

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La gestión de los sistemas agrarios y su importancia como recurso.....	1
1.2. La salud del suelo y la importancia de la materia orgánica.....	4
1.2.1. Los indicadores de la calidad y salud del suelo.....	5
1.2.1.1 La relación del C/N y la biomasa vegetal.....	6
1.2.1.2 La materia orgánica.....	6
1.2.1.3 La biodiversidad del suelo, los organismos que lo habitan....	7
1.2.1.4 La actividad enzimática en el suelo.....	8
1.2.1.5 El Carbono de la Biomasa Microbiana y el Carbono Soluble del suelo.....	9
1.2.1.6 La respiración del suelo.....	10
1.3. El uso de las cubiertas vegetales y la mejora del suelo.....	10
1.3.1. Las cubiertas vegetales en frutales.....	12
1.3.2. La implementación de las cubiertas vegetales en la Comunidad Valenciana.....	14
1.3.3. La introducción de cubiertas vegetales en el cultivo de caqui.....	16
1.4. La Política Agraria Comunitaria (PAC) y evolución de la normativa sobre el uso de cubiertas vegetales.....	17
1.4.1. Evolución de la PAC.....	17
1.4.2. La nueva PAC, objetivos y retos.....	18
1.4.3. La influencia de la nueva PAC en la implementación práctica de las cubiertas vegetales.....	19
1.5. Procesamiento de datos y la agricultura de precisión.....	21
1.6. La espectrorradiometría aplicada a los suelos y la vegetación.....	27
1.7. Gestión de la mejora del suelo en el cultivo del caqui.....	28

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA TESIS

2.1. Cuestiones e Hipótesis de la tesis.....	30
2.1.1. Cuestiones planteadas.....	30
2.1.2. Hipótesis de la tesis.....	30

2.2	Objetivos de la tesis.....	31
3.	METODOLOGÍA	
3.1	Diseño de la experiencia en campo.....	32
3.1.1	Descripción edafológica de la zona de estudio.....	32
3.1.2	Descripción de las parcelas de estudio.....	34
3.1.3	Las cubiertas vegetales: siembra, manejo y mantenimiento.....	37
3.1.3.1	Siembra de las cubiertas vegetales.....	37
3.1.3.2	Manejo y mantenimiento de las cubiertas vegetales.....	38
3.2	Estudio de los suelos y las cubiertas vegetales.....	41
3.2.1	Muestreos <i>in situ</i>	46
3.2.1.1	Respiración del suelo.....	46
3.2.1.2	Biomasa aérea.....	47
3.2.1.3	Muestreo foliar.....	50
3.2.1.4	Medidas de humedad, conductividad y temperatura del suelo.....	51
3.2.2	Análisis de las muestras de suelo en laboratorio.....	53
3.2.2.1	Análisis de parámetros químicos.....	53
3.2.2.2	Análisis de la biodiversidad edáfica.....	55
3.2.2.3	Actividad enzimática.....	58
3.2.2.4	Carbono de la biomasa.....	59
3.2.2.5	Carbono orgánico soluble en agua.....	61
3.2.2.6	Contenido de herbicidas y plaguicidas.....	61
3.2.3	Adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales.....	66
3.2.3.1	Imágenes de Satélite.....	66
3.2.3.2	Imágenes de Dron.....	69
3.2.4	Análisis de muestras de suelo con un espectrorradiómetro.....	71
3.3.	Análisis estadístico de los datos.....	74
3.3.1	Análisis comparativo.....	75
3.3.1	Análisis predictivo.....	75
3.4.	Análisis de costes.....	76

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados del análisis de las muestras de suelo.....	77
4.1.1. Relación de la materia orgánica con la actividad biológica del suelo.....	77
4.1.1.1. Materia Orgánica del suelo (MOS).....	77
4.1.1.2. Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM) y Carbono Orgánico soluble (COS).....	86
4.1.1.3. Actividad enzimática.....	88
4.1.1.4. Actividad de la mesofauna.....	90
4.1.1.5. Respiración del suelo.....	93
4.2. Relación de la materia orgánica con las propiedades físicas y químicas del suelo.....	96
4.2.1. Humedad del suelo.....	96
4.2.1.1. Leguminosas.....	96
4.2.1.2. Gramíneas.....	97
4.2.1.3. Flores.....	98
4.2.2. Conductividad eléctrica del suelo.....	98
4.2.3. pH.....	100
4.2.4. Temperatura del suelo.....	100
4.2.5. Relación C/N.....	101
4.2.6. Nitrógeno.....	103
4.3. Interacción de las cubiertas vegetales con la fertilización del cultivo. Las cubiertas vegetales y la extracción foliar de nutrientes.....	103
4.4. Las cubiertas vegetales y la extracción de herbicidas del suelo.....	104
4.5. Biomasa vegetal aérea y procesamiento digital de imágenes multiespectrales.....	107
4.6. Relación coste de siembra y mantenimiento de la cubierta vegetal.....	119
4.7. Discusión comparada.....	120
5. CONCLUSIONES.....	132

6. LIMITACIONES DEL TRABAJO Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	136
7. BIBLIOGRAFIA.....	137
8. ANEJOS	
8.1. Estadística de los parámetros de suelo analizados en el laboratorio.....	149
8.1.1. Normalización de los valores netos de los parámetros de suelo analizados en el laboratorio.....	153
8.1.2. Análisis comparativo de los parámetros de suelo analizados en el laboratorio.....	153
8.1.3. Análisis predictivo de los parámetros de suelo analizados en el laboratorio.....	154
8.2. Sensores de humedad, temperatura y conductividad del suelo.....	155
8.3. Mesofauna.....	158
8.4. Obtención de las imágenes multiespectrales y geoprocesamiento.....	163
8.4.1. Estadística descriptiva y comparativa.....	164
8.4.2. Estadística predictiva.....	165
8.5. Procesamiento de los datos espectrorradiométricos.....	165
8.5.1. Procedimiento de obtención de los datos medidos con el espectrorradiómetro.....	165
8.5.2. Análisis estadístico de los parámetros de suelo obtenidos con espectrorradiómetro.....	175
8.6. Análisis de costes de las cubiertas vegetales y herbicidas.....	177
8.6.1. Coste de la aplicación de herbicidas.....	177
8.6.2. Coste de la siembra de las cubiertas vegetales.....	178
8.6.3. Coste del mantenimiento de las cubiertas vegetales.....	179

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla 1.1. Prácticas empleadas para la gestión de los sistemas agrarios.....	2
Tabla 1.2: Cubiertas vegetales, características y beneficios.....	13
Tabla 1.3. Relación de herbicidas autorizados en caqui en la UE.....	15
Tabla 1.4. Resolución espacial y temporal de las diferentes bandas de imágenes satelitales del Sentinel 2.....	25

METODOLOGIA

Tabla 3.1. Clasificación: Fluvisol calcáreo-arénico.....	33
Tabla 3.2. Características físicas y químicas de un Fluvisol calcáreo.....	34
Tabla 3.3. Resumen parcelas y denominación.....	35
Tabla 3.4. Patrón de ensayo en las parcelas de La Granja y Cargol.....	37
Tabla 3.5. Combinación de herbicidas empleados en las parcelas de caqui.....	41
Tabla 3.6. Resumen seguimiento de las parcelas.....	41
Tabla 3.7. Tipos de muestras de la población analizada.....	42
Tabla 3.8. Resumen de los parámetros del suelo medidos, tipos de análisis y métodos.....	42
Tabla 3.9. Resumen de tratamientos: parcelas, puntos de control y cubiertas vegetales.....	45
Tabla 3.10. Escala de abundancia-dominancia de Braun-Blanquet.....	48
Tabla 3.11. Grados de presencia o predominancia, Alcaraz, 2013.....	48
Tabla 3.12. Grados de fidelidad, Alcaraz, 2013.....	49
Tabla 3.13. Contenido de nutrientes en hojas de caqui en Valencia	51
Tabla 3.14. Sensores de humedad del suelo en la parcela de La Granja, en diferentes calles con cubiertas vegetales de Leguminosas (L), de Gramíneas (G) y Flores (F), a diferentes profundidades.....	53
Tabla 3.15. índices ecomorfológicos (EMI) de grupos de microartrópodos edáficos	56
Tabla 3.16. Carácter de los colémbolos y valor de los EMI.....	57

Tabla 3.17. Carácter de grupos de microartrópodos.....	57
Tabla 3.18. Compuestos analizados entre herbicidas, insecticidas y fungicidas..	63
Tabla 3.19. Condiciones de optimización del HPLC/MS/MS.....	65

RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 4.1. Estadísticos descriptivos de los valores de MOS de los análisis de laboratorio clásicos, a) valores brutos, b) valores normalizados.....	78
Tabla 4.2. Valores en el contenido de MOS por cubierta y periodo de muestreo, en la parcela de la Granja y Cargol, comparando con espontánea y herbicida (en 2023).....	79
Tabla 4.3. Valores en el contenido de MOS en las cubiertas más representativas y periodo de muestreo, por parcela, expresando la desviación estándar.....	80
Tabla 4.4. Valores del contenido de MOS, por cubierta y periodo de muestreo, (en 2023 y 2024), medidas con espectrorradiómetro.....	82
Tabla 4.5. MOS incorporado al suelo entre el periodo inicial y final de 2023 (enero-noviembre).....	86
Tabla 4.6. MOS incorporado al suelo entre el periodo 2023-2024, tras el enterramiento y la resiembra de las cubiertas en la Granja.....	86
Tabla 4.7. Valores de contenido de CBM en suelos por cubierta vegetal y parcela, comparando con las cubiertas espontáneas y tratamiento herbicida.....	88
Tabla 4.8. Valores de contenido de COS en suelos por cubierta vegetal y parcela, comparando con las cubiertas espontáneas y tratamiento herbicida.....	88
Tabla 4.9. Valores en η moles, obtenidos con las tiras reactivas API en las parcelas de la Granja y Cargol comparando con las cubiertas espontáneas y el tratamiento herbicida.....	89
Tabla 4.10. Número de artrópodos totales y QBS-ar total por muestreo realizado.....	90
Tabla 4.11. QBS-ar de las cubiertas más representativas por parcela y periodo muestreado.....	91
Tabla 4.12. Valores de QBS-ar de colémbolos y ácaros de las parcelas de la Granja y Cargol.....	92

Tabla. 4.13. QBS-ar, medido en las cubiertas vegetales en la Granja en el periodo enero-noviembre 2023 y abril-2024.....	93
Tabla 4.14. CO ₂ medio (gr CO ₂ / m ² y hora), medido en las cubiertas vegetales, en el periodo de muestreo.....	94
Tabla. 4.15. CO ₂ medio (gr CO ₂ / m ² y hora), medido en las cubiertas vegetales en la Granja en el periodo enero-noviembre 2023 y abril-2024.....	95
Tabla 4.16. Humedad (m ³ /m ³) del suelo en la parcela de la Granja en el periodo abril-noviembre 2023.....	95
Tabla 4.17. Conductividad eléctrica medida en mS/cm, según sensor de humedad, en las cubiertas estudiadas.....	99
Tabla 4.18. Temperatura del suelo para las cubiertas vegetales de Leguminosas, Gramíneas y Flores en la Granja.....	101
Tabla 4.19. Resultados del análisis foliar del caqui respecto de las cubiertas más representativas.....	104
Tabla 4.20. Concentración (ppb) de fitosanitarios en las parcelas de Herbicidas-1 y Herbicidas-2.....	105
Tabla 4.21. Resultados de la biomasa vegetal, por cubierta vegetal sembrada predominante.....	107
Tabla 4.22. Datos más representativos de la estandarización de los índices satelitales para un tamaño de muestra= 30.....	115
Tabla 4.23. Correlaciones de MOS normalizado con NDVI, obtenido a partir de las imágenes de dron en los muestreos de junio y noviembre de 2023, y abril de 2024.....	117
Tabla 4.24. Correlaciones de MOS normalizado con NDVI, obtenido a partir de las imágenes de dron por parcela.....	117
Tabla 4.25. Correlaciones de MOS normalizado con NDVI, obtenido a partir de las imágenes de dron por cubierta vegetal.....	118
Tabla 4.26. Coste por parcelas según el periodo de implantación y mantenimiento de las cubiertas.....	119
Tabla 4.27. Coste por ha en las parcelas del ensayo.....	120

Tabla 4.28. Coeficientes de correlación para la respiración con los parámetros biológicos.....	124
--	-----

Tabla 4.29. Correlaciones entre algunos de los parámetros estudiados de las propiedades del suelo e índices de vegetación.....	128
--	-----

ANEJOS

Tabla 8.1. Valores brutos de parámetros analizados en el laboratorio.....	150
---	-----

Tabla 8.2. Análisis de Varianza.....	153
--------------------------------------	-----

Tabla 8.3. Estadísticas de los parámetros analizados en el laboratorio.....	154
---	-----

Tabla 8.4. Conductividad eléctrica a diferentes profundidades del suelo bajo las cubiertas vegetales.....	156
---	-----

Tabla 8.5. Valores de Humedad del suelo bajo las cubiertas vegetales en todo el periodo.....	157
--	-----

Tabla 8.6. Datos generales de QBS-ar por cubierta vegetal, de todo el periodo.....	159
--	-----

Tabla 8.7. Valores de QBS-ar con muestras compuestas.....	160
---	-----

Tabla 8.8. Resumen de valores QBS-ar con muestras compuestas por cubiertas y parcelas de Cargol y Granja.....	161
---	-----

Tabla 8.9. Valores de QBS-ar, del micro ensayo realizado en la parcela de la Granja.....	162
--	-----

Tabla 8.10. Valores obtenidos con las imágenes de satélite de los índices de vegetación y MOS.....	163
--	-----

Tabla 8.11. Estadísticas de los valores de los índices de vegetación y MOS, Número muestras = 30.....	164
---	-----

Tabla 8.12. Análisis de Varianza de los índices de vegetación y MOS.....	164
--	-----

Tabla 8.13. Estadísticas de los valores de los índices de vegetación y MOS.....	165
---	-----

Tabla 8.14. Análisis de Varianza.....	176
---------------------------------------	-----

Tabla 8.15. Estadísticas de los parámetros analizados con espectrorradiómetro.....	176
--	-----

Tabla 8.16. Herbicidas, aplicaciones, precio y coste.....	178
---	-----

Tabla 8.17. Coste de mano de obra por aplicación herbicida.....	178
Tabla 8.18. Coste total de la aplicación de herbicida y mano de obra por parcela.....	178
Tabla 8.19. Coste total de la siembra.....	178
Tabla 8.20. Coste de la siembra por parcela.....	179
Tabla 8.21. Coste total de mantenimiento de las cubiertas vegetales.....	179
Tabla 8.22. Coste de mantenimiento de las parcelas en el Año 1.....	179
Tabla 8.23. Coste de mantenimiento de las parcelas en el Año 2.....	179
Tabla 8.24 Coste de mantenimiento de las parcelas en el Año 3 y sucesivos....	179
Tabla 8.25. Coste total de siembra y mantenimiento de las cubiertas vegetales por parcela y año.....	180
Tabla 8.26. Coste total de siembra y mantenimiento de las cubiertas vegetales por ha y año.....	180

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1.1. Composición de un suelo fértil, la biomasa y los procesos y productos llevados a cabo por los microorganismos. Porcentajes en peso seco..4	
Figura 1.2. Mesofauna del suelo en cultivo de caqui con cubiertas vegetales.....8	
Figura 1.3. Parcelas de caqui con diferentes coberturas vegetales.....12	
Figura 1.4. Especies de plantas con Flores empleadas como cubiertas vegetales. Ensayo del IVIA, en 2024.....14	
Figura 1.5. Parcela de caqui con cubierta vegetal de Flores.....17	
Figura 1.6. Esquema del balance de energía solar.....22	
Figura 1.7. Firmas espectrales de la hierba verde, senescente y suelo desnudo..23	
Figura 1.8. Mapas generados con las imágenes de satélite Sentinel-2.....24	
Figura 1.9 Satélites y los usos más frecuentes en agricultura y medioambiente.25	
Figura 1.10. Resultados del procesamiento de imágenes con el programa SNAP.....26	
Figura 1.11. Correlación del índice NDVI con la salud de las plantas.....26	
Figura 1.12. Materia-energía.....27	
Figura 1.13. Firma espectral de la calcita.....28	

METODOLOGIA

Figura 3.1. Localización de las parcelas de ensayo en L'Alcúdia y Alginet.....35	
Figura 3.2. Diferentes estados de las parcelas en los inicios del ensayo: a) Suelo desnudo con uso de herbicidas, b) Suelo con restos de poda, c) y d) parcelas con vegetación espontánea.....36	
Figura 3.3. Semillas de <i>Onobrychis viciifolia</i> , Scop (O) + <i>Vicia sativa</i> , L. (V) + <i>Trifolium alexandrinum</i> , L. (T).....38	
Figura 3.4. Siembra de las parcelas de La Granja y Cargol con abonadora manual.....38	
Figura 3.5. Cronograma de trabajos de las parcelas de la Granja y Cargol.....39	

Figura 3.6. Cronograma de trabajos de las parcelas de Alginet y Herbicidas.....	39
Figura 3.7. Diferentes periodos de crecimiento y siega de las cubiertas con maquinaria.....	40
Figura 3.8. Puntos de muestreo representativos de las parcelas experimentales de L'Alcúdia (A) y Alginet (B). En rojo los puntos de muestreo iniciales, en amarillo 62 puntos de muestreo	43
Figura 3.9. Obtención de muestra para análisis de suelo.....	44
Figura 3.10. Medidor de CO ₂ portátil.....	47
Figura 3.11. Muestreo de biomasa aérea en campo.....	49
Figura 3.12. Periodo de fructificación del caqui.....	50
Figura 3.14. Colocación de los sensores de humedad en el suelo y recogida de datos.....	52
Figura 3.15. Extracción de carbono y materia orgánicos mediante el método de Walkley-Black.....	54
Figura 3.16. Gráfico de aplicación del embudo de Berlese.....	56
Figura 3.17. Embudos de plástico utilizados como embudos Berlese para la obtención de artrópodos.....	56
Figura 3.18. Procedimiento de extracción de enzimas (a) tamizado, b) centrifugado, c) filtrado, d) lectura.....	59
Figura 3.19. Extracción y fumigación de muestras para la obtención del Carbono de la biomasa microbiana.....	60
Figura 3.20. Interfaz para la descarga de imágenes de satélite con Google Earth Engine.....	68
Figura 3.21. Obtención de la capa de puntos en QGIS.....	68
Figura 3.22. Cámara multiespectral con las distintas bandas.....	69
Figura 3.23. Procedimiento del vuelo del dron en las parcelas de ensayo.....	71
Figura 3.24. Fotografía de dron con uno de los objetivos utilizados para la georreferenciación y orientación de las imágenes del vuelo.....	71
Figura 3.25. Preparación de las muestras en laboratorio de espectrorradiometría.....	73

Figura 3.26. Procedimiento de medición de espectros de suelo con espectrorradiómetro.....	74
---	----

RESULTADOS Y DISCUSION

Figura 4.1. Valores de contenido de MOS en los suelos con cubiertas O+V+T y Gramíneas, Flores, espontáneas y herbicida por periodos de muestreo, en el año 2023.....	80
--	----

Figura 4.2. Comparación del contenido de MOS en los suelos con las cubiertas vegetales mayoritarias en las parcelas de la Granja y Cargol, con las espontáneas de Alginet y las parcelas con herbicida, (en 2023).....	81
--	----

Figura 4.3. Comparación del contenido de MOS en los suelos con las cubiertas vegetales mayoritarias en las parcelas de La Granja y Cargol, con las espontáneas y las parcelas con herbicida, tras de la resiembra de la cubierta en La Granja en 2024.....	82
--	----

Figura 4.4. Niveles de materia orgánica según el periodo de muestreo y su desviación estándar, para la parcela la Granja.....	83
---	----

Figura 4.5. Niveles de materia orgánica según el periodo de muestreo y su desviación estándar, para la parcela Cargol.....	83
--	----

Figura 4.6. Relación del contenido de MOS observada y MOS calculada en los suelos experimentales para los datos de los cuatro muestreos anuales, medida mediante análisis de laboratorio.....	84
---	----

Figura 4.7. Relación del contenido de MOS observada y MOS calculada para los datos agrupados de los suelos de las parcelas experimentales en los cuatro muestreos anuales, medida con el espectrorradiómetro.....	85
---	----

Fig 4.8. Distribución del Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM) en las muestras de suelo agrupadas en las parcelas experimentales.....	87
---	----

Fig 4.9. Distribución Carbón Orgánico Soluble (COS) para las muestras de suelo agrupadas, en las parcelas experimentales.....	87
---	----

Fig 4.10. Actividad enzimática en suelo, para las cubiertas vegetales al final del cuarto muestreo.....	89
---	----

Figura 4.11. a) Ácaro Oribátido y b) Ácaro Gamásido y c) Colémbolo.....	90
---	----

Figura 4.12. QBS-ar de los suelos de las cubiertas más representativas sembradas comparando con espontáneas y tratamiento herbicida.....	92
--	----

Figura 4.13. Curvas de regresión para MOS con BSQ-ar, con medias de 10 tipos de datos de cubiertas verdes (O+V+T, O, V, T, O+V, O+T, Gramíneas, Flores, Espontáneas, Tratamientos herbicidas), de los huertos de Granja, Cargol y Alginet.....	93
Figura 4.14. Comparación de las medias de los niveles de CO ₂ medido en las distintas cubiertas vegetales.....	94
Figura 4.15. Curvas de regresión para MOS y CO ₂ , de todos los puntos de muestreo y parcelas.....	96
Figura 4.16 Contenido de agua en un suelo con cubierta vegetal con una mezcla de Leguminosas.....	97
Figura 4.17. Contenido de agua en el suelo con una cubierta vegetal de una mezcla de Gramíneas.....	97
Figura 4.18 Contenido de agua en el suelo con una cubierta verde de Flores....	98
Figura 4.19. Curvas de regresión para MOS y CE, obtenida mediante espectrorradiómetro, con mezclas compuestas de suelo.....	99
Figura 4.20. Curvas de regresión para MOS y pH, obtenida mediante espectrorradiómetro, con mezclas compuestas de suelo.....	100
Figura 4.21. Relación C/N para las cubiertas más representativas del experimento (con las medias de las muestras básicas).....	101
Figura 4.22. Curvas de regresión para MOS y C/N, de todos los puntos de muestreo y parcelas.....	102
Figura 4.23 Curvas de regresión para MOS y C/N, obtenida mediante espectrorradiómetro, con mezclas compuestas de suelo.....	102
Figura 4.24. Porcentaje de N para las cubiertas más representativas del experimento (con las medias de las muestras básicas).....	103
Figura 4.25. Comparativa de las concentraciones de fitosanitarios (ppb) en los suelos de las parcelas de Herbicidas-1 y Herbicidas-2.....	105
Figura 4.26. Concentración en los suelos, en ppb, del herbicida Oxifluorfen empleado en las parcelas Herbicidas-1 y Herbicidas-2.....	106
Figura 4.27. Concentración en los suelos, en ppb, del herbicida Glifosato empleado en las parcelas Herbicidas-1 y Herbicidas-2.....	106

Figura 4.28. Floración de las cubiertas vegetales sembradas de Leguminosas (a, c), Gramíneas (e) y Flores (b, d).....	108
Figura 4.29. Gráfico que muestra el QBS-ar para los periodos estudiados de 2023 en la parcela de la Granja.....	109
Figura 4.30. Materia orgánica en las cubiertas y plots estudiados en la parcela de la Granja.....	109
Figura 4.31. NDVI para la parcela de la Granja, Cargol y Herbicida-1, obtenido con imágenes de Sentinel-2.....	110
Figura 4.32. NDVI para la parcela de la Granja y las parcelas colindantes, imágenes de dron (junio 2023).....	111
Figura 4.33. NDVI para las parcelas de Cargol y herbicida-1, obtenido con imágenes de dron (junio 2023).....	111
Figura 4.34. NDVI para la parcela de Alginet-1, Alginet-2 y Herbicida-2, obtenido con imágenes de dron (noviembre 2023).....	112
Figura 4.35. NDVI para la parcela de la Granja y las parcelas colindantes, obtenido con imágenes de dron (abril 2024).....	112
Figura 4.36. NDVI para la parcela de Cargol y Herbicida-1, obtenido con imágenes de dron (abril 2024).....	113
Figura 4.37. Índices BSI, MSI, NDWI, RVI, SAVI y NDVI medidos en las parcelas con imágenes Sentinel-2.....	113
Figura 4.38. NDVI de las parcelas, obtenido a partir de las imágenes satélite Sentinel-2.....	116
Figura 4.39. NDVI de las parcelas, obtenido a partir del segundo vuelo de dron en nov-23.....	118
Figura 4.40. Análisis de componentes principales de la actividad biológica.....	125
Figura 4.41. a) Raíces de Leguminosas, b) Raíces pivotantes de especies florales, c) Raíces de Gramíneas.....	126
ANEJOS	
Figura 8.1. Residuos del análisis estadístico de MOS con los parámetros de Suelo.....	154

Figura 8.2. Temperaturas del suelo bajo las cubiertas vegetales a diferentes profundidades.....	155
Figura 8.3 Humedad del suelo a diferentes profundidades del suelo bajo las cubiertas vegetales.....	157
Figura 8.4. Artrópodos observados en los extractos de suelo, en diferentes periodos: a) Colémbolos, b) ácaros Gamásidos, c) ácaros Oribátidos, d) Arácnidos, e) Nemátodos, f) Hormigas.....	158
Figura 8.5. Resultados de QBS-ar de la parcela de la Granja, comparando con espontáneas y herbicidas.....	159
Figura 8.6. Resultados de QBS-ar de la parcela de Cargol, comparando con espontáneas y herbicidas.....	160
Figura 8.7. Valores por periodo de las muestras compuestas de la parcela de la Granja.....	161
Figura 8.8. Valores por periodo de las muestras compuestas de la parcela de Cargol.....	161
Figura 8.9. Resultados comparativos de QBS-ar del micro ensayo realizado en la parcela de la Granja.....	162
Figura 8.10. Cuadro diálogo de Python para seleccionar una carpeta con ficheros ASD.....	168
Figura 8.11. Gráfica con los espectros leídos desde ficheros ASD.....	168
Figura 8.12. Gráfica y detalles del espectro con la corrección de saltos entre las longitudes de onda 1000 nm y 1800 nm.....	169
Figura 8.13 Gráfico de sedimentación de la variable SOC.....	173
Figura 8.14. Gráfico de validación cruzada de la variable SOC con 6 componentes PLSR.....	174
Figura 8.15. Valores predichos de MOS con respecto a los valores observados.....	177
Figura 8.16. Análisis estadístico de Residuos de MOS con los parámetros de suelo.....	177

ABREVIATURAS

ADV	Agrupaciones de Defensa Vegetal
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
API-ZYM	Tiras reactivas de valoración de la actividad enzimática
ATRIA	Agrupaciones de Tratamientos Integrados
B	Boro
B	Banda
BCAM	Buenas condiciones agrícolas y medioambientales
BSI	Índice de suelo desnudo
C/N	Relación carbono y nitrógeno
Ca	Calcio
CBM	Carbono de la biomasa del suelo
CE	Conductividad eléctrica
CO ₂	Anhídrido carbónico
Corg	Carbono orgánico
COS	Carbono orgánico soluble en agua
COt	Carbono orgánico total
Cox	Carbono oxidable
Cu	Cobre
DANA	Depresión Aislada de Niveles Altos
EEC	Comunidad Económica Europea
EMI	Índice ecomorfológico
EOS	Portal de análisis de datos
Espons.	Esponáneas
ETSIAMN	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural
EVI	Índice De Vegetación Mejorado
F	Mezcla de Leguminosas, Gramíneas y Flores
F	fumigada
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fe	Hierro
FEADER	Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

Gestión de la Mejora del Suelo con Herramientas de Geoprocesamiento

Figura	Figura
G	Gramíneas
GNDVI	Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada Verde
Herb.	Herbicidas (suelo desnudo)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
K	Potasio
LMR	Límite Máximo de Residuos
Mg	Magnesio
MOS	Materia orgánica del suelo
MP	Megapíxeles
MSI	Índice de estrés hídrico
N	Nitrógeno
NDVI	Índice de diferencia vegetativa normalizado
NDWI	Índice diferencial de agua normalizado
NF	no fumigada
O	Onobrychis vicifolia
O+T	Mezcla de Onobrychis y Trifolium
O+V	Mezcla de Onobrychis y Vicia
O+V+T	Mezcla de Onobrychis, Vicia y Trifolium
P	Fósforo
PAC	Política Agrícola Común
QBS-ar	Índice de calidad biológica del suelo
QGIS	Sistema de Información Geográfica Quantum GIS
R2	Coeficiente de correlación
S	Azufre
SAVI	Índice de vegetación ajustado
SWIR	Infrarrojo cercano de onda corta
T	Trifolium alexandrinum
T °C	Temperatura en grados centígrados
TXT	Formato de texto
UAV	Vehículo aéreo no tripulado

Gestión de la Mejora del Suelo con Herramientas de Geoprocesamiento

USB	Universal Serial Bus
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
V	Vicia sativa
XLSX	Formato de Excel
Zn	Zinc

UNIDADES DE MEDIDA

%	Porcentaje
€/ha	euros por hectárea
µg*kg ⁻¹ (pss)	microgramos por kilogramo de suelo seco
cm	centímetro
EC	energía de colisión
g	gramos
gr CO ₂ * m ⁻² * h ⁻¹	gramos de anhídrido carbónico por metro cuadrado y hora
G	RCF o Fuerza G = 1.12 X Radio (mm) X (RPM/1000) ²
ha	hectárea
Kg	kilogramo
L	litro
m	metro
M	Molar
m/z	relación masa/carga de ion
m ²	metro cuadrado
m ³ /m ³	metros cúbicos
mg C/g ss	miligramos de carbono por gramo de suelo seco
ml	mililitro
mm	milímetro
mS/cm	miliSiems por centímetro
N	Normal

nm	nanómetro
PD	potencial de desfragmentación
ηmoles	nano moles
μl	microlitro