clasificación de febrero y agosto, salvo una disminución del porcentaje de los cultivos y un aumento del suelo desnudo en la segunda imagen (verano) respecto a la primera (invierno).

El empleo de las técnicas de teledetección durante este trabajo ha resultado satisfactorio, permitiendo llevar a cabo un estudio de la evolución del terreno de forma telemática, sin necesidad de recabar información en el propio campo. De esta manera, se pueden ahorrar costes y esfuerzos, aunque lo deseable es el desarrollo conjunto y complementario de ambos tipos de técnicas.

En este sentido, además de la integración con técnicas convencionales y con el tratamiento de imágenes de alta resolución (ortofotografías, satélites Spot, Pleiades World View, etc.), el trabajo es susceptible de otras mejoras futuras. En el caso del estudio del olivar se precisará un entrenamiento más detallado a partir de una mejor selección de las parcelas; la aplicación de otras técnicas de clasificación como el reconocimiento de objetos y patrones en imágenes de mayor resolución espacial; la aplicación de técnicas de clasificación avanzada (redes neuronales) sobre las propias imágenes de Sentinel-2. En el caso de otros cultivos y coberturas es probable que se requiera una mayor resolución temporal en las imágenes que permita un mejor aprovechamiento de los distintos índices de vegetación.

ANEXO

TABLA A.1. Índice NDVI

NDVI		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	0,4144	0,4486	0,3503	0,4013	0,3234	0,2549	0,2251	0,2342	0,2351	0,2904	0,3473	0,5099	0,336
	Var.	0,1536	0,1747	0,1627	0,1704	0,1499	0,1150	0,0734	0,0990	0,1081	0,1275	0,1481	0,1743	0,138
CH CON	Media	0,4878	0,4786	0,3654	0,4215	0,2974	0,2781	0,2637	0,2553	0,2564	0,3453	0,4172	0,6179	0,374
	Var.	0,0322	0,0369	0,0350	0,0326	0,0306	0,0281	0,0189	0,0212	0,0238	0,0370	0,0371	0,0500	0,032
CH ECO	Media	0,5618	0,6384	0,4965	0,5359	0,4277	0,3755	0,3045	0,3262	0,3325	0,4076	0,4644	0,6067	0,456
	Var.	0,2461	0,2537	0,1011	0,2402	0,1534	0,0990	0,1369	0,1013	0,0829	0,1391	0,1605	0,2554	0,164
CR CON	Media	0,4291	0,4792	0,3963	0,3664	0,2758	0,2236	0,2170	0,2262	0,2274	0,3041	0,3962	0,5604	0,342
	Var.	0,0678	0,0706	0,0580	0,0786	0,0806	0,0587	0,0358	0,0424	0,0489	0,0780	0,0805	0,0773	0,065
CR ECO	Media	0,5404	0,5264	0,4060	0,5598	0,3996	0,3476	0,2859	0,3134	0,3172	0,3902	0,4721	0,6539	0,434
	Var.	0,0767	0,0604	0,0586	0,0881	0,0672	0,0552	0,0289	0,0394	0,0464	0,0711	0,0720	0,0831	0,062
GA CON	Media	0,5456	0,5433	0,3661	0,4184	0,3391	0,3186	0,2782	0,3094	0,3197	0,3858	0,4399	0,6205	0,407
	Var.	0,0628	0,0621	0,0437	0,0435	0,0407	0,0370	0,0247	0,0361	0,0421	0,0496	0,0471	0,0714	0,047
GA ECO	Media	0,4684	0,4452	0,3889	0,4794	0,3231	0,2403	0,2172	0,2285	0,2272	0,2800	0,3849	0,6355	0,360
	Var.	0,0651	0,0733	0,0747	0,0949	0,0600	0,0462	0,0271	0,0396	0,0429	0,0567	0,0765	0,1042	0,063
IS CON	Media	0,3944	0,4176	0,2757	0,3302	0,2157	0,2271	0,2159	0,2365	0,2348	0,3031	0,3939	0,5508	0,316
	Var.	0,0386	0,0552	0,0359	0,0484	0,0342	0,0295	0,0218	0,0330	0,0332	0,0392	0,0534	0,0719	0,041
IS ECO	Media	0,4777	0,5997	0,4624	0,5584	0,4131	0,3291	0,2597	0,2566	0,2562	0,3180	0,3830	0,5584	0,406
	Var.	0,0707	0,0805	0,0805	0,0857	0,0855	0,0694	0,0355	0,0458	0,0497	0,0607	0,0691	0,0769	0,068
MR CON	Media	0,5762	0,5938	0,5241	0,5337	0,4827	0,4621	0,3781	0,3602	0,4679	0,5230	0,5532	0,6507	0,509
	Var.	0,0455	0,0539	0,0645	0,0568	0,0650	0,0853	0,0527	0,0592	0,0782	0,0784	0,0631	0,0519	0,063
MR ECO	Media	0,5717	0,6692	0,4758	0,4941	0,4438	0,3841	0,3012	0,3540	0,3794	0,4496	0,5011	0,6304	0,471
	Var.	0,1551	0,1525	0,1172	0,1293	0,1328	0,1232	0,0632	0,0973	0,1424	0,1258	0,1296	0,1579	0,127
PA CON	Media	0,3063	0,3127	0,2353	0,2669	0,2196	0,1947	0,2011	0,2009	0,1985	0,2652	0,2850	0,3786	0,255
	Var.	0,0988	0,1068	0,0717	0,0869	0,0833	0,0790	0,0551	0,0731	0,0800	0,1078	0,1174	0,1384	0,092
PA ECO 1	Media	0,4311	0,4530	0,3452	0,4603	0,4255	0,3234	0,2773	0,2885	0,2933	0,3509	0,4126	0,5961	0,388
	Var.	0,1521	0,1660	0,1146	0,1529	0,1416	0,1158	0,0670	0,0696	0,0740	0,0863	0,0974	0,0993	0,111
PA ECO 2	Media	0,5587	0,5977	0,3894	0,4609	0,4120	0,3507	0,2989	0,3253	0,3451	0,4276	0,5448	0,7112	0,452
	Var.	0,0690	0,0768	0,0665	0,0633	0,0789	0,0702	0,0439	0,0603	0,0750	0,0952	0,0993	0,0898	0,074

Tabla A.2. Índice SAVI

SAVI		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	0,2690	0,2884	0,2464	0,2662	0,2461	0,1988	0,1792	0,1836	0,1817	0,2046	0,2327	0,3093	0,2338
	Var.	0,0901	0,1061	0,1078	0,1131	0,0966	0,0721	0,0486	0,0625	0,0667	0,0721	0,0830	0,1017	0,0850
CH CON	Media	0,2714	0,2771	0,2365	0,2521	0,2228	0,2210	0,2038	0,2196	0,2201	0,2620	0,2984	0,3696	0,2545
	Var.	0,0155	0,0173	0,0161	0,0143	0,0172	0,0165	0,0113	0,0154	0,0174	0,0238	0,0235	0,0339	0,0185
CH ECO	Media	0,3475	0,3748	0,3190	0,3274	0,3002	0,2685	0,2260	0,2450	0,2465	0,2736	0,2946	0,3299	0,2961
	Var.	0,0386	0,0342	0,0435	0,0382	0,0392	0,0364	0,0220	0,0334	0,0383	0,0407	0,0368	0,0385	0,0367
CR CON	Media	0,2941	0,3262	0,3151	0,2615	0,2373	0,1898	0,1804	0,1886	0,1868	0,2299	0,2824	0,3509	0,2536
	Var.	0,0255	0,0266	0,0331	0,0408	0,0485	0,0380	0,0225	0,0263	0,0302	0,0376	0,0363	0,0312	0,0331
CR ECO	Media	0,3298	0,3310	0,2851	0,3686	0,2928	0,2615	0,2225	0,2398	0,2392	0,2599	0,2930	0,3674	0,2909
	Var.	0,0299	0,0280	0,0312	0,0471	0,0356	0,0316	0,0168	0,0215	0,0253	0,0343	0,0312	0,0365	0,0308
GA CON	Media	0,3210	0,3162	0,2459	0,2551	0,2449	0,2415	0,2131	0,2268	0,2301	0,2599	0,2847	0,3294	0,2641
	Var.	0,0353	0,0320	0,0203	0,0184	0,0202	0,0204	0,0150	0,0181	0,0220	0,0343	0,0251	0,0339	0,0246
GA ECO	Media	0,2987	0,2757	0,2837	0,3303	0,2429	0,1852	0,1716	0,1781	0,1760	0,1998	0,2632	0,3887	0,2495
	Var.	0,0346	0,0348	0,0485	0,0622	0,0323	0,0269	0,0163	0,0228	0,0242	0,0286	0,0440	0,0679	0,0369
IS CON	Media	0,2883	0,2891	0,2149	0,2262	0,1968	0,1982	0,1854	0,1981	0,1948	0,2321	0,2893	0,3489	0,2385
	Var.	0,0210	0,0389	0,0258	0,0303	0,0240	0,0201	0,0148	0,0216	0,0214	0,0221	0,0340	0,0459	0,0267
IS ECO	Media	0,3151	0,3899	0,3294	0,3742	0,3081	0,2471	0,2073	0,2084	0,2070	0,2333	0,2643	0,3387	0,2852
	Var.	0,0300	0,0345	0,0405	0,0445	0,0468	0,0385	0,0215	0,0275	0,0296	0,0311	0,0312	0,0285	0,0337
MR CON	Media	0,3614	0,3308	0,3122	0,3085	0,3361	0,3320	0,2801	0,2733	0,3284	0,3416	0,3470	0,3581	0,3258
	Var.	0,0330	0,0281	0,0322	0,0296	0,0375	0,0525	0,0335	0,0361	0,0442	0,0498	0,0381	0,0367	0,0376
MR ECO	Media	0,1015	0,1186	0,0874	0,0903	0,0872	0,0735	0,0518	0,0717	0,0793	0,0835	0,0846	0,0976	0,0856
	Var.	0,1036	0,0822	0,0775	0,0877	0,0785	0,0651	0,0919	0,0789	0,0656	0,0810	0,0785	0,1135	0,0837
PA CON	Media	0,2063	0,1940	0,1701	0,1801	0,1728	0,1602	0,1631	0,1673	0,1637	0,1924	0,1991	0,2401	0,1841
	Var.	0,0541	0,0630	0,0468	0,0519	0,0570	0,0583	0,0400	0,0528	0,0574	0,0662	0,0694	0,0690	0,0572
PA ECO 1	Media	0,2696	0,2827	0,2454	0,2972	0,3124	0,2398	0,2124	0,2204	0,2222	0,2417	0,2635	0,3556	0,2636
	Var.	0,0839	0,0928	0,0735	0,0972	0,0953	0,0760	0,0449	0,0441	0,0462	0,0464	0,0458	0,0524	0,0665
PA ECO 2	Media	0,3450	0,3656	0,2694	0,2968	0,3109	0,2754	0,2386	0,2574	0,2659	0,2976	0,3544	0,4165	0,3078
	Var.	0,0304	0,0358	0,0335	0,0291	0,0466	0,0449	0,0278	0,0361	0,0420	0,0491	0,0505	0,0448	0,0392

TABLA A.3 Índice NDI45

NDI45		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	0,1704	0,1921	0,1286	0,1770	0,1296	0,0992	0,0799	0,0896	0,0926	0,1083	0,1403	0,2166	0,1354
	Var.	0,0869	0,1142	0,0883	0,1094	0,0865	0,0642	0,0364	0,0567	0,0632	0,0717	0,0815	0,1186	0,0815
CH CON	Media	0,1650	0,1637	0,1096	0,1513	0,0908	0,0887	0,0802	0,0851	0,0832	0,1070	0,1490	0,2345	0,1257
	Var.	0,0335	0,0337	0,0317	0,0247	0,0233	0,0210	0,0136	0,0245	0,0261	0,0351	0,0342	0,0439	0,0288
CH ECO	Media	0,2145	0,2933	0,1802	0,2277	0,1548	0,1260	0,0953	0,1087	0,1110	0,1298	0,1634	0,2350	0,1700
	Var.	0,0681	0,0786	0,0793	0,0707	0,0649	0,0588	0,0353	0,0547	0,0612	0,0706	0,0733	0,0924	0,0673
CR CON	Media	0,1758	0,2060	0,1462	0,1401	0,0954	0,0732	0,0707	0,0764	0,0812	0,1048	0,1683	0,2376	0,1313
	Var.	0,0516	0,0599	0,0474	0,0550	0,0553	0,0361	0,0234	0,0311	0,0363	0,0603	0,0624	0,0661	0,0487
CR ECO	Media	0,2475	0,2102	0,1383	0,2521	0,1536	0,1270	0,0975	0,1140	0,1202	0,1395	0,1944	0,2955	0,1742
	Var.	0,0624	0,0542	0,0442	0,0658	0,0553	0,0463	0,0276	0,0360	0,0418	0,0656	0,0628	0,0793	0,0535
GA CON	Media	0,2175	0,2042	0,1100	0,1528	0,1088	0,1034	0,0855	0,1057	0,1108	0,1248	0,1631	0,2320	0,1432
	Var.	0,0506	0,0464	0,0291	0,0314	0,0300	0,0281	0,0187	0,0285	0,0322	0,0356	0,0387	0,0628	0,0360
GA ECO	Media	0,1963	0,1654	0,1337	0,2049	0,1135	0,0878	0,0754	0,0893	0,0913	0,1046	0,1659	0,2958	0,1436
	Var.	0,0522	0,0592	0,0422	0,0640	0,0399	0,0339	0,0204	0,0330	0,0371	0,0430	0,0586	0,0905	0,0478
IS CON	Media	0,1384	0,1479	0,0851	0,1120	0,0683	0,0714	0,0658	0,0770	0,0780	0,0930	0,1456	0,2134	0,1080
	Var.	0,0382	0,0493	0,0347	0,0391	0,0342	0,0292	0,0207	0,0326	0,0352	0,0403	0,0460	0,0616	0,0384
IS ECO	Media	0,2034	0,3002	0,1787	0,2684	0,1638	0,1236	0,0853	0,0885	0,0896	0,1092	0,1465	0,2516	0,1674
	Var.	0,0687	0,0811	0,0713	0,0771	0,0748	0,0615	0,0362	0,0452	0,0503	0,0610	0,0664	0,0796	0,0644
MR CON	Media	0,2294	0,2349	0,2025	0,2215	0,1879	0,1783	0,1330	0,1272	0,1875	0,1861	0,2035	0,2588	0,1959
	Var.	0,0757	0,1051	0,0872	0,0749	0,0846	0,0875	0,0606	0,0660	0,0822	0,0681	0,0842	0,0790	0,0796
MR ECO	Media	0,2135	0,2988	0,1674	0,2012	0,1581	0,1352	0,0968	0,1234	0,1319	0,1540	0,1854	0,2516	0,1764
	Var.	0,0917	0,1643	0,1456	0,1535	0,1841	0,1633	0,0430	0,1039	0,1552	0,1286	0,1082	0,1606	0,1335
PA CON	Media	0,1332	0,1246	0,0869	0,1135	0,0848	0,0791	0,0745	0,0821	0,0828	0,1001	0,1129	0,1485	0,1019
	Var.	0,0498	0,0571	0,0335	0,0404	0,0360	0,0329	0,0232	0,0340	0,0361	0,0471	0,0512	0,0656	0,0422
PA ECO 1	Media	0,1869	0,1974	0,1235	0,2097	0,1733	0,1223	0,0937	0,1044	0,1068	0,1232	0,1633	0,2702	0,1562
	Var.	0,0755	0,0887	0,0497	0,0810	0,0750	0,0527	0,0283	0,0374	0,0399	0,0459	0,0550	0,0764	0,0588
PA ECO 2	Media	0,2468	0,2800	0,1340	0,1995	0,1553	0,1236	0,0951	0,1138	0,1228	0,1566	0,2345	0,3519	0,1845
	Var.	0,0484	0,0620	0,0387	0,0386	0,0485	0,0377	0,0230	0,0345	0,0412	0,0525	0,0677	0,0785	0,0476

TABLA A.4. Índice NDI46

NDI46		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	0,3389	0,3742	0,2793	0,3364	0,2543	0,1891	0,1571	0,1757	0,1801	0,2259	0,2875	0,4303	0,2691
	Var.	0,1511	0,1782	0,1592	0,1723	0,1464	0,1078	0,0659	0,0928	0,1013	0,1212	0,1427	0,1796	0,1349
CH CON	Media	0,3950	0,3855	0,2806	0,3368	0,2140	0,2029	0,1847	0,1922	0,1941	0,2682	0,3431	0,5279	0,2938
	Var.	0,0330	0,0369	0,0353	0,0318	0,0301	0,0265	0,0177	0,0257	0,0279	0,0379	0,0404	0,0533	0,0330
CH ECO	Media	0,4600	0,5572	0,4015	0,4554	0,3360	0,2829	0,2157	0,2462	0,2528	0,3187	0,3768	0,5000	0,3669
	Var.	0,0916	0,0939	0,1063	0,0934	0,0856	0,0757	0,0451	0,0663	0,0749	0,0904	0,0911	0,1126	0,0856
CR CON	Media	0,3464	0,3974	0,3198	0,2922	0,2027	0,1530	0,1456	0,1596	0,1674	0,2312	0,3278	0,4736	0,2681
	Var.	0,0723	0,0769	0,0617	0,0809	0,0804	0,0533	0,0328	0,0410	0,0472	0,0796	0,0837	0,0827	0,0660
CR ECO	Media	0,4585	0,4219	0,3089	0,4791	0,3007	0,2526	0,1989	0,2284	0,2372	0,2998	0,3957	0,5730	0,3462
	Var.	0,0800	0,0641	0,0601	0,0932	0,0670	0,0535	0,0298	0,0392	0,0458	0,0776	0,0751	0,0929	0,0649
GA CON	Media	0,4549	0,4534	0,2752	0,3354	0,2538	0,2378	0,1973	0,2358	0,2480	0,3003	0,3610	0,5207	0,3228
	Var.	0,0653	0,0660	0,0424	0,0441	0,0400	0,0386	0,0248	0,0382	0,0437	0,0482	0,0482	0,0773	0,0481
GA ECO	Media	0,3883	0,3597	0,3088	0,4165	0,2470	0,1702	0,1468	0,1687	0,1707	0,2152	0,3286	0,5661	0,2905
	Var.	0,0680	0,0781	0,0744	0,0996	0,0587	0,0445	0,0265	0,0414	0,0452	0,0579	0,0815	0,1145	0,0659
IS CON	Media	0,3028	0,3269	0,2017	0,2503	0,1465	0,1570	0,1459	0,1732	0,1752	0,2267	0,3193	0,4579	0,2403
	Var.	0,0432	0,0621	0,0404	0,0537	0,0386	0,0352	0,0250	0,0367	0,0376	0,0448	0,0577	0,0778	0,0461
IS ECO	Media	0,3892	0,5237	0,3766	0,4885	0,3293	0,2433	0,1756	0,1841	0,1862	0,2380	0,3068	0,4661	0,3256
	Var.	0,0801	0,0919	0,0885	0,0936	0,0931	0,0748	0,0412	0,0525	0,0570	0,0695	0,0763	0,0885	0,0756
MR CON	Media	0,4835	0,5131	0,4457	0,4626	0,4066	0,3866	0,3001	0,2909	0,4013	0,4428	0,4792	0,5603	0,4311
	Var.	0,0512	0,0718	0,0745	0,0648	0,0701	0,0878	0,0555	0,0654	0,0818	0,0772	0,0668	0,0592	0,0689
MR ECO	Media	0,4782	0,5891	0,3694	0,4039	0,3481	0,2915	0,2183	0,2775	0,2899	0,3642	0,4193	0,5288	0,3815
	Var.	0,1474	0,1730	0,1477	0,1774	0,1623	0,1688	0,0605	0,1087	0,1747	0,1325	0,1310	0,1745	0,1465
PA CON	Media	0,2389	0,2385	0,1736	0,2078	0,1585	0,1431	0,1419	0,1526	0,1542	0,2078	0,2318	0,3000	0,1957
	Var.	0,0914	0,1038	0,0638	0,0806	0,0740	0,0691	0,0474	0,0648	0,0702	0,0977	0,1062	0,1298	0,0832
PA ECO 1	Media	0,3495	0,3714	0,2652	0,3942	0,3491	0,2421	0,1948	0,2161	0,2228	0,2732	0,3416	0,5139	0,3111
	Var.	0,1412	0,1593	0,0996	0,1489	0,1372	0,1011	0,0541	0,0608	0,0640	0,0771	0,0900	0,1028	0,1030
PA ECO 2	Media	0,4769	0,5198	0,2956	0,3812	0,3268	0,2665	0,2140	0,2498	0,2684	0,3484	0,4772	0,6366	0,3718
	Var.	0,0703	0,0819	0,0641	0,0642	0,0800	0,0668	0,0403	0,0568	0,0678	0,0927	0,1020	0,0991	0,0738

TABLA A.5. Índice NDI47

NDI47		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	0,3888	0,4157	0,3302	0,3769	0,2997	0,2355	0,2054	0,2118	0,2168	0,2672	0,3298	0,4765	0,3129
	Var.	0,1575	0,1817	0,1653	0,1746	0,1520	0,1158	0,0737	0,1004	0,1094	0,1304	0,1509	0,1818	0,1411
CH CON	Media	0,4622	0,4426	0,3472	0,3909	0,2719	0,2599	0,2441	0,2361	0,2392	0,3233	0,4007	0,5856	0,3503
	Var.	0,0311	0,0359	0,0358	0,0322	0,0320	0,0292	0,0193	0,0262	0,0279	0,0395	0,0400	0,0501	0,0333
CH ECO	Media	0,5312	0,6085	0,4716	0,5081	0,3998	0,3495	0,2797	0,2996	0,3075	0,3808	0,4415	0,5682	0,4288
	Var.	0,0932	0,0937	0,1102	0,0948	0,0905	0,0811	0,0488	0,0706	0,0799	0,0955	0,0953	0,1125	0,0888
CR CON	Media	0,3990	0,4438	0,3725	0,3392	0,2482	0,1985	0,1955	0,1972	0,2053	0,2763	0,3743	0,5234	0,3144
	Var.	0,0738	0,0784	0,0625	0,0819	0,0838	0,0590	0,0372	0,0459	0,0521	0,0847	0,0870	0,0831	0,0691
CR ECO	Media	0,5120	0,4808	0,3732	0,5293	0,3643	0,3187	0,2609	0,2808	0,2917	0,3589	0,4532	0,6245	0,4040
	Var.	0,0810	0,0653	0,0640	0,0933	0,0714	0,0572	0,0316	0,0413	0,0495	0,0816	0,0768	0,0896	0,0669
GA CON	Media	0,5179	0,5096	0,3408	0,3898	0,3121	0,2977	0,2575	0,2848	0,2996	0,3610	0,4210	0,5874	0,3816
	Var.	0,0651	0,0663	0,0466	0,0460	0,0432	0,0420	0,0273	0,0407	0,0451	0,0509	0,0495	0,0745	0,0498
GA ECO	Media	0,4426	0,4103	0,3659	0,4583	0,2980	0,2196	0,1967	0,2052	0,2080	0,2570	0,3694	0,6085	0,3366
	Var.	0,0709	0,0803	0,0780	0,0989	0,0634	0,0488	0,0288	0,0434	0,0484	0,0632	0,0823	0,1106	0,0681
IS CON	Media	0,3647	0,3790	0,2540	0,2997	0,1886	0,2054	0,1962	0,2153	0,2179	0,2785	0,3731	0,5141	0,2905
	Var.	0,0462	0,0624	0,0416	0,0537	0,0407	0,0380	0,0281	0,0397	0,0405	0,0479	0,0599	0,0780	0,0481
IS ECO	Media	0,4464	0,5666	0,4369	0,5324	0,3842	0,3013	0,2326	0,2287	0,2314	0,2886	0,3592	0,5188	0,3773
	Var.	0,0809	0,0912	0,0899	0,0929	0,0951	0,0785	0,0439	0,0557	0,0605	0,0733	0,0787	0,0878	0,0774
MR CON	Media	0,5533	0,5749	0,5124	0,5139	0,4702	0,4545	0,3695	0,3442	0,4596	0,5070	0,5438	0,6224	0,4938
	Var.	0,0466	0,0669	0,0712	0,0653	0,0696	0,0883	0,0554	0,0669	0,0833	0,0788	0,0656	0,0560	0,0678
MR ECO	Media	0,5529	0,6464	0,4505	0,4642	0,4223	0,3625	0,2818	0,3326	0,3563	0,4277	0,4847	0,5970	0,4482
	Var.	0,1502	0,1601	0,1337	0,1648	0,1518	0,1574	0,0664	0,1127	0,1641	0,1397	0,1391	0,1755	0,1429
PA CON	Media	0,2790	0,2747	0,2172	0,2431	0,1968	0,1808	0,1859	0,1832	0,1845	0,2456	0,2706	0,3433	0,2337
	Var.	0,0995	0,1094	0,0707	0,0866	0,0833	0,0783	0,0547	0,0734	0,0796	0,1085	0,1173	0,1411	0,0919
PA ECO 1	Media	0,4020	0,4168	0,3204	0,4365	0,4008	0,2993	0,2531	0,2627	0,2711	0,3263	0,3942	0,5642	0,3623
	Var.	0,1517	0,1681	0,1118	0,1536	0,1433	0,1133	0,0638	0,0692	0,0734	0,0858	0,0972	0,1024	0,1111
PA ECO 2	Media	0,5311	0,5648	0,3590	0,4302	0,3818	0,3259	0,2740	0,2988	0,3207	0,4027	0,5284	0,6843	0,4251
	Var.	0,0722	0,0824	0,0698	0,0664	0,0834	0,0733	0,0457	0,0626	0,0753	0,0985	0,1030	0,0961	0,0774

TABLA A.6. Índice MNDWI

MNDWI		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
General	Media	-0,302	-0,315	-0,336	-0,258	-0,337	-0,358	-0,322	-0,316	-0,322	-0,326	-0,307	-0,310	-0,317
	Var.	0,109	0,113	0,096	0,117	0,102	0,103	0,069	0,094	0,102	0,103	0,103	0,114	0,102
CH CON	Media	-0,372	-0,392	-0,426	-0,320	-0,391	-0,391	-0,358	-0,281	-0,274	-0,295	-0,279	-0,289	-0,339
	Var.	-0,507	-0,505	0,040	-0,428	-0,500	-0,503	-0,419	-0,373	-0,372	-0,434	-0,395	-0,425	-0,402
CH ECO	Media	-0,298	-0,365	-0,430	-0,338	-0,415	-0,426	-0,344	-0,339	-0,351	-0,356	-0,346	-0,362	-0,364
	Var.	0,061	0,076	0,088	0,077	0,077	0,078	0,043	0,077	0,087	0,091	0,088	0,090	0,078
CR CON	Media	-0,266	-0,261	-0,275	-0,257	-0,298	-0,326	-0,317	-0,306	-0,311	-0,311	-0,269	-0,276	-0,289
	Var.	0,048	0,057	0,052	0,065	0,062	0,055	0,032	0,047	0,049	0,063	0,054	0,051	0,053
CR ECO	Media	-0,319	-0,391	-0,377	-0,335	-0,445	-0,459	-0,368	-0,383	-0,395	-0,415	-0,388	-0,381	-0,388
	Var.	0,058	0,060	0,054	0,067	0,068	0,063	0,031	0,045	0,056	0,085	0,073	0,068	0,061
GA CON	Media	-0,365	-0,411	-0,394	-0,345	-0,439	-0,434	-0,366	-0,398	-0,413	-0,397	-0,362	-0,393	-0,393
	Var.	0,047	0,049	0,047	0,050	0,051	0,048	0,027	0,042	0,049	0,049	0,044	0,058	0,047
GA ECO	Media	-0,347	-0,397	-0,332	-0,262	-0,413	-0,422	-0,369	-0,371	-0,369	-0,366	-0,322	-0,311	-0,357
	Var.	0,045	0,061	0,038	0,055	0,051	0,048	0,027	0,036	0,043	0,051	0,047	0,058	0,047
IS CON	Media	-0,216	-0,216	-0,275	-0,188	-0,233	-0,287	-0,266	-0,271	-0,270	-0,264	-0,220	-0,239	-0,245
	Var.	0,059	0,067	0,057	0,068	0,053	0,052	0,032	0,049	0,052	0,056	0,057	0,071	0,056
IS ECO	Media	-0,333	-0,349	-0,394	-0,301	-0,375	-0,396	-0,336	-0,327	-0,330	-0,347	-0,334	-0,347	-0,347
	Var.	0,065	0,079	0,083	0,073	0,078	0,079	0,046	0,062	0,071	0,074	0,073	0,075	0,071
MR CON	Media	-0,305	-0,415	-0,459	-0,348	-0,411	-0,435	-0,343	-0,300	-0,394	-0,381	-0,360	-0,365	-0,376
	Var.	0,067	0,070	0,050	0,052	0,046	0,061	0,043	0,064	0,069	0,048	0,057	0,059	0,057
MR ECO	Media	-0,265	-0,402	-0,448	-0,389	-0,464	-0,476	-0,353	-0,401	-0,427	-0,386	-0,358	-0,385	-0,396
	Var.	0,148	0,151	0,138	0,172	0,141	0,147	0,068	0,120	0,149	0,148	0,141	0,196	0,143
PA CON	Media	-0,367	-0,448	-0,411	-0,336	-0,443	-0,432	-0,391	-0,389	-0,393	-0,414	-0,370	-0,371	-0,397
	Var.	0,065	0,081	0,070	0,072	0,091	0,080	0,050	0,072	0,080	0,082	0,068	0,075	0,074
PA ECO 1	Media	-0,396	-0,412	-0,396	-0,362	-0,432	-0,462	-0,385	-0,407	-0,415	-0,421	-0,404	-0,380	-0,406
	Var.	0,060	0,072	0,051	0,062	0,058	0,048	0,035	0,054	0,060	0,053	0,046	0,057	0,055
PA ECO 2	Media	-0,291	-0,328	-0,378	-0,339	-0,386	-0,388	-0,331	-0,333	-0,352	-0,342	-0,312	-0,329	-0,342
	Var.	0,056	0,069	0,055	0,059	0,057	0,059	0,035	0,055	0,068	0,059	0,056	0,054	0,057

BIBLIOGRAFÍA

ANDREU, A., CARPINTERO, E. y GONZÁLEZ DUGO, M.P. (2021): *Teledetección para la Agricultura*. Instituto andaluz de investigación y formación agraria, pesquera, alimentaria y de la producción ecológica, Córdoba

BREIMAN, L. (2001): *Random forests*. *Machine Learning*. 45, pp. 5-32.

CASTERAD, "M.A (2013): *La teledetección como herramienta de apoyo a la gestión en agricultura*" Centro Astronómico Aragonés, Huesca

Clevers, J.G.P.W., Gitelson, A. A. (2012): *Using the red-edge bands on Sentinel-2 for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content*. *Proceedings of 1st Sentinel-2 Preparatory Symposium*, European Space Agency, (Special Publication), 707, 0379-6566.

COPERNICUS (2021 a): *La mirada de Europa sobre la Tierra*. Available at: <https://www.copernicus.eu/es>

COPERNICUS (2021 b): *Sentinel User Guides*. Available at <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

COPERNICUS (2021 c). *Copernicus Open Access Hub*. Available at <https://scihub.copernicus.eu/>

COPERNICUS (2021 d): *SNAP; SeNtinel Application Platform*. Available at <http://step.esa.int/main/download/snap-download/>

CRUZ-SAN JULIAN, J.; DIVAR, J. (1981): *Mapa Geológico de España, Hoja 1005 (Estepa)*. *Mapa y Memoria Explicativa*. IGME, Madrid.

CHUVIECO, E. (2000): *Fundamentos de teledetección espacial (3ª Edición)*. Rialp, Madrid.

CHUVIECO, E. (2010): *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel, Barcelona.

DELEGIDO, J., VERRELST, J., ALONSO L., MORENO, J. (2011): *Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content*. *Sensors*, 11(7), pp. 7063-7081.

DURÁN VALSERO, J.J., ANGLADA GÓMEZ, R., DÍAZ PÉREZ, A., (2003): *ATLAS hidrogeológico de la provincial de Sevilla*, IGME, Madrid. Available at: <file:///F:/Documentos%20de%20inter%C3%A9s/AtlasHidrogeografico%20Sevilla.pdf>

GAO, B. C. (1996): *NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. *Remote Sensing of Environment*, 58, pp. 257-266.

GARCÍA-ROSELL, L. (1973): *Estudio geológico de la transversal Úbeda-Huelma y sectores adyacentes (Cordilleras Béticas, provincia de Jaén)*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

Google Earth (2021) <https://earth.google.com/web/@37.30996762,-4.92677252,331.76870308a,28204.31854139d,35y,0h,0t,0r>

HUETE, A.R. (1988): *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. *Remote Sensing of Environment*, 25 (3), pp. 295-309

IECA (2021): *Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA)*, Ficha Municipal de Estepa. Available at: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=41041>

IGME (1998): *Atlas hidrogeológico de Andalucía*, Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía; Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía. Available at: https://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro110/lib110.htm

IGME (2004): *Acuíferos detríticos del sur de Sevilla y se la Sierra de Estepa*, Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transporte. Available at: https://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro110/Pdf/lib110/in_30.pdf

IGN (2021a), *Programa Landsat*, Plan Nacional de Teledetección. Available at: <https://pnt.ign.es/programa-landsat>

IGN (2021b): *Visor Iberpix, Ortofotografía y Cartografía*. Available at: <https://www.ign.es/iberpix/visor>

IGN (2021c): Centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica. Available at: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

Instituto Geográfico Nacional: *Teledetección*, Centro Nacional de Información Geográfica, Madrid. Available at: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

JENSEN, J. (2014): *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective (2nd Edition)*. Harlow, Pearson new international editions.

MAESTRI, M.A., CASTETS F., Bayala M. y CANZIANI, G. (2018, 2019): *Análisis comparativo de cinco métodos de procesamiento para calcular el área de lagunas pampeanas a partir de imágenes satelitales Lands*

MARTÍN VIDE, J. Y OLCINA, J. (2001): *Climas y tiempos de España*, Madrid, Alianza Editorial.

MARTÍNEZ VEGA, J., MARTÍN ISABEL, M.P., DÍAZ MONTEJO, J.M (2010): *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambient*, CSIC, Madrid. Available at: file:///F:/Documentos%20de%20inter%C3%A9s/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf

Ortega, F., Morelo, J., García, E., (1987): *La vegetación en Andalucía. En: Geografía de Andalucía* (G. Cano, ed), vol. II, 187-226. Ediciones Tartessos. Madrid.

PÉREZ-VALERA, F., SÁNCHEZ-GÓMEZ, M., PÉREZ-LÓPEZ, A., PÉREZ-VALERA, L.A. 2017. *An evaporite-bearing accretionary complex in the northern front of the Betic-Rif orogeny*. *Tectonics*, 6, pp. 1006-1036

PINILLA, C. (1995): *Elementos de Teledetección Espacial*. Ra-Ma, Madrid.

PINILLA, C. (2020): *Teledetección: Teoría y Aplicaciones*. Available at: <https://archive.org/details/teledeteccion/00-Teledetecci%C3%B3n%20-%20teor%C3%ADa%20y%20aplicaciones/page/n1/mode/2up>

QGIS (2021); QGIS, Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. Available at: <https://qgis.org/es/site/>

Romero, A., Miras, A., Aparicio, P. (2012): *Un viaje por la Provincia de Sevilla a través del Tiempo Geológico*. Actas del I Congreso Internacional de Innovación Docente Universitaria en Historia Natural, pp. 324-332.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. AND DEERING, D.W. (1973): *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309—317.

Sun, Y., Qin, Q., Ren, H., Zhang, T., Chen, S. (2020): *"Red-Edge Band Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation From Sentinel-2/MSI Imagery," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58 (2), pp. 826-840.

The European Space Agency: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2

XU, H. (2006): Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 3025-303