

Universidad Miguel Hernández de Elche

Facultad de Ciencias Experimentales

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**Análisis visual de la calidad del suelo según el tipo
de manejo agrícola: sostenible frente a tradicional**

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

Trabajo de fin de grado

Julio 2021

Autora: Belén García Corbí

Tutora: Fuensanta García Orenes

Área de Edafología y Química Agrícola

Resumen

Cuando hablamos de la calidad de un suelo hay que tener en cuenta que para su evaluación existen varias técnicas que podemos clasificar entre analíticas y visuales. La calidad de los suelos agrícolas depende del estado de sus propiedades, que pueden verse afectadas según el tipo de práctica de cultivo empleada.

En este proyecto, nos centramos en determinar si las técnicas visuales aportan información suficiente y relevante como para establecer la calidad de los suelos agrícolas, comparando cultivos sostenibles y tradicionales. En nuestro caso, aportamos nuevos datos tomados en octubre de 2018 de diferentes localizaciones distribuidas a lo largo de las provincias de Alicante, Murcia y Valencia. Estos datos han servido como base para el desarrollo y actualización del proyecto ISQAPER (Interactive Soil Quality Assessment in Europe and China for Agricultural Productivity and Environmental Resilience) y de su APP "SQ APP". A partir de los experimentos realizados, mostraremos que el análisis de la calidad del suelo con técnicas visuales es una buena alternativa, más rápida, cómoda y económica que el empleo de técnicas analíticas de laboratorio. Asimismo, aportamos la realización de medidas adicionales de diferentes parámetros en el laboratorio, que corroboran que una práctica de cultivo ecológica mejora las propiedades de calidad del suelo, destacando su estructura.

Palabras clave: agricultura; sostenible: ecológica/orgánica; calidad del suelo; técnicas visuales; manejo agrícola.

Abstract

When we talk about the quality of a soil we need to consider different techniques for quality determination, which we can classify as either visual or analytical techniques. Agricultural soil quality is a property that could be affected by the type of growing practice used.

In this project we focus on determining if the visual techniques provide sufficient and relevant information to establish the quality of agricultural soils, which allow us to compare organic/ecological and traditional crops. In our case we thus provide new data taken in October 2018 from different locations distributed throughout the provinces of Alicante, Murcia and Valencia. This data has served as the basis for the development and updating of the ISQAPER project (Interactive Soil Quality Assessment in Europe and China for Agricultural Productivity and Environmental Resilience) and its "SQ APP" APP. From the experiments carried out, we will show that soil quality analysis with visual techniques is a good alternative, as it is faster, more comfortable and more economical than the use of analytical techniques measured in the laboratory. Furthermore, additional measures of different parameters are provided in the laboratory, which confirm that an ecological growing practice improves key quality metrics of the soil relevant to its structure.

Keywords: agriculture; sustainable; ecological/organic; soil quality; visual soil assessment; soil management.

Agradecimientos

En primer lugar, doy las gracias a todos los agricultores que se han prestado a colaborar en la realización del presente estudio. Gracias a su trabajo, esfuerzo y dedicación.

Agradezco también al proyecto ISQAPER y al programa horizonte 2020 de la Unión Europea para la investigación y la innovación en virtud del acuerdo de subvención nº 63570, por proporcionar el apoyo financiero y el apoyo en el campo.

A mi tutora, Fuensanta García Orenes por darme la oportunidad de trabajar con ella y su paciencia. Por su esfuerzo, apoyo y la confianza depositada en mí.

A Vicky Arcenegui por guiarme y enseñarme en el campo. A Alicia Morugán por su disposición y dedicación en el laboratorio así como las sesiones de campo.

Gracias a todos mis profesores de la carrera, que de cada uno de ellos me llevo algo para la vida.

A mis compañeros de la facultad, especialmente a Tomás por motivarme a realizar este estudio.

A Ceci y a Ana, por darme las herramientas para seguir adelante.

A Gema, por su apoyo constante, sin ella esto no hubiera sido posible. A Loli y su familia por la acogida con la que cualquiera podría soñar.

A mis abuelas, mis padres y mis hermanos. Y en especial a Yasmin.

A mi gente por su apoyo y ánimos durante este tiempo. En particular a A. por sus métodos de contención.

Gracias a todos, de corazón. Sin vosotros estas líneas nunca hubieran sido escritas.

Índice

Análisis visual de la calidad del suelo según el tipo de manejo agrícola: sostenible frente a tradicional

1. Introducción y antecedentes	4
1.1 La región Mediterránea y su evolución con la agricultura	4
1.2 La agricultura ecológica en España	6
1.3 Proyecto ISQAPER	13
2. Objetivos	13
3. Materiales y métodos	14
3.1 Evaluación de la calidad del suelo mediante técnicas visuales	14
3.2 Zonas de estudio	16
3.2.1. Localización geográfica.	16
3.2.2. Climatología	17
3.2.3. Edafología	18
3.2.4. Geología y geomorfología	18
3.3 Diseño experimental	19
4. Resultados y discusión	21
4.1 Análisis de la calidad del suelo mediante técnicas visuales	21
4.2. Estudio de la evolución de la calidad del suelo mediante técnicas visuales	24
4.3 Análisis de la calidad del suelo mediante técnicas analíticas	26
4.4. Análisis de la importancia de los parámetros analizados	29
5. Conclusiones y proyección futura	30
6. Bibliografía	31
Índice de figuras y tablas	35
Glosario	36
Apéndice: Protocolo de técnicas VSA para el análisis visual del suelo	37

1. Introducción y antecedentes

1.1 La región Mediterránea y su evolución con la agricultura.

Desde hace milenios la agricultura ha estado asociada a la actividad y a la presencia del hombre. El hecho de que la región mediterránea presente unas condiciones de temperatura y humedad que se podrían catalogar como semiáridas, ha resultado en prácticas agrícolas que han podido favorecer los procesos de degradación de los suelos en esta región mediterránea (Caravaca y cols, 2002).

El suelo es un agente esencial para la vida: éste interviene tanto en el ciclo del agua, como en el ciclo del carbono, así como en el ciclo del nitrógeno y el fósforo (entre otros elementos). Además en él ocurren gran parte de las transformaciones de materia y energía de los ecosistemas. Y como ya sabemos, el suelo tiene la capacidad de proporcionar la absorción de agua y nutrientes a las plantas, y es el elemento principal para la producción agrícola actuando de soporte físico del mismo recibiendo sus residuos y ejerciendo de filtro depurador protegiendo así las aguas subterráneas de contaminación (FAO, 2015).

Cuando hablamos de agricultura intensiva, hablamos de un continuo y progresivo deterioro del suelo debido a un desequilibrio del sistema suelo que se puede apreciar en alteraciones a las plantas, quienes presentan debilidad frente a los cambios agroclimáticos y en consecuencia frente a plagas y enfermedades (Flórez, 2009).

El suelo es sensible a los procesos de degradación y destrucción que muchas veces ocurren, y debido a que su tasa de regeneración es muy lenta es considerado un recurso no renovable y cada vez más escaso. En este caso, hay que destacar que la productividad del suelo depende del estado de conservación del mismo y de sus cualidades, es por ello que los suelos agrícolas son especialmente sensibles a la degradación (Meco-Murillo y cols, 2011).

La contaminación de los suelos, el aumento de plagas y enfermedades, la pérdida de biodiversidad espacial y temporal y también de materia orgánica, son consecuencias derivadas de diferentes prácticas de la agricultura intensiva en los suelos, como son: el laboreo intensivo con tendencia al monocultivo en grandes áreas de suelo, y la aplicación de fertilizantes, pesticidas y herbicidas que ha producido una aceleración en los procesos de erosión alterando así la estructura del suelo (Meco-Murillo y cols, 2011).

A continuación, destacamos los factores que favorecen la degradación del suelo en la región mediterránea (Cerdà y cols, 2009; Barbera y cols, 2013; Jones y cols, 2014):

- Las condiciones climatológicas: encontrándonos con más de tres mil horas de sol anuales, y una temperatura media anual en verano de 16° C o 17° C (con máximas puntuales de hasta 42 ° C). Esto provoca la evapotranspiración, agotando así el agua disponible para las plantas

de los primeros horizontes, con el consiguiente riesgo de salinización del suelo, además de favorecer la rápida oxidación de la materia orgánica.

- Además se trata de una región con una gran variabilidad e irregularidad de precipitaciones, con largos periodos de sequía durante todo el año interrumpidos por lluvias de diferente intensidad que a veces son torrenciales, las cuales incrementan la erosión causada por escorrentía superficial y además limitan la necesaria infiltración.
- La naturaleza de los materiales litológicos, tales como: rocas carbonatadas, margas y sedimentos cuaternarios sensibles a la erosionabilidad y degradación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- El relieve (la orografía) propio de la región mediterránea con altas y medias pendientes, junto a las condiciones medioambientales mencionadas arriba, intensifican la erosión edáfica.
- A lo largo de la costa mediterránea se puede observar un aumento de la degradación del suelo, debido a un cambio en los usos del mismo con el tiempo, pero también debido a la constante recalificación de terrenos y una agricultura milenaria que ha transformado constantemente la cubierta vegetal.

Diferentes factores como la porosidad, la presencia tanto de microorganismos como de materia orgánica, y la composición del suelo deben mantenerse estables dentro de unos parámetros para que el suelo sirva de medio protector de una gran diversidad de microorganismos y cumpla efectivamente todas sus funciones. Según el tipo de manejo agrícola que se aplique los suelos evolucionan en un sentido u otro (García-Orenes y cols, 2010), pudiendo afectar notablemente a sus propiedades (García-Orenes y cols, 2009).

Por ello, métodos inadecuados en el manejo del suelo pueden provocar diferentes problemas como: la aceleración de los procesos de degradación y compactación; la erosión; la acidificación del medio y su contaminación tanto por metales pesados, como por plaguicidas, o por contaminantes orgánicos, nitratos y fosfatos; pérdida de materia orgánica; salinización o encharcamiento del suelo.

Debido a esta situación de alteración de los sistemas agrarios y a la consiguiente disminución de la productividad en los cultivos alimenticios, surge la necesidad de llevar a cabo una agricultura sostenible que cumpla los siguientes objetivos básicos (Flórez, 2009).

- La protección del medio ambiente y conservación de los recursos naturales permitiendo una producción continua y manteniendo el sistema estable para que no se resienta.
- La viabilidad económica para el mantenimiento estable del sistema de producción utilizando recursos externos al sistema y gestionándolos para que no se agoten. Además del mantenimiento económico de quien maneja los sistemas de producción.

1.2 La agricultura ecológica en España.

La Unión Europea considera que los términos “biológica”, “ecológica” y “orgánica” referidos a la agricultura se pueden usar como sinónimos, siendo intercambiables. La agricultura ecológica o agroecología está basada en una serie de técnicas agrarias (Tabla 1), en las cuales se excluye normalmente el uso, tanto en agricultura como en ganadería, de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc., con el objetivo de conservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales (MAGRAMA, 2009).

La agroecología surge ante la búsqueda de alternativas para desarrollar agroecosistemas resilientes frente al cambio climático, que contribuyan al desarrollo en el medio rural y que, al mismo tiempo, sean capaces de producir suficientes alimentos para alimentar a la población mundial, todo ello dentro de un marco de sostenibilidad (Esquinas, 2013).

Por lo tanto, la agroecología o agricultura ecológica implica un cambio en la mentalidad tradicional así como un conocimiento más profundo del sistema suelo, sus diferentes componentes, y sus ciclos bióticos. Respetando al suelo y manteniéndolo en su mejor marco de sostenibilidad posible, en lugar de tratar de dominar al sistema suelo y tratándolo en la medida de lo posible como un sistema cerrado, sobre todo en lo referente a la materia y a los nutrientes. Esto es, trabajar de acuerdo al ecosistema preservando sus recursos naturales y manteniendo su equilibrio. Mediante la agroecología se obtienen alimentos orgánicos que, según afirma la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), tienen mayor concentración de nutrientes (calcio, magnesio, hierro) y menor nivel de toxicidad que los cultivados en la agricultura tradicional.

Tabla 1. Principales técnicas agrarias en cultivos sostenibles. Modificación de Clavería Campillo, 2016.

Agricultura natural	Este tipo de agricultura no requiere de labranza, fertilizantes o plaguicidas y tampoco de podas. Bajo este manejo se persigue la no alteración del suelo en ningún momento.
Agricultura tradicional con irrigación (Fertirrigación)	Técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes inorgánicos a través del sistema de riego. Se reducen las pérdidas por lixiviación y permite la utilización de fertilizantes naturales.
Biodinámica	Técnica que consiste en mejorar la fertilidad del suelo, mediante aplicación de preparados homeopáticos que logran aumentar la actividad biológica del suelo, la resistencia de las plantas a las plagas y calidad nutritiva de los alimentos, teniendo en cuenta las influencias cósmicas cambiantes.
Permacultura	Desarrollar un diseño de finca para favorecer el ahorro en el trabajo y energía, intentando ser lo más autosuficientes posible, haciendo el mínimo esfuerzo para obtener el máximo rendimiento.
Agroecológica	Integración de la agricultura en el mercado económico. Defiende unas prácticas culturales ecológicas con un consumo responsable, con políticas que beneficien al productor.

Los principales objetivos de la agroecología son (Flórez, 2009):

- No utilizar ningún tipo de producto que pueda ser tóxico o contaminante.
- Controlar las plagas y enfermedades mediante métodos ecológicos previniendo las causas que las originan.
- Frenar la degradación de la estructura del suelo y la erosión del mismo, aplicando correctamente manejos sostenibles y aportando la materia orgánica necesaria.
- Construir y mantener la fertilidad del suelo, a partir de su estudio y sabiendo cómo se deben enfocar los trabajos dirigidos a él, potenciando la vida de sus microorganismos.
- Utilizar las técnicas de cultivo adecuadas:
 - Aportes frecuentes de materia orgánica para sustituir las pérdidas del sistema.
 - Plan de rotaciones adecuadas y aprovechar los restos de las cosechas anteriores.
 - Plan de manejo del suelo ajustado a la situación geográfica y climática de la zona.
 - Mantener el pH dentro de los límites idóneos para el cultivo.
- Producir alimentos de calidad con mayor proporción de materia seca y elementos minerales.
- Usar en la medida de lo posible fuentes de energía renovables.
- Utilizar todos los recursos de forma óptima para conseguir el mayor grado posible de autosuficiencia.

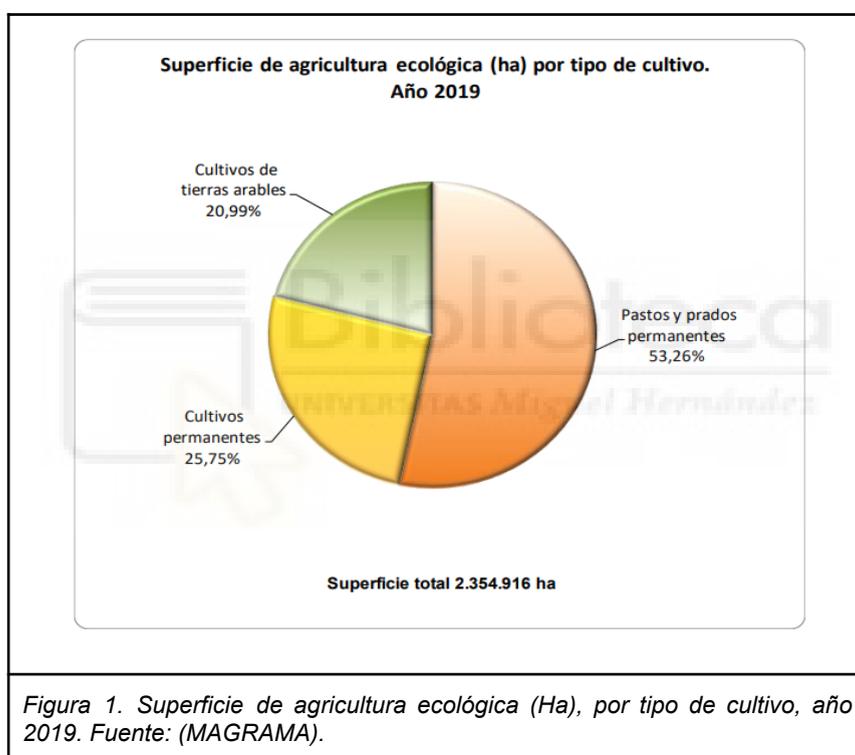
La estructura de la gestión del control oficial de la producción ecológica y la certificación, en nuestro país, está bajo la competencia de las Comunidades Autónomas, responsables de la organización y supervisión del programa de control de la producción ecológica.

Así pues, en la mayoría de las Comunidades Autónomas el control oficial se lleva a cabo a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica territoriales, que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura. Dichas entidades son reconocidas como "Autoridades de Control", a los que la autoridad competente ha conferido su facultad de control, en virtud del artículo 27.4.a) del Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos.

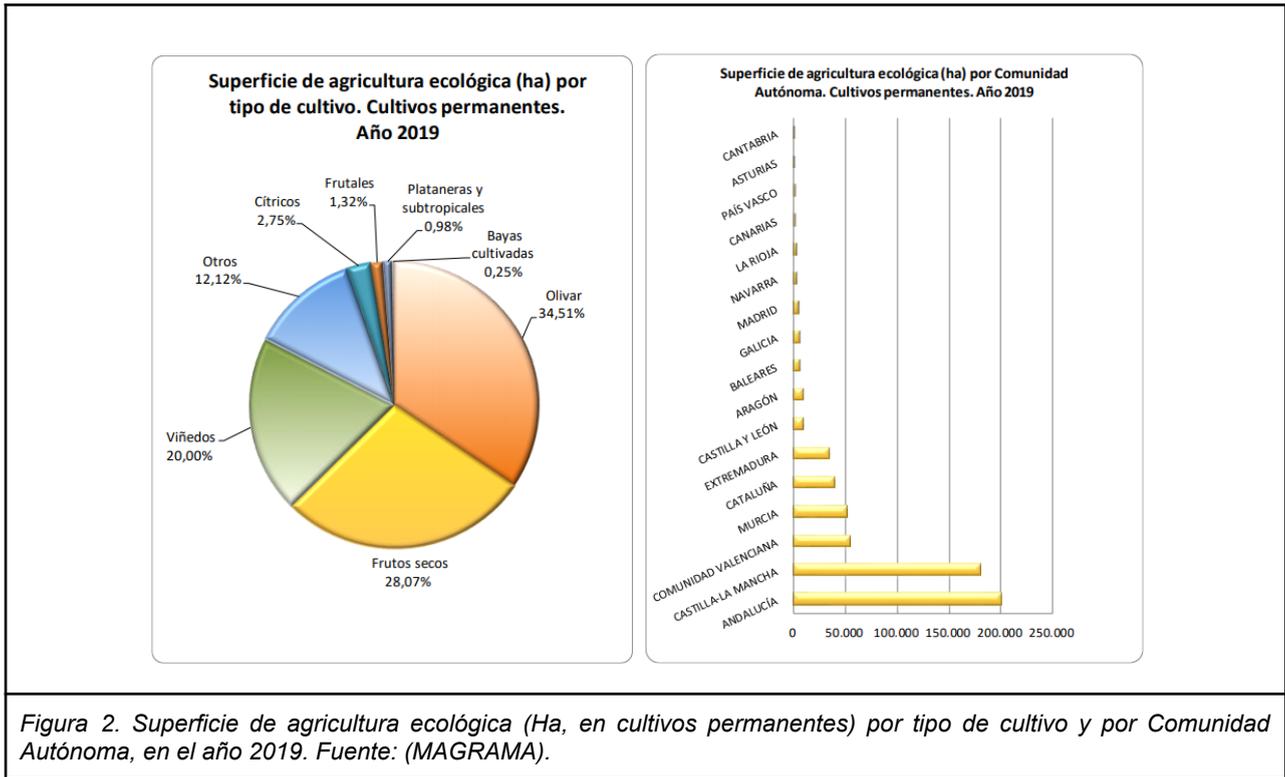
Desde el 1 de enero de 2009, la agricultura ecológica ha estado regulada en España por el Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, el cual derogó el Reglamento (CEE) 2092/91. El Reglamento (CE) N° 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen disposiciones de aplicación del anterior Reglamento (CE) 834/2007, y en el Reglamento (CE) N° 1235/2008 de la Comisión de 8 de diciembre de 2008, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo, en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países. En el año 2018 se aprobó el Reglamento (UE) 2018/848, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos por el cual se deroga el Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo, que tenía la intención de ser aplicado a partir del 1 de enero de 2021.

Aquí debemos parar un momento y reflexionar para así poder comprender que la pandemia de COVID-19 ha dado lugar a unas circunstancias extraordinarias que exigen esfuerzos considerables por parte del sector de la producción ecológica, que no podían preverse razonablemente en el momento de la adopción del Reglamento (UE) 2018/848. El 11 de noviembre de 2020 entra en vigor el Reglamento (UE) 2020/1693 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/848, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos, en lo que respecta a la fecha de aplicación y a otras fechas que en él se mencionan, aplazando así (y en principio) un año la fecha de aplicación del Reglamento (UE) 2018/848.

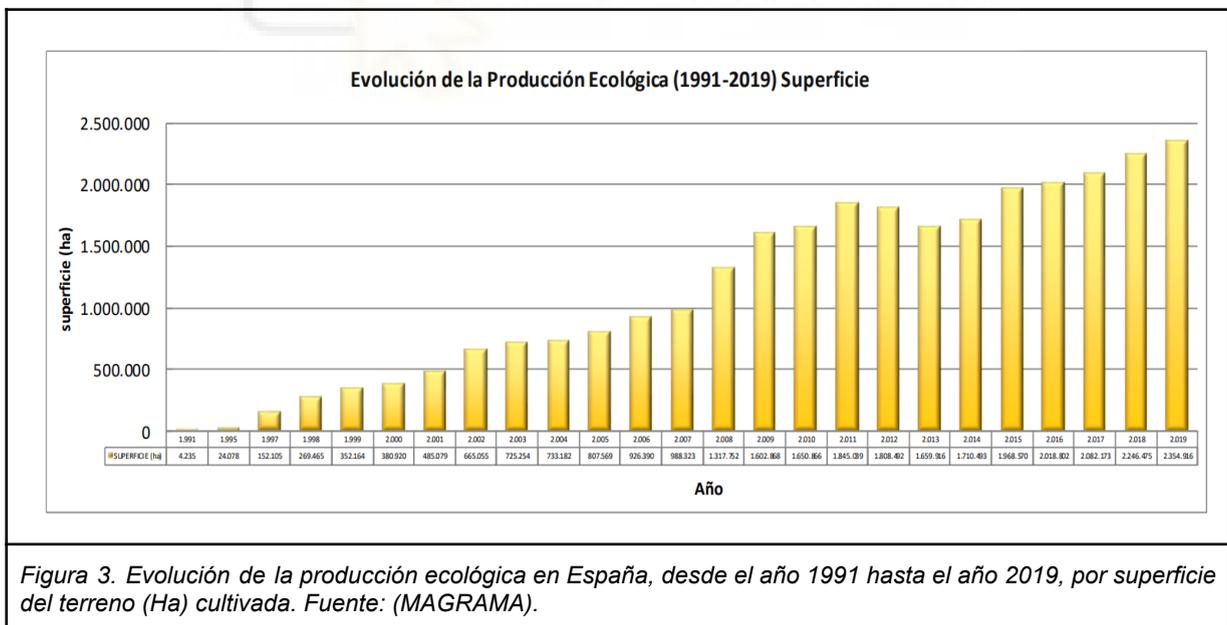
España reúne las condiciones ambientales y tiene la capacidad para el desarrollo de la agricultura ecológica, gracias a la favorable climatología que encontramos en nuestro país y a los sistemas extensivos de producción que se aplican en un gran número de cultivos.



Nos centramos en los cultivos permanentes (Figura 1 y 2), caracterizados por el hecho de que no están incluidos en las rotaciones de cultivo. Una vez plantados, permanecen en el terreno al menos cinco años durante los cuales van proporcionando rendimiento. Se estima que en 2016, había en la UE 11,9 millones de hectáreas de agricultura ecológica, lo que representa un 6,7% del área agrícola total utilizada. De este porcentaje, 4 países representan el 54,4% del área ecológica total de la UE: España (16,9%), Italia (15,1%), Francia (12,9%) y Alemania (9,5%). En 2017, España fue el país de la UE que mayor superficie tenía cubierta de cultivos permanentes, seguido de Italia (Eurostat).



La superficie destinada al cultivo ecológico en España va aumentando poco a poco siguiendo una tendencia desigual. Durante el año 2019, la superficie destinada al cultivo ecológico en España era de 2.354.916 Ha, una cifra un 1.04% superior a la del ejercicio anterior (Figura 3).



Comparando los datos de los últimos 5 años, podemos afirmar que la Comunidad Autónoma de Andalucía sigue encabezando la lista, siendo la comunidad que más superficie destina a la producción ecológica, con respecto al resto de comunidades autónomas (Tabla 2).

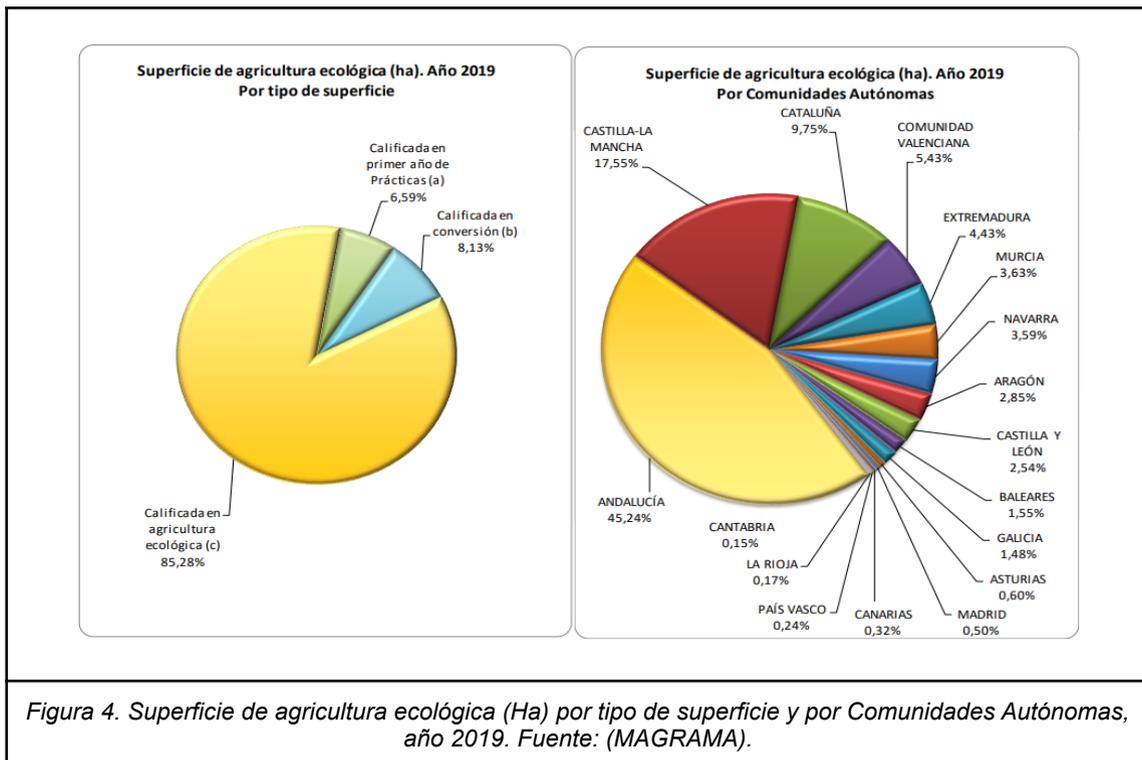
Tabla 2. Superficie de agricultura ecológica (Ha), en España, por tipo de cultivo permanente y Comunidad Autónoma, año 2019. Fuente: (MAGRAMA).

SUPERFICIE DE AGRICULTURA ECOLÓGICA (ha) POR TIPO DE CULTIVO CULTIVOS PERMANENTES. Año 2019									
Comunidad Autónoma	Frutales	Plataneras y frutales subtropicales	Bayas cultivadas	Frutos secos	Cítricos	Viñedos	Olivar	Otros cultivos permanentes	TOTAL (Cultivos permanentes)
ANDALUCÍA	1.276,1977	2.681,2523	1.223,4502	65.639,0339	8.972,5939	1.201,7498	79.760,8950	39.378,5932	200.133,7660
ARAGÓN	820,7250	60,7456	0,7400	2.992,7800		1.748,8100	3.754,1300	122,3800	9.500,3106
ASTURIAS	276,5585	45,1502	52,7686	45,1207	1,5772	0,5184	0,0300	0,7066	422,4302
BALEARES	161,3970	92,5700	0,1200	3.448,3687	85,3636	823,4456	953,7140	373,1300	5.938,1089
CANARIAS	42,8400	676,9000		19,4800	38,0500	414,2000	66,6000	115,5000	1.373,5700
CANTABRIA	14,7530	8,7450	90,1270	20,9360	1,0300	4,9170		2,8540	143,3620
CASTILLA-LA MANCHA	306,0900	159,7500	3,4100	46.446,4600	0,0200	61.260,4688	71.755,9605	128,9900	180.061,1493
CASTILLA Y LEÓN	43,4010	4,0600	30,6133	1.403,4270		6.850,2083	336,1075	1.328,9201	9.996,7372
CATALUÑA	1.395,7931	106,1686	2,2700	3.110,2722	190,8800	18.632,1367	8.640,8846	8.157,5417	40.235,9469
EXTREMADURA	999,5900	1.241,7230	8,4200	1.472,3170	17,9800	1.681,5720	29.140,0222	10,9000	34.572,5242
GALICIA	344,8283	27,5887	58,4231	2.338,5967	12,0329	69,8474	174,9035	2.450,7919	5.477,0125
MADRID	3,8735	2,1955	3,9516	90,6615	0,0320	572,4281	3.668,4331	0,9110	4.342,4863
MURCIA	825,9800	47,2200		31.982,1100	3.102,6200	11.799,0100	4.501,3800	31,9600	52.290,2800
NAVARRA	281,4030	41,3330	2,8680	311,2700		1.395,7730	782,0440	30,7260	2.845,4170
LA RIOJA	170,6011	0,9138		794,5680		1.088,0262	751,8033	7,9107	2.813,8231
PAÍS VASCO	323,6200	12,7900	19,0900	20,8400	0,4900	929,9100	24,9800	11,8400	1.343,5600
COMUNIDAD VALENCIANA	691,1139	748,2443	0,4058	10.102,4961	4.268,3413	12.806,4605	4.976,4294	21.323,2959	54.916,7872
TOTAL NACIONAL (ha)	7.978,7651	5.957,3500	1.496,6576	170.238,7378	16.691,0109	121.279,4818	209.288,3171	73.476,9511	606.407,2714

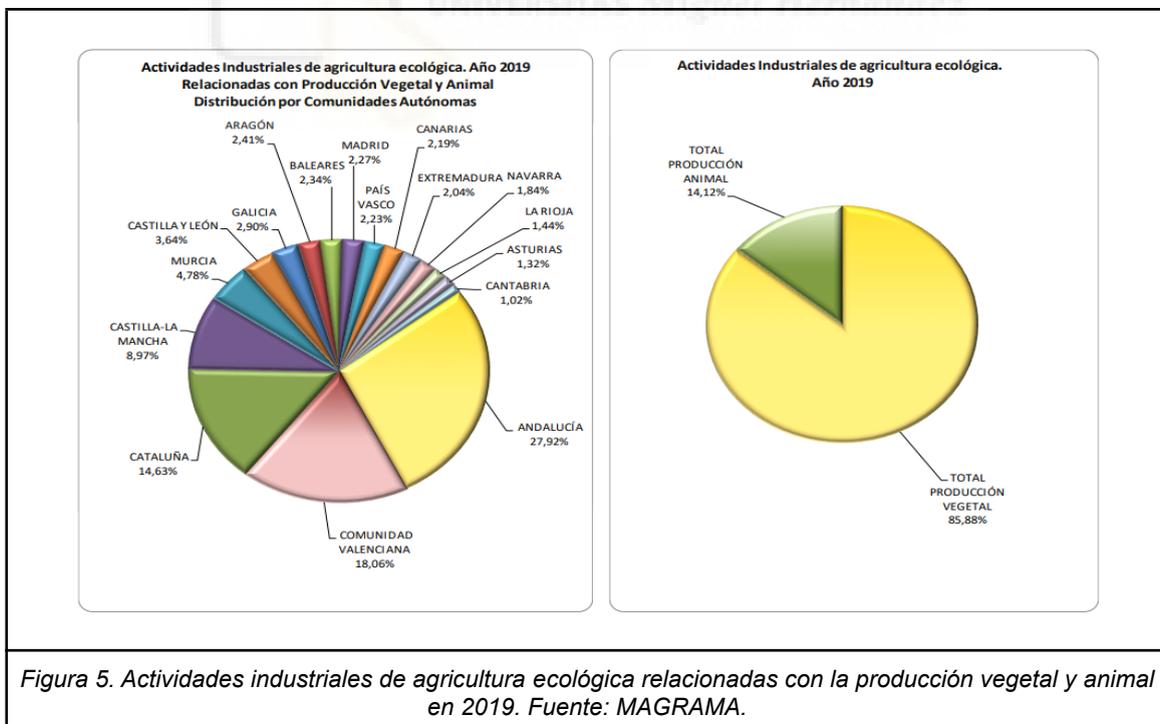
Tabla 3. Superficie de Agricultura Ecológica (Ha), en España, por Comunidades Autónomas, año 2019. Fuente: MAGRAMA.

SUPERFICIE DE AGRICULTURA ECOLÓGICA (ha). Año 2019				
Comunidad Autónoma	Calificada en primer año de Prácticas (a)	Calificada en conversión (b)	Calificada en agricultura ecológica (c)	SUPERFICIE TOTAL (a+b+c)
ANDALUCÍA	46.349,5880	82.363,0192	936.546,9350	1.065.259,5422
ARAGÓN	11.398,2710	4.551,2256	51.236,0600	67.185,5566
ASTURIAS	1.149,7298	659,5432	12.299,8765	14.109,1495
BALEARES	2.341,3640	2.806,6160	31.438,8319	36.586,8119
CANARIAS	293,5400	363,2800	6.972,2390	7.629,0590
CANTABRIA	245,0073	426,7340	2.806,9137	3.478,6550
CASTILLA-LA MANCHA	22.164,2152	31.139,5600	359.949,8580	413.253,6332
CASTILLA Y LEÓN	13.682,6833	7.355,9252	38.744,5993	59.783,2078
CATALUÑA	28.869,8303	16.433,6408	184.304,7111	229.608,1822
EXTREMADURA	18.153,0940	7.919,5870	78.148,5542	104.221,2352
GALICIA	1.095,3770	2.347,9948	31.294,7436	34.738,1154
MADRID	145,9748	2.003,3479	9.511,8127	11.661,1354
MURCIA	1.569,7000	3.747,1500	80.054,6802	85.371,5302
NAVARRA	1.330,1570	2.256,2670	80.872,5620	84.458,9860
LA RIOJA	404,6162	257,2896	3.338,7847	4.000,6905
PAÍS VASCO	806,2600	751,6300	4.103,0600	5.660,9500
COMUNIDAD VALENCIANA	5.090,5806	26.149,0006	96.669,6926	127.909,2738
TOTAL NACIONAL (ha)	155.089,9885	191.531,8109	2.008.293,9145	2.354.915,7139

En los últimos años hemos podido observar un aumento significativo de operadores acogidos a la producción ecológica en nuestro país (Tabla 3 y Figura 4).



Si comparamos el número de industrias relacionadas con la producción ecológica vegetal y animal, veremos que la producción vegetal es mayor en todo el territorio nacional español excepto en Cantabria, donde la producción animal (51 industrias) supera a la vegetal (47 industrias)) (Figura 5).



Los suelos que no incorporan algún tipo de enmienda que contenga materia orgánica presentan una disminución de la concentración de carbono en los mismos (Sánchez-Marañón y cols, 2002). Además

la situación en la región mediterránea es tal que la degradación de los suelos por erosión es responsable de la pérdida de hasta 21 g C m² superficie (Ha) (Farage y cols, 2009), o hasta un 19% de disminución de carbono orgánico total en los tratamientos sin fertilización orgánica (Morlat y Chaussod, 2008). Las prácticas agrícolas enfocadas en reducir al mínimo la pérdida de materia orgánica en el suelo son muy recomendadas para agrosistemas mediterráneos, con el objetivo de mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (García-Orenes y cols, 2010).

En la agricultura orgánica son fundamentales las prácticas de enriquecimiento de los suelos, como la rotación de cultivos, los cultivos mixtos, las asociaciones simbióticas, los cultivos de cubierta, los fertilizantes orgánicos y la labranza mínima, que benefician a la fauna y la flora del suelo, mejoran la formación de éste y su estructura, proporcionando agrosistemas más estables (Meco-Murillo, 2011).

A su vez, se incrementa la circulación de los nutrientes y la energía, mejorando la capacidad de retención de nutrientes y el agua en el suelo, haciendo posible que se prescindiera de fertilizantes minerales. Estas técnicas de gestión también son importantes para combatir la erosión, ya que se reduce el lapso de tiempo en que el suelo queda expuesto a ésta, se incrementa la biodiversidad y disminuyen las pérdidas de nutrientes, principalmente, por la no utilización de herbicidas, lo que ayuda a mantener y mejorar la productividad del suelo. La circulación de los nutrientes suele compensarse con los recursos renovables de origen agrícola, aunque a veces es necesario añadir a los suelos potasio, fósforo, calcio, magnesio y oligoelementos de procedencia externa (FAO, 2008).

De esta manera, se corrobora que el contenido de materia orgánica y el grado de cobertura vegetal son mayores en suelos con manejo ecológico que en convencionales, lo que incide directamente en una mayor actividad biológica y, en una mejor estructura edáfica (García-Orenes y cols, 2016).

Las diferencias entre el manejo ecológico y el intensivo o convencional también se reflejan en los impactos sobre la atmósfera, siendo los principales: el efecto invernadero y el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida y la contaminación generalizada. Obviamente, hay una menor contaminación del aire bajo un manejo ecológico ya que los plaguicidas químicos no están permitidos. En el caso de dióxido de carbono, se puede decir que las emisiones por hectárea se reducen entre un 40-60% con la transformación de un cultivo intensivo a ecológico según la orientación productiva, debido a la no utilización de fertilizantes nitrogenados, plaguicidas químicos, el bajo uso de fertilizantes potásicos y fosfóricos y alimentos concentrados (Flórez, 2009).

La conversión de explotaciones agrarias intensivas hacia ecológicas contribuye al incremento de la diversidad de la flora y fauna, y con ello a mejorar el paisaje y a revalorizar el medio rural. Se ha constatado una mayor diversidad de especies cultivadas (incluidas variedades tradicionales con una amplia diversificación genética), así como de flora espontánea y fauna (micro, meso y macro) salvaje en múltiples campos de cultivo ecológicos, debido a la ausencia de plaguicidas y fertilizantes químicos, aplicación de materia orgánica, etc., que permiten conformar nichos ecológicos

diversificados creando condiciones para el desarrollo de múltiples formas de vida y para el fortalecimiento de nuevas cadenas tróficas (Carpintero y Naredo, 2006).

1.3 Proyecto ISQAPER.

El proyecto ISQAPER, del inglés *Interactive Soil Quality Assessment in Europe and China for Agricultural Productivity and Environmental Resilience*, se encuentra financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, la Academia de las Ciencias Agrarias de China y la Secretaría de Educación e Innovación Suiza. Uno de sus principales objetivos es evaluar la calidad de los suelos agrícolas mediante una evaluación visual en diferentes zonas de Europa y China, para así poder conocer los suelos aportando datos científicos y proponer mejoras en los mismos fácilmente aplicables por los agricultores. De manera que, los agricultores mediante el uso de esta aplicación pueden autoevaluar el estado en el que se encuentran sus suelos.

En España, dentro de la región del sureste español se seleccionaron 12 zonas agrícolas para su estudio, (11 de las cuáles ya se encontraban en el análisis visual realizado por Cortés Mallebrera, T. (2016), "Evaluación visual de la calidad del suelo bajo dos tipos de manejos agrícolas: sostenible y convencional.) en las cuales se centra el presente trabajo, y en ellas se evaluó la calidad de los suelos agrícolas mediante el método VSA (del inglés: Visual Soil Assessment). Este método está basado en la evaluación visual y semi-cuantitativa de una serie de propiedades y parámetros del suelo que son susceptibles al cambio según los distintos manejos agrícolas o usos del suelo.

Para más información al respecto del proyecto ISQAPER visitar: www.isqaper-project.eu

2. Objetivos

En este trabajo nos centramos en el estudio y la evaluación de las principales diferencias que encontramos en los suelos, dependiendo de la práctica de manejo agrícola que se haya llevado a cabo en él. De esta manera determinamos los efectos sobre la calidad del mismo, resumiendo nuestros objetivos en:

- Evaluar la calidad de los suelos agrícolas mediante técnicas visuales, con base en el manual VSA (ver apéndice).
- Establecer claras diferencias en la calidad de los suelos agrícolas, que nos permitan comparar cultivos ecológicos y tradicionales.
- Corroborar, mostrando que los resultados obtenidos con el manual VSA y sus técnicas visuales, representan adecuadamente los resultados obtenidos mediante técnicas analíticas medidas en el laboratorio.
- Estudiar la evolución de la calidad del suelo de las parcelas muestreadas en 2016 por Cortés Mallebrera, T., en relación a nuestra toma y análisis de muestras en 2018.

3. Materiales y métodos

3.1 Evaluación de la calidad del suelo mediante técnicas visuales.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos de evaluación visual para medir la fertilidad y la estructura del suelo (Ball y Munkholm, 2007). Los principales métodos se centran en describir los agregados del suelo, la porosidad y el enraizamiento (relacionado con el almacenamiento y transporte de agua, el desarrollo de raíces y la absorción de nutrientes). Estos indicadores están estrechamente relacionados con la estructura, ya que ésta es un indicador genérico. Como ya hemos mencionado anteriormente, para llevar a cabo este estudio emplearemos el manual VSA de campo proporcionado por el proyecto europeo iSQAPER.

Para proceder a evaluar la calidad del suelo, hemos primero de diferenciar los suelos con prácticas de manejo agrícola sostenible (AMP, del inglés Agricultural Management Practice) en este caso los suelos más sostenibles, de los suelos control en los cuáles el cultivo tradicional es el imperante. Si únicamente hiciéramos el análisis visual de la calidad del suelo con la metodología del proyecto europeo iSQAPER, entonces utilizaríamos una única hoja de excel basada en la evaluación visual del suelo con la ayuda del manual VSA, incluido en el apéndice.

Para caracterizar adecuadamente las condiciones que existen en los dos escenarios diferentes (suelos bajo manejos sostenibles y tradicionales), se seleccionaron tres parcelas representativas de 1m² en el terreno con AMP y otras tres parcelas de iguales dimensiones en el terreno sin AMP, el control. Así tenemos por triplicado los datos de la evaluación de la calidad del suelo en el escenario con AMP, e igualmente en el escenario control, teniendo así seis medidas para cada indicador.

Así, los indicadores utilizados en este proyecto para evaluar la calidad del suelo, susceptibles al cambio debido al efecto ocasionado por los distintos manejos agrícolas, son los siguientes:

- Encharcamiento de la superficie tras precipitaciones (estancamiento superficial).
- Susceptibilidad a la erosión causada por el viento o el agua.
- Estructura del suelo.
- Porosidad del suelo.
- Estabilidad de los agregados del suelo, utilizando el método del “Slaking Test” que es la rotura de una porción del suelo tras sumergirla en el agua.
- Compactación del suelo (grado de infiltración y resistencia a la penetración, así como la formación de la costra de sellado), tanto de la capa más superficial como del subsuelo.
- Color del suelo.
- Densidad de las lombrices de tierra (cómo medida de la biodiversidad), utilizando una solución de mostaza acuosa que una vez se infiltra en el suelo llega a las lombrices de tierra irritando su piel y provocando su salida hacia la superficie donde se recogen, se preservan y se identifican.
- Grado de desarrollo de terrones en el suelo, así como el número de los mismos en el suelo.

Los indicadores arriba mencionados son indicadores de calidad del suelo, pero también hemos tenido en cuenta para nuestro estudio, los indicadores visuales relativos a las plantas, los cuales son:

- Rendimiento del cultivo.
- Tamaño y desarrollo del sistema radicular.
- Enfermedades de las raíces.
- Fauna del suelo.
- Exposición ambiental a plaguicidas (EAP).

Otros indicadores como el pH o el carbono lábil han sido medidos en el laboratorio con muestras del campo. Cabe destacar como información, que aunque para este proyecto sólo hemos medido visualmente los indicadores arriba mencionados, el manual VSA incluye otros indicadores de gran interés para evaluar la calidad de los suelos, como es el:

- Número y color de las motas, formadas en el suelo debido a la ausencia de oxígeno.
- pH, para medirlo en campo es necesario llevar un peachímetro portátil.
- Carbono lábil, puede medirse en campo utilizando una disolución previamente preparada de CaCl₂ y KMnO₄. La determinación de la textura es un requisito previo para la determinación precisa del carbono orgánico lábil.

La fracción de carbono lábil del suelo es el componente de la materia orgánica que alimenta a la red de nutrientes del suelo y está estrechamente relacionada con el ciclo de los nutrientes y otras funciones biológicas importantes que ocurren en el suelo. Para medir el carbono lábil utilizamos la ecuación de Weil *et al.*, 2003:

$$\text{Labile carbon (mg/g)} = [0.02 \text{ mol/l} - (a+b \times \text{absorbance})] \times (9000 \text{ mg C/mol}) \times (0.02 \text{ l solution} / 5 \text{ g soil})$$

donde “a” es el intercepto y “b” es la pendiente de la curva de calibración determinada.

Estos indicadores son dinámicos y por tanto suponen una herramienta de monitorización efectiva para evaluar la calidad del suelo, proporcionando además una guía a los agricultores sobre el correcto manejo del suelo (Shepherd, 2010; Guimarães y cols, 2011; McKenzie, 2013).

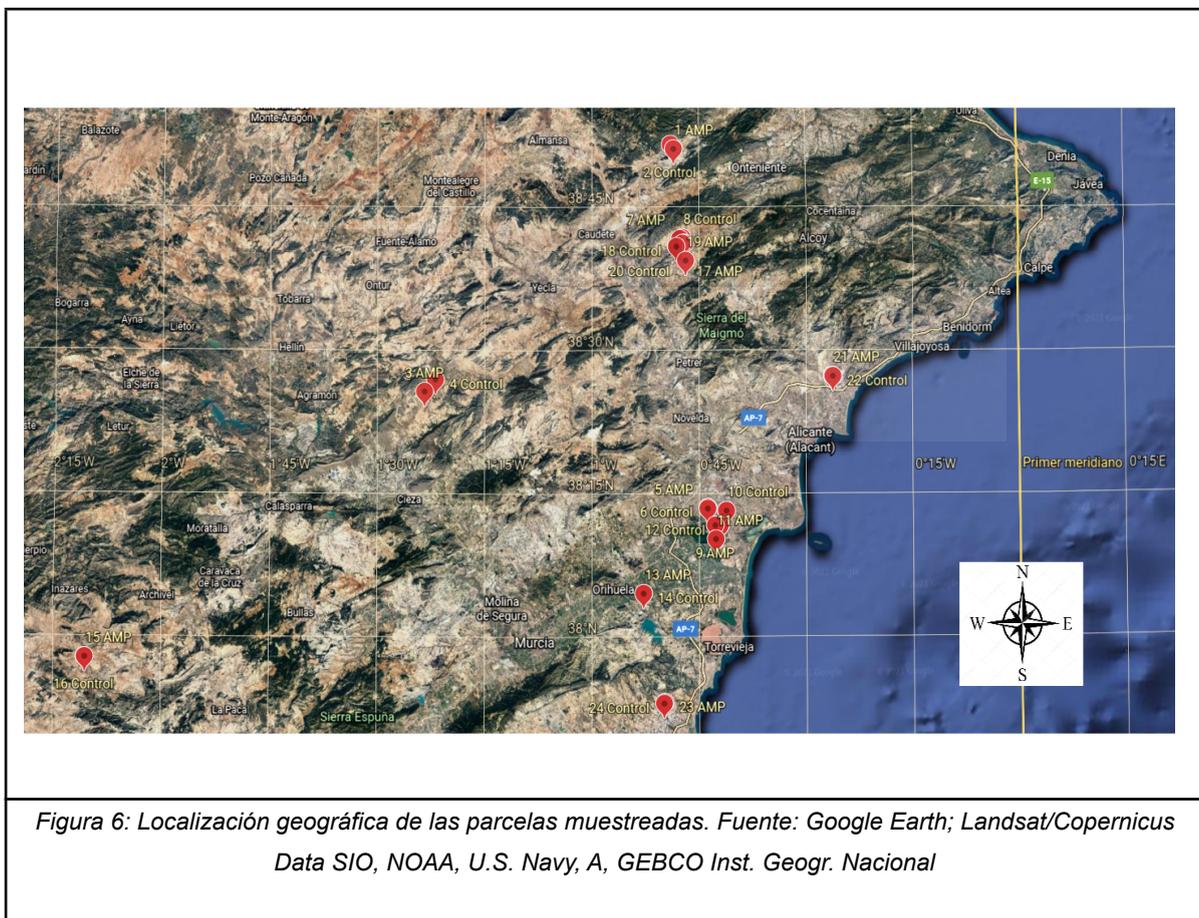
Siguiendo la guía de campo VSA a cada indicador de calidad del suelo le corresponde una calificación que oscila entre cero y dos, siendo así 0 = Pobre, 1 = Moderada y 2 = Buena. La asignación de estos valores a cada indicador se obtiene bien por la experiencia y conocimiento del propio agricultor o mediante la comparación visual del estado actual del suelo con imágenes de referencia de la guía de campo VSA. El total de las puntuaciones de los indicadores evaluados provee un valor que indica la calidad de un suelo, pudiendo éste ser: bueno, moderado o pobre. Dicho resultado ayuda a conocer qué cualidades del suelo constituyen un factor limitante productivo y que acciones correctivas se deben aplicar en el suelo para mejorar su rendimiento.

3.2 Zonas de estudio

3.2.1. Localización geográfica.

En este proyecto hemos trabajado con un total de doce zonas agrícolas (ver tabla 4), distribuidas a lo largo de las provincias de Alicante, Murcia y Valencia. El conocimiento de estas parcelas ha sido posible gracias a la participación de los agricultores (propietarios de las parcelas) en instituciones como la Estación experimental del IVIA de Elche, CAECV y ASAJA. Asimismo, previa entrevista con los propietarios, éstos accedieron a darnos permiso para muestrear sus suelos.

En cada una de las doce zonas agrícolas seleccionadas nos encontramos con dos tipos diferentes de manejo agrícola (Figura 6), por un lado el manejo convencional (tradicional o de control) y por otro el manejo ecológico (sostenible o AMP). De esta manera disponemos de veinticuatro parcelas de estudio, en las cuales realizamos un análisis visual de la calidad del suelo.



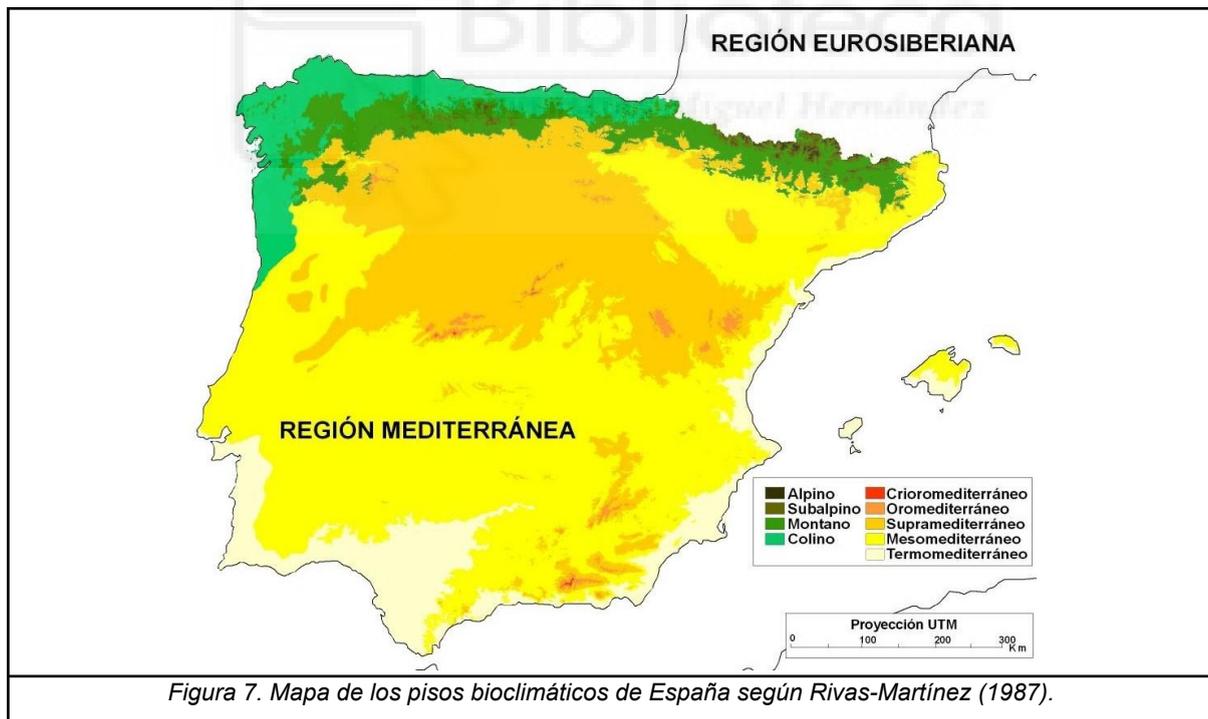
Cada una de las zonas cuenta con dos parcelas, tal y cómo hemos mencionado anteriormente una AMP y otra Control, representando cada uno de los puntos señalados en el mapa las siguientes localizaciones: 1-2 Les Alcusses (Pago); 3-4 Jumilla; 5-6-9-10-11-12 Elche; 7-8 La Cañada; 13-14 Orihuela; 15-16 La Junquera (nueva localización 2018, por sustitución de la antigua parcela de Moixent del 2016); 17-18-19-20 Biar; 21- 22 Mutxamel; 23-24 Pilar de la Horadada.

3.2.2. Climatología.

La división biogeográfica más aceptada para la península Ibérica es la de Salvador Rivas Martínez (Figura 7). Según esta división, nuestra zona de estudio se encuentra situada desde el punto de vista corológico, dentro del Reino Holártico, ocupando así la Región Mediterránea.

Nuestras parcelas se distribuyen, siguiendo el siguiente orden corológico en: Región Mediterránea; Superprovincia Mediterráneo-Íbero-Levantina; Provincia Valenciano-Catalano-Provenzal- Balear; Provincia Murciano-Almeriense; Sector Valenciano-Meridional; Sector Alicantino y Sector Murciano, respectivamente.

Dentro de esta Región Mediterránea se encuentran diferentes pisos bioclimáticos, caracterizados como tales por (Rivas Martínez, 1987). Además, se encuentran diferentes ombrotipos, determinados en función de las precipitaciones medias anuales. Estas características vendrán a definir el límite de la distribución de muchas de las especies presentes en esta región. De esta manera nuestras zonas de estudio se sitúan en el piso bioclimático Termomediterráneo, con dominancia de los ombroclimas semiárido y seco. El ombroclima subhúmedo también tiene buena representación, y el ombroclima húmedo se presenta de manera puntual y, sobre todo, topográfica.



3.2.3. Edafología.

Según la World Reference Base for Soil Resources (WRB), nos encontramos con tres tipos de suelo diferentes registrados en nuestras zonas de estudio: Cambisol, Fluvisol y Regosol (Tabla 5). Respectivamente, estos tres tipos de suelo se caracterizan por: presentar una diferenciación en los horizontes; desarrollarse sobre depósitos aluviales y también por desarrollarse sobre materiales no consolidados de reciente formación. Los suelos de las parcelas de estudio presentan una conductividad eléctrica notablemente variable según el tipo de manejo agrícola predominante, la procedencia del agua de riego y las distintas parcelas. Para la determinación de la textura de las distintas zonas agrícolas de estudio se utilizó el diagrama textural para la determinación de la textura de la clasificación internacional (I.S.S.S) (Tabla 4).

Tabla 4. pH y Textura de las parcelas de estudio.

Nº de Parcela	Textura (I.S.S.S)	PH	Nº de Parcela	Textura (I.S.S.S)	PH
1 AMP	Franco-limoso	8,5	7 AMP	Franco-limoso	8,4
1 Control	Franco-limoso	8,6	7 Control	Franco-limoso	8,2
2 AMP	Franco-limoso	8,5	8 AMP	Franco-limoso	8,7
2 Control	Franco	8,5	8 Control	Franco-arcilloso	8,7
3 AMP	Arcillo-limoso	8,6	9 AMP	Franco-arcillo-arenoso	8,8
3 Control	Arcillo-limoso	8,4	9 Control	Franco-arcilloso	8,7
4 AMP	Franco-limoso	8,5	10 AMP	Franco-arenoso	8,6
4 Control	Franco-limoso	8,4	10 Control	Franco-arcilloso	8,6
5 AMP	Franco-limoso	8,6	11 AMP	Franco-limoso	8,4
5 Control	Franco-limoso	8,7	11 Control	Franco-limoso	8,6
6 AMP	Franco-limoso	8,3	12 AMP	Franco-limoso	8,6
6 Control	Franco-limoso	8,3	12 Control	Franco-limoso	8,5

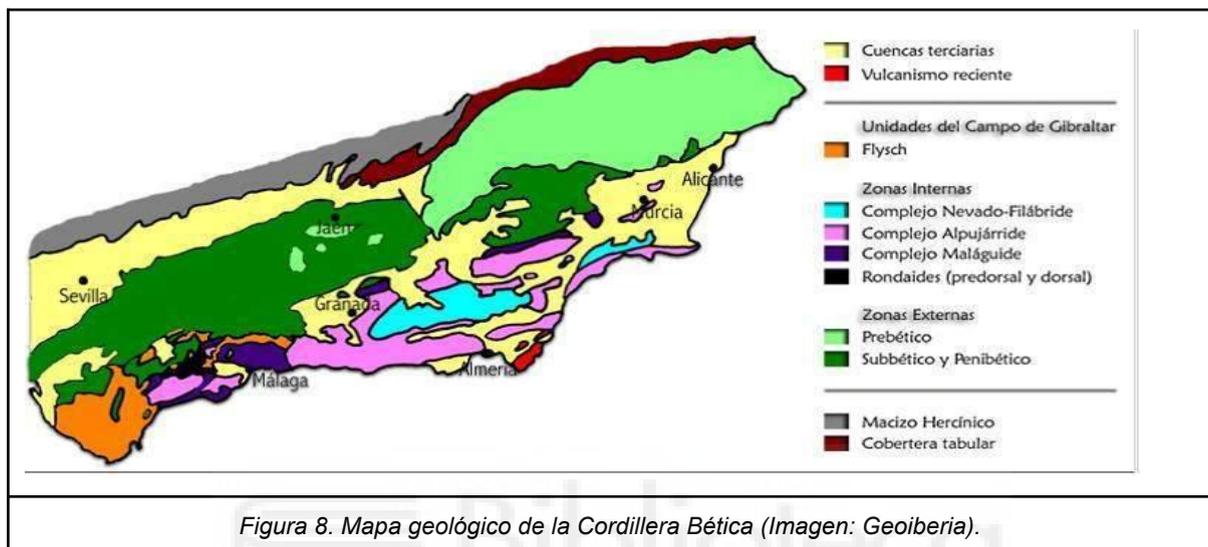
3.2.4. Geología y geomorfología.

Nuestra zona de estudio se emplaza sobre materiales geológicos de reciente génesis, en la conocida Cordillera Bética que es un ejemplo de zona montañosa con peculiaridades muy singulares: temperaturas suaves y lluvias moderadas. El verano es muy largo y seco, sin apenas nubosidad.

Las parcelas que nos ocupan se encuentran en la Cordillera Bética cubriendo desde el extremo meridional de la provincia de Valencia hasta la provincia de Alicante. La cordillera Bética (Figura 8) es un sistema orográfico el cual no da impresión de continuidad, pues se halla aislada por altiplanicies y depresiones (o cuencas interiores) rellenas por depósitos recientes, que se originaron esencialmente

por procesos de fracturación tardía respecto a la edificación de la estructura fundamental de pliegues, con acusada falta de unidad topográfica.

Cabe destacar que en la Cordillera Bética también se observan características propias de la orogénesis alpina, con gran presencia de mantos de corrimiento, cabalgamientos y contrastes entre unidades estructurales. Estas unidades incluyen macizos montañosos y sierras mediterráneas y continentales de naturaleza calcárea (Fallot, 1948; Fontboté, 1970; Julivert y cols, 1977).



3.3 Diseño experimental

En los meses de octubre y noviembre de 2018 se recogieron los datos de las doce zonas de estudio seleccionadas (Figura 6), intentando abarcar la mayor heterogeneidad de manejos agrícolas en los tipos de cultivos más representativos de la zona.

A continuación mostramos una tabla donde se recogen características descriptivas de nuestras zonas de estudio seleccionadas: localización de la parcela de estudio; tipo de cultivo en la misma; tipo de suelo; tipo de AMP, así como el año de inicio del manejo ecológico en cada una de las parcelas (Tabla 5).

Desde hace unos veinte años se implementaron las diferentes prácticas de manejo agrícola sostenible (AMP) en las parcelas estudiadas. Las parcelas ecológicas que llevan más tiempo siguiendo estas prácticas son las localizadas en Jumilla y La Cañada (AMP desde 1998), con cultivos frutales de paraguayos y manzanas. La práctica de rotación de cultivos solo fue llevada a cabo por algunos de los agricultores, en las parcelas ecológicas de Elche, la Junquera, Biar, Mutxamel y Pilar de la Horadada, iniciando las prácticas entre los años 2006 y 2015, con cultivos de melón, cereal, patata, tomate y pimiento respectivamente. Solo en tres de las parcelas que nos ocupan los agricultores emplearon el método de cobertura permanente del suelo mediante cultivos de plantas

adventicias y en algún caso con cultivos autóctonos de leguminosas, siendo estas parcelas las localizadas en Pago, Elche y Orihuela con cultivos respectivamente de viñedos, granados y limones. En estas tres parcelas, en la zona control los agricultores también coincidieron en el manejo empleado siguiendo así una labranza del suelo intensiva y la utilización de fertilizante inorgánico. Como podemos observar en la Tabla 5, algunos de los agricultores optaron por la práctica ecológica de reducción de la labranza, como método de conservación de sus parcelas.

Tabla 5. Datos de las doce zonas agrícolas de estudio y sus respectivas parcelas.

Nº de Parcela	Localización	Tipo de cultivo	Tipo de suelo	AMP	Año de inicio AMP
1 y 2	Les Alcusses (Pago)	Viñedo	Cambisol	Aplicación de estiércol, uso de plantas adventicias y cultivos autóctonos de leguminosas.	2001
3 y 4	Jumilla	Paraguayo	Cambisol	Agricultura biodinámica, holística y ecológica.	1998
5 y 6	Elche (PUÇOL)	Alcachofa	Cambisol	Reducción de labranza y aplicación de estiércol.	2014
7 y 8	La Cañada	Manzano	Fluvisol	Reducción de labranza, aplicación de estiércol y paja.	1998
9 y 10	Elche	Granado	Regosol	Reducción de labranza, uso de plantas adventicias y aplicación de estiércol.	2011
11 y 12	Elche	Melón	Regosol	Labranza mínima, aplicación de estiércol y rotación de cultivos.	2015
13 y 14	Orihuela	Limonero	Regosol	Uso de plantas adventicias, aplicación de estiércol y paja.	2005
15 y 16	La Junquera (Murcia)	Cereal	Regosol	Rotación anual de cultivos, mantenimiento de los residuos del cultivo anterior, aplicación de paja de trigo sin labranza. Cultivos de cereales con leguminosas.	2016
17 y 18	Biar	Patata	Regosol	Aplicación de estiércol, rotación anual de cultivos y suministro de agua controlado	2015
19 y 20	Biar	Olivo	Regosol	Reducción de labranza y aplicación de compost	2015
21 y 22	Mutxamel	Tomate	Regosol	Agricultura biodinámica, holística y ecológica, combinada con rotación de cultivos.	2007
23 y 24	Pilar de la Horadada	Pimiento	Cambisol	Aplicación de estiércol y rotación anual de cultivos.	2006

Tras la selección de las veinticuatro parcelas de estudio se procedió a la evaluación visual de las mismas, siguiendo el manual de campo VSA del proyecto ISQAPER. Para el caso de la estructura del suelo, se utilizó una técnica VSA que se determinó en el laboratorio. Asimismo y de forma adicional se procedió a la toma de muestras del suelo para determinar posteriormente en el laboratorio algunos parámetros informativos de la calidad del mismo: contenido en materia orgánica (MO); carbono lábil (mg/g); conductividad eléctrica (CE), así como el pH y su textura (ver Tabla 4).

4. Resultados y discusión

A continuación presentamos los resultados obtenidos tras el análisis visual de los diferentes indicadores de la calidad del suelo para cada una de las parcelas seleccionadas para el estudio (Tabla 5) y según el tipo de manejo agrícola: sostenible y tradicional; siguiendo el manual de campo VSA aportado por el proyecto Europeo ISQAPER. Asimismo, recogemos medidas adicionales de diferentes parámetros en el laboratorio, con el objetivo de obtener más información acerca de la influencia que tiene el tipo de manejo agrícola en el estado de calidad del suelo.

Para concluir también estudiamos qué importancia tienen los parámetros evaluados en cada una de las parcelas, según la opinión de cada uno de los propietarios participantes en el estudio.

4.1 Análisis de la calidad del suelo mediante técnicas visuales.

Obtuvimos los siguientes resultados, mostrados de manera gráfica, tras analizar visualmente los indicadores de calidad de los suelos agrícolas, para cada una de las parcelas de estudio seleccionadas y para cada tipo de manejo agrícola; sostenible (Figura 9) y tradicional (Figura 10). En las gráficas representadas de forma radial se muestran los indicadores de calidad del suelo analizados, situados en los ejes y las posibles puntuaciones (0,1 y 2) que cada indicador recibió (línea verde para el caso del manejo sostenible, y azul para el caso del manejo tradicional). Los números de parcela impares hacen referencia a las parcelas bajo manejo sostenible y las parcelas numeradas con los números pares, al manejo convencional (tabla 5 y 6).

El primer grupo de gráficas (figura 9) muestra los resultados obtenidos tras el análisis visual de los indicadores de calidad del suelo correspondiente a las parcelas bajo un manejo sostenible. Tal y como podemos observar en las gráficas, las puntuaciones obtenidas después de analizar visualmente los suelos de las parcelas se sitúan en entorno a valores que oscilan entre 0,56 (parcela 19) y 1,89 (parcela 9), siendo 2 la máxima puntuación que una parcela puede obtener siguiendo el manual de campo VSA.

En general, estas parcelas presentan una buena calidad del suelo. De los indicadores estudiados destacamos aquellos que obtuvieron una mejor puntuación, como la medida del encharcamiento tras la lluvia que se presentaba bastante escaso en estas parcelas, y la estructura del suelo presentaba un buen estado de conservación, así como la porosidad del suelo bajo un manejo agrícola sostenible. Sin embargo, el indicador correspondiente a la biodiversidad fue el que obtuvo peor puntuación en promedio del conjunto de parcelas.

La parcela 19, situada en Biar (Alicante) y que corresponde al cultivo del olivo, obtuvo una puntuación de 0,56, siendo la parcela sostenible que menor puntuación recibió, ya que obtuvo resultados negativos en indicadores como la biodiversidad, la resistencia a la erosión, la infiltración y la porosidad. Sin embargo, obtuvo altas puntuaciones en los indicadores correspondientes al

rendimiento del cultivo o la estructura del suelo. Esta parcela, lleva tan sólo 6 años (3 en el momento del estudio que nos ocupa) siguiendo unas prácticas de manejo sostenible, que consistió en reducir al máximo la labranza del suelo y aplicar compost.

El segundo grupo de gráficas (figura 10) muestra los resultados obtenidos tras el análisis visual de los indicadores de calidad del suelo correspondiente a las parcelas bajo un manejo tradicional. Tal y como podemos observar en las gráficas, las puntuaciones obtenidas después de analizar visualmente los suelos de las parcelas se sitúan en entorno a valores que oscilan entre 0,11 (parcela 6) y 1 (parcelas 8 y 10), siendo 2 la máxima puntuación que una parcela puede obtener siguiendo el manual de campo VSA. En las puntuaciones obtenidas en estas parcelas bajo un manejo tradicional, podemos observar una notable disminución en la calidad de los suelos-según este método. De los indicadores estudiados destacamos aquellos que obtuvieron una puntuación más baja, como es el caso de la biodiversidad (prácticamente nula), el color y la estructura de los suelos.

La parcela 6, situada en Puçol (Alicante) y que corresponde al cultivo de la alcachofa, obtuvo una puntuación de 0,11, siendo la parcela bajo un manejo agrícola tradicional que menor puntuación recibió, ya que obtuvo resultados negativos en indicadores como la resistencia a la erosión, la estructura, la estabilidad de los agregados o la porosidad del suelo. Sin embargo, obtuvo una alta puntuación en el indicador correspondiente al rendimiento del cultivo y un resultado parcialmente moderado en cuanto al indicador de encharcamiento tras la lluvia.

En esta parcela se lleva a cabo un laboreo intensivo, siendo el mayor causante de erosión de la superficie del suelo y causante de la pérdida de una capa de vegetación protectora que puede ser efectiva para reducir la escorrentía superficial y la pérdida de suelo (Morugán-Coronado. 2015). Además observamos que esta parcela presenta un deterioro tanto físico como biológico, y es necesario mejorar los indicadores de calidad del suelo, siendo de gran importancia la estructura del suelo. En su parcela complementaria bajo un manejo sostenible (parcela 5), se implementaron en 2014 las prácticas de reducción de labranza y aplicación de estiércol y podemos comprobar que la puntuación obtenida es mayor.

La mejor puntuación obtenida según el análisis visual de la calidad de los suelos, la encontramos en la parcela 9 situada en Elche, bajo un manejo agrícola sostenible y con un cultivo de granado. Esta parcela obtuvo una puntuación total de 1,89 (en 2016 obtuvo una puntuación total de 1,33) ,y se encuentra bajo un manejo agrícola sostenible desde el año 2011, que consiste en una reducción del laboreo y aplicación de estiércol y paja como enmiendas orgánicas además del mantenimiento de una cobertura vegetal, con plantas adventicias, que puede llegar a cubrir el 30% de la superficie del suelo de cultivo, siendo una medida que reduce la erosión e incrementa la materia orgánica en los suelos agrícolas (García-Orenes y col. 2013; Macci y col. 2013).

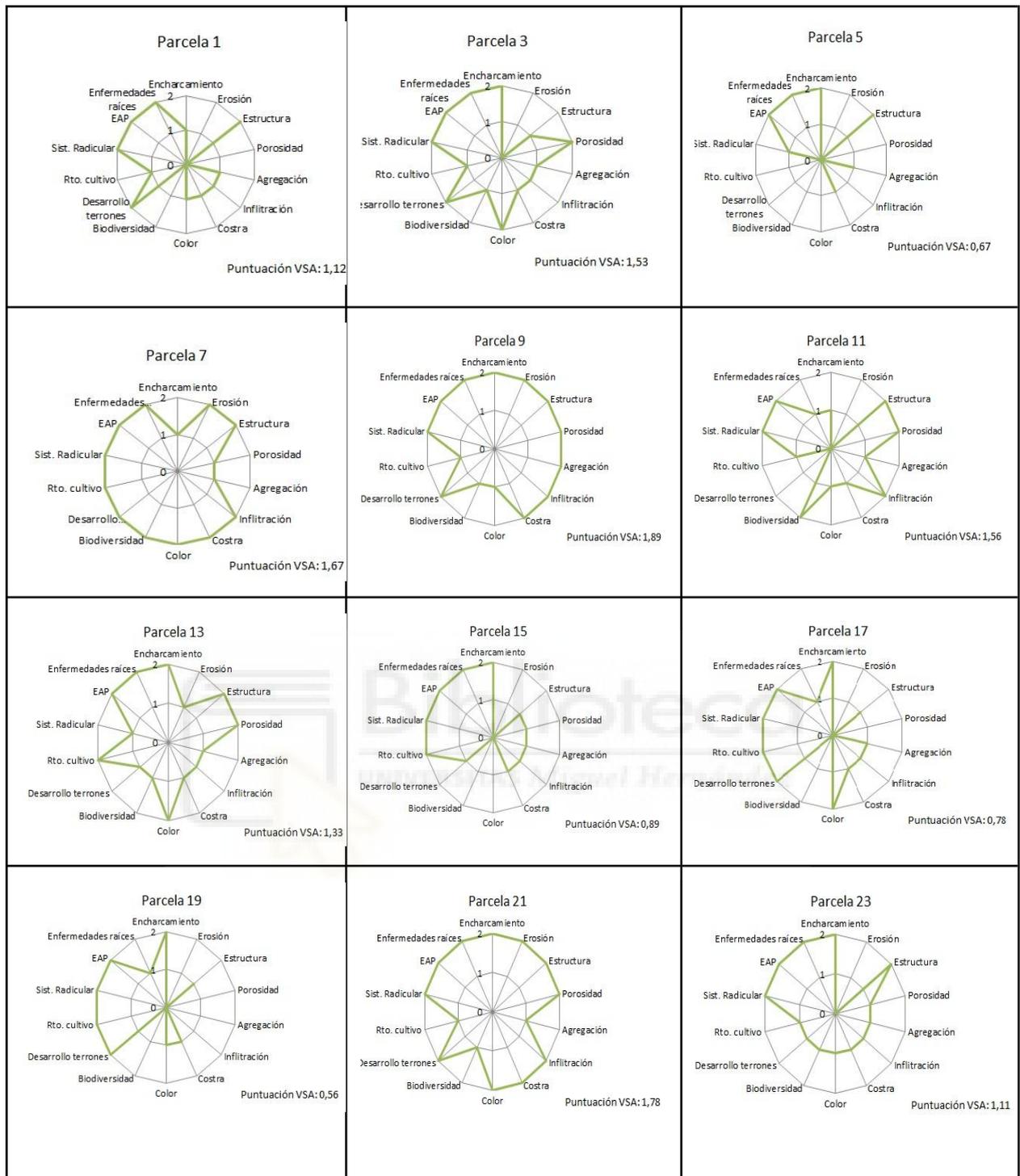


Figura 9. Resultado del análisis visual de los suelos de las parcelas de estudio que se encuentran bajo un manejo sostenible (AMP), mediante la utilización del manual de campo VSA.

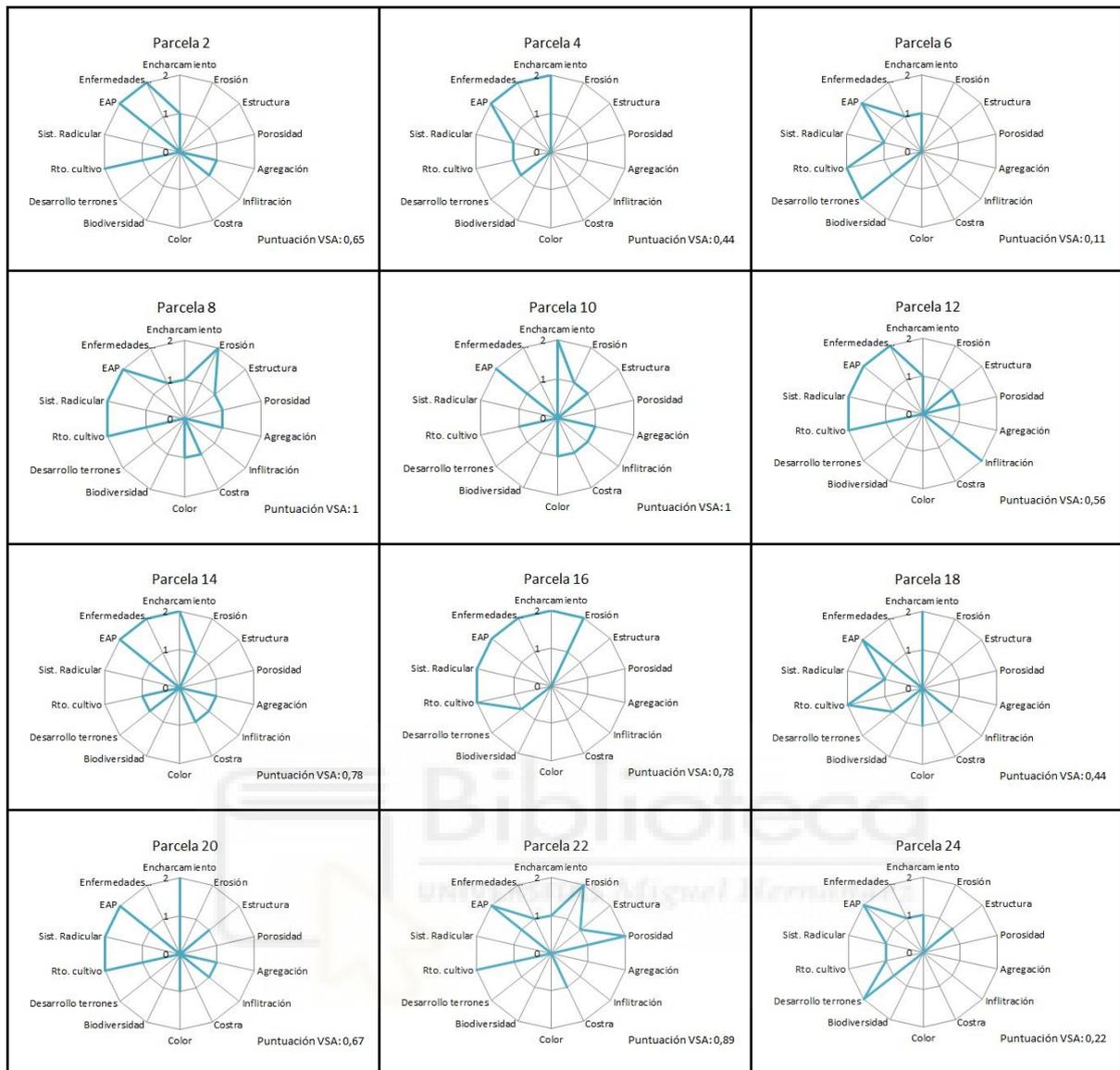


Figura 10. Resultado del análisis visual de los suelos de las parcelas de estudio que se encuentran bajo un manejo tradicional (control), mediante la utilización del manual de campo VSA.

4.2. Estudio de la evolución de la calidad del suelo mediante técnicas visuales.

Como podemos observar en la Tabla 6, algunas de las parcelas han variado su puntuación con respecto al análisis visual hecho por Cortés Mallebrera, T. (2016), "Evaluación visual de la calidad del suelo bajo dos tipos de manejos agrícolas: sostenible y convencional." en las mismas parcelas de estudio, a excepción de la parcela 8 sobre la que no tenemos datos anteriores. En lo referente a la numeración de las parcelas, los números impares hacen referencia a las parcelas bajo manejo sostenible y los números pares, para el manejo tradicional.

Tabla 6. Comparación de los resultados del año 2018, con los resultantes del año 2016.

N° de Parcela	VSA2018	VSA 2016	N° de Parcela	VSA2018	VSA 2016
1	1,12	0,78	13	1,33	1,33
2	0,65	0,44	14	0,78	1
3	1,53	1,44	15	0,89	SIN DATOS
4	0,44	0,78	16	0,78	
5	0,67	0,89	17	0,78	1,33
6	0,11	0,56	18	0,44	1,11
7	1,67	1,44	19	0,56	0,89
8	1	1,11	20	0,67	0,56
9	1,89	1,33	21	1,78	1,11
10	1	1,22	22	0,89	0,78
11	1,56	1,33	23	1,11	1,11
12	0,56	0,78	24	0,22	0,44

La parcela 1 obtuvo la puntuación más baja AMP en 2016 siendo de 0,78, y de 1.12 en 2018, esto indica una mejora de su calidad tras la actuación del agricultor que tras las recomendaciones decidió cambiar a un acolchado orgánico, sustituyendo al laboreo. Los resultados del 2018 apuntan a una mejora en la puntuación obtenida tanto de los indicadores relativos a la infiltración como al encharcamiento de la parcela, así como a una mejor puntuación global de la calidad del suelo de esta parcela con el tiempo y la mejora recomendada en su día al propietario de la misma.

La Parcela 2, siguiendo un manejo tradicional, obtuvo la puntuación más baja en 2016 siendo de 0.44, y de 0.65 en 2018 lo que indica una ligera mejora de su calidad como consecuencia del mantenimiento de las prácticas sostenibles que consisten en una cobertura permanente del suelo aplicando estiércol, cultivos de plantas adventicias y cultivos autóctonos de leguminosas.

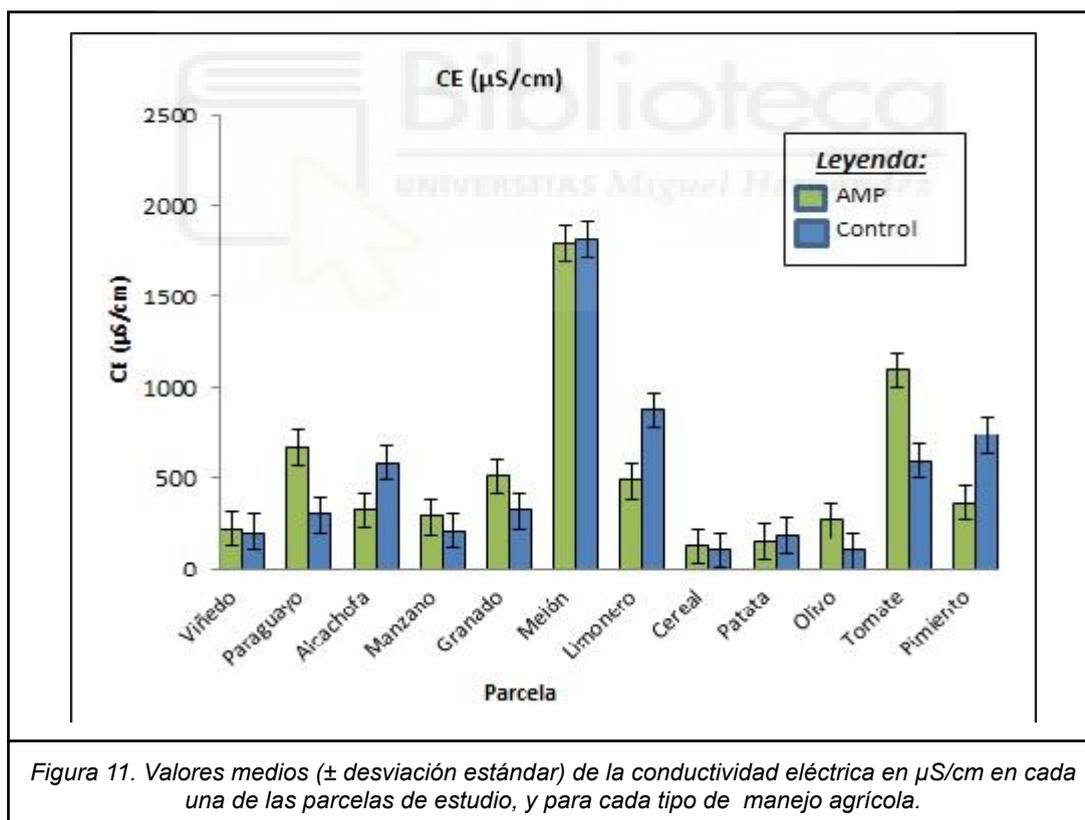
Por otro lado, nos encontramos con una situación diferente para la Parcela 19 que obtuvo una puntuación de 0.89 en 2016, y 0.56 en 2018. Esto indica que ha disminuido su calidad, debemos tener en cuenta que se trata de una parcela que se encuentra desde hace apenas unos años bajo

manejo sostenible (3 en el momento del análisis) y el suelo necesita un periodo de adaptación y estabilización que serán más notables en los resultados dentro de unos años.

La mejor puntuación obtenida en 2016 fue para las parcelas 3 y 7, con una puntuación igual de 1,44 respectivamente. Ambas parcelas están bajo manejo sostenible desde el año 1998 y presentan una mejora en la puntuación obtenida en 2018, siendo de 1,53 para la parcela 3 y 1,67 para la parcela 7. El tiempo que llevan estas dos parcelas (parcelas 3 y 7) bajo un manejo sostenible, junto con el tipo de manejo que llevan a cabo sin duda está estrechamente relacionado con los resultados observados. El manejo ecológico mejora el contenido en materia orgánica, la fertilidad y las propiedades físicas del suelo, como la agregación, porosidad e infiltración. Hay, por tanto, una mayor disponibilidad de nutrientes, resultando en una mejora general en el cultivo (Geisseler y col. 2010).

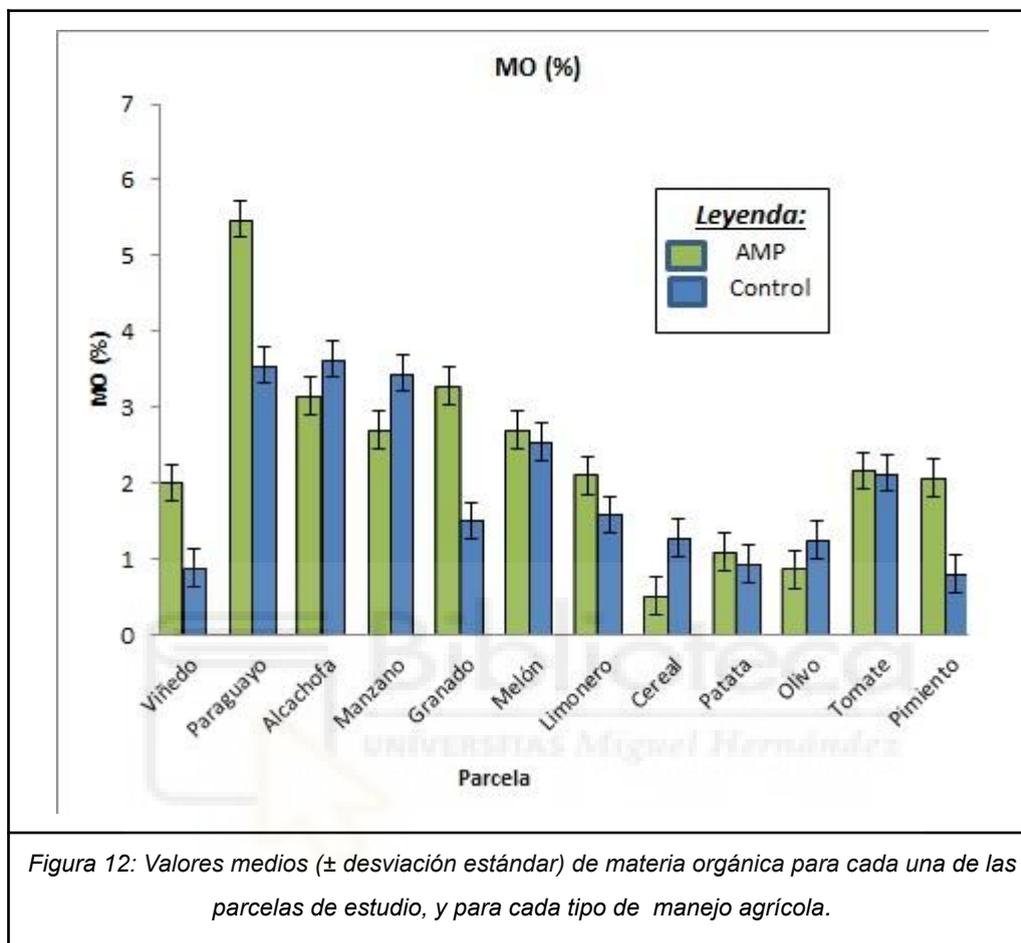
4.3. Análisis de la calidad del suelo mediante técnicas analíticas.

Además del análisis visual hemos realizado también algunos análisis en el laboratorio para complementar y corroborar la efectividad de las prácticas de manejo agrícola bajo tratamiento AMP. Concretamente se determinó la CE, el contenido en MO y carbono lábil (mg/g).



Existen diversos factores externos que de una manera u otra son capaces de alterar la calidad de un suelo, como por ejemplo el origen del agua de riego empleada en el mismo. Con la información recogida en la Figura 11 podemos observar que los niveles más altos de conductividad eléctrica se registran en las parcelas de cultivo del Melón (parcela 6, para los dos tipos de manejo) y del Tomate

(parcela 11, con una mayor presencia en el suelo con manejo agrícola sostenible). En ambas parcelas se utiliza agua de riego con cierta salinidad, lo que se ha traducido en un aumento de la CE del suelo, obteniéndose valores de riesgo en el caso de la parcela 6 (Morugan et al., 2011)

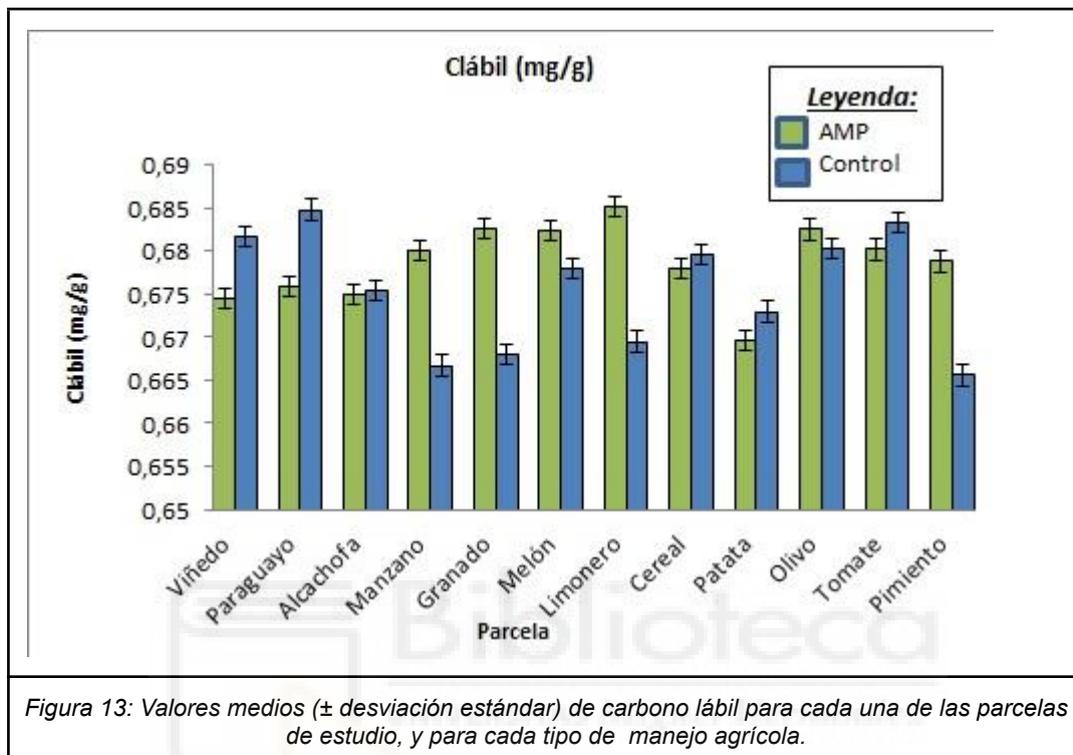


De acuerdo con la figura 12, el contenido en materia orgánica del suelo es, en general, superior en aquellas parcelas bajo un manejo agrícola sostenible. Destaca la parcela 2, con el cultivo del Paraguayo en la cual registramos el nivel más alto de MO especialmente, en la parcela bajo un manejo agrícola sostenible.

Las diferencias encontradas entre el tratamiento sostenible y el tradicional están corroboradas por otros estudios (Peregrina y col. 2009) en los que mediante tratamientos de cubiertas vegetales y mulch, con mínimo laboreo, aumentaron considerablemente el contenido de MO respecto a los tratamientos tradicionales con intenso laboreo. Otro estudio, realizado durante cuatro años, también muestra una mejoría relevante en el contenido de carbono del suelo tras haber aplicado una enmienda orgánica (Lynch y col. 2005).

Numerosos estudios han demostrado que la respiración edáfica basal y la actividad microbiana están relacionadas con la disponibilidad de nutrientes y el contenido de materia orgánica (Jeorgensen y col.

1995; Raubuch y Beese. 1999). De modo que suponemos que aquellos suelos con un mayor contenido orgánico, tendrán una mayor actividad y biomasa microbiana (García-Orenes et al. 2010).



Tal y como podemos observar en la Figura 13, el contenido en carbono lábil del suelo es, en general, superior en aquellas parcelas bajo un manejo agrícola sostenible. Esto corrobora que el carbono de la biomasa microbiana representa el carbono procedente de microorganismos vivos. Sin duda la aplicación de abonos orgánicos y restos de poda ha potenciado el crecimiento microbiano en el suelo, al aportar una nueva fuente de carbono y otros nutrientes para las poblaciones microbianas (García-Orenes y col. 2010).

La fracción de carbono lábil del suelo es el componente de la materia orgánica que alimenta a la red de nutrientes del suelo y está estrechamente relacionada con el ciclo de los nutrientes y otras funciones biológicas importantes que ocurren en el suelo.

4.4. Análisis de la importancia de los parámetros analizados.

Tras el análisis visual de los indicadores de calidad del suelo en las diferentes parcelas que componen este estudio, y con el objetivo de conocer las preocupaciones sobre el suelo por parte de los agricultores, propietarios de las parcelas, encuestamos a los mismos para conocer qué propiedades del suelo consideraban bajo su opinión cómo las más importantes.

Como podemos observar en la figura 14, 9 de los 12 agricultores (el 75% de los encuestados) consideraron que la estructura era el indicador de calidad más importante para el estado del suelo, por delante de la infiltración, la agregación y la biodiversidad.

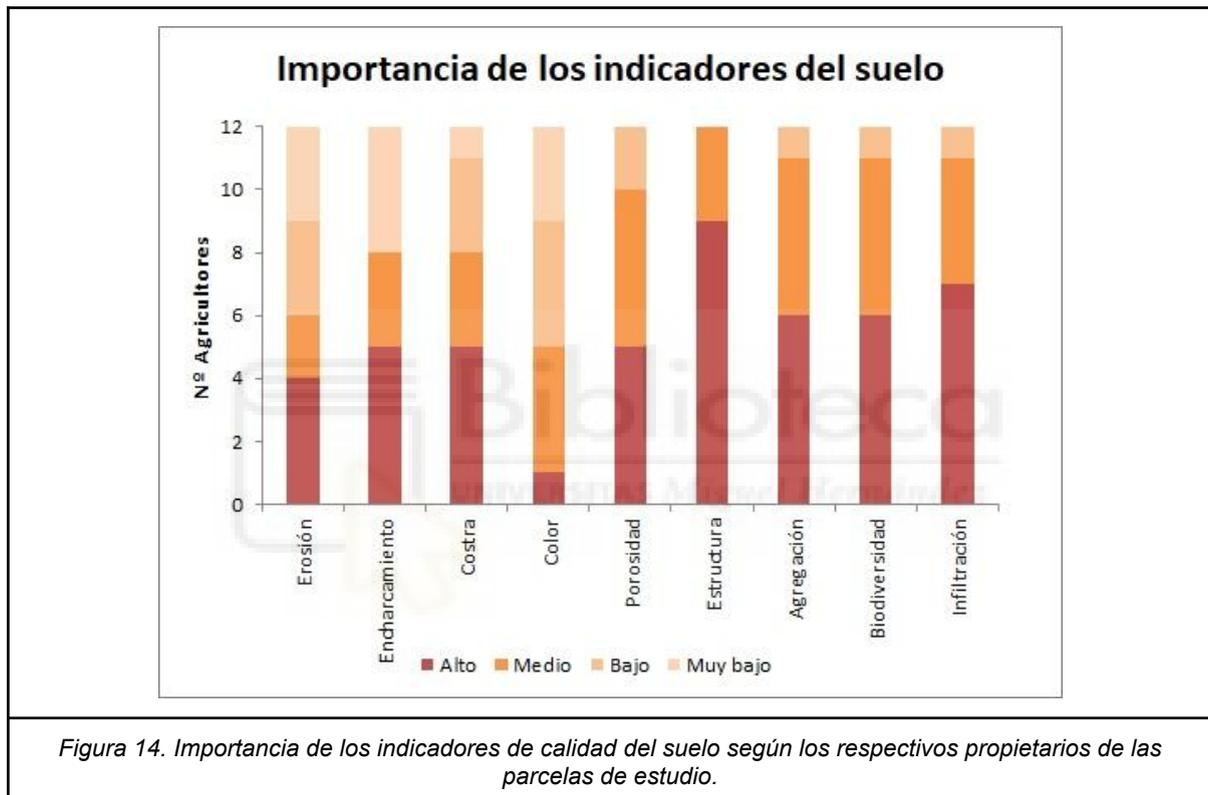


Figura 14. Importancia de los indicadores de calidad del suelo según los respectivos propietarios de las parcelas de estudio.

Indicadores tales como el color y la erosión fueron calificados de baja importancia (indicadores que obtuvieron una puntuación mayor de 1 en el promedio del análisis de todas las parcelas). Por otro lado, indicadores como la biodiversidad, la infiltración y la agregación apenas alcanzaron una puntuación de 1 sobre el promedio de todas las parcelas, siendo esta una causa de preocupación por parte de los agricultores sobre la gestión, cuidado y futuro de sus suelos. A la vista de los resultados obtenidos en el análisis visual y tras la encuesta sobre la importancia de los indicadores de calidad del suelo, observamos una especial preocupación por parte de los agricultores en indicadores como la estructura, agregación, infiltración y biodiversidad.

5. Conclusiones y proyección futura

De acuerdo con los resultados obtenidos tras el análisis visual de los indicadores de calidad del suelo bajo el protocolo incluido en el manual VSA, y los análisis realizados en las citadas parcelas de estudio, podemos concluir que:

1. Las parcelas que se mantienen bajo manejo sostenible, obtuvieron mejores puntuaciones tras el análisis visual de la calidad del suelo.
2. Las parcelas que obtuvieron menores puntuaciones son aquellas en las que se practica un laboreo intensivo y una fertilización química continua.
3. Los resultados observados tras el análisis en el laboratorio de algunas propiedades del suelo muestran un mayor contenido en materia orgánica y carbono lábil en las parcelas bajo algún tipo de manejo sostenible.
4. Se observó un aumento de la CE en las parcelas con regadío, que puede ser atribuible al contenido salino del agua utilizada para el riego.
5. El protocolo VSA orienta al agricultor del estado actual del suelo, con un bajo coste, siendo capaz de detectar aquellas propiedades del suelo que deberían mejorarse. Las medidas adicionales tomadas corroboran que una práctica de cultivo sostenible mejora las propiedades de calidad del suelo, destacando su estructura.
6. Los agricultores entrevistados son conscientes de la importancia que supone la estructura del suelo y la biodiversidad para sus cultivos.
7. Tras estudiar la evolución de la calidad del suelo de las parcelas muestreadas en 2016, en relación a nuestra toma y análisis de muestras en 2018, podemos concluir que realizar un análisis visual de la calidad de un suelo es una manera sencilla y fiable de conocer cuál es el estado de calidad en el que se encuentra un suelo. Además se observa una variación de la puntuación favorablemente buena, ello significa que los consejos recomendados a los agricultores y su puesta en práctica han contribuido a una mejora en el estado de los suelos de las parcelas estudiadas.

Tal y cómo hemos podido observar, es posible mejorar el estado en el cual se encuentra un suelo agrícola. Sin embargo, esta mejoría, que será observable a medio o largo plazo, está estrechamente relacionada con el factor económico, social, y de una predisposición del agricultor/a al cambio del manejo agrícola convencional al sostenible. Además, este cambio de modelo productivo no va a verse reflejado en el estado del suelo hasta pasado unos años dependiendo de la resiliencia y del nivel de degradación inicial del mismo. Es de esperar, sin embargo, que pasado ese tiempo, y alcanzando un equilibrio de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo a las nuevas prácticas de manejo sostenibles, se observen mejores resultados en futuros análisis.

6. Bibliografía

Adewole Tomiwa Adetunji, Bongani Ncube, Reckson Mulidzi, Francis Bayo Lewu. (2020). Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review,. *Soil and Tillage Research*, Volume 204, ISSN 0167-1987.

Ball, Bruce, Munkholm, Lars. (2007). *Visual Soil Evaluation: Realizing Potential Crop Production with Minimum Environmental Impact*. CABI. ISBN: 978-1-7864-745-6.

Barbera, Antonio, Maucieri, Carmelo, Cavallaro, Valeria, Ioppolo, A., Spagna, G.. (2013). Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops, a review. *Agricultural Water Management*. 119. 43–53.

Barão, Lúcia, Alaoui, Abdallah, Ferreira, Carla, Basch, Gottlieb, Schwilch, Gudrun, Geissen, Violette, Sukkel, W., Lemesle, Julie, García-Orenes, Fuensanta, Morugán, Alicia, Mataix-Solera, Jorge, Kosmas, Costas, Glavan, Matjaž, Pintar, Marina, Tóth, Brigitta, Hermann, Tamas, Vizitiu, Olga, Lipiec, J., Reintam, Endla, Wang, Fei. (2018). Assessment of promising agricultural management practices. *Science of The Total Environment*. 649. 610-619

BOE - Reglamento (UE) 2020/1693 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de noviembre de 2020 por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/848, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos, en lo que respecta a la fecha de aplicación y a otras fechas que en él se mencionan.

Caravaca, Fuensanta, Masciandaro, G., Ceccanti, Brunello. (2002). Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*. 68. 23-30.

Carpintero, Óscar & Naredo, José. (2006). Sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española (1955-2000). *Historia Agraria*. 40. 532-554.

Cerdà, Artemi, Flanagan, Dennis, Le Bissonnais, Yves, Boardman, John. (2009). Soil Erosion and Agriculture. *Soil & Tillage Research - SOIL TILL RES*. 106. 107-108.

Clavería Campillo, D. (2016). Trabajo de Fin de Grado. Evaluación de dos manejos agrícolas: fertilización tradicional y agricultura ecológica, en las propiedades de un suelo y su estructura microbiana. Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad Miguel Hernández de Elche.

Cortés Mallebrera, T. (2016). Trabajo de Fin de Grado. Evaluación visual de la calidad del suelo bajo dos tipos de manejos agrícolas: sostenible y convencional. Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad Miguel Hernández de Elche.

E. Rabot, M. Wiesmeier, S. Schlüter, H.-J. Vogel. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review,. *Geoderma*, Volume 314, ISSN 0016-7061.

Esquinas Alcázar, J.T. (2013). Biodiversity and Security, Cuadernos de estrategia, ISSN 1697-6924, Nº. 161, 1, 2013 (Ejemplar dedicado a: Food security and global security), págs. 98-140

Fallot, Paul. (1948). Les Cordillères Bétiques. Estudios Geológicos nº8. 83-172.

FAO (2003). World agriculture: towards 2015/2030. An FAO study. Jelle Bruinsma (ed.). ISBN: 1-84407-007-7.

Farage P, Ball A, McGenity TJ, Whitby C, Pretty J. (2009). Burning management and carbon sequestration of upland heather moorland in the UK. Australian Journal of Soil Research 47, 351–361

Flórez, J. (2009). Agricultura ecológica: manual y guía didáctica. Madrid: Ediciones Mundi Prensa. ISBN: 8484763145/ 978-8484763147.

Fontboté, Josep Maria (1970). Sobre la historia preorogénica de las Cordilleras Béticas. Cuadernos Geológicos. Universidad de Granada. 1, 71-78.

Fayez Raiesi, Vida Kabiri. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. Ecological Indicators. Soil and Tillage Research, Volume 71, ISSN 1470-160X

García-Orenes, Fuensanta, Cerdà, Artemi, Mataix-Solera, Jorge, Guerrero, C., Bodí, Merche B., Arcenegui, Vicky, Zornoza, Raúl, Sempere, J.G.. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and oil–water losses in eastern Spain. Soil and Tillage Research. 106. 117-123.

García-Orenes, F.; C. Guerrero, A., Roldán, J., Mataix-Solera, A., Cerdà, M., Campoy, R., Zornoza, G., Bárcenas, F., Caravaca (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. Soil and Tillage Research 109:110-115.

García-Orenes, Fuensanta, Morugán, Alicia, Zornoza, Raúl, Cerdà, Artemi, Scow, Kate. (2013). Changes in Soil Microbial Community Structure Influenced by Agricultural Management Practices in a Mediterranean Agro-Ecosystem. PLoS ONE 8: e80522.

García-Orenes, Fuensanta, Roldán, Antonio, Morugán, Alicia, Linares Pérez, Carlos, Cerdà, Artemi, Caravaca, Fuensanta. (2016). Organic Fertilization in Traditional Mediterranean Grapevine Orchards Mediates Changes in Soil Microbial Community Structure and Enhances Soil Fertility. Land Degradation & Development. 27.

Geisseler, Daniel, Horwath, William, Joergensen, Rainer, Ludwig, Bernard. (2010). Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review. Soil Biology and Biochemistry. 42. 2058-2067.

Guerrero, César, Moral, Raúl, Gómez Lucas, Ignacio, Zornoza, Raúl, Arcenegui, Vicky. (2008). Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries. *Bioresource technology*. 98. 3259-64.

Guimarães, Rachel, Ball, Bruce, Tormena, Cássio. (2011). Improvements in visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*. 27. 395 - 403.

Joergensen, Rainer, Anderson, T., Wolters, Volkmar. (1995). Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Biology and Fertility of Soils*. 19. 141-147.

Jones, Kristal, Glenna, Leland, Weltzien, Eva. (2014). Assessing participatory processes and outcomes in agricultural research for development from participants' perspectives. *Journal of Rural Studies*. 35. 91–100.

Julivert, Manuel, Fontboté, Josep Maria, Ribeiro, António, Nabais Conde, Luís Eduardo. Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1.000.000., I.G.M.E.

Lynch, Derek, Voroney, Paul, Warman, Phil. (2013). Soil Physical Properties and Organic Matter Fractions Under Forages Receiving Composts, Manure or Fertilizer. *Compost science & utilization*. 13.

Macci, Cristina, Doni, Serena, Peruzzi, Eleonora, Mennone, Carmelo, Masciandaro, Grazia. (2013). Biostimulation of Soil Microbial Activity Through Organic Fertilizer and Almond tree Association. *Land Degradation & Development*. 27.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020. Producción Ecológica Estadísticas 2019. Informe del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: NIPO: 003191854.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación- CONTROL OFICIAL EN EL ÁMBITO DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA Y CALIDAD ALIMENTARIA (MAPA). Informe anual 2018. Programas de Control Oficial del MAPA.

Mckenzie, David. (2013). Visual soil examination techniques as part of a soil appraisal framework for farm evaluation in Australia. *Soil and Tillage Research*. 127. 26–33.

Meco-Murillo, Ramón., Lacasta Dutoit, Carlos. y Moreno Valencia, Marta María. (2011) Agricultura ecológica en secano. Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino, Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, Sociedad Española de Agricultura Española y Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-539-4

Morlat, René, Chaussod, Remi. (2008). Long-term Additions of Organic Amendments in a Loire Valley Vineyard. I. Effects on Properties of a Calcareous Sandy Soil. *American Journal of Enology and Viticulture*. 59. 353-363.

Morugan, A.; F. Garcia-Orenes; J. Mataix-Solera; V. Arcenegui; M.A. Navarro. 2011. Short-term effects of treated waste water irrigation on Mediterranean calcareous soil. *Soil and Tillage Research*. 112: 18-26.

Morugán, Alicia, García-Orenes, Fuensanta, Cerdà, Artemi. (2015). Changes in soil microbial activity and physicochemical properties in agricultural soils in Eastern Spain. *Spanish Journal of Soil Science*. 5. 201-213.

Peregrina, Fernando, Larrieta, Clara, Ibáñez, Sergio, García-Escudero, Enrique. (2009). Efectos de dos tipos de cubierta vegetal en la disponibilidad de nitrógeno en un viñedo de la D.O. Calificada Rioja. *Actas de Horticultura*, nº 54. IV Congreso Ibérico de Ciencias de Hortícolas. 399-400

Raubuch, Markus., Beese, Fritz. (1999). Comparison of microbial properties measured by O₂ consumption and microcalorimetry as bioindicators in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 31. 949-956.

Rivas-Martínez, S. (1984): Pisos bioclimáticos de España. *Lazaroa*, 5: 33-43.

Sánchez-Marañón, Manuel & Soriano, Miguel & Delgado, G. & Delgado, Robin. (2002). Soil Quality in Mediterranean Mountain Environments: Effects of Land Use Change. *Soil Science Society of America Journal - SSSAJ*. 66. 10.2136/sssaj2002.0948.

Shepherd, Graham. (2010). *Visual Soil Assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). ISBN: 978-92-5-105941-8

Weil, Raymond & Stine, Melissa & Gruver, Joel & Samson-Liebig, Susan. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*. 18. 3 - 17.

Yüze Li, Duanpu Song, Shihan Liang, Pengfei Dang, Xiaoliang Qin, Yuncheng Liao, Kadambot H.M. Siddique.(2020). Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, Volume 204, 104721, ISSN 0167-1987

Zhongbin Zhang, Xinhua Peng. (2021). Bio-tillage: A new perspective for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, Volume 206, 104844, ISSN 0167-1987

Zhanguo Bai, Thomas Caspari, Maria Ruiperez Gonzalez, Niels H. Batjes, Paul Mäder, Else K. Bünemann, Ron de Goede, Lijbert Brussaard, Minggang Xu, Carla Sofia Santos Ferreira, Endla Reintam, Hongzhu Fan, Rok Mihelič, Matjaž Glavan, Zoltán Tóth. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China,. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 265, ISSN 0167-8809.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras:

- **Figura 1.** Superficie de agricultura ecológica (Ha), por tipo de cultivo, año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Figura 2.** Superficie de agricultura ecológica (Ha, en cultivos permanentes) por tipo de cultivo y por Comunidad Autónoma, en el año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Figura 3.** Evolución de la producción ecológica en España, desde el año 1991 hasta el año 2019, por superficie del terreno (Ha) cultivada. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Figura 4.** Superficie de agricultura ecológica (Ha) por tipo de superficie y por Comunidades Autónomas, año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Figura 5.** Actividades industriales de agricultura ecológica relacionadas con la producción vegetal y animal, en el año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Figura 6.** Localización geográfica de las parcelas muestreadas. Fuente: Google Earth; Landsat/Copernicus Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO Inst. Geogr. Nacional.
- **Figura 7.** Mapa de los pisos bioclimáticos de España según Rivas-Martínez (1987). Fuente: Banco de datos de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente de España.
- **Figura 8.** Mapa geológico de la Cordillera Bética (Imagen: Geoiberia).
- **Figura 9.** Resultado del análisis visual de los suelos de las parcelas de estudio bajo manejo sostenible (AMP) mediante la utilización del manual de campo VSA.
- **Figura 10.** Resultado del análisis visual de los suelos de las parcelas de estudio que se encuentran bajo un manejo tradicional (control), mediante la utilización del manual de campo VSA.
- **Figura 11.** Valores medios (\pm desviación estándar) de la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ en cada una de las parcelas de estudio, y para cada tipo de manejo agrícola.
- **Figura 12.** Valores medios (\pm desviación estándar) de materia orgánica para cada una de las parcelas de estudio, y para cada tipo de manejo agrícola.
- **Figura 13.** Valores medios (\pm desviación estándar) de carbono lábil para cada una de las parcelas de estudio, y para cada tipo de manejo agrícola.
- **Figura 14.** Importancia de los indicadores de calidad del suelo según los respectivos propietarios de las parcelas de estudio.

Tablas:

- **Tabla 1.** Principales técnicas agrarias en cultivos ecológicos. Modificación de Clavería Campillo, 2016.
- **Tabla 2.** Superficie de agricultura ecológica (Ha), en España, por tipo de cultivo permanente y Comunidad Autónoma, año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Tabla 3.** Superficie de Agricultura Ecológica (Ha), en España, por Comunidades Autónomas, año 2019. Fuente: Informe Estadísticas de producción Ecológica 2019 (MAGRAMA).
- **Tabla 4.** PH y Textura de las parcelas de estudio.
- **Tabla 5.** Datos de las doce zonas agrícolas de estudio y sus respectivas parcelas.
- **Tabla 6.** Comparación de los resultados del año 2018 con los resultantes del año 2016.

GLOSARIO DE SIGLAS

AMP: del inglés *Agricultural Management Practice* que se traduce como práctica de manejo agrícola. En este estudio se utiliza para referirnos a los suelos bajo manejo sostenible.

ASAJA: Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores.

CAECV: Comité de Agricultura Ecológica de la Comunidad Valenciana.

CE: Conductividad eléctrica.

EAP: Exposición Ambiental a Plaguicidas.

FAO: del inglés *Food and Agricultural Organization of the United Nations* que se traduce como Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

ISQAPER: *Interactive Soil Quality Assessment in Europe and China for Agricultural Productivity and Environmental Resilience*.

I.S.S.S.: del inglés *International Society of Soil Science* que se traduce como Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo.

IVIA: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

MO: Materia orgánica.

pH: Acidez o alcalinidad respecto a la escala de pH (1-14).

SEAE: Sociedad Española de Agricultura Ecológica/ Sociedad Española de Agroecología.

VSA: del inglés *Visual Soil Assessment*, que se traduce como Evaluación Visual del Suelo.

WRB: *World Reference Base for Soil Resources*.

APÉNDICE

Protocolo de técnicas VSA para el análisis visual del suelo

1. Erosión por acción del agua y el viento.

La erosión reduce el potencial productivo del suelo a través de la pérdida de nutrientes y materia orgánica, reduciendo a su vez el potencial de profundidad de enraizamiento y la capacidad de retener agua.

La erosión puede ser hídrica u eólica y la evaluación del grado de erosión que presenta el suelo se lleva a cabo mediante la comparativa del estado actual del suelo con el del pasado. Es por ello que la experiencia y conocimientos del agricultor sobre la tierra en la que trabaja son tan importantes a la hora de decidir el tipo de puntuación que recibe este indicador.

Entendemos pues que los siguientes tipos de erosiones reciben las siguientes puntuaciones:

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	La erosión hídrica es prácticamente nula o bien no hay.	
Moderada (1)	La erosión hídrica produce surcos apreciables en el suelo y la erosión eólica se debe a una moderada nube de polvo levantada por labranza o en los días de viento.	
Pobre (0)	La erosión hídrica produce grandes surcos en el suelo y la erosión eólica se debe a una enorme nube de polvo levantada por labranza o en los días de viento.	

2. Encharcamiento tras la lluvia.

El encharcamiento y el periodo de tiempo que permanece el agua en la superficie pueden indicar el rango de infiltración a través del suelo. Este parámetro afecta de manera perjudicial a las plantas ya que los suelos encharcados tienen poca capacidad de aportar O₂ a las raíces,

afectando de manera directa e indirecta al crecimiento del cultivo: Hipoxia. Al igual que en la erosión, el análisis de este indicador se basa en las observaciones del agricultor sobre la tierra en la que trabaja. La puntuación se lleva a cabo de acuerdo al número de días que el agua permanece en superficie hasta que se infiltra.

Puntuación (VSA)	Número de días encharcados	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	Menor/igual 1	El encharcamiento desaparece al día siguiente de una lluvia/ riego	
Moderada (1)	2-3	Tras el riego o lluvia el encharcamiento tarda entre 2-4 días en desaparecer	
Pobre (0)	>3	El encharcamiento dura más de 5 días.	

3. Costra superficial y sellado.

La costra superficial reduce la infiltración y almacenamiento de agua así como la aireación ocasionando condiciones anaeróbicas. Impide la penetración de las raíces en la vertical del suelo ocasionando un desarrollo horizontal y reduce la capacidad de las raíces de captar agua y nutrientes. La costra superficial tiende a producirse en suelo de textura fina, con una pobre estructura y una baja estabilidad de agregados. La evaluación se lleva a cabo mediante la comparativa de las partes bajas del suelo superficial con las partes altas del mismo. Para ello se realiza un agujero en el suelo. De acuerdo al grosor, desarrollo y firmeza de la costra, el suelo recibirá una puntuación u otra, en comparativa con la guía de campo.

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	Hay muy poca costra superficial o bien no hay.	
Moderada (1)	La costra superficial tiene un grosor de 2-3 mm y esta partida.	
Pobre (0)	La costra superficial tiene un grosor mayor de 5 mm y no se aprecian grandes fracturas.	

4. Color.

Es un indicador muy útil de la calidad del suelo ya que puede proporcionar una medida indirecta de otras propiedades útiles del suelo y que son de medición más complicada. El color del suelo varía de acuerdo a diversos factores: climatología, contenido en MO y minerales de hierro y magnesio, tipo de roca madre, vegetación natural, etc. En general, el color oscuro indica presencia de materia orgánica por lo que, ésta, queda sujeta al cambio siempre que se aprecie un cambio de color en el suelo. La materia orgánica juega un papel importante en la regulación de los procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo llegando a determinar la salud del suelo. Promueve la infiltración y retención del agua, ayuda a la estabilización de la estructura del suelo y reduce el potencial de erosión por agua o viento. Lo más común es que los horizontes superiores de un suelo sean más oscuros o presenten una coloración parda, por lo general, más marcada en suelos arenosos. Sin embargo, la coloración oscura de un suelo no es exclusiva del contenido de materia orgánica, ya que los altos contenidos de sodio en el suelo también pueden formar colores oscuros, debido a la disolución de la materia orgánica que ocurre a pH superiores a 8 (muy alcalinos), la cual tiende a migrar a la superficie. Otro factor que también puede generar tonalidades oscuras es la presencia de MnO_2 , incluso también por la presencia de carbón elemental inmediatamente después de la quema de residuos de cultivo. Los colores rojos y amarillos provienen de la oxidación e hidratación de los compuestos minerales de hierro del

suelo, cuando el drenaje permite la aireación y las condiciones de humedad y temperatura son favorables para la actividad química. También existen colores azules y verdes los cuales deben su color a la presencia de hierro reducido. En condiciones de inundación frecuente y anoxia es común que se encuentren subsuelos con colores azulados, grisáceos y verdosos. La evaluación de este indicador se lleva a cabo mediante la observación de un bloque de suelo extraído. Se compara de acuerdo con los modelos de coloración de la guía de campo y se procede a la puntuación del indicador.

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	El color oscuro predomina tanto en la superficie del suelo así como en las partes bajas.	
Moderada (1)	El color en la superficie es ligeramente más pálido que el que se encuentra en las partes bajas.	
Pobre (0)	El color es notablemente más pálido en la superficie en comparación con el de las partes bajas.	

5. Porosidad.

La porosidad del suelo, y particularmente la macroporosidad, influye en el movimiento de aire y agua en el suelo. Van estrechamente relacionadas la porosidad y la estructura. Por lo que un suelo con una gran porosidad presentará una buena estructura. Por el contrario, la carencia de aire reduce la capacidad de las plantas de captar agua y nutrientes. La evaluación de este parámetro se lleva a cabo mediante la comparación con la guía de campo de un terrón de tierra. Se examinan los huecos y espacios entre poros, así como los agujeros, fisuras y grietas que presente el terrón.

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	El suelo presenta muchos macroporos en y entre los agregados.	
Moderada (1)	El suelo presenta muchos menos macroporos pero todavía pueden apreciarse. Presenta cierto grado de compactación.	
Pobre (0)	No se aprecian macroporos y el terrón de suelo está muy compactado.	

6. Estructura y consistencia.

Una buena estructura del suelo es vital para el desarrollo de cultivos ya que regula la aireación del suelo y los distintos intercambios gaseosos, así como la temperatura, la infiltración, la penetración de las raíces, el movimiento y almacenamiento de agua, el aporte nutricional, la productividad y viabilidad y la resistencia del suelo a la degradación estructural. La estructura del suelo se valora de acuerdo al tamaño, firmeza, porosidad y abundancia relativa de los agregados y terrones del suelo. Un suelo con una buena estructura tendrá unos agregados porosos y finos. Mientras que aquellos suelos pobres en estructura estarán formados por bloques de terrones grandes, densos y muy firmes que se unen unos a otros con una alta tensión. Para evaluar este indicador se extrae mediante la pala un cubo de tierra de 20cm. Dicho cubo se deja caer sobre una lona de plástico, en la que se encuentra una losa, a 1m de altura. Una vez impacta el cubo contra la losa se recogen los bloques más grandes y se vuelven a soltar hasta un máximo de 3 veces en caso de que no se rompan en alguno de las repeticiones anteriores. A continuación se deposita el suelo en un cubo para su posterior tamización en laboratorio donde se obtendrá la separación por tamaños indicativa del tipo de estructura que tiene el suelo. La puntuación de los

suelos a evaluar se lleva a cabo mediante la comparativa de los ejemplos de estructura de suelos dispuestos por la guía de campo.

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	Predomina un suelo de agregados finos con algunos poros sin grandes terrones.	
Moderada (1)	El suelo contiene una proporción del 50% en grandes terrones y pequeños agregados. Los bloques más grandes son firmes y pueden presentar poros.	
Pobre (0)	Dominan los grandes bloques sobre una pequeña proporción de pequeños agregados. Dichos bloques pueden presentar una forma angular o subangular y pueden o no tener poros.	

7. Agregación.

Mediante este método se determina la estabilidad de los agregados y la resistencia a la erosión cuando se sumerge el suelo en agua en el llamado "Slaking test". Los resultados obtenidos del test pueden dar una idea sobre la presencia de materia orgánica, si la estabilidad de los agregados es buena, así como la existencia de riesgo por erosión si la estabilidad no es muy buena. La evaluación se lleva a cabo sumergiendo en agua 3 terrones secos de agregados durante un intervalo de tiempo de 5-10 min. Los terrones se sostienen sobre una reja para poder apreciar a posteriori la disgregación. Dependiendo de la estabilidad del agregado se obtendrán varios resultados tras el transcurso del tiempo. Se observará que el agregado se deshace en el agua, o bien no se deshace o lo hace parcialmente. Por último se asigna un valor VSA comparando los resultados con el manual de campo.

Puntuación (VSA)	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	No se aprecia un enturbiamiento del agua. El agregado no se disgrega.	
Moderada (1)	El agregado se deshace parcialmente, enturbiando el agua.	
Pobre (0)	El agregado se deshace por completo enturbiando el agua totalmente.	

8. Biodiversidad.

La determinación de la biodiversidad de un suelo se efectúa de acuerdo al número de gusanos encontrados en el suelo. Los gusanos son un buen indicador de la salud biológica del suelo, debido a que sus poblaciones se ven afectadas por el resto de propiedades edáficas, así como del tipo de manejos agrícolas. La evaluación se lleva a cabo mediante el conteo del número de gusanos vistos en un terrón de suelo en comparación con el manual VSA de campo.

Puntuación (VSA)	Número de gusanos
Buena (2)	>8
Moderada (1)	4-8
Pobre (0)	<4

9. Tasa de infiltración.

La capacidad de infiltración es un buen indicador de la calidad física del suelo ya que refleja el aspecto hidrodinámico de su estructura. Se define entonces como la tasa máxima de agua absorbida por el suelo a través de la superficie. La evaluación de este parámetro se lleva a cabo mediante la toma de medidas proporcionadas por el penetrómetro, instrumento de medida que se hincan en el suelo y que proporciona un valor de acuerdo a la fuerza empleada para profundizar en el terreno, en la unidad de medida MPa. Se realizan los muestreos en 10 puntos de la zona de estudio (intentando ser lo más representativos), en los que se registran 8 valores dados por el penetrómetro a medida que este se hunde 5 cm en el suelo, hasta llegar a un máximo de 40 cm. Se realiza un promedio de dichos valores y se clasifica la tasa de infiltración del suelo de acuerdo con la resistencia medida con el penetrómetro (ver siguiente imagen).



Puntuación (VSA)	Valores del penetrometro (MPa)
Buena (2)	< 2
Moderada (1)	2-3
Pobre (0)	>3

10. Grado de desarrollo de los terrones.

El grado de desarrollo de los terrones depende de muchos factores, incluidos los cultivos recientes, el contenido de agua en el momento de la labranza, la resistencia a la cizalladura de los terrones y la calidad de la estructura del suelo. La pérdida de la estructura del suelo y la posterior formación de terrones reducen la calidad de la inclinación del suelo, deteriorando la germinación y emergencia de las semillas y reduciendo los rendimientos de los cultivos y la calidad del grano. Suelos con muchos terrones indican que el suelo se ha degradado tanto que no puede mantener un fino semillero agregado en toda la temporada de crecimiento. El tamaño, la densidad y la fuerza de los terrones del suelo aumentan con el aumento de la pérdida de la

estructura del suelo por lo que se necesita un tiempo cuidadoso y un esfuerzo adicional considerable para descomponerlos en el semillero requerido. Esto generalmente significa que se necesitan métodos más intensivos de cultivo y un mayor número de pases. Para evaluar el grado de la presencia de terrones en la superficie del suelo, comparamos el suelo con las tres fotografías siguientes. Por último se asigna un valor VSA comparando los resultados con el manual de campo.

Puntuación VSA	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	Buena distribución de los agregados más finos, sin presencia de terrones significativos. Se puede preparar un buen semillero fácilmente.	
Moderada (1)	El suelo contiene proporciones significativas tanto de terrones gruesos y firmes, como de finos agregados. El cultivo debe ser cuidadosamente cronometrado, sino los terrones opondrán una leve resistencia a la labranza.	
Pobre (0)	El suelo está dominado por terrones firmes y gruesos, con presencia de algunos finos agregados. La resistencia de los terrones es alta, y la ventana hacia el cultivo exitoso es muy estrecha.	

11. Rendimiento del cultivo.

En agricultura, el rendimiento de los cultivos (también es conocido como "producción agrícola") y se refiere tanto a la medida del rendimiento de un cultivo por unidad de superficie de cultivo de la tierra, como a la generación de semillas de la propia planta (por ejemplo, si tres granos son cosechados por cada grano sembrado, el rendimiento resultante es de 1:3). La dicha, 1:3 es considerada por los agrónomos como el mínimo necesario para sostener la vida humana. Una de las tres semillas debe reservarse para la siguiente temporada de siembra, las dos restantes

consumidas por el productor, o una para el consumo humano y el otro para la alimentación del ganado. Cuanto mayor sea el excedente, más ganado se podrá establecer y mantener, aumentando así el bienestar físico y económico del agricultor y su familia.

La unidad en que se mide el rendimiento de un cultivo es en kilogramos por hectárea. Esta información debe ser proporcionada por el agricultor. Para esta evaluación deben abordarse dos cuestiones:

- i) Pedir al agricultor el(los) tipo(s) de cultivo más importante(s) que componen la rotación de cultivos que debe ser considerados en términos de ingresos, o impactos ambientales, podrían ser sólo uno o dos cultivos;
- ii) Comparación entre el rendimiento del cultivo de cada tipo de cultivo entre las situaciones anteriores y posteriores a la implementación de las prácticas de manejo agrícola AMP. Esta comparación puede ser cualitativa ya que el rendimiento de los cultivos se ve afectado por diferentes condiciones (por ejemplo, clima).

La estimación del rendimiento del cultivo se realiza a partir de la información provista por el agricultor, y se asigna un valor VSA comparando los resultados con el manual de campo:

Puntuación VSA	Buena (2)	Moderada (1)	Pobre (0)
Descripción	Si el rendimiento del cultivo ha aumentado	Si el rendimiento del cultivo es estable.	Si el rendimiento del cultivo ha disminuido.

12. Tamaño y desarrollo del sistema radicular.

La consolidación y compactación del semillero restringe el crecimiento y vigor de la planta al restringir el desarrollo de la raíz, debido al aumento de la resistencia mecánica e impidiendo la aireación del suelo. Una alta resistencia mecánica para las raíces limita la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, restringe la producción de varias hormonas en las raíces, que son necesarias para el crecimiento, y aumenta la susceptibilidad del cultivo a acomodarse.

Para determinar el tamaño y el desarrollo del sistema radicular, es ideal hacerlo cuando el suelo está todavía húmedo y cuidadosamente tomamos la planta del suelo y la sacudimos suavemente para eliminar el exceso de tierra de las raíces.

Por último se asigna un valor VSA comparando los resultados con el manual de campo.

Puntuación VSA	Descripción	Imagen de referencia
Buena (2)	Desarrollo sin restricciones de la raíz, con el principal bulbo de raíz grande de hasta 25 cm de ancho y 20-25cm de profundidad.	
Moderada (1)	El bulbo de la raíz principal es comúnmente de 15cm de ancho y 15-18cm de profundidad. El desarrollo de raíces verticales es a menudo restringido por debajo de 12 cm, el síndrome de ángulo recto no es infrecuente	
Pobre (0)	El desarrollo vertical y lateral de las raíces está severamente restringido, con sistemas radiculares mostrando tanto el síndrome del ángulo recto, engrosamiento excesivo, o crecimiento por canales de coulter.	